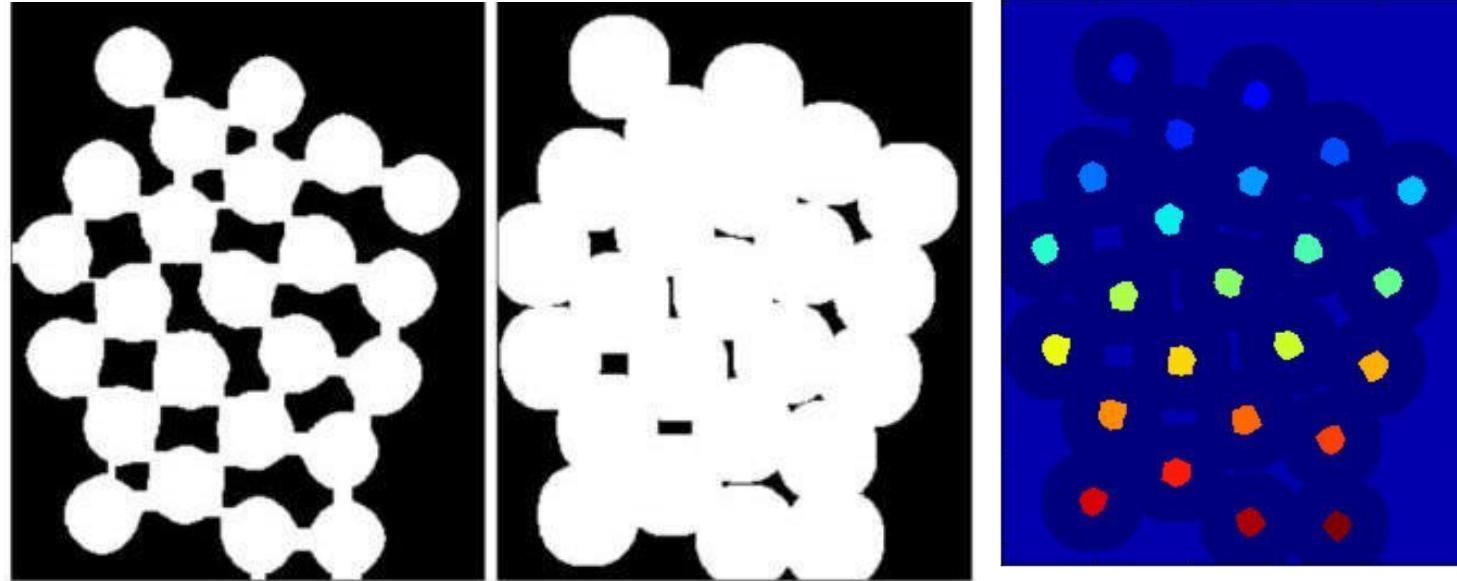


Сегментация

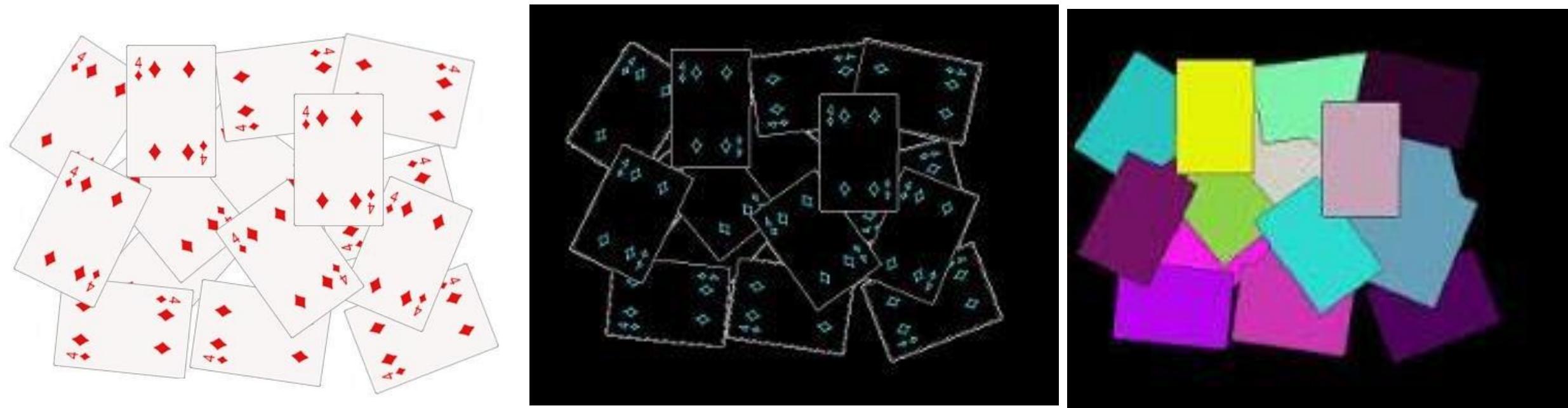
Сегментация

Введение

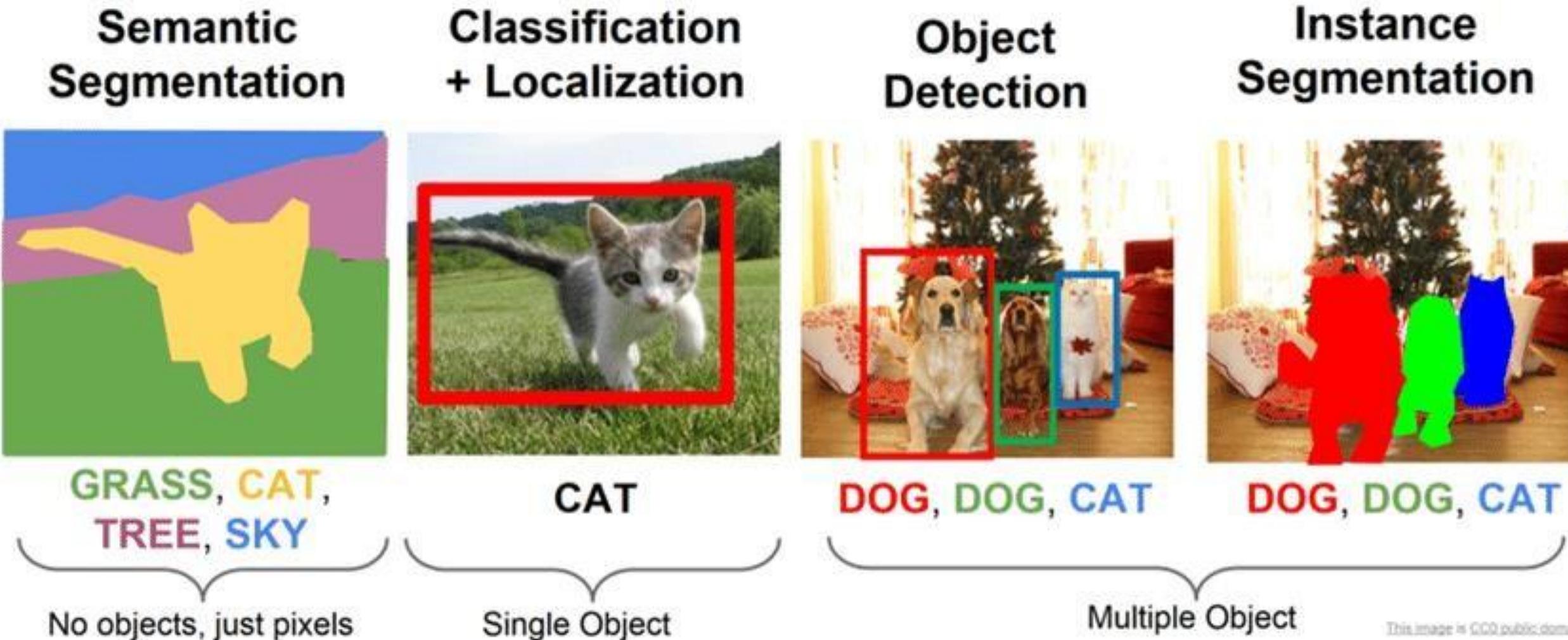
Сегментация на основе водораздела



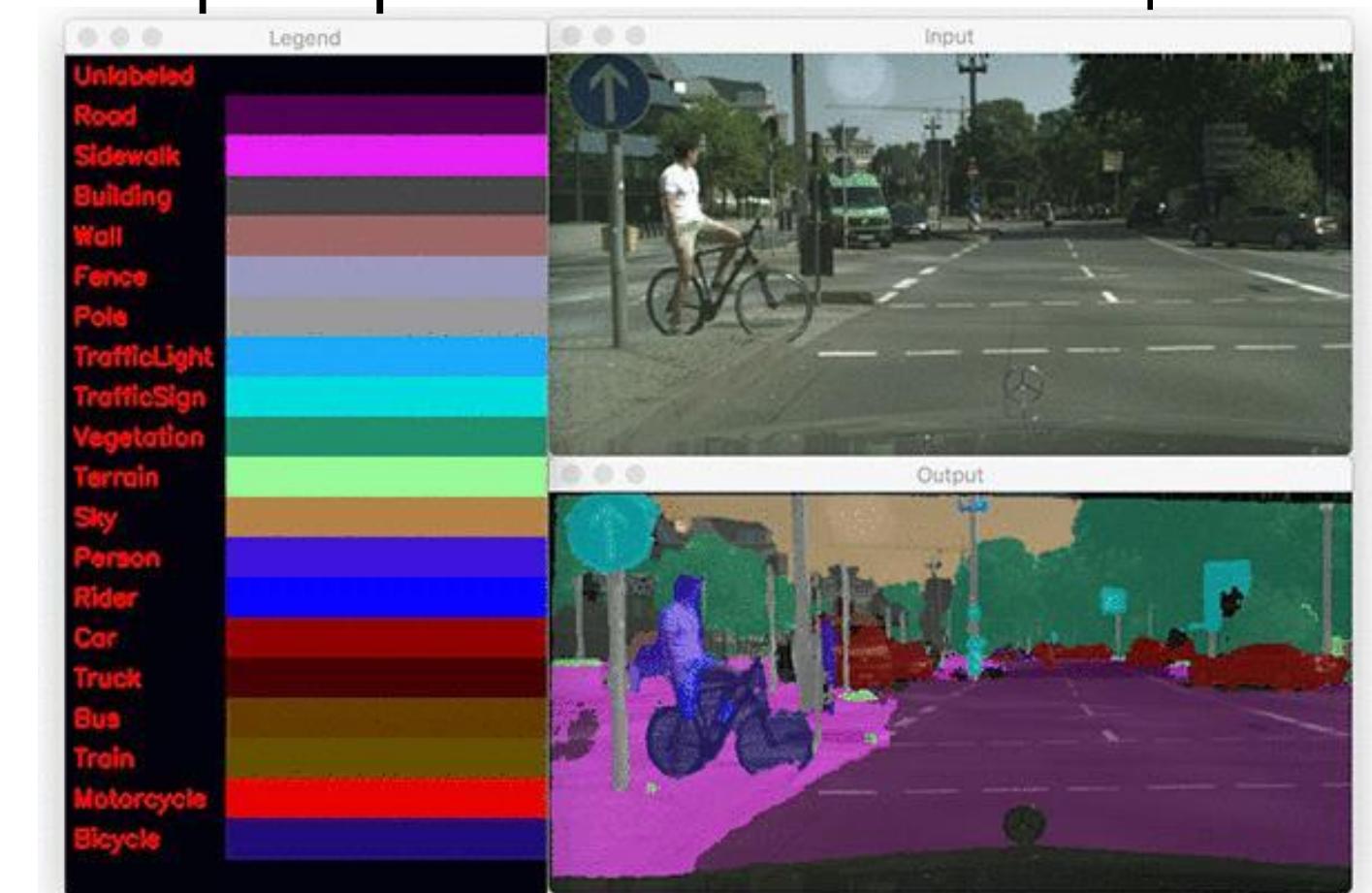
Сегментация на основе выделения геометрических объектов



Основные виды сегментации на основе CNN



Пример потоковой сегментации



Сегментация

Элементы теории множеств

R – вся область изображения

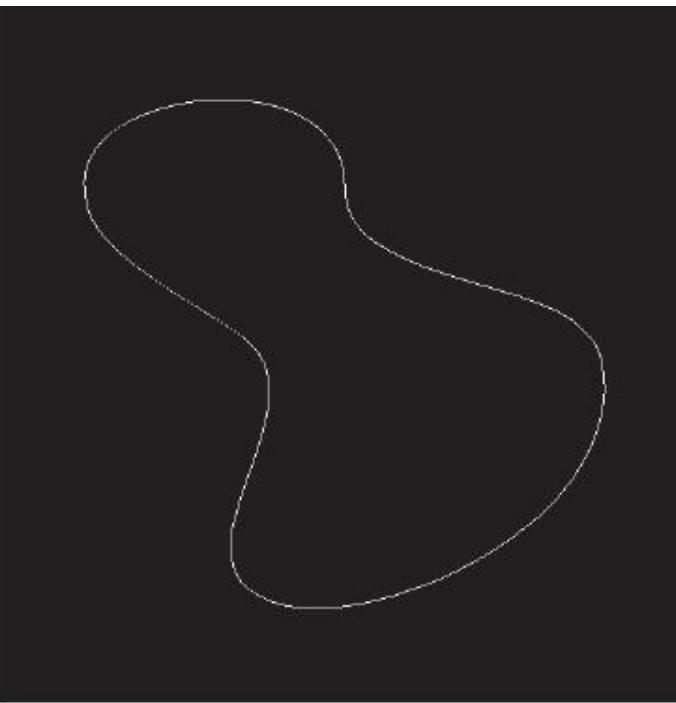
Сегментация разбивает R на n подобластей R_1, R_2, \dots, R_n :

- Сегментация д.б. полной
- Множество R_i связное
- Области непересекающиеся
- Логический предикат области $Q(R_i) = \text{TRUE}$
- Любые две смежные области должны различаться в смысле предиката Q

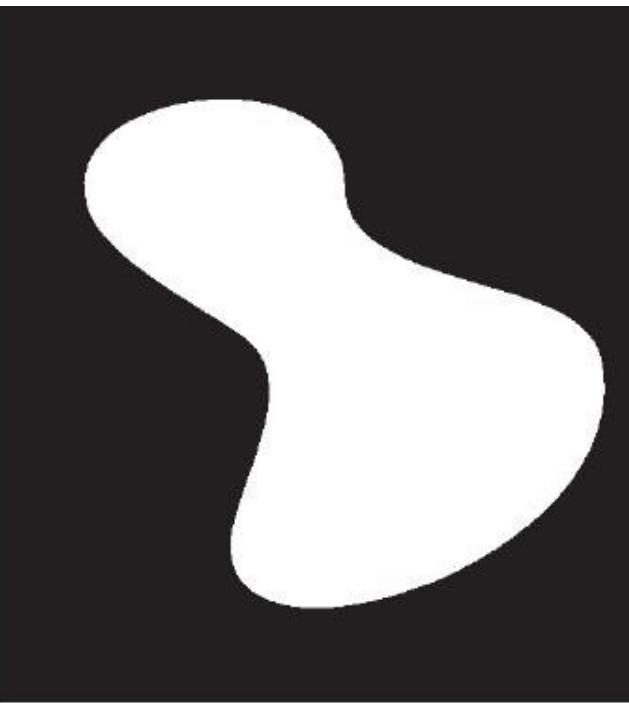
Изображение, содержащее область с постоянной яркостью



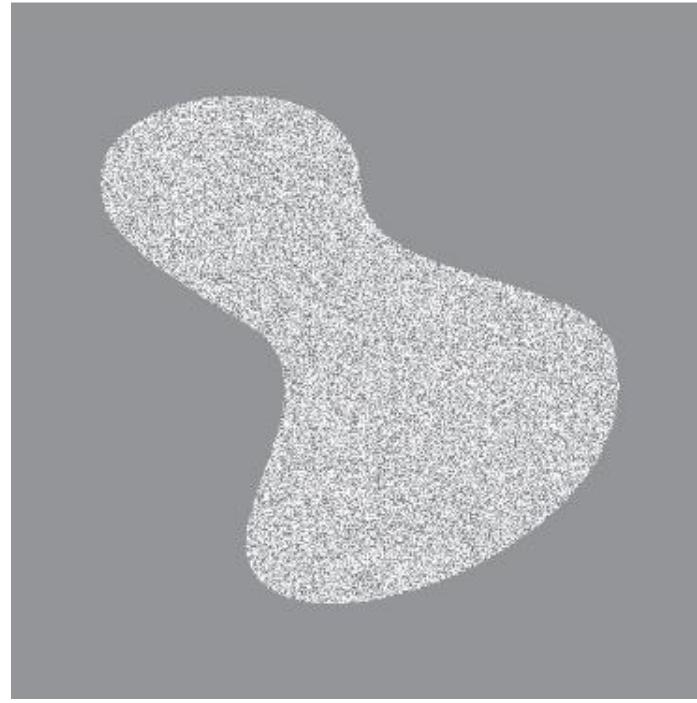
Граница внутренней области (разрывы яркости)



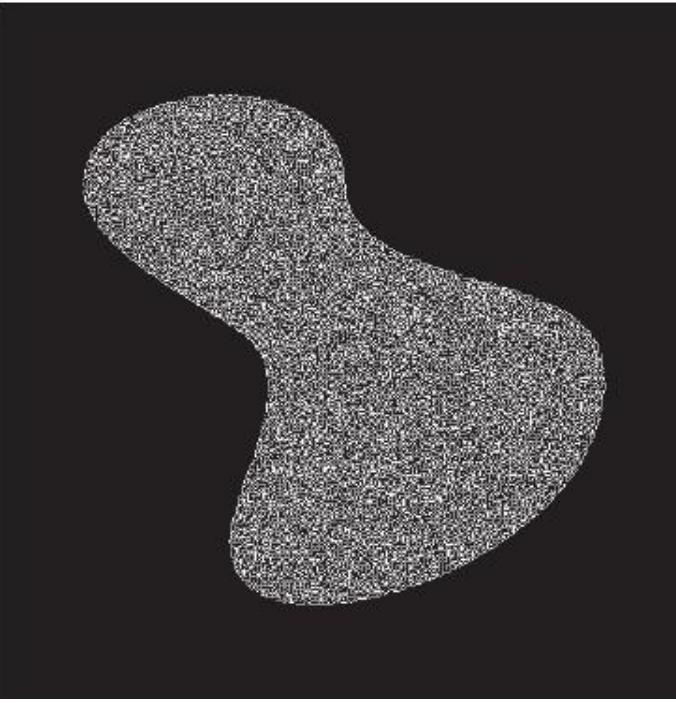
Результат сегментации изображения на две области



Изображение, содержащее область с текстурой



Результат выделения контуров



Результат сегментации на основе свойств области

Обнаружение ГМТ

Основы

Нахождение локальных изменений яркости:

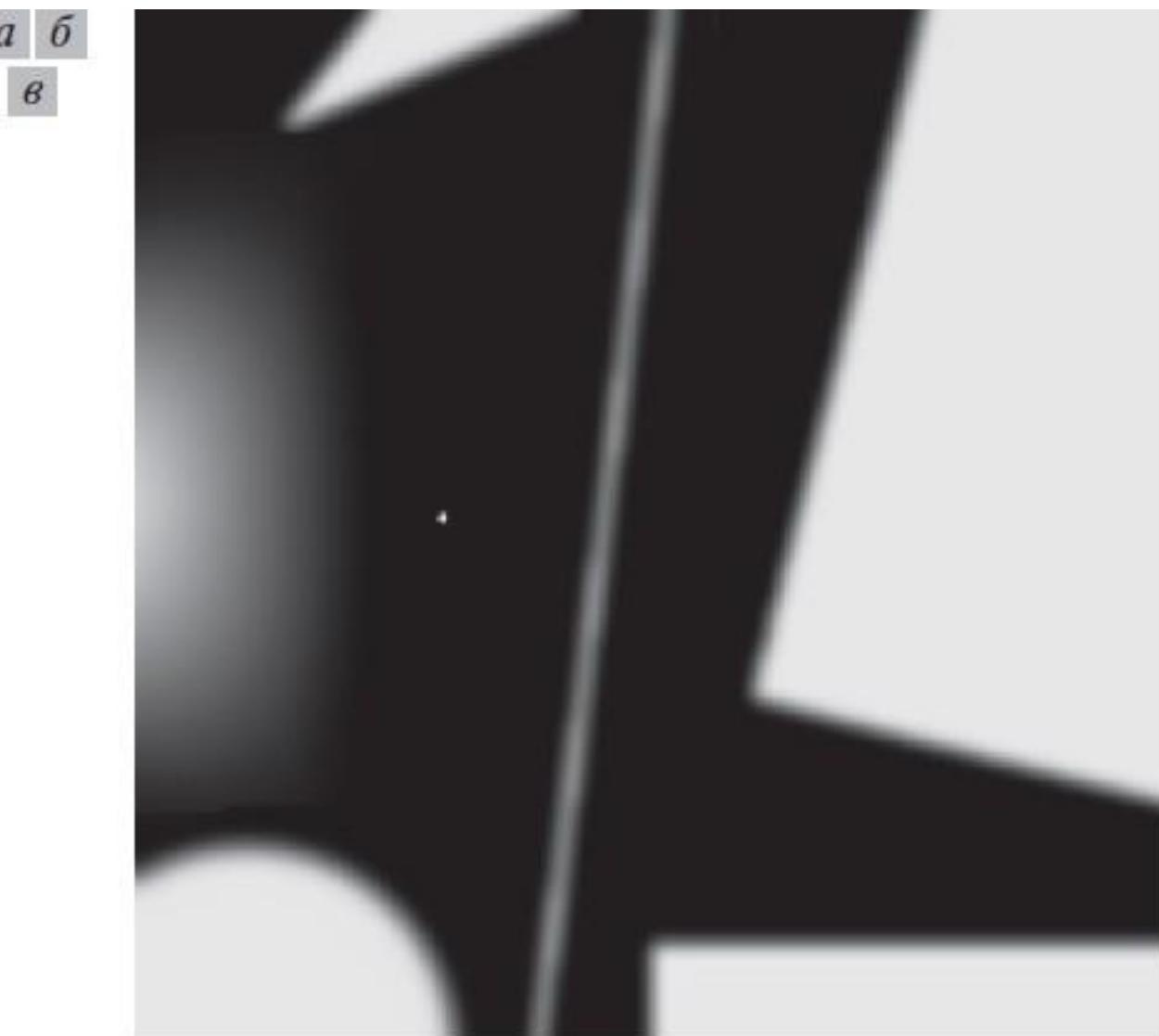
- Первая производная и ее аппроксимация

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f'(x) = f(x+1) - f(x)$$

- Вторая производная и ее аппроксимация

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f''(x) = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

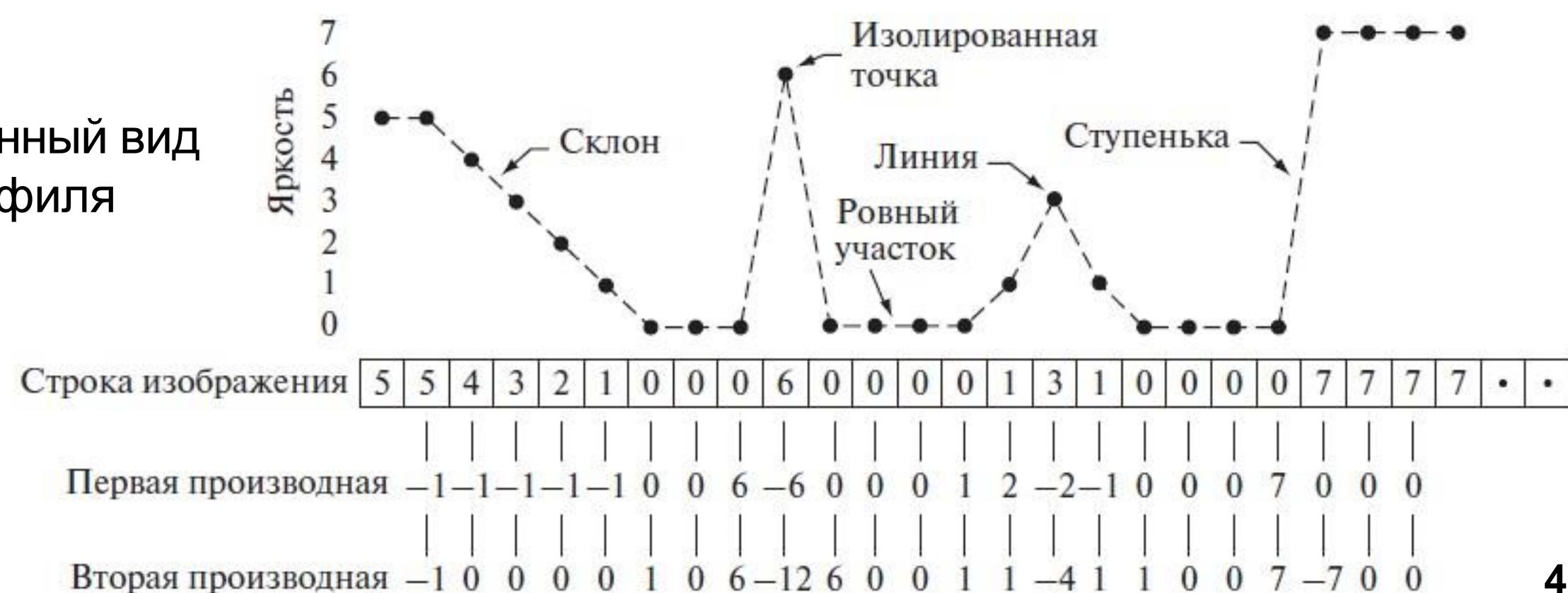
Упрощенный вид профиля



а
б
в

Изображение

Горизонтальный профиль яркости



Обнаружение ГМТ

Изолированные точки

Алгоритм:

- Применяем лапласиан

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

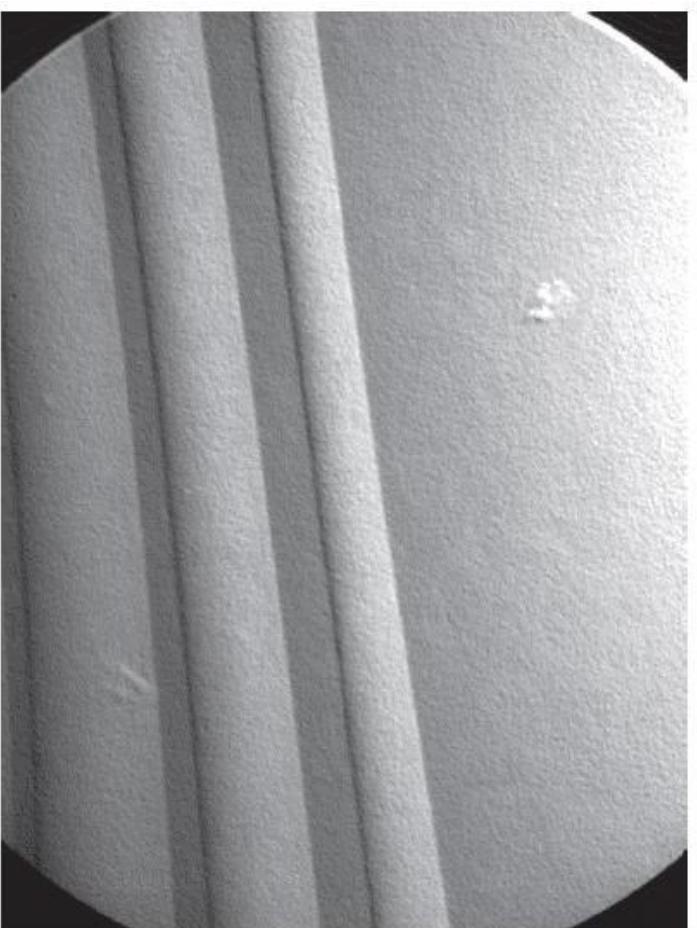
$$f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

- Применение порога к отклику точки на маску

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{если } |R(x, y)| \geq T \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Маска лапласиана

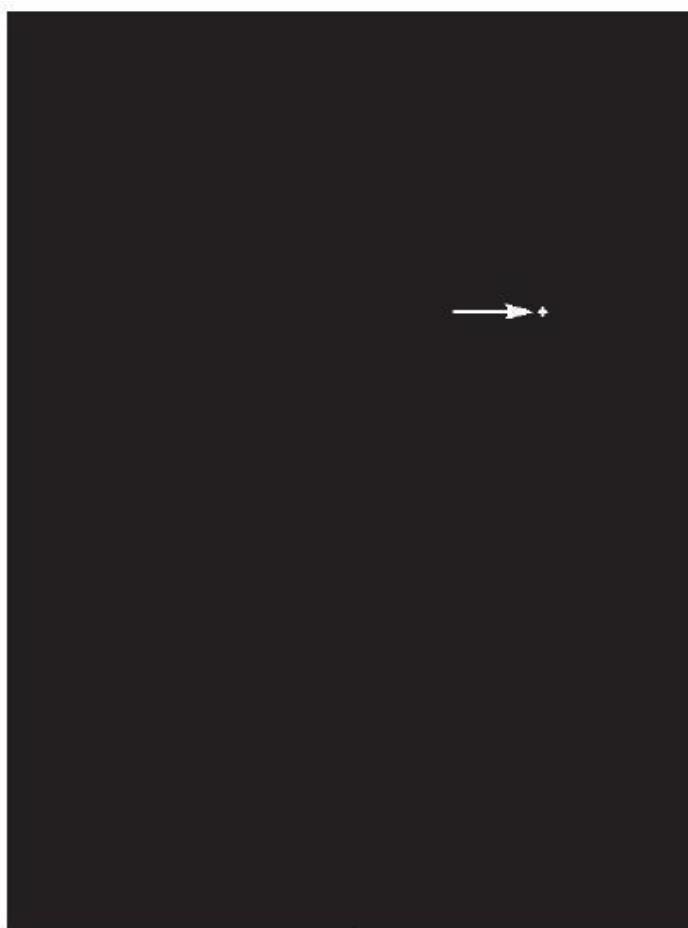
1	1	1
1	-8	1
1	1	1



Лопатка турбины с
каверной



Результат свертки с
маской

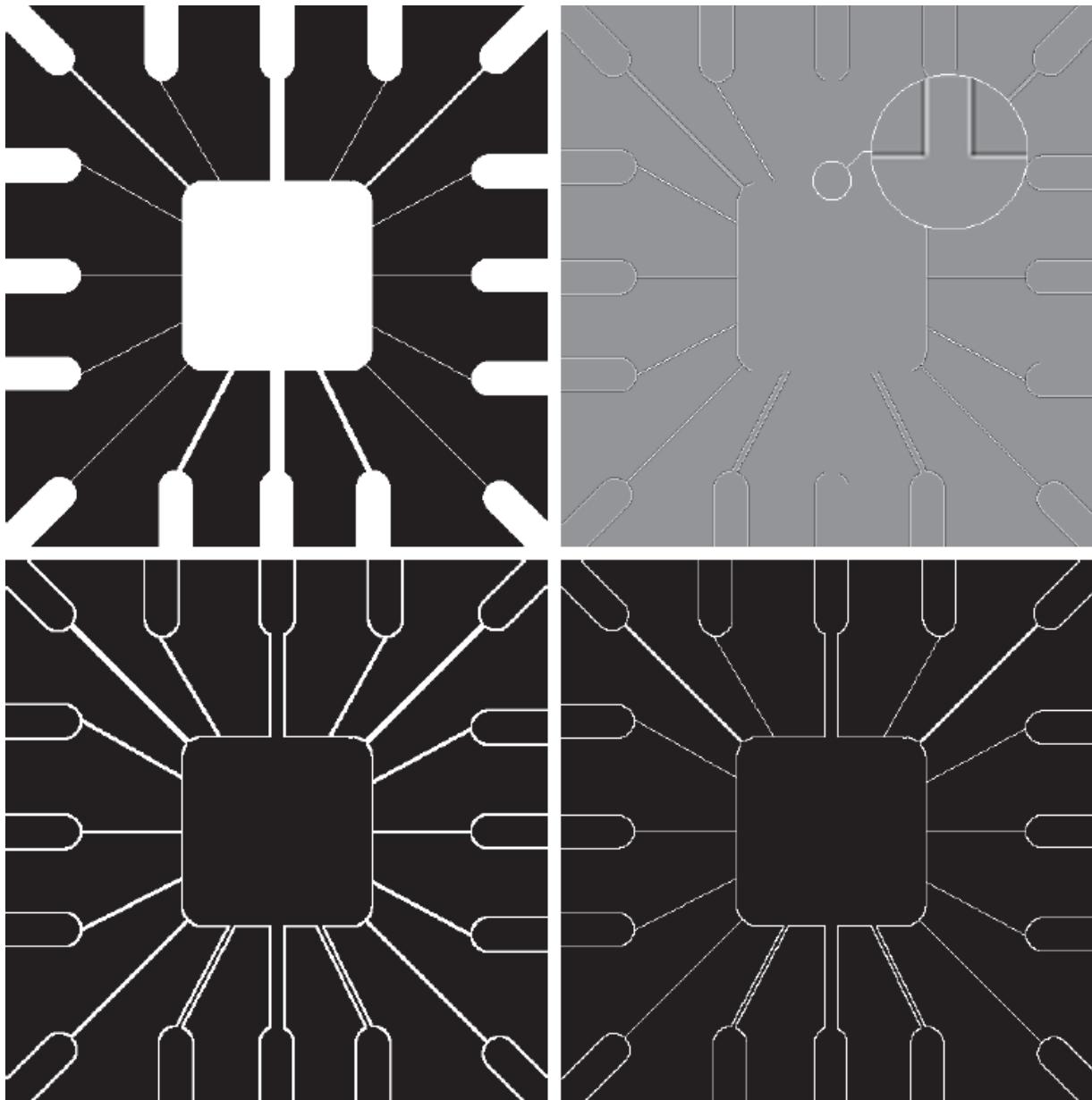


Результат применения
порога

Обнаружение ГМТ

Линии

Исходное изображение



Удвоение линий от Лапласиана

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

Горизонтальная

+45°

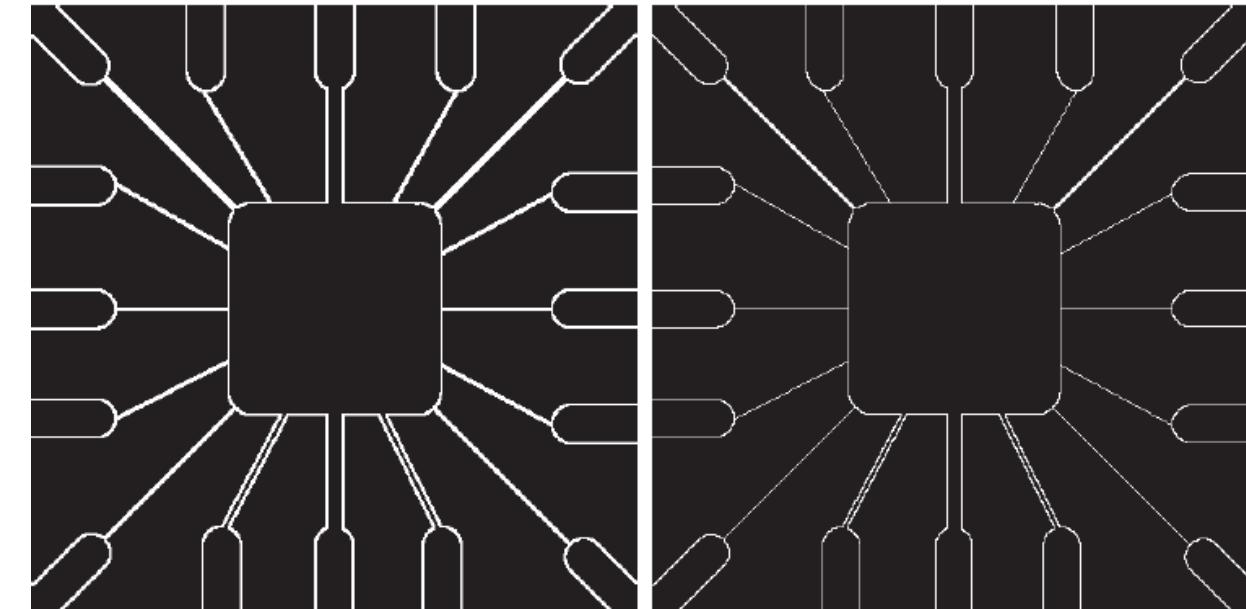
Вертикальная

-45°

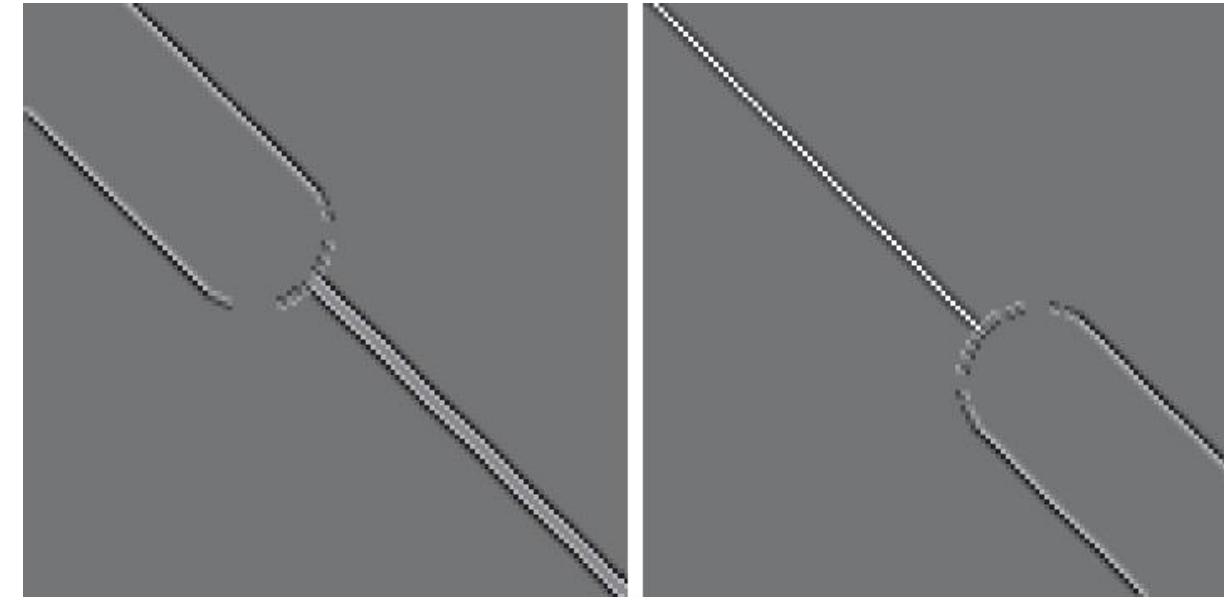
Изотропная маска

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

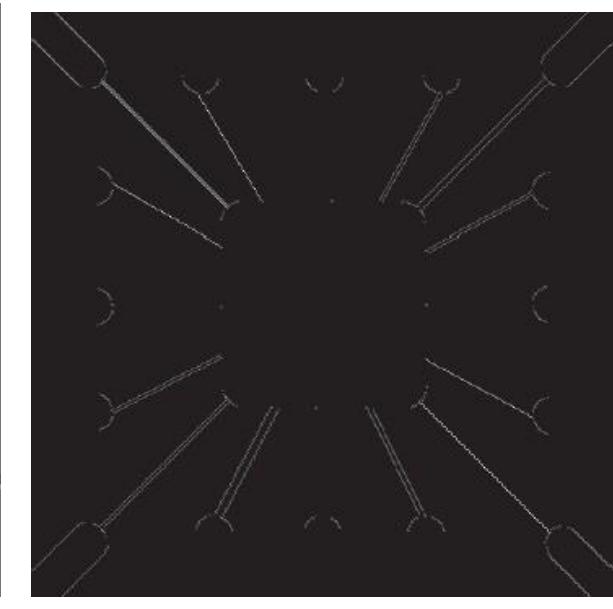
Обнаружение линий под углом +45°



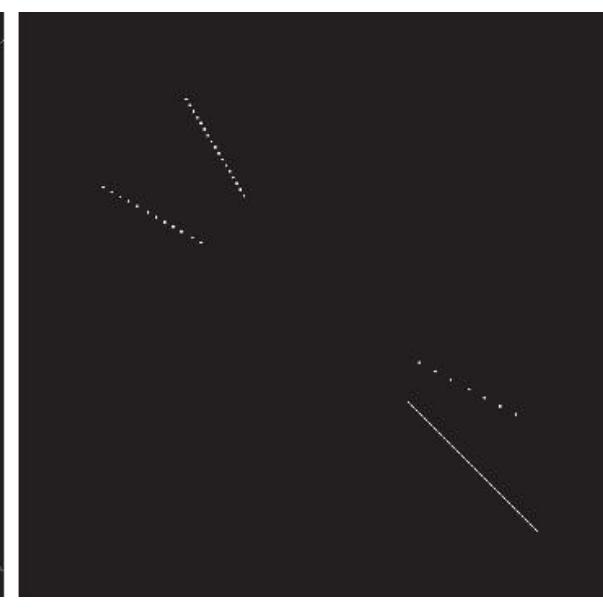
Абсолютное значение лапласиана
Положительные значения лапласиана



Левый верхний угол Правый нижний угол



Значения заменены нулями



Применение порога

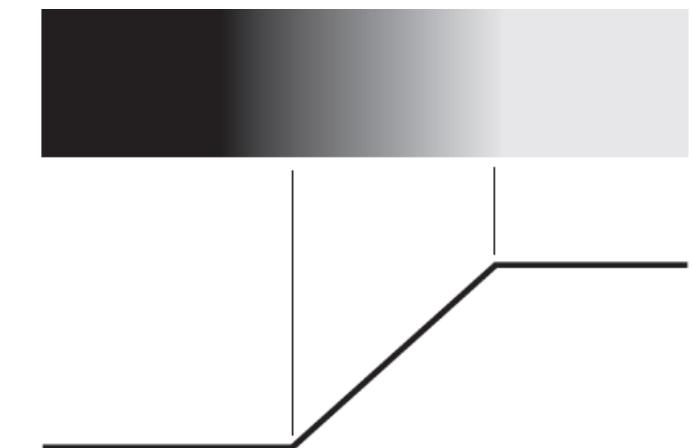
Обнаружение ГМТ

Модели перепадов

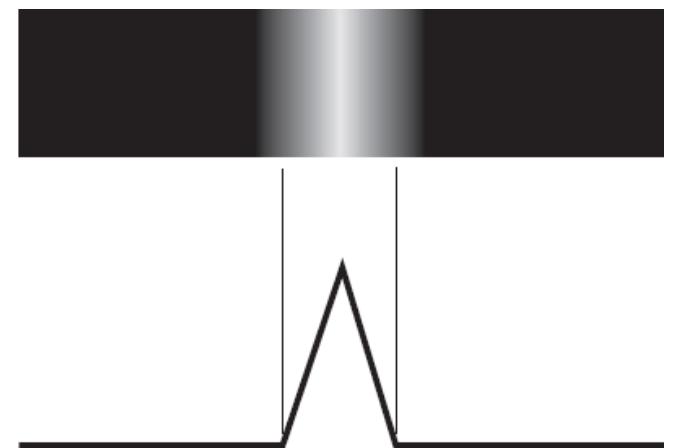
Виды перепадов:



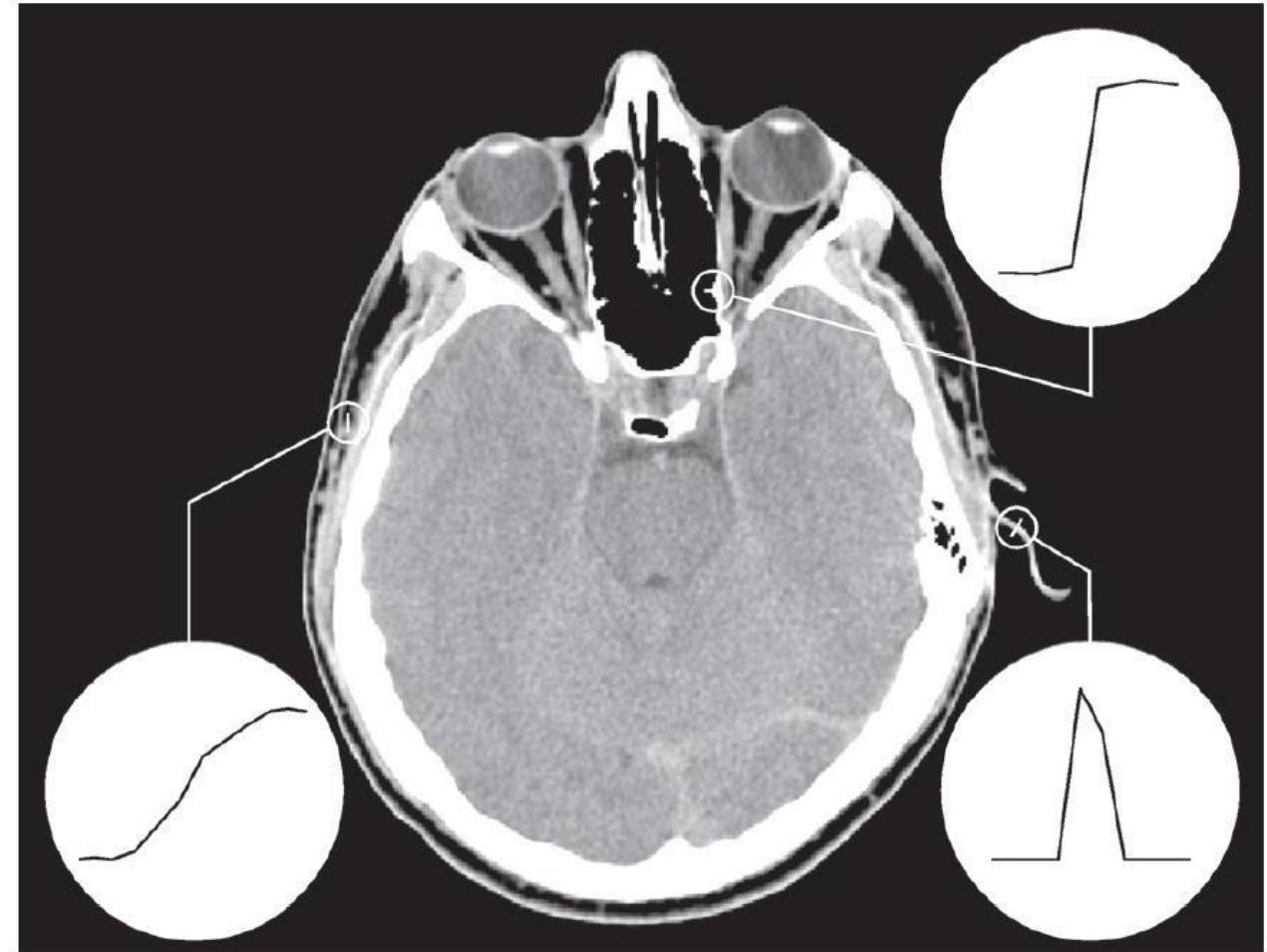
Идеальный



Наклонный



Треугольный импульс

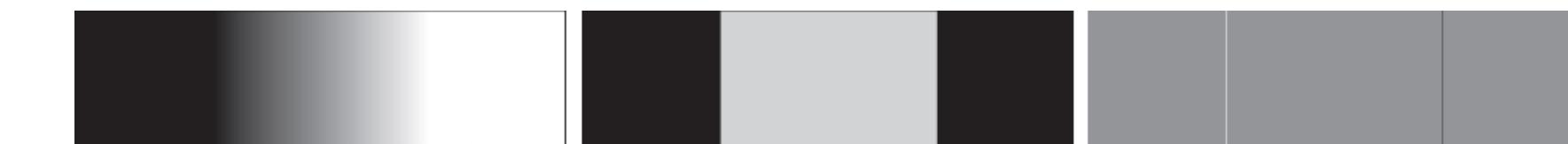


Реальные профили, встречающиеся на практике

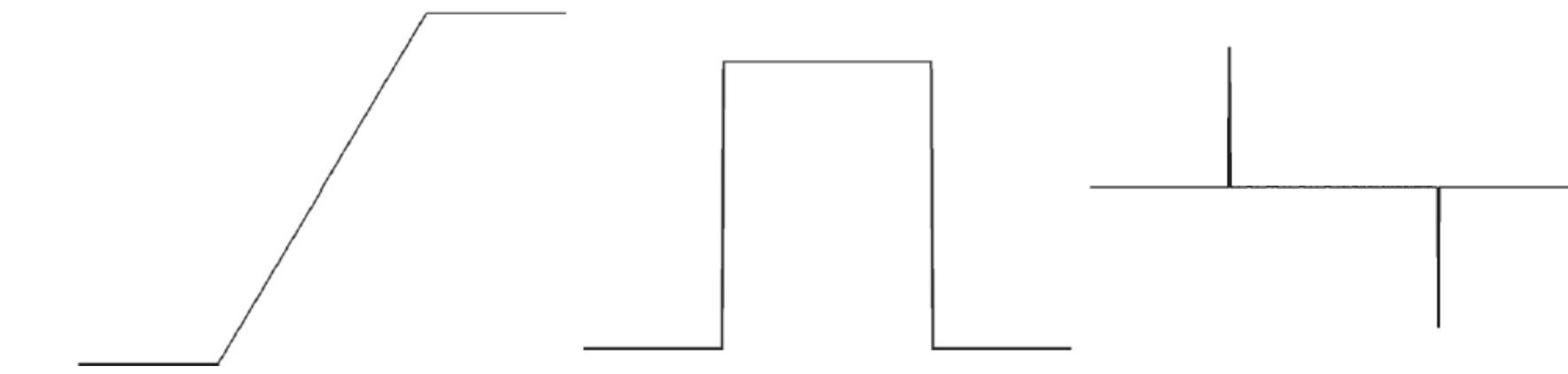
Изображения и профили

яркости с гауссовым
шумом $\sigma=0, 0.1, 10$

Первая производная



Вторая производная



Обнаружение контурных перепадов

Простейшие методы

Окрестность 3×3 и маски, применяемые для вычисления градиента в центральной точке

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1

Маски оператора Превитта

-1	0
0	1

0	-1
1	0

Маски оператора Робертса

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

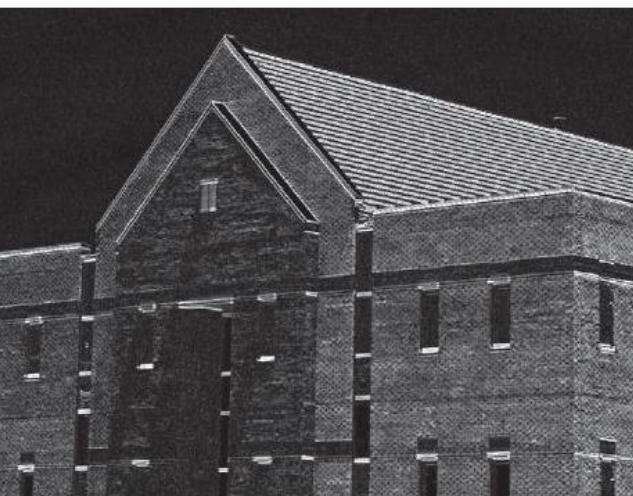
-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

Маски оператора Собела

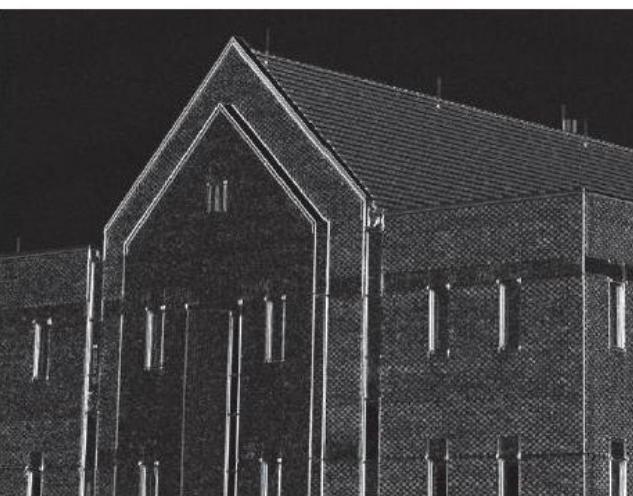
Исходное



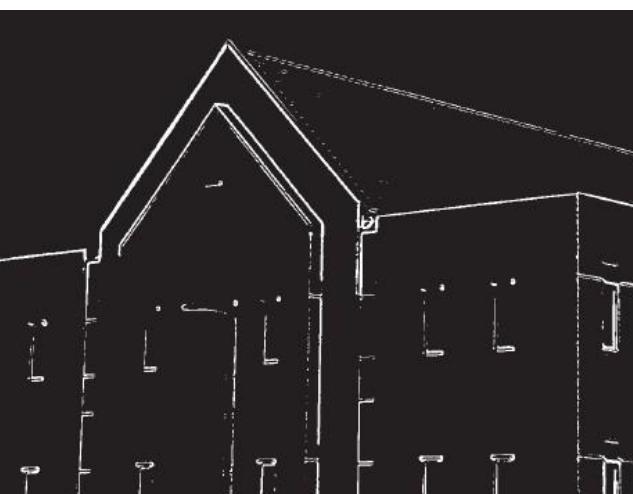
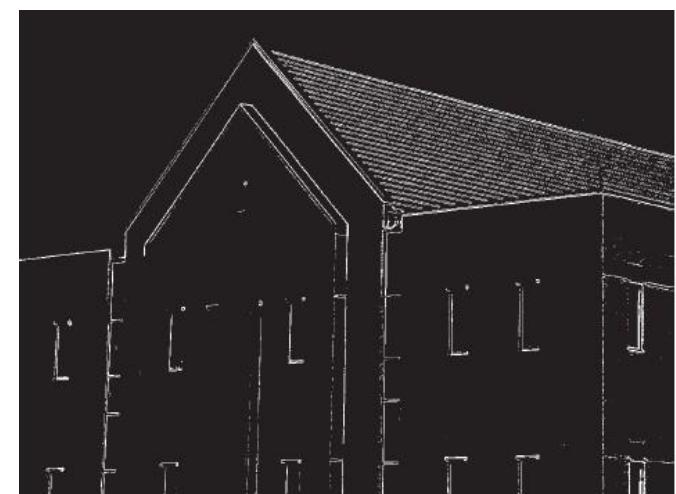
Градиент вдоль X



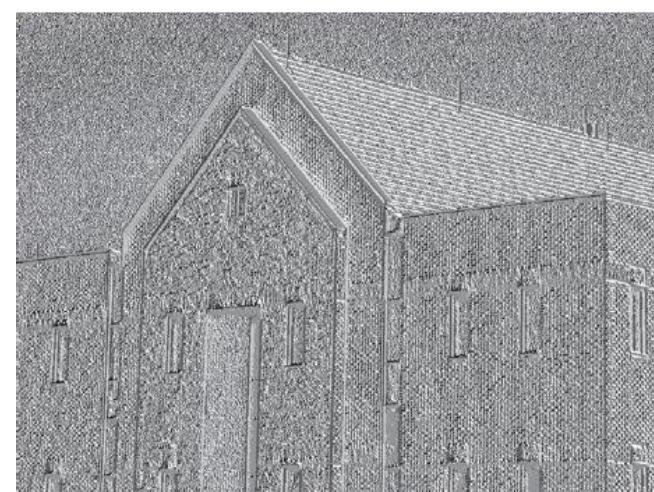
Градиент вдоль Y



Сумма градиентов Пороговая обработка с различными порогами



Угол градиента показывает направление ориентации



Обнаружение контурных перепадов

Детектор контуров Марра-Хилдрета

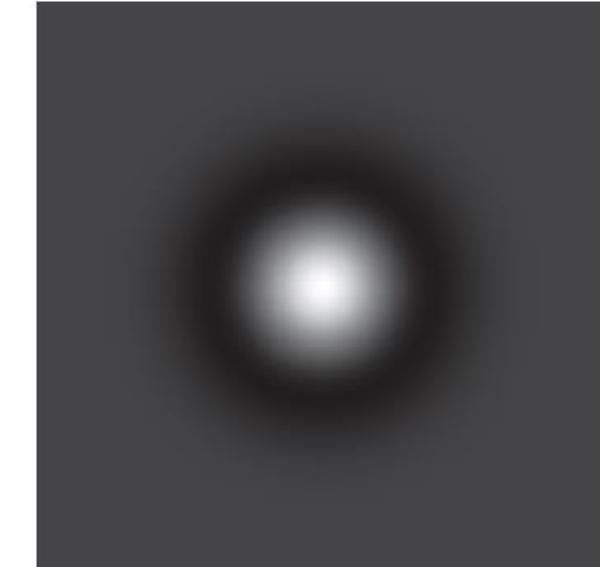
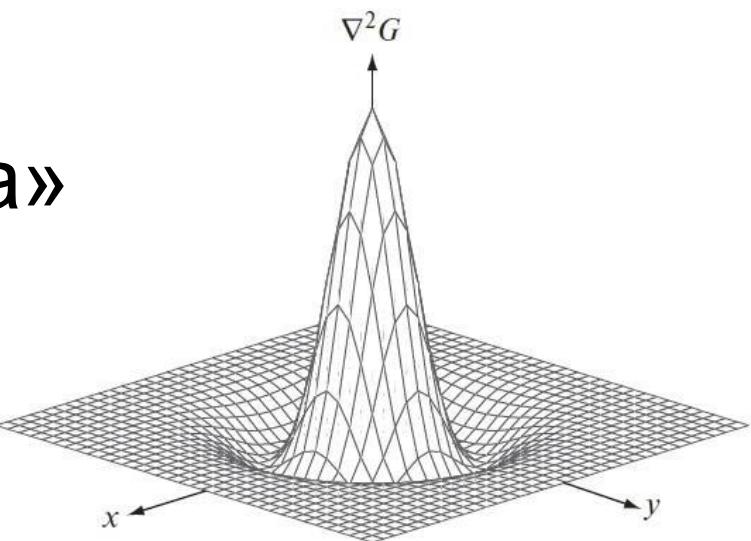
Детектор контуров Марра-Хилдрета:

- Свертка с фильтром «лапласианом гауссиана»

$$\nabla^2 G(x, y) = \left(\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right) e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

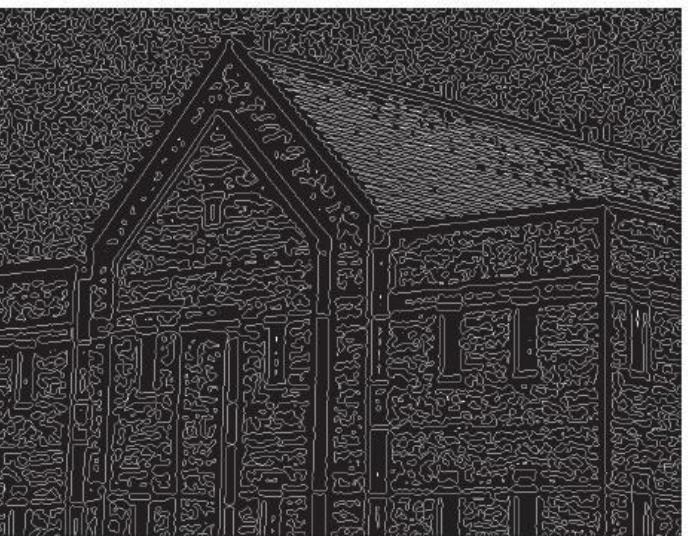
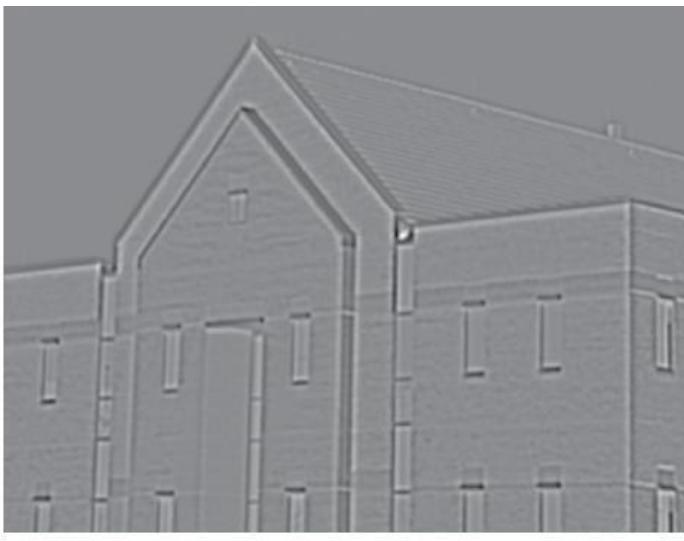
Алгоритм

- Исходное изображение обрабатывается гауссовым фильтром низких частот с размерами $n \times n$,
- Вычисляется лапласиан полученного изображения, используя маску 3×3 ,
- На полученном изображении находятся точки пересечения нулевого уровня



0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0

Шаг 1 и 2 алгоритма
с $\sigma=4$ и $n=25$



Порог 0

Порог 4%

Обнаружение контурных перепадов

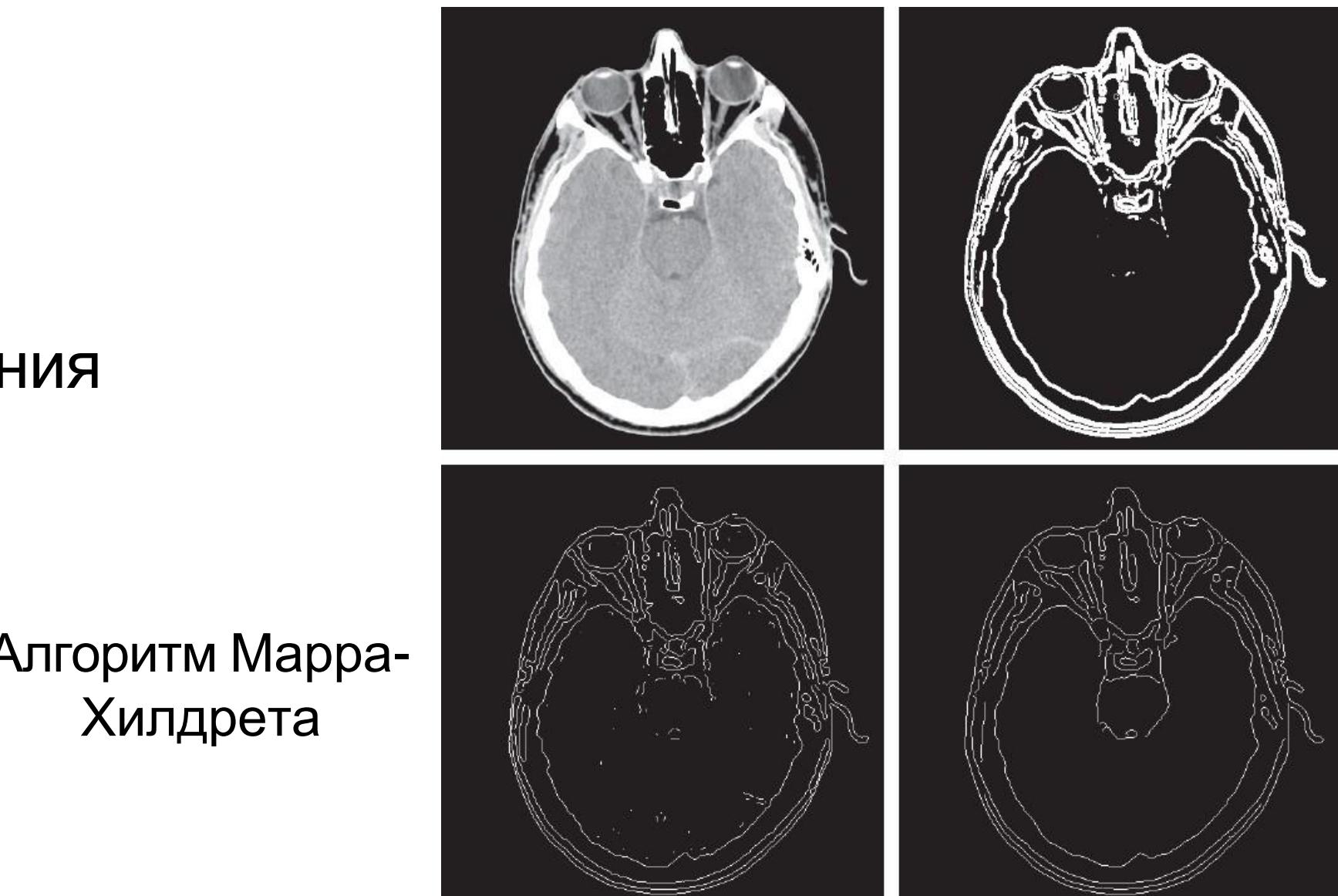
Детектор контуров Кэнни

Алгоритм детектора контуров Кэнни:

- Сгладить исходное изображение гауссовым фильтром
- Сформировать изображения модуля и направления градиента
- Применить подавление немаксимальных точек к изображению модуля градиента
- Выполнить преобразование с двойным порогом и анализ связности для обнаружения и связывания контуров

Пороговая обработка градиента Алгоритм Марра-
сглаженного изображения Хилдрета

Алгоритм
Кэнни



Алгоритм Марра-
Хилдрета

Пороговая
обработка
градиента
сглаженного
изображения

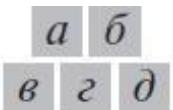
Алгоритм
Кэнни

Связывание контуров

Глобальный анализ Хафа

Алгоритм:

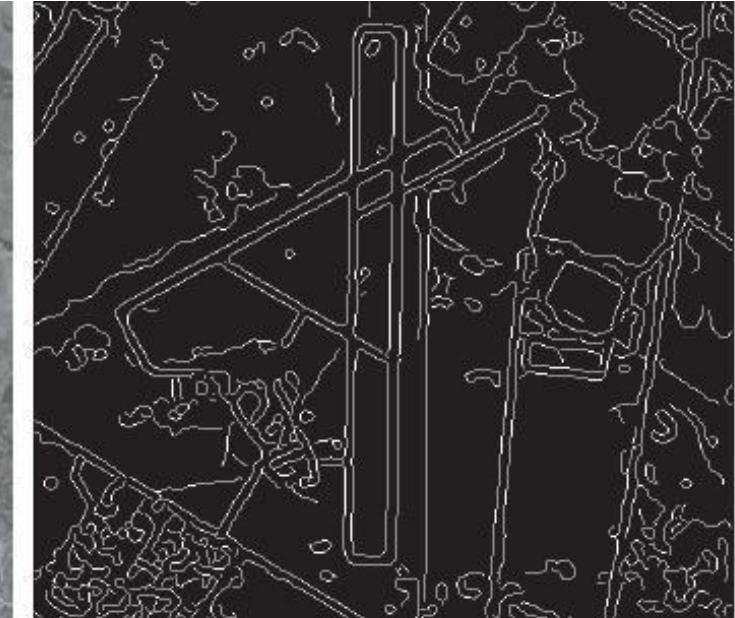
- Формируется двоичное изображение контуров
- Выполняется разбиение пространства параметров $\rho\theta$ на ячейки накопления
- Для всех ненулевых пикселей двоичного изображения, полученного в п. 1, находятся образы в пространстве параметров $\rho\theta$ и осуществляется процедура накопления
- Анализируются накопленные значения и отыскиваются ячейки с наибольшей концентрацией точек
- Исследуются отношения между пикелями изображения, отвечающими выбранным ячейкам накопления



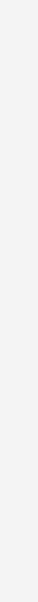
Аэрофотоснимок аэропорта



Контурное изображение



Пространство параметров Хафа



Линии в плоскости изображения, соответствующие выделенным прямоугольникам



Те же линии на исходном изображении

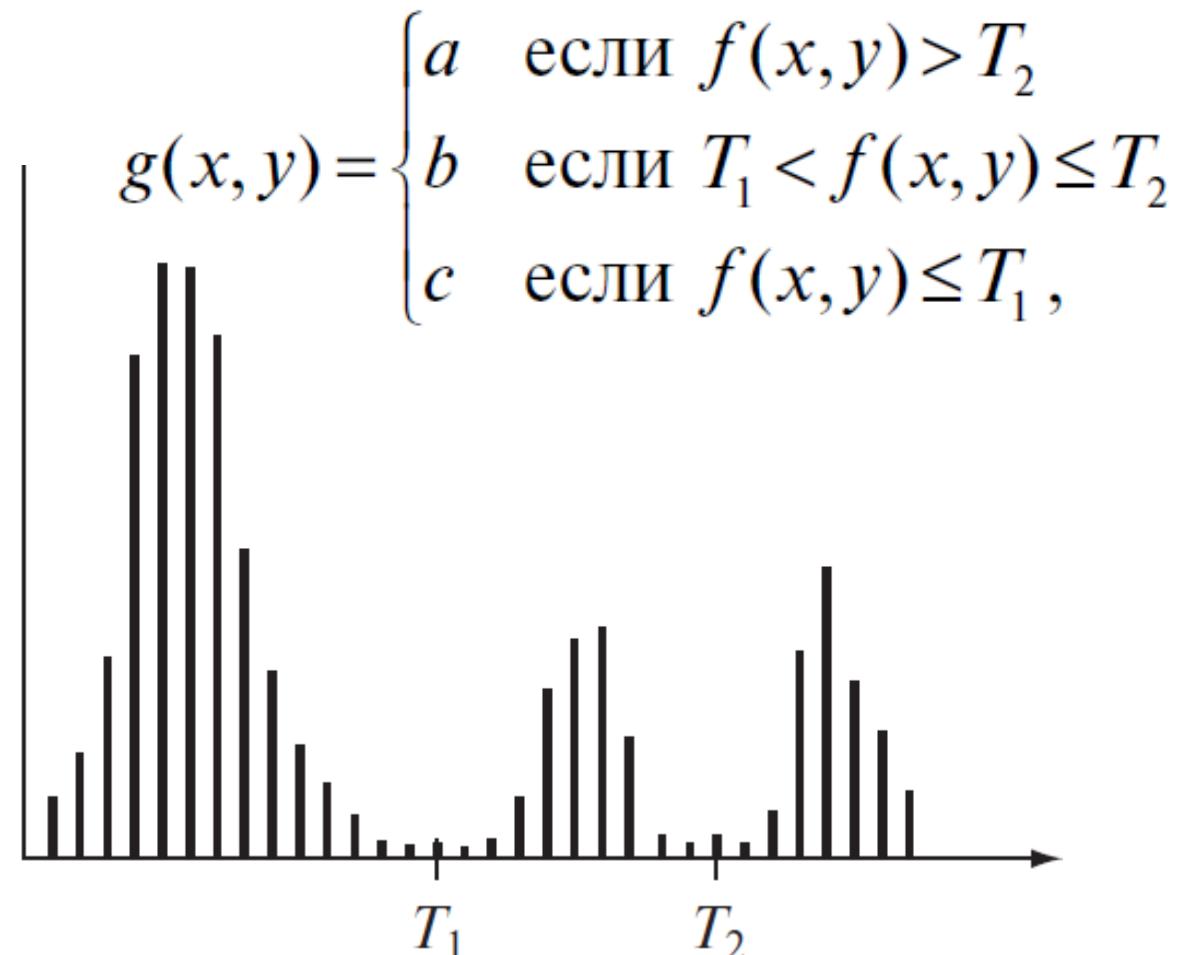
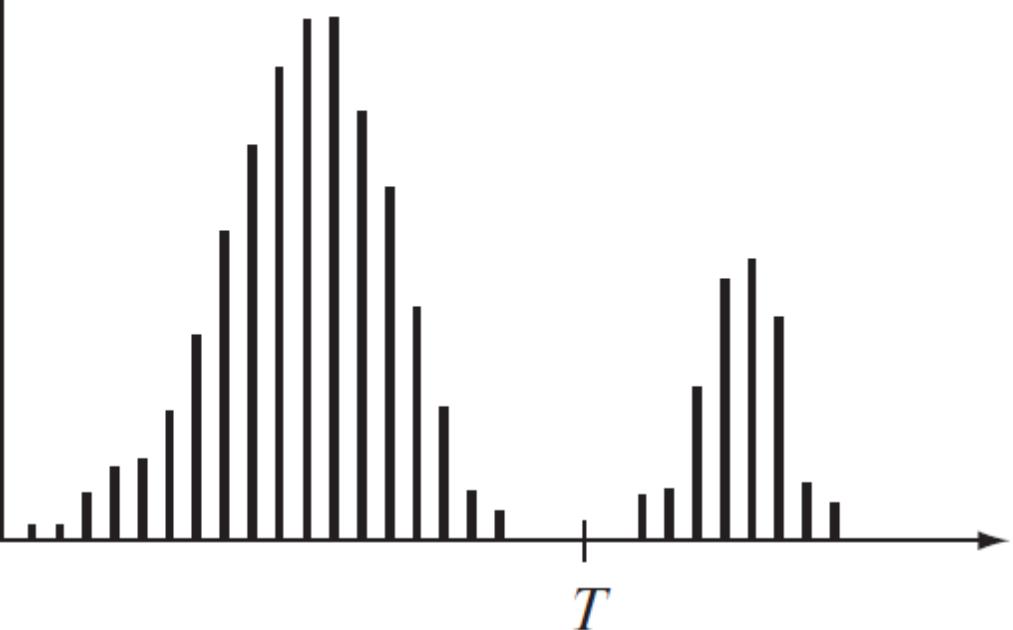
Пороговая обработка

Обоснование

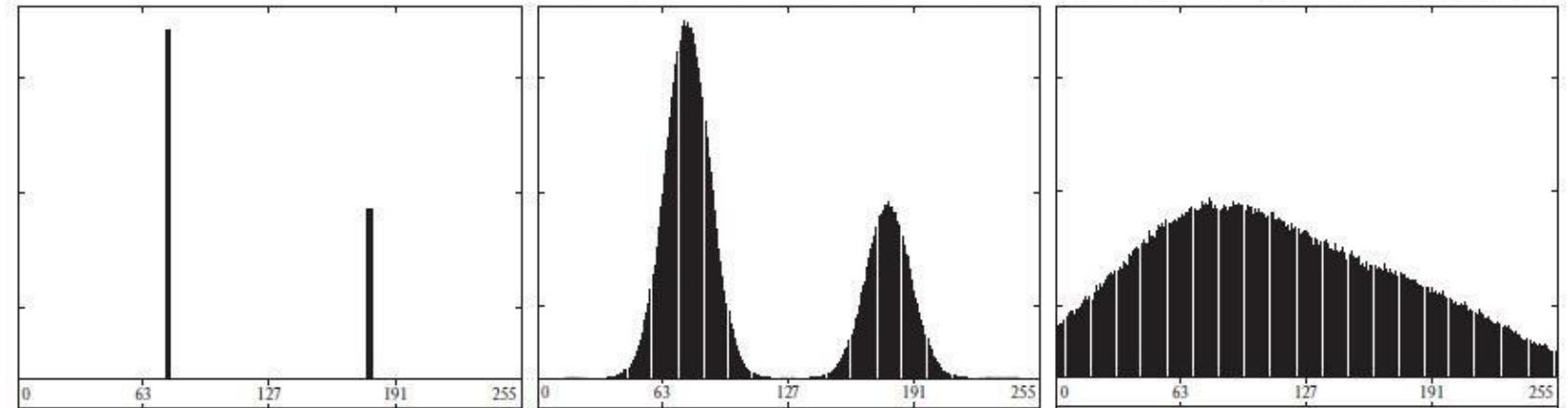
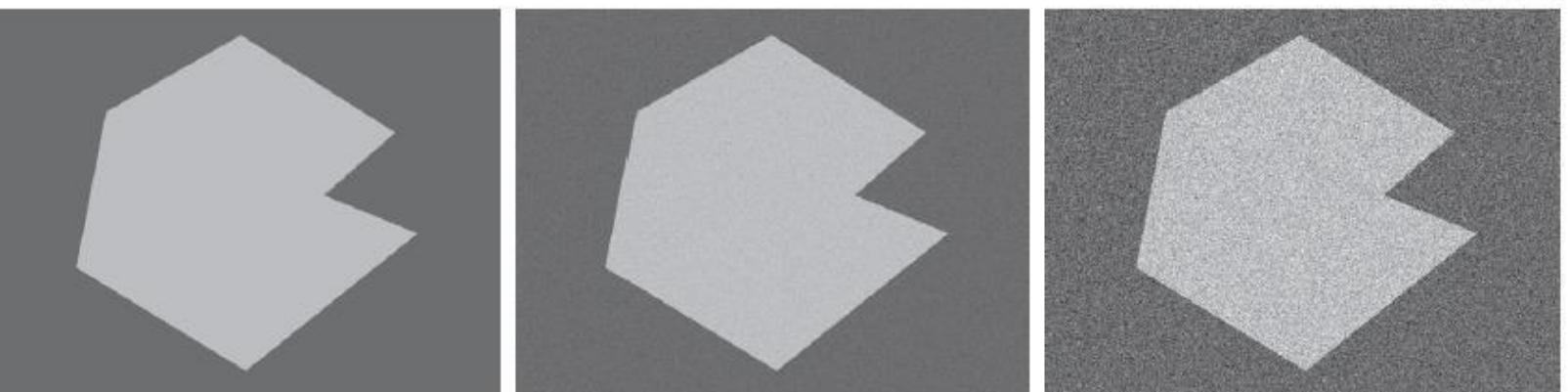
Результат порогового преобразования связан с:

- Расстоянием между пиками гистограммы
- Уровень шума в изображении
- Соотношение размеров объектов и области фона
- Равномерность освещения
- Однородность коэффициента отражения объектов и фона

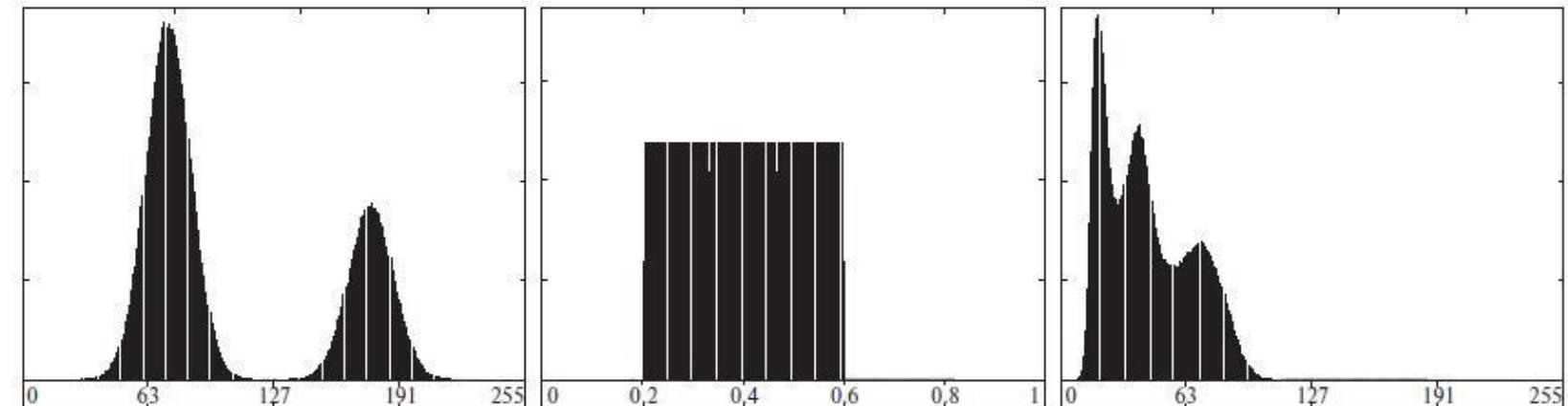
$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{если } f(x,y) > T \\ 0, & \text{если } f(x,y) \leq T \end{cases}$$



Влияние шума



Влияние освещения



Пороговая обработка

Глобальный порог

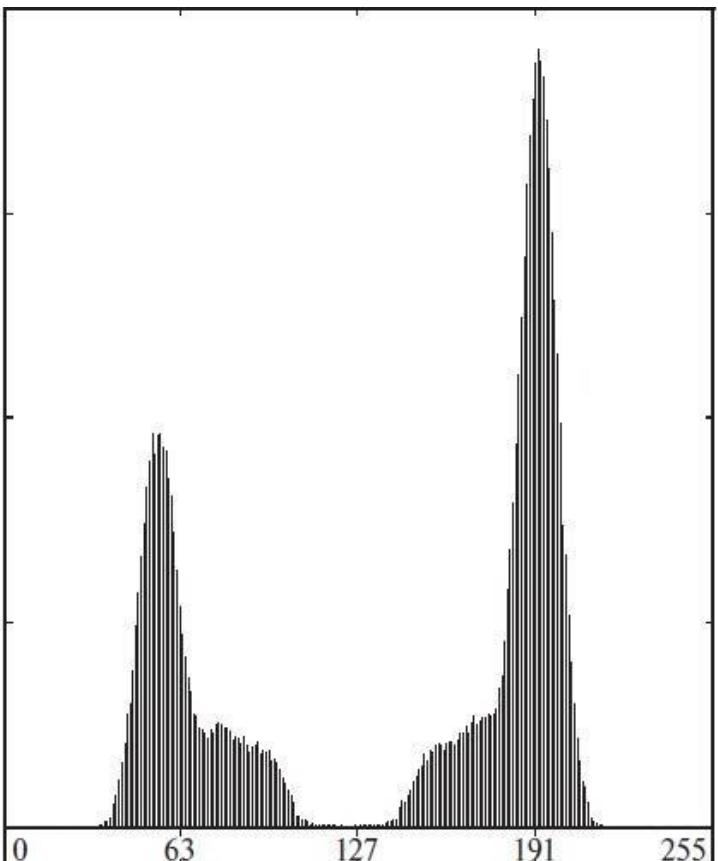
Итерационный алгоритм:

- Выбирается некоторая начальная оценка значения порога T
- Сегментация изображения согласно с помощью порога T с получением двух групп пикселей
- Вычисляются значения m_1 и m_2 средних яркостей пикселей по группам
- Вычисляется новое значение порога как среднее m_1 и m_2
- Повторяются шаги со 2-го по 4-й до тех пор, пока разница значений T при соседних итерациях не окажется меньше значения наперед заданного параметра ΔT .

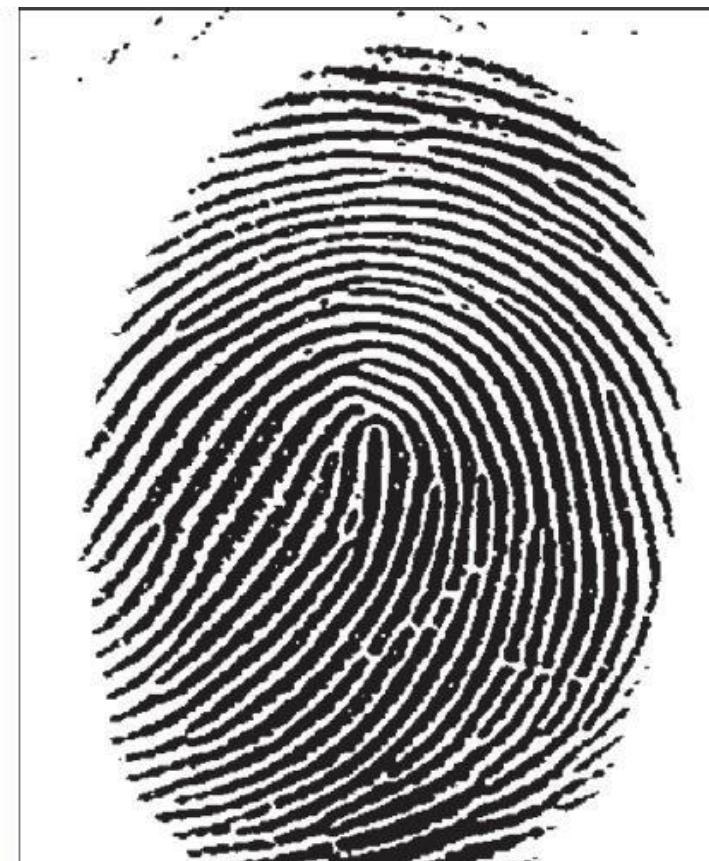
Зашумленное изображение отпечатка пальца



Гистограмма изображения



Результат сегментации с порогом, полученным итерационно



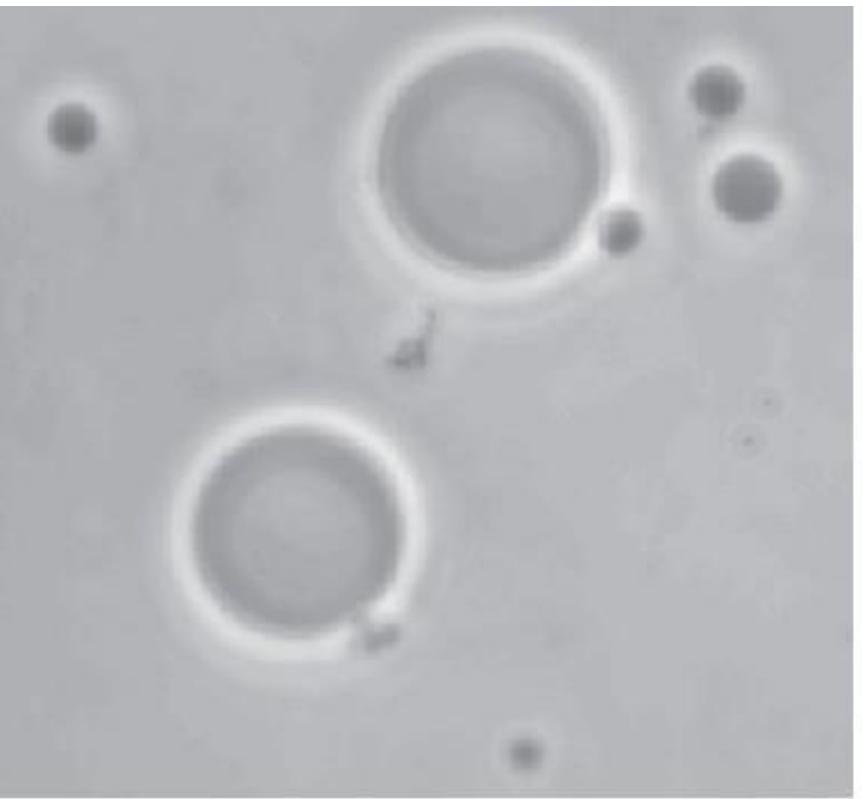
Пороговая обработка

Метод Оцу поиска оптимального порога

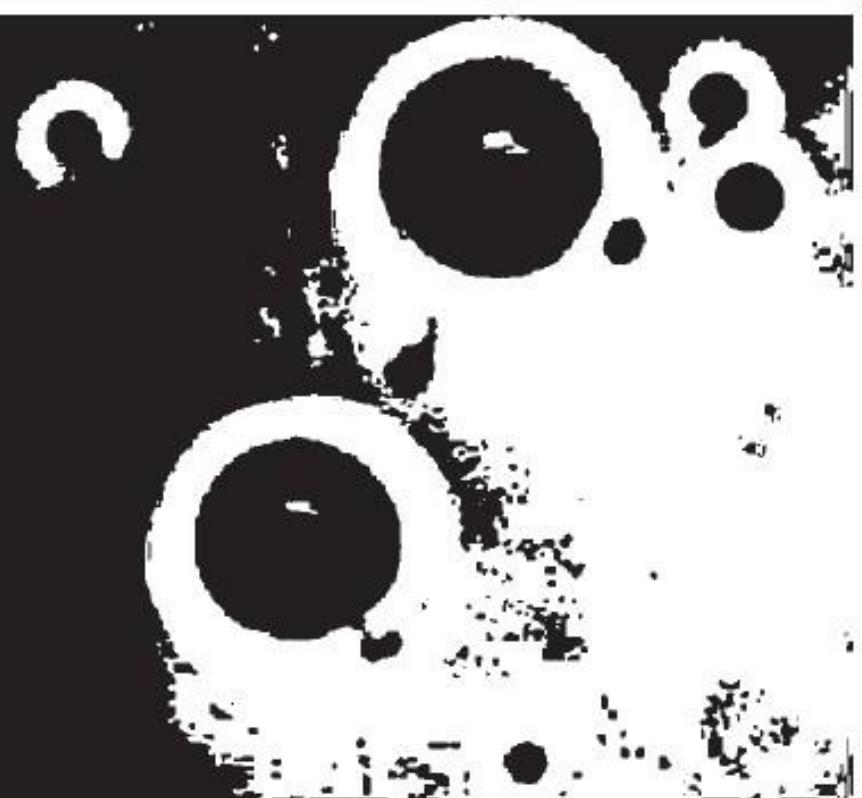
Алгоритм Оцу:

- Вычислить нормированную гистограмму исходного изображения
- Вычислить накопленные суммы вероятности отнесения пикселя к классу
- Вычислить накопленные суммы для средних значений интенсивностей пикселей разных классов
- Вычислить глобальную среднюю яркость
- Вычислить межклассовую дисперсию
- Получить порог Оцу — такое значение, при котором величина межклассовой дисперсии максимальна
- Оценить показатель разделимости классов при заданном значении порога Оцу

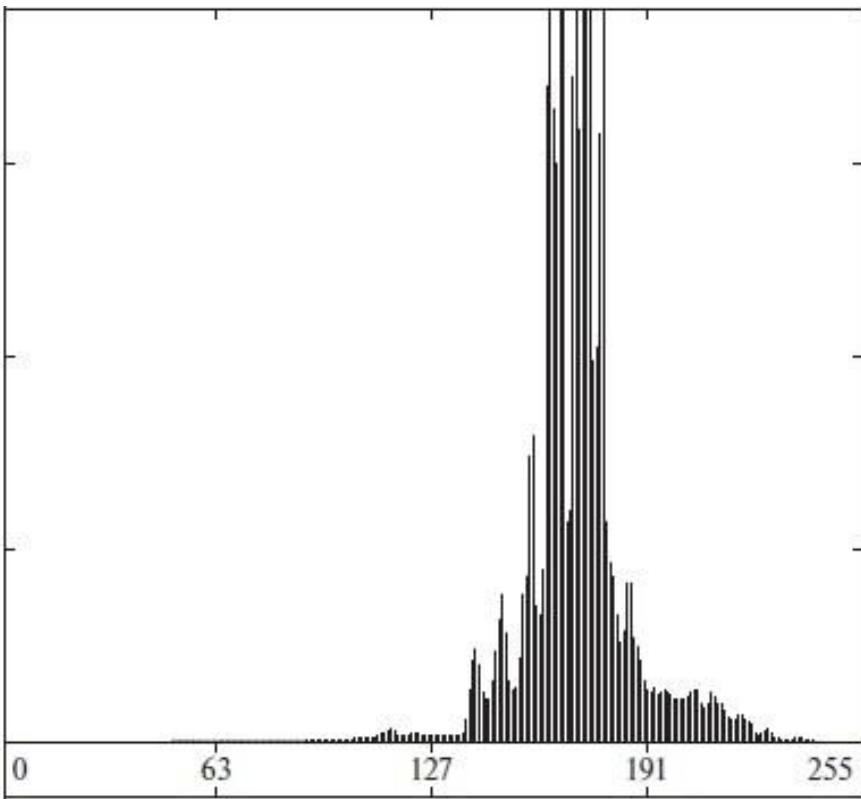
Исходное



Гистограмма



Применение глобального порога

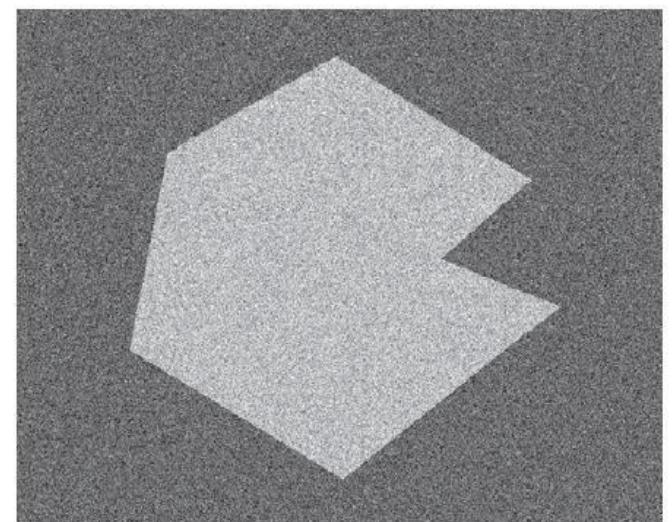


Применение порога Оцу

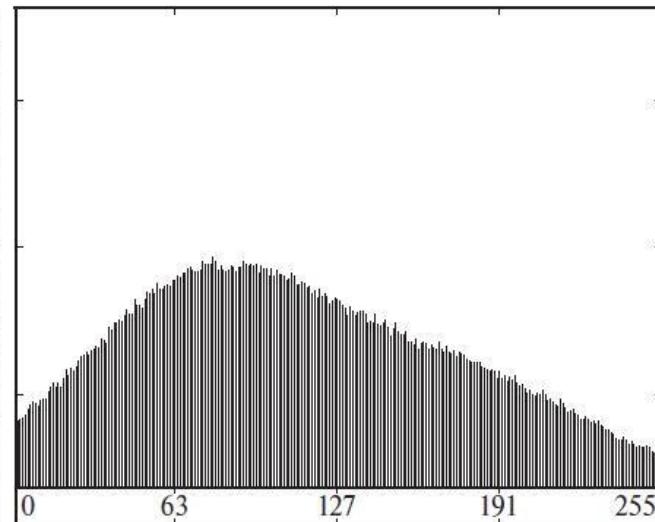
Пороговая обработка

Предварительное сглаживание

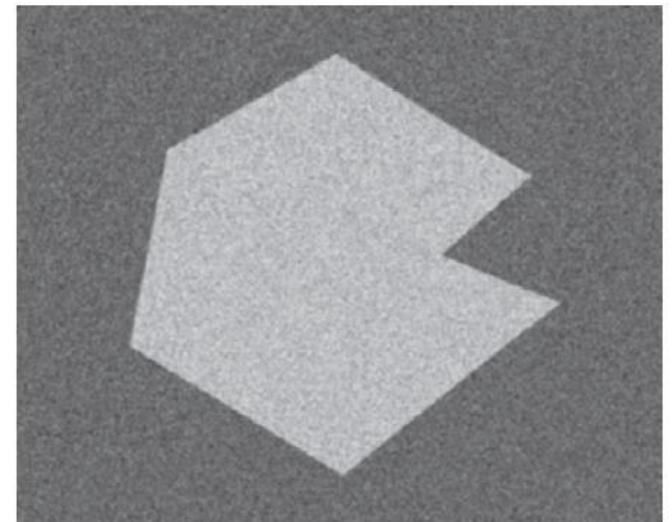
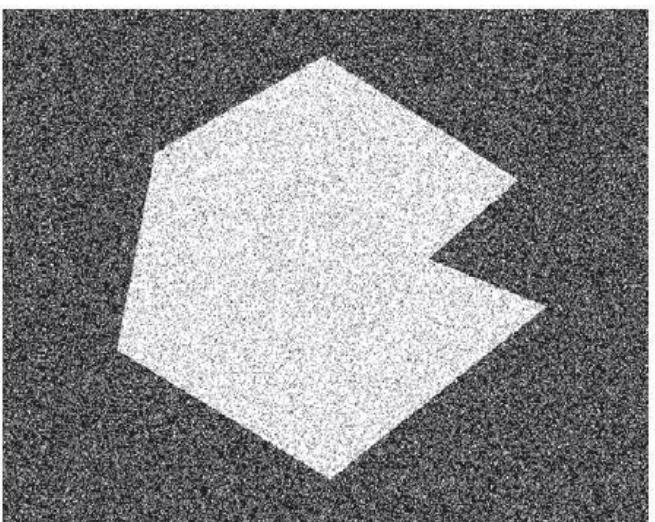
Зашумленное изображение



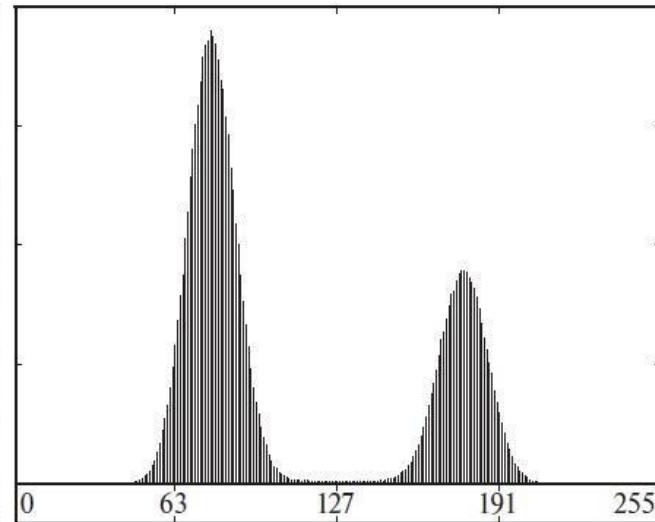
Гистограмма



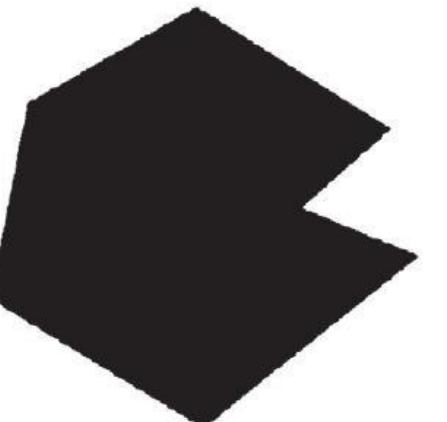
Сегментация методом Оцу



После сглаживания

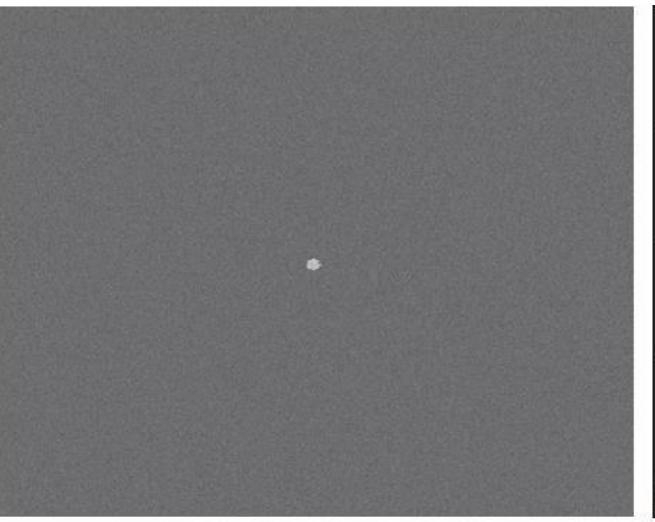


Гистограмма

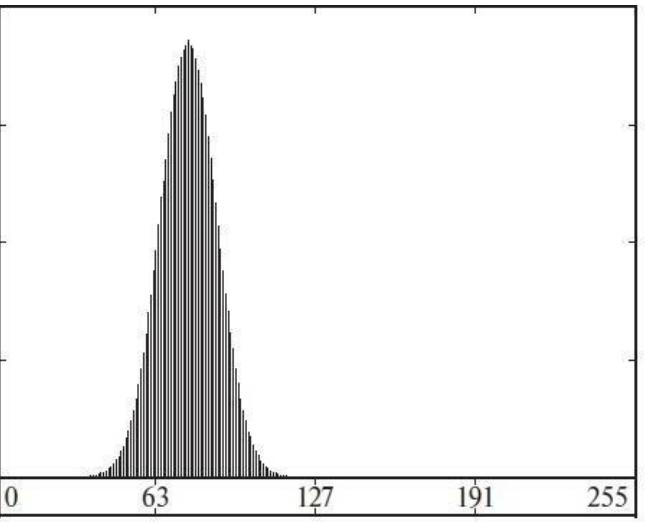


Сегментация методом Оцу

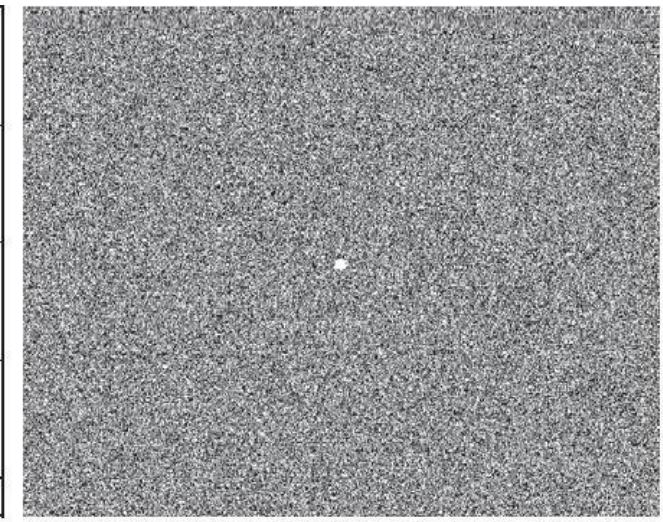
Уменьшенный объект



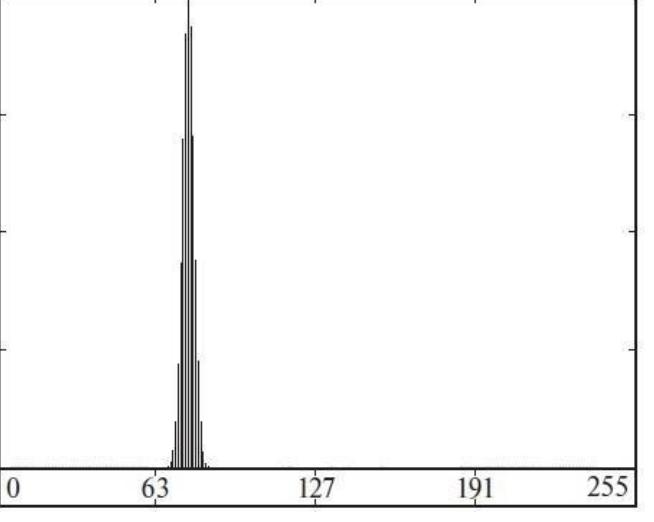
Гистограмма



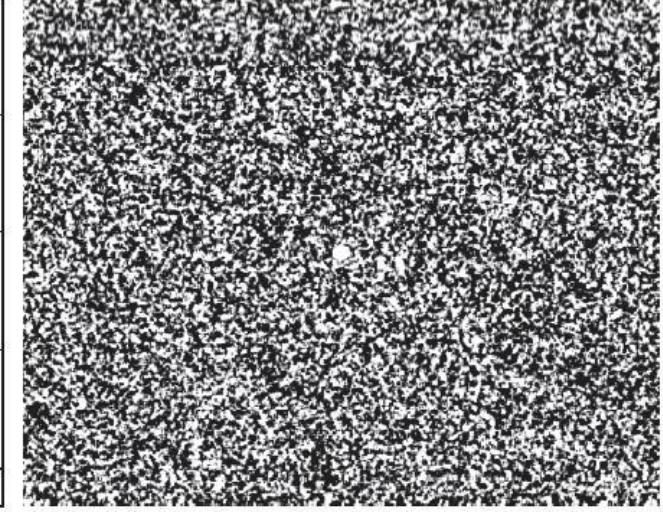
Сегментация методом Оцу



После сглаживания



Гистограмма



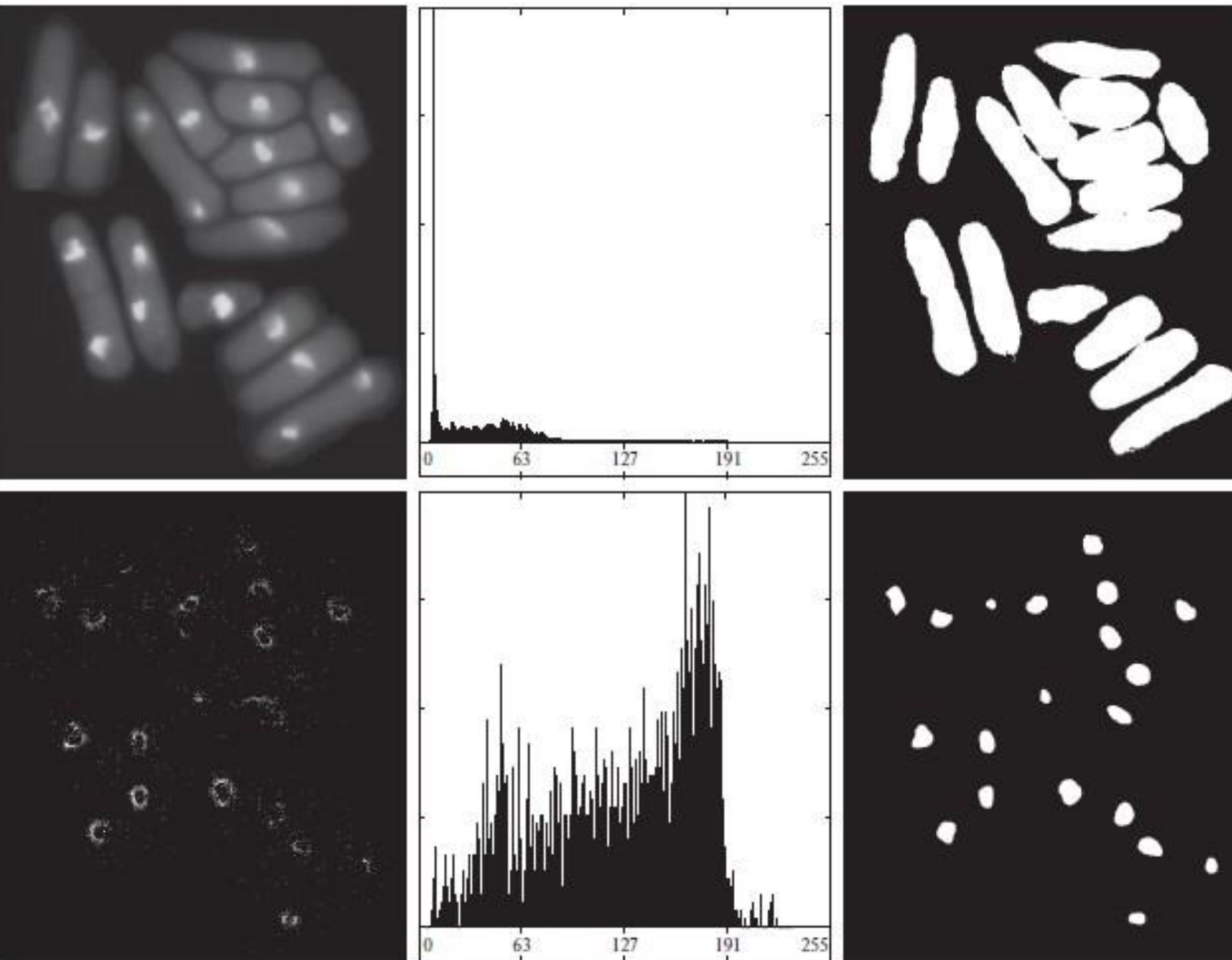
Сегментация методом Оцу

Пороговая обработка

Предварительное выделение контура

Алгоритм обработки:

- По исходному изображению $f(x, y)$ вычислить изображение контуров
- Задать значение порога T
- Преобразовать изображение, полученное на шаге 1, по порогу, заданному на шаге 2, в двоичное изображение $g_T(x, y)$.
- Вычислить гистограмму по тем пикселям $f(x, y)$, которые соответствуют единицам в изображении $g_T(x, y)$.
- С помощью полученной гистограммы выполнить глобальную сегментацию



Пороговая обработка

Обработка с несколькими порогами

Метод пороговой обработки допускает обобщение на произвольное число порогов:

- В случае К классов C_1, \dots, C_k межклассовая дисперсия

$$\sigma_B^2 = \sum_{k=1}^K P_k (m_k - m_G)^2$$
$$P_k = \sum_{i \in C_k} p_i,$$
$$m_k = \frac{1}{P_k} \sum_{i \in C_k} i p_i$$

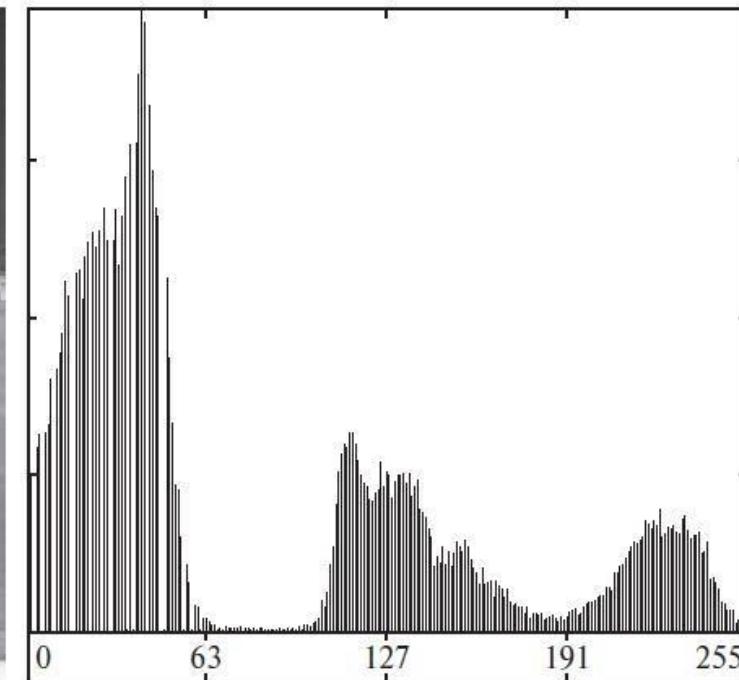
- К классов разделяются $K-1$ порогом, значения которых максимизируют величину

$$g(x, y) = \begin{cases} a & \text{если } f(x, y) \leq k_1^* \\ b & \text{если } k_1^* < f(x, y) \leq k_2^* \\ c & \text{если } f(x, y) > k_2^*, \end{cases}$$

Изображение айсберга



Гистограмма



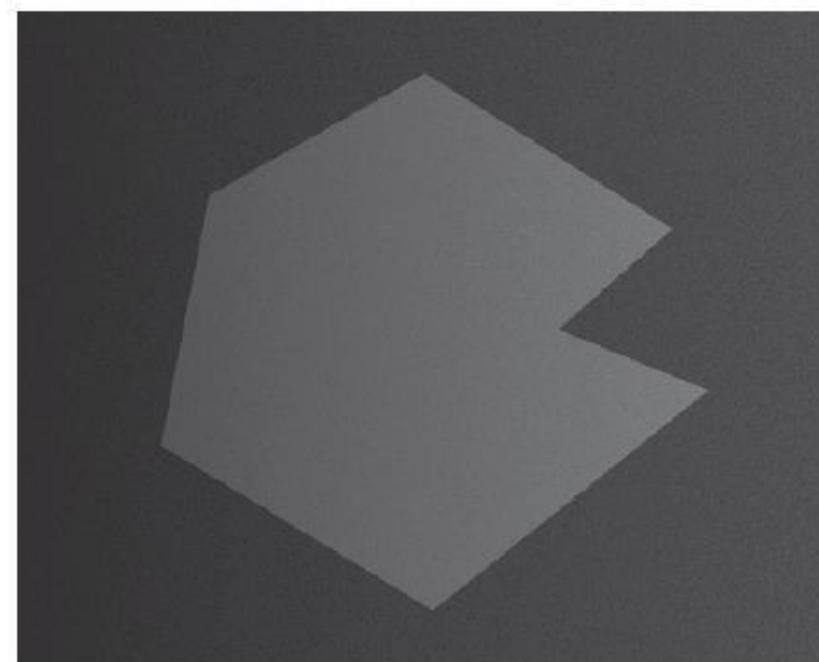
Сегментации на 3 области
двойным глобальным
порогом по методу Оцу



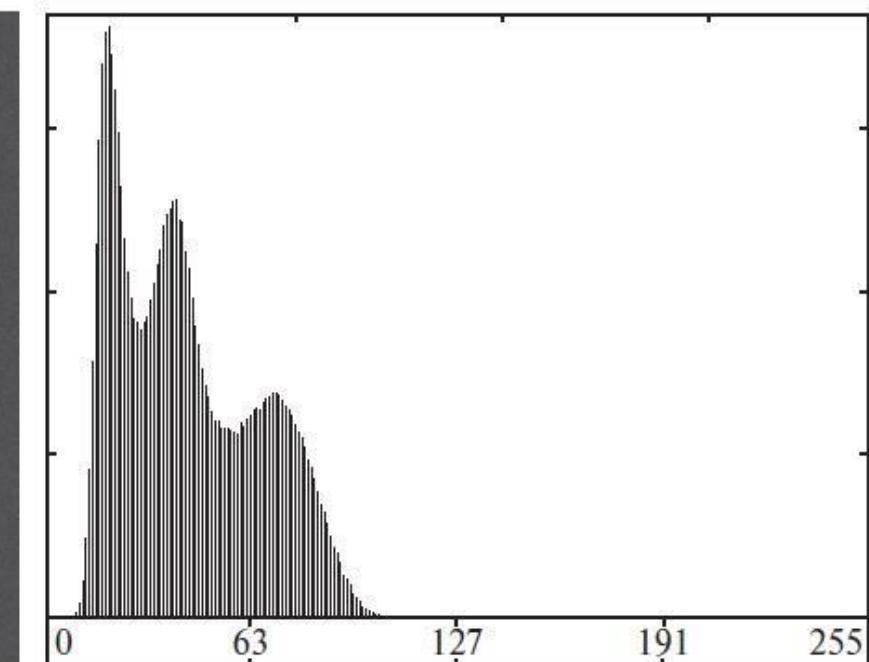
Обработка с переменным порогом

Разбиение изображения

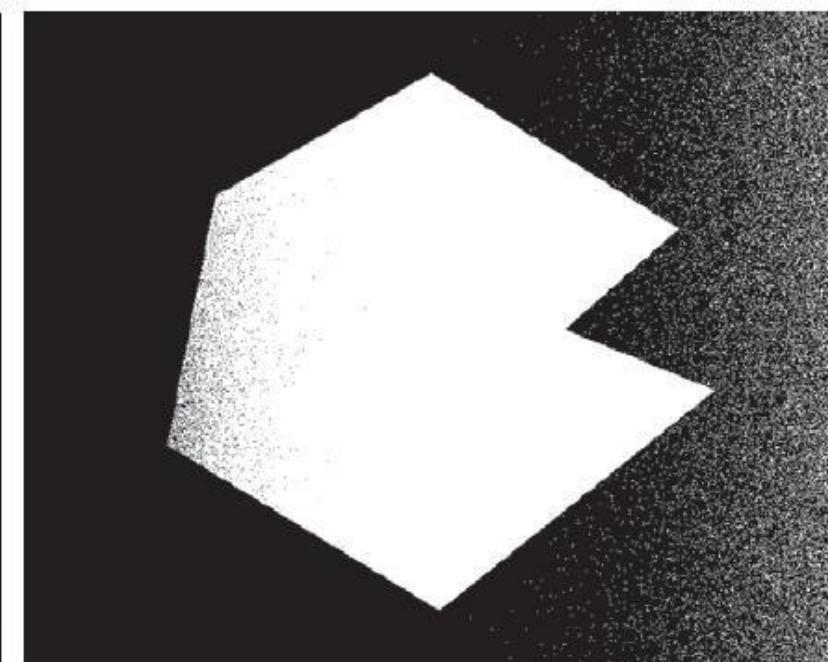
Зашумленное изображение
с неравномерным
освещением



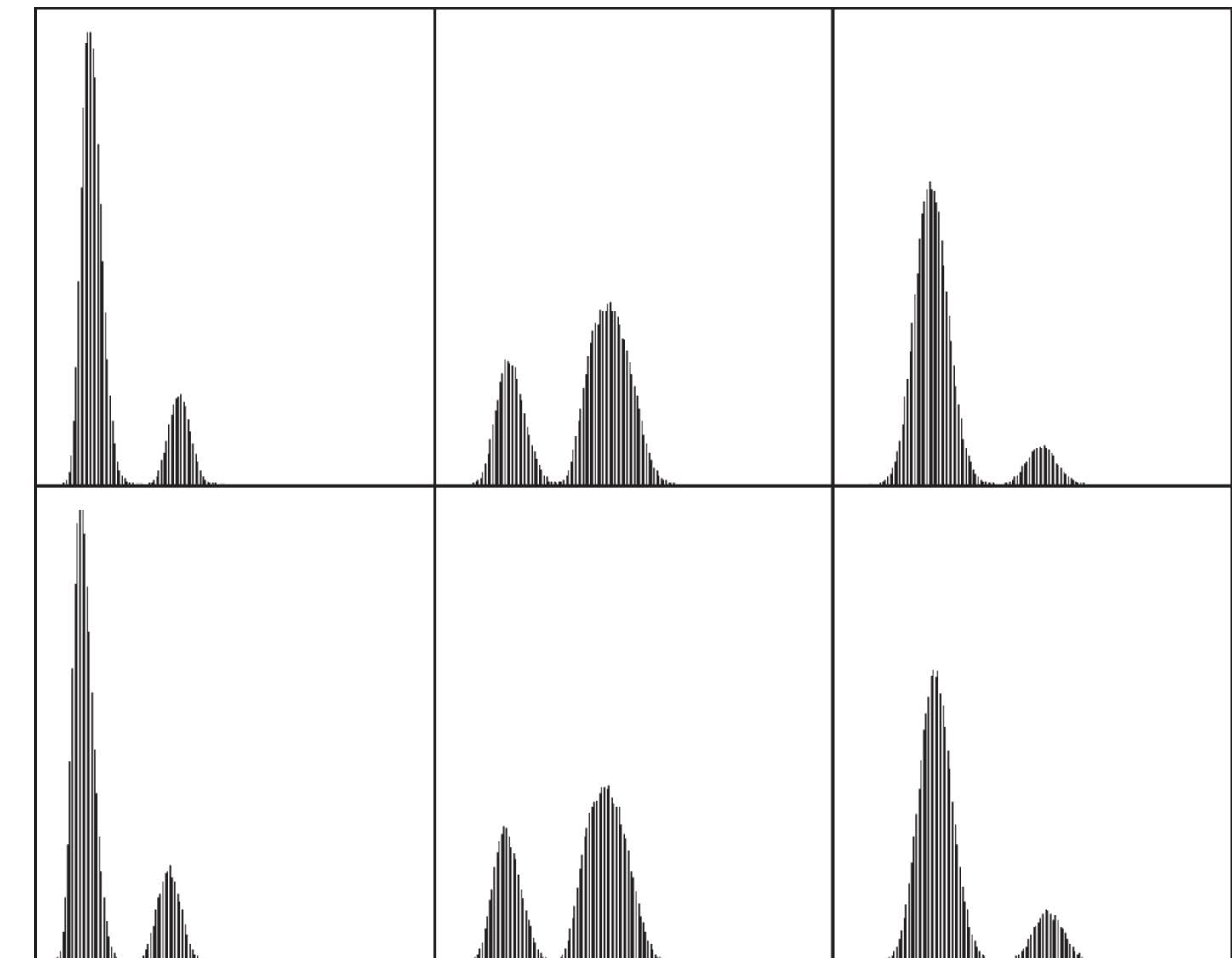
Гистограмма



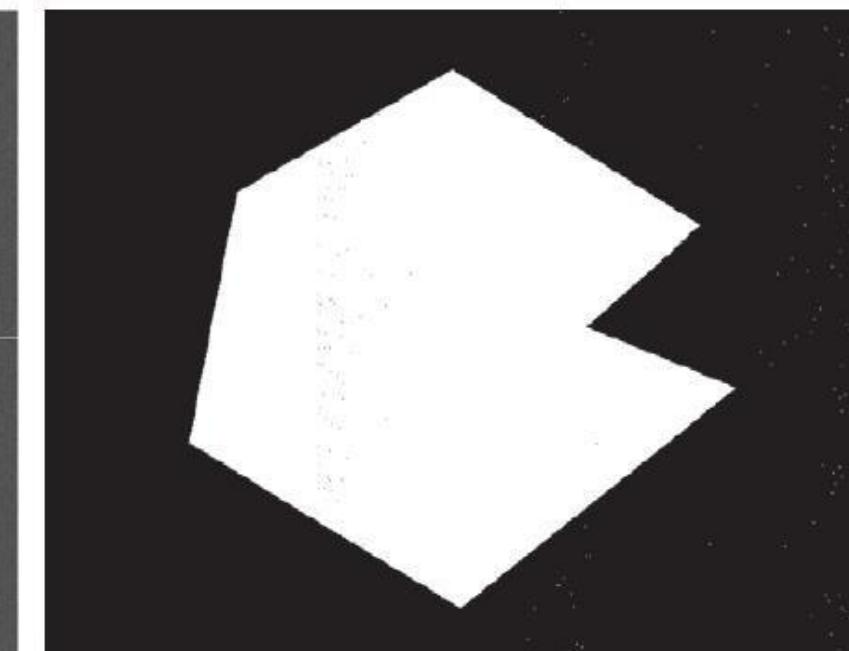
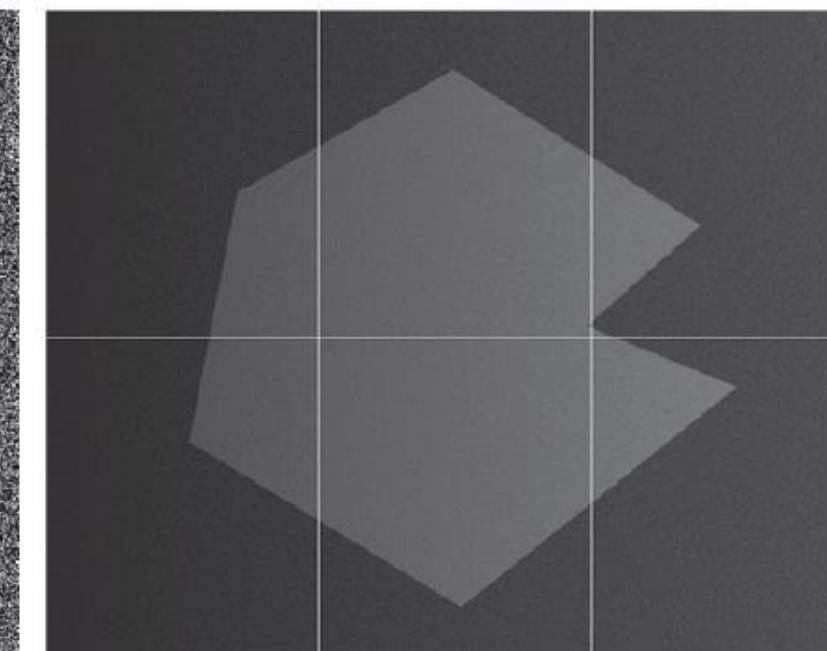
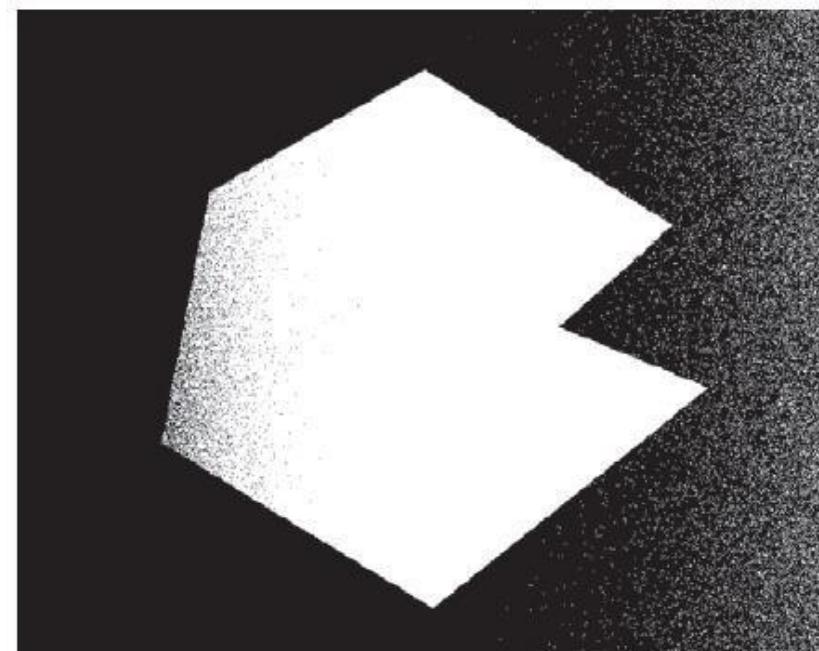
Сегментации с помощью
итерационного
глобального алгоритма



Гистограммы для шести областей



Метод Оцу



Разбиение на 6 областей

Метод Оцу отдельно для
каждой области

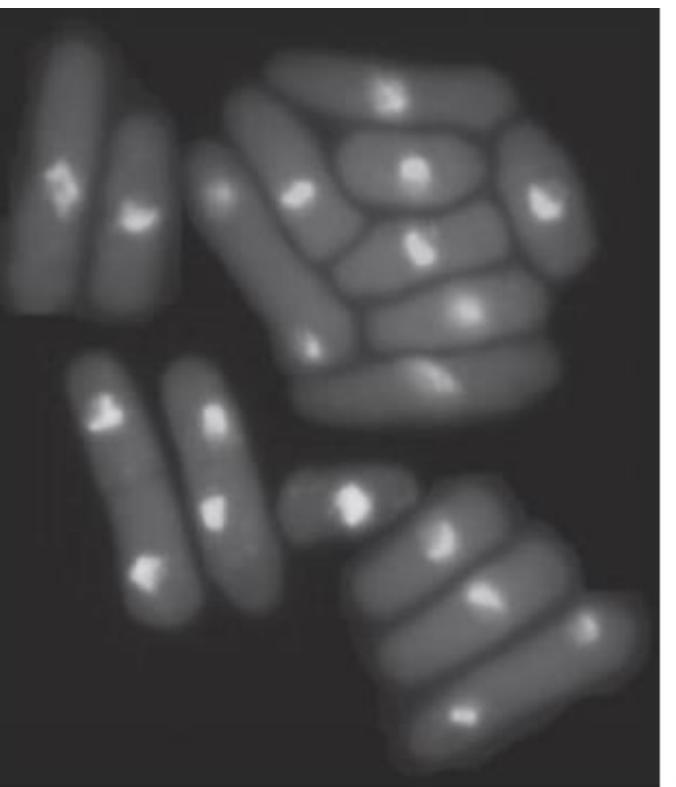
Обработка с переменным порогом

Использование локальных свойств

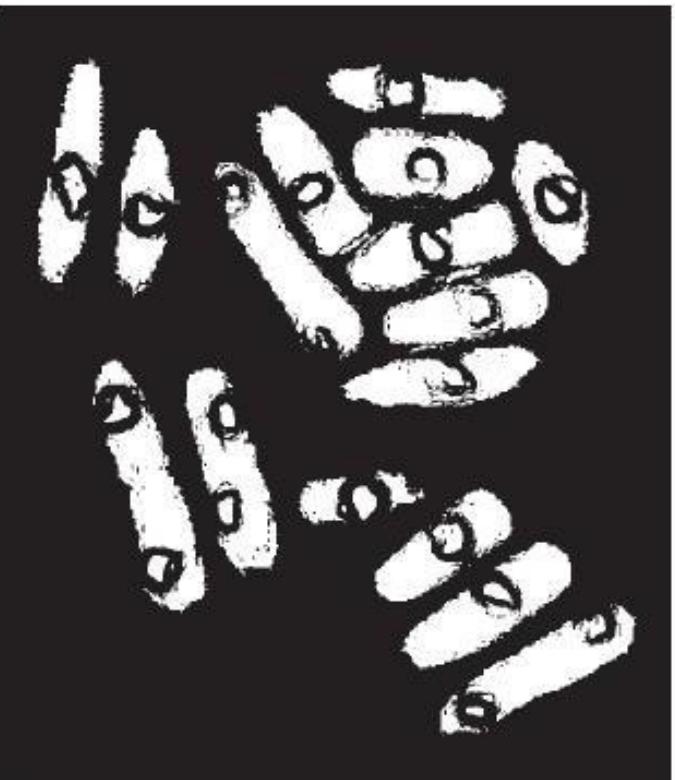
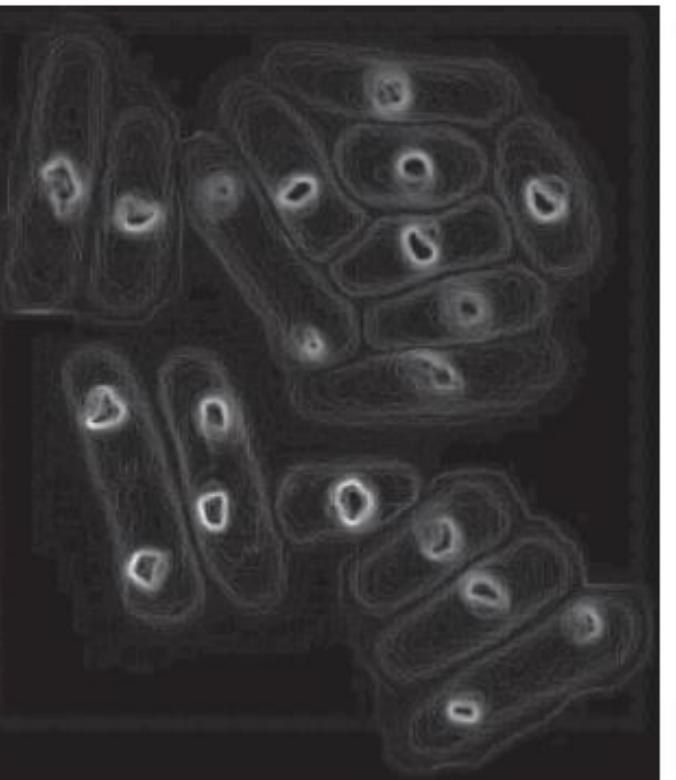
Вычисление порога для каждой точки на основании характеристик, рассчитанных по окрестности этой точки:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{если } Q(\text{локальные параметры}) = \text{TRUE} \\ 0 & \text{если } Q(\text{локальные параметры}) = \text{FALSE} \end{cases}$$

Исходное



Сегментации с помощью метода с двойным порогом



Изображение локальных стандартных отклонений
Локальная пороговая обработка

Обработка с переменным порогом

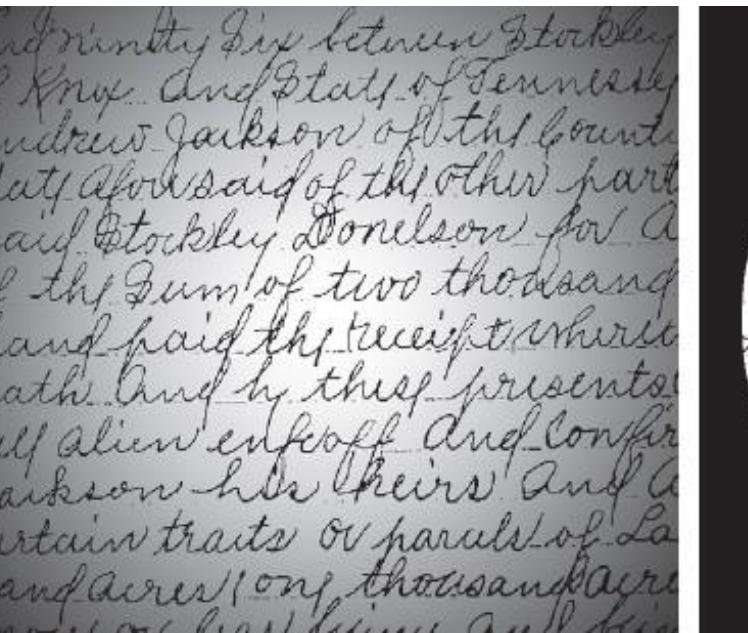
Использование скользящего среднего

Особый случай локальной пороговой обработки:

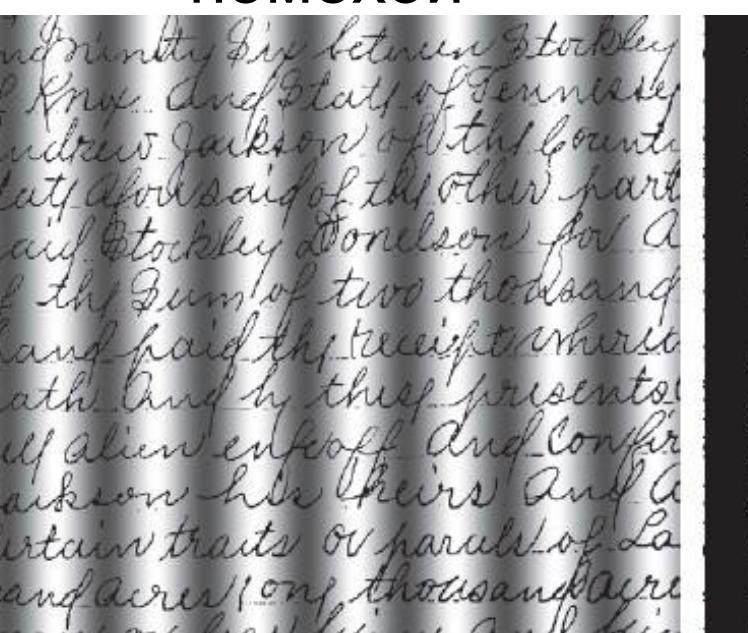
- Вычисление скользящего среднего значения при обходе изображения вдоль строк
- Применение для обработки документов, изображения которых получены при неравномерном освещении
- Вычисление значения яркости:

$$m(k+1) = \frac{1}{n} \sum_{i=k+2-n}^{k+1} z_i = m(k) + \frac{1}{n} (z_{k+1} - z_{k-n+1})$$

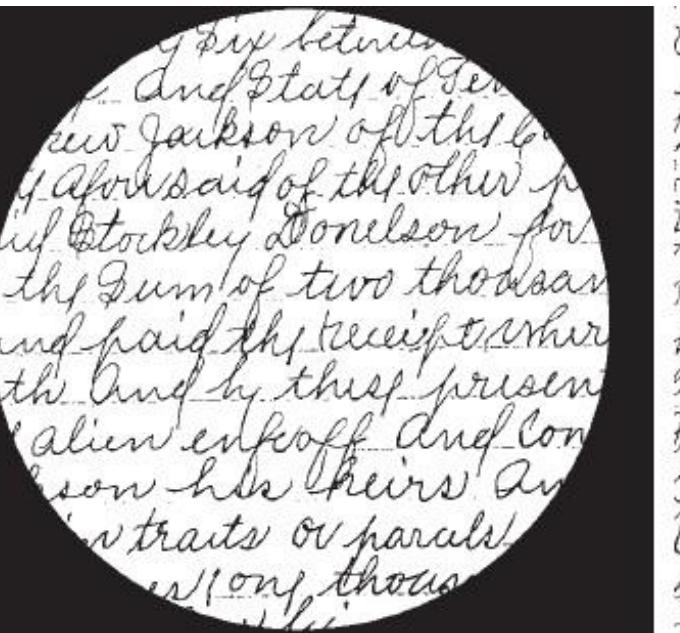
Текст, освещенный точечным источником



Текст, с синусоидальной помехой



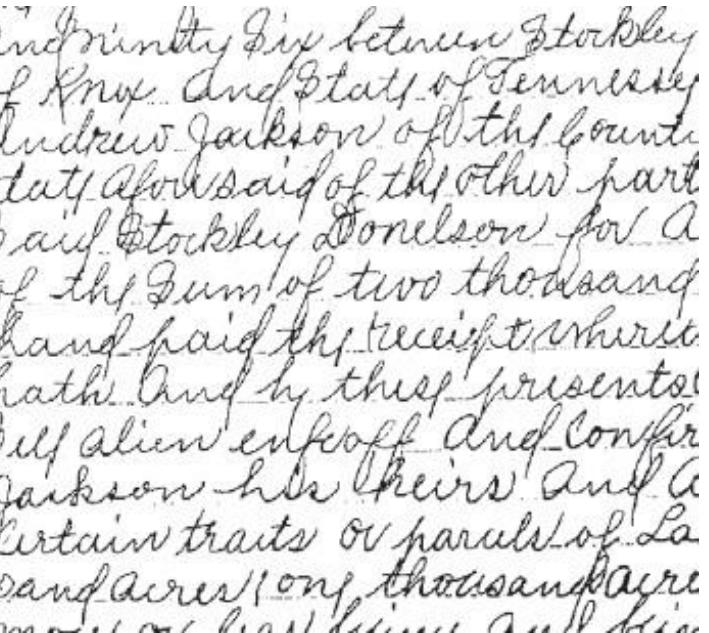
Глобальный метод
Оцу



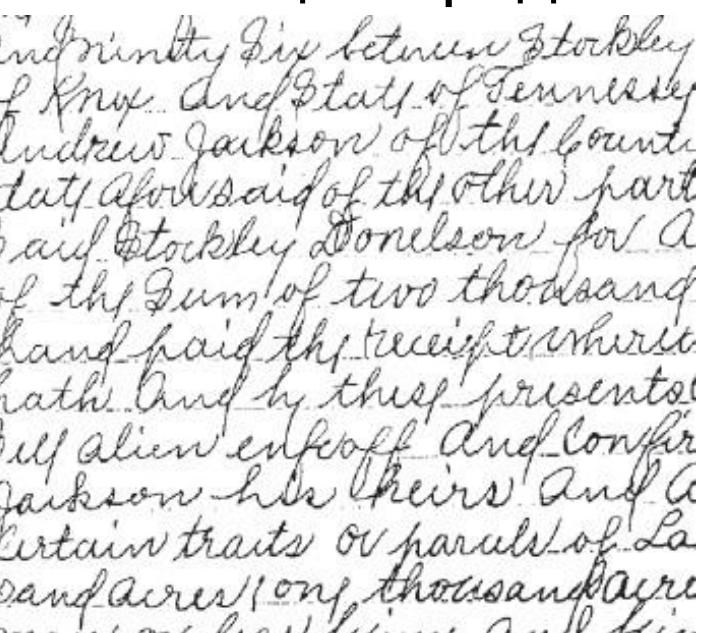
Глобальный метод
Оцу



Локальная пороговая обработка со скользящим среднем



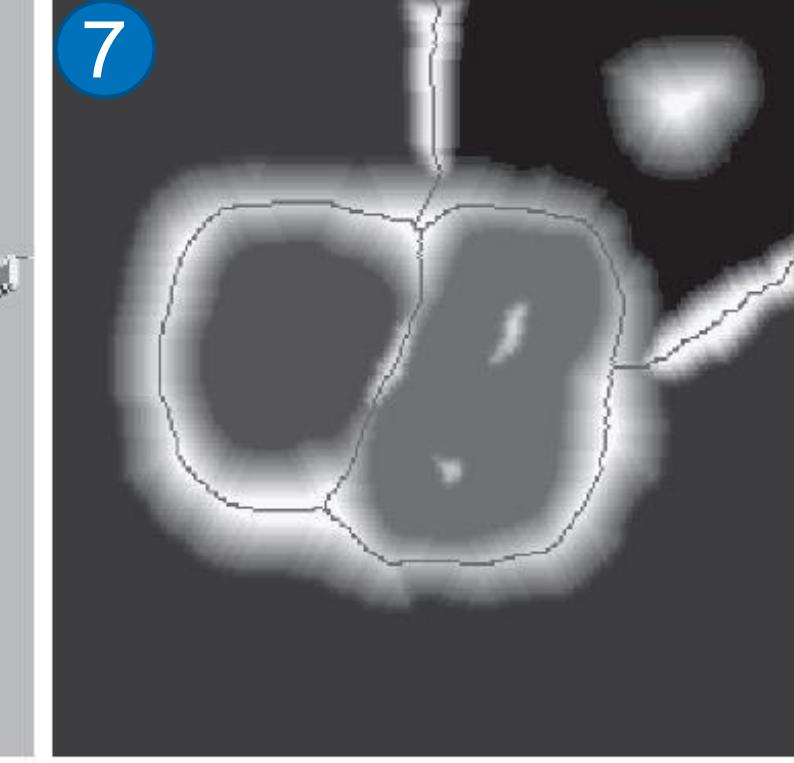
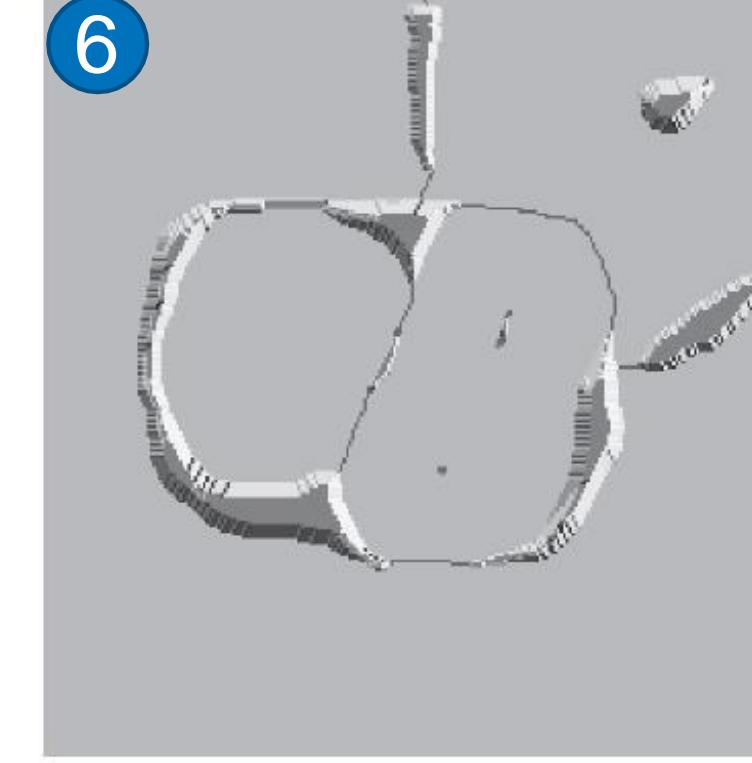
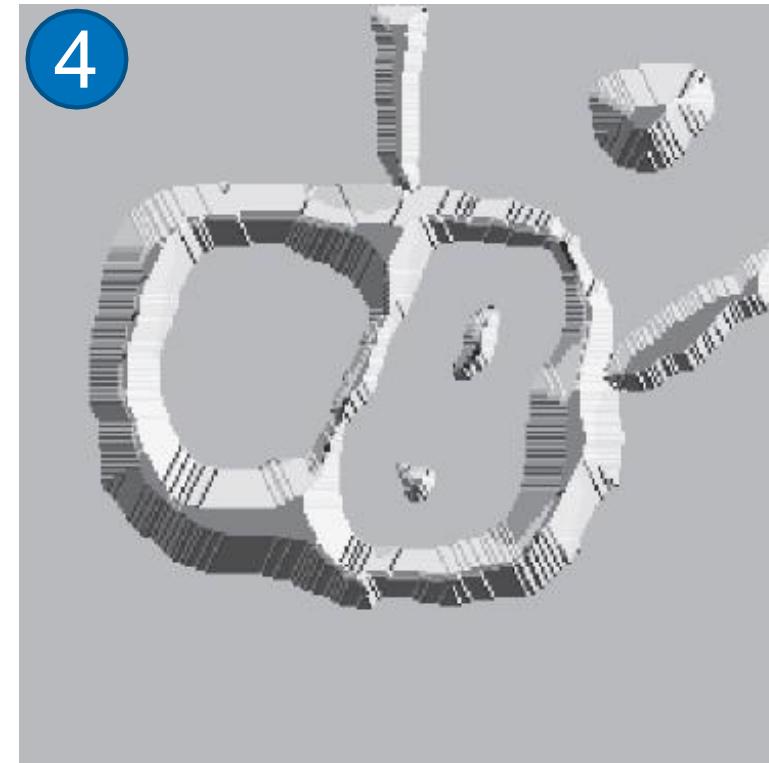
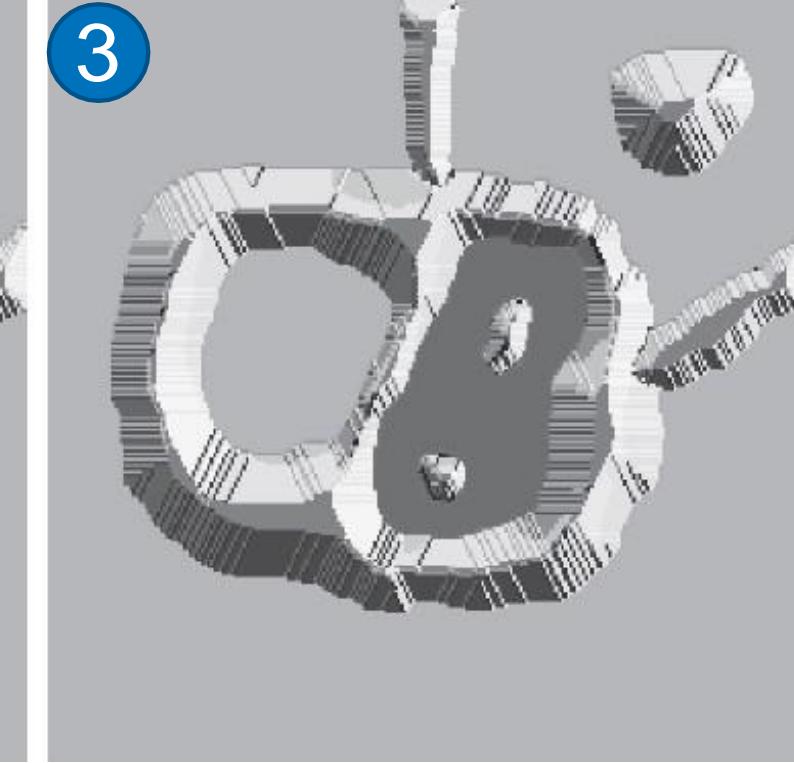
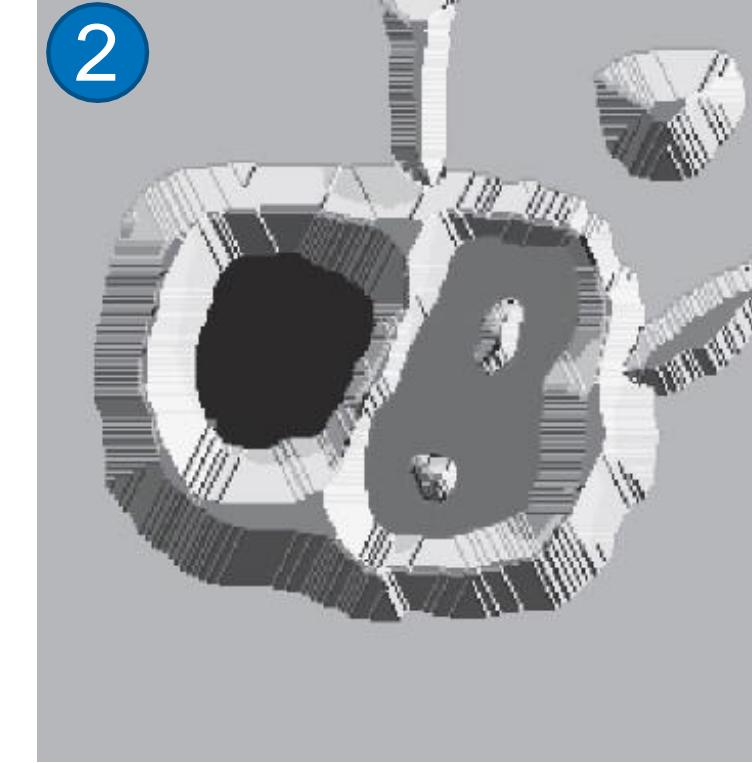
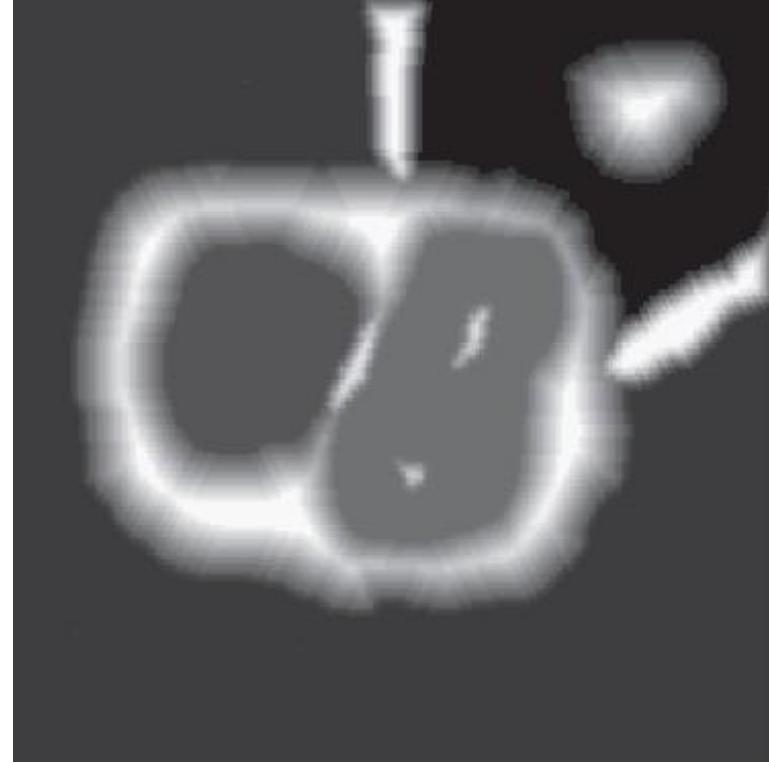
Локальная пороговая обработка со скользящим среднем



Сегментация по водоразделам

Исходные предпосылки

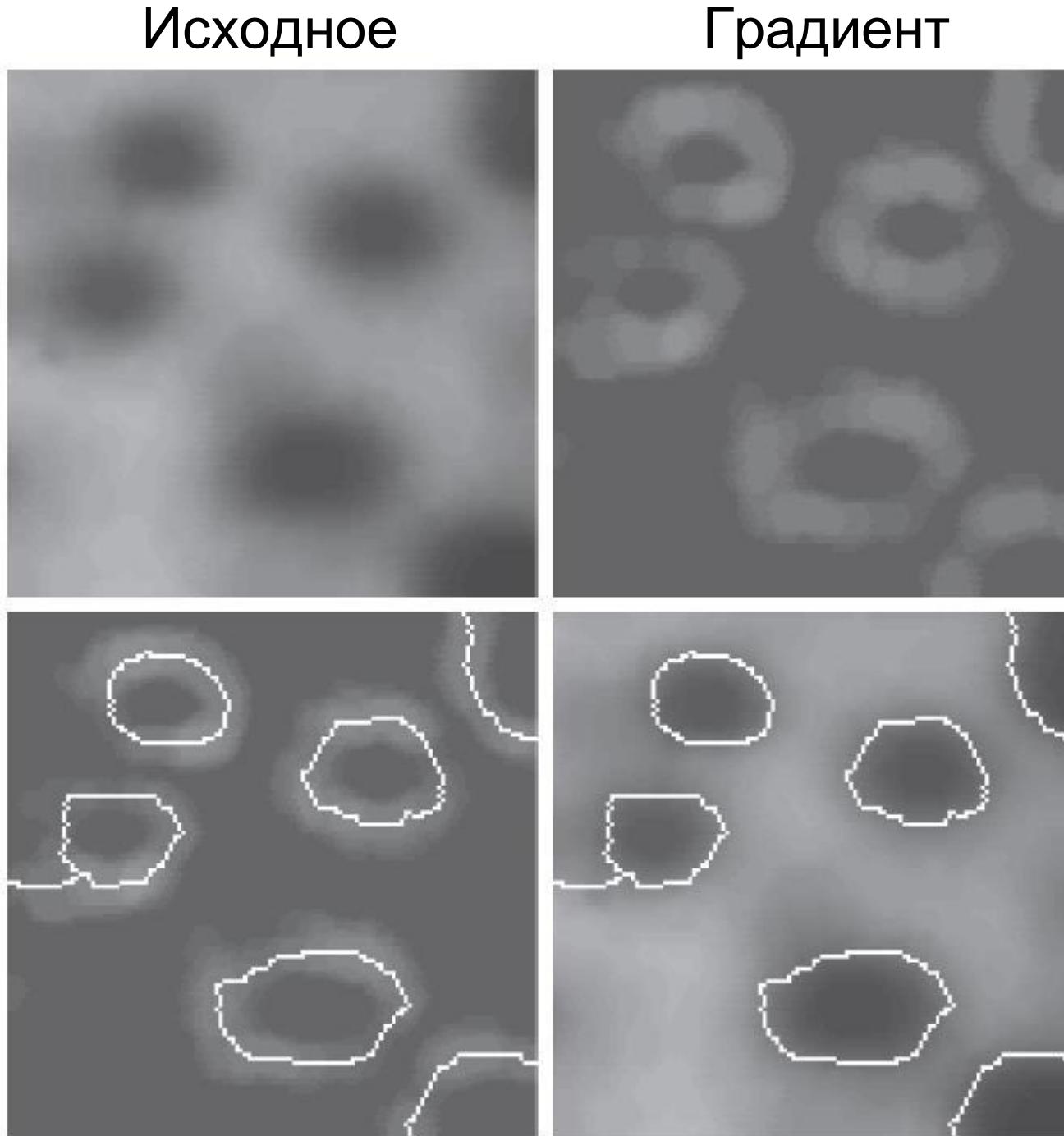
Исходное изображение



Сегментация по водоразделам

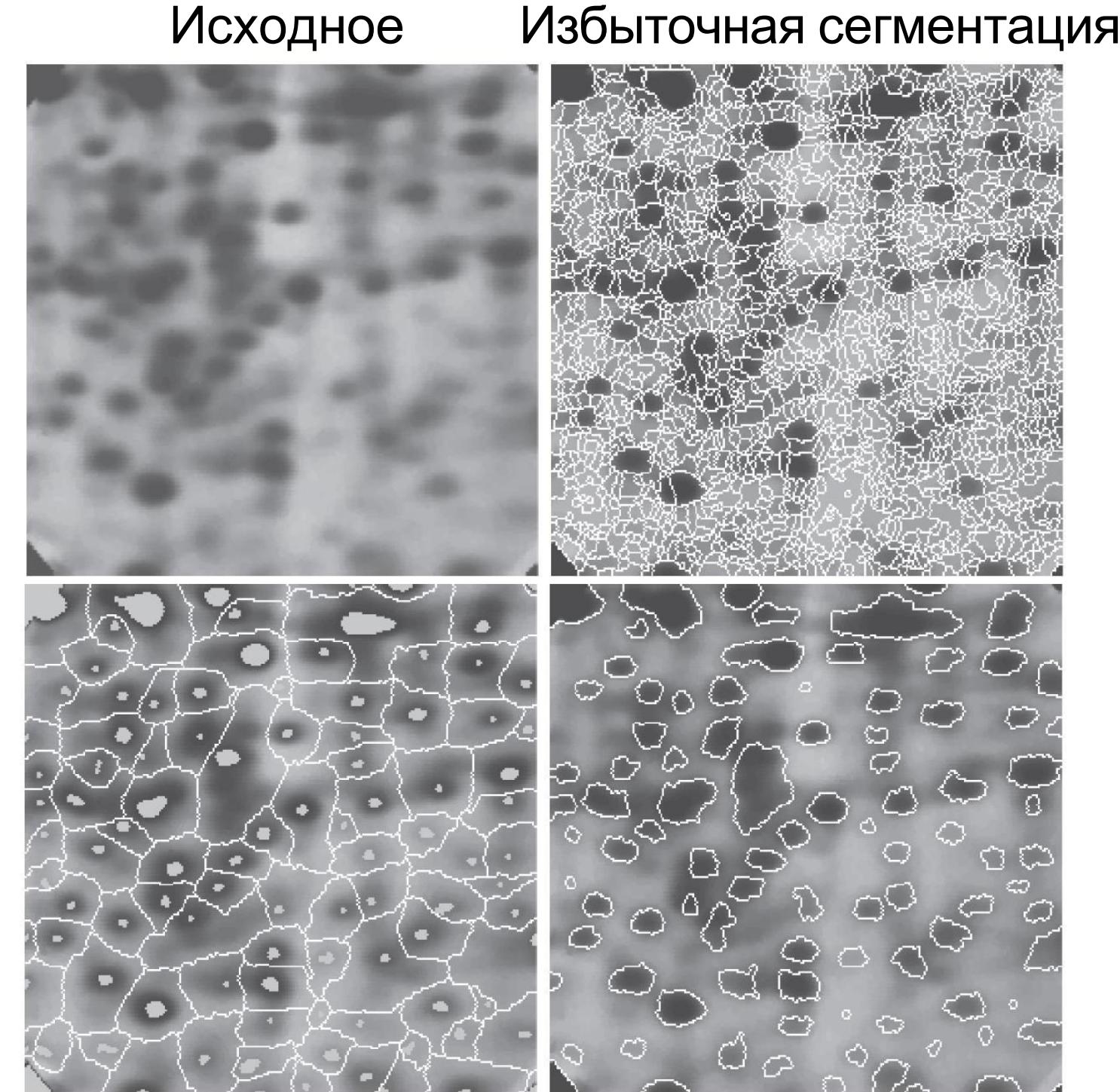
Базовый алгоритм и использование маркеров

Использование базового алгоритма



Линии водоразделов
на градиентом
изображении

Базовый алгоритм и гиперсегментация



Сглаженное изображение с внутренними и внешними маркерами
Результат применения алгоритма с учетом маркеров

Резюме

- Введение в сегментацию с т. зр. нахождения ГМТ
- Обнаружение геометрических примитивов
- Обнаружение яркостных перепадов
- Сегментация на основе пороговой обработки
- Сегментация по морфологическим водоразделам

Использованные материалы

- [Курс МФТИ по компьютерному зрению](#), автор – Колокольников Г.А.
- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с. – ISBN 978-5- 94836-331-8.2.