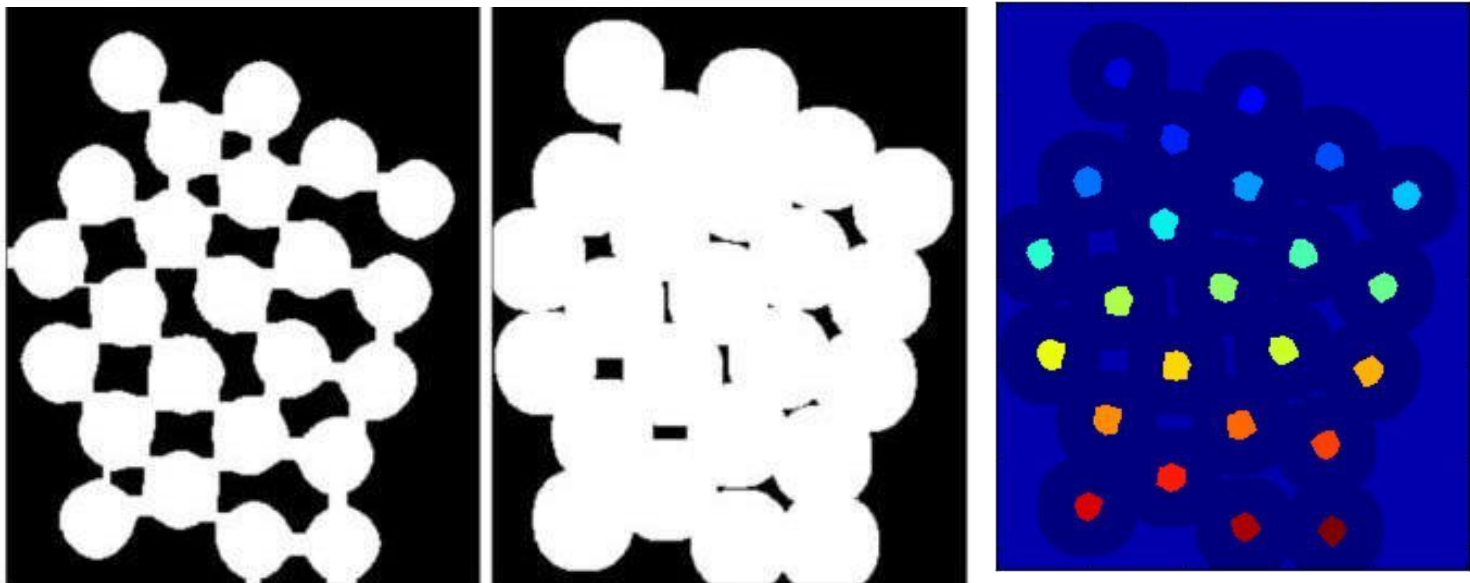


# Сегментация

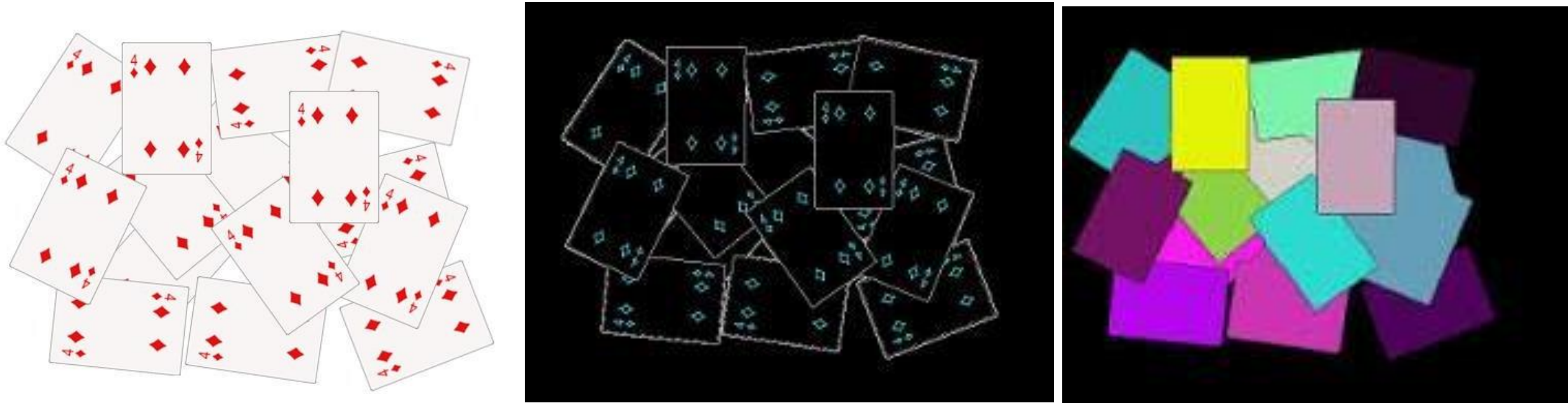
# Сегментация

## Введение

Сегментация на основе водораздела



Сегментация на основе выделения геометрических объектов



Основные виды сегментации на основе CNN

**Semantic Segmentation**

GRASS, CAT, TREE, SKY

**Classification + Localization**

CAT

**Object Detection**

DOG, DOG, CAT

**Instance Segmentation**

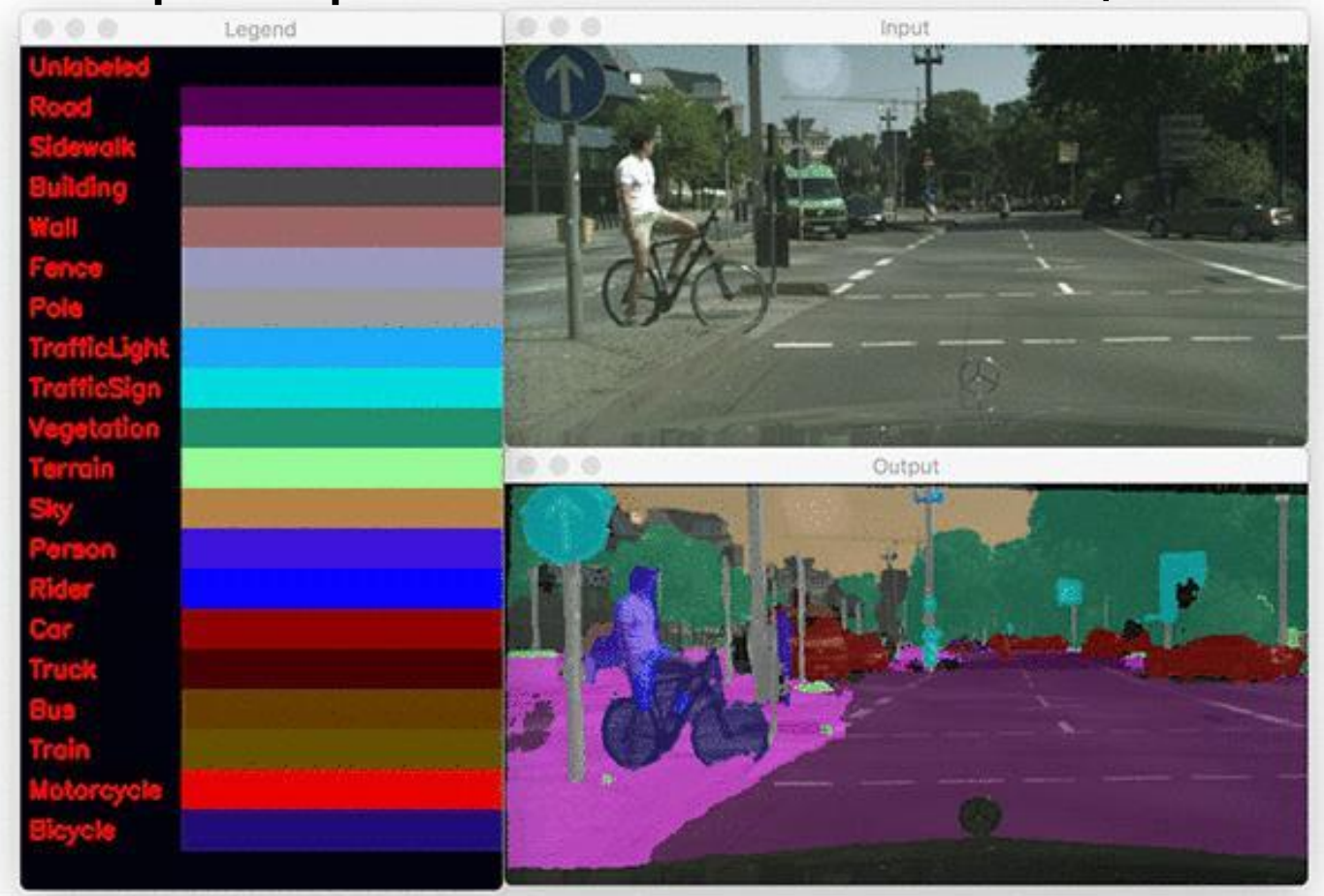
DOG, DOG, CAT

No objects, just pixels

Single Object

Multiple Object

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

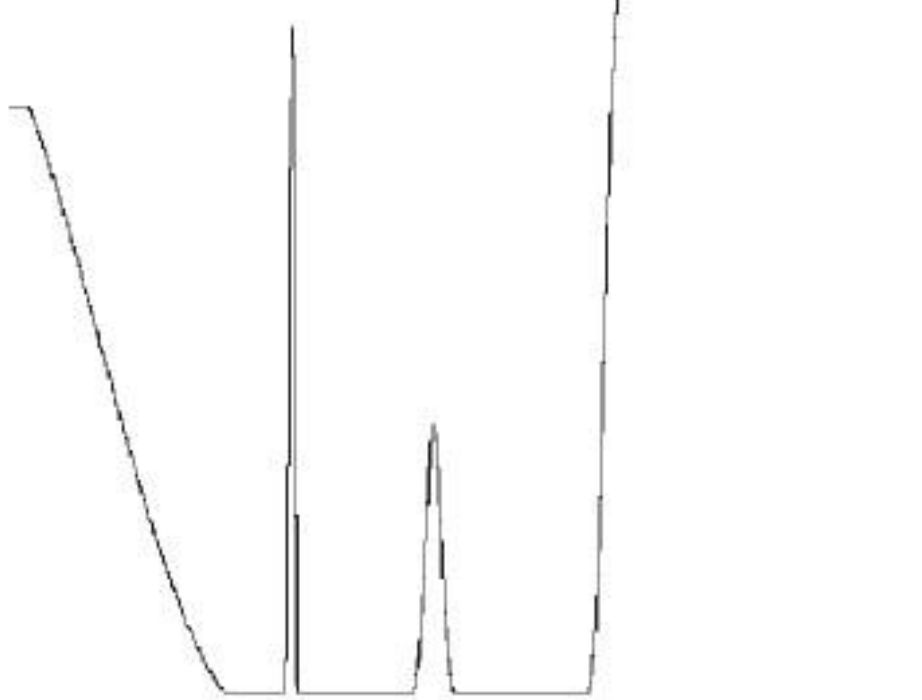
$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f''(x) = f(x+1) + f(x-1) - 2f(x)$$

а б в

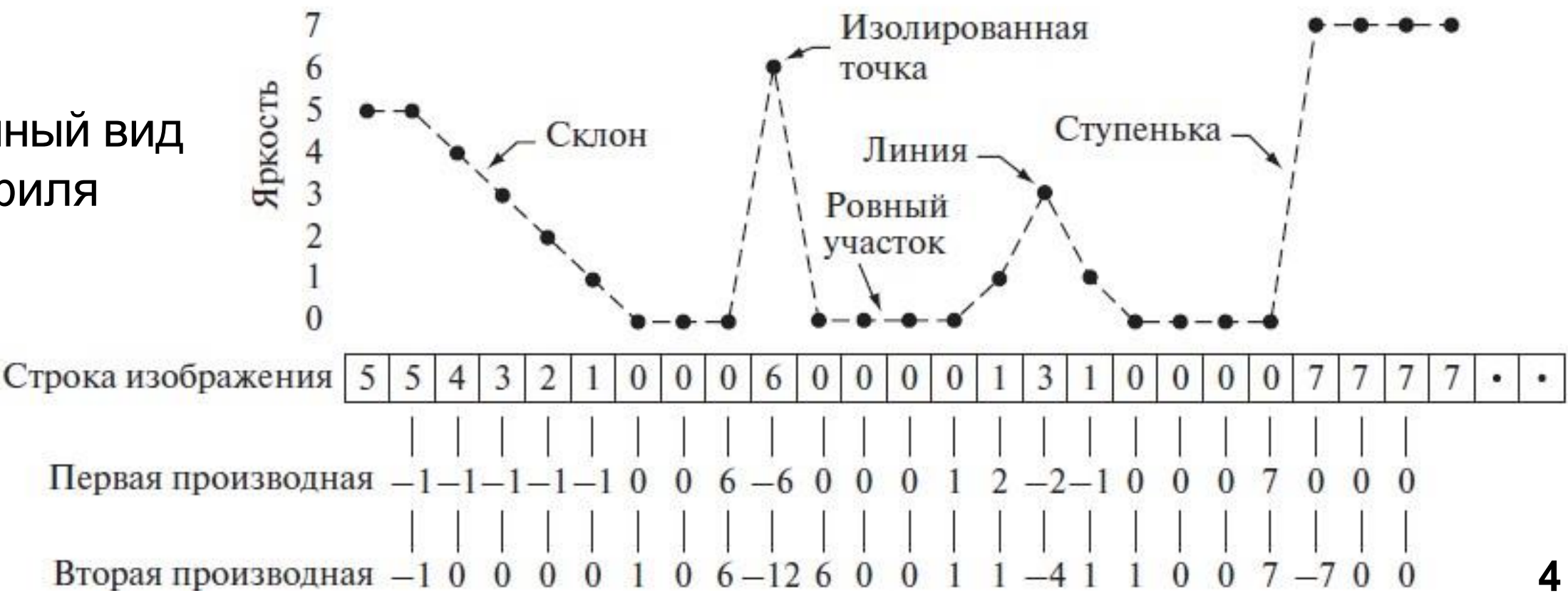


Изображение

Горизонтальный  
профиль яркости



Упрощенный вид  
профиля





# Обнаружение ГМТ

## Изолированные точки

Алгоритм:

- Применяем лапласиан

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

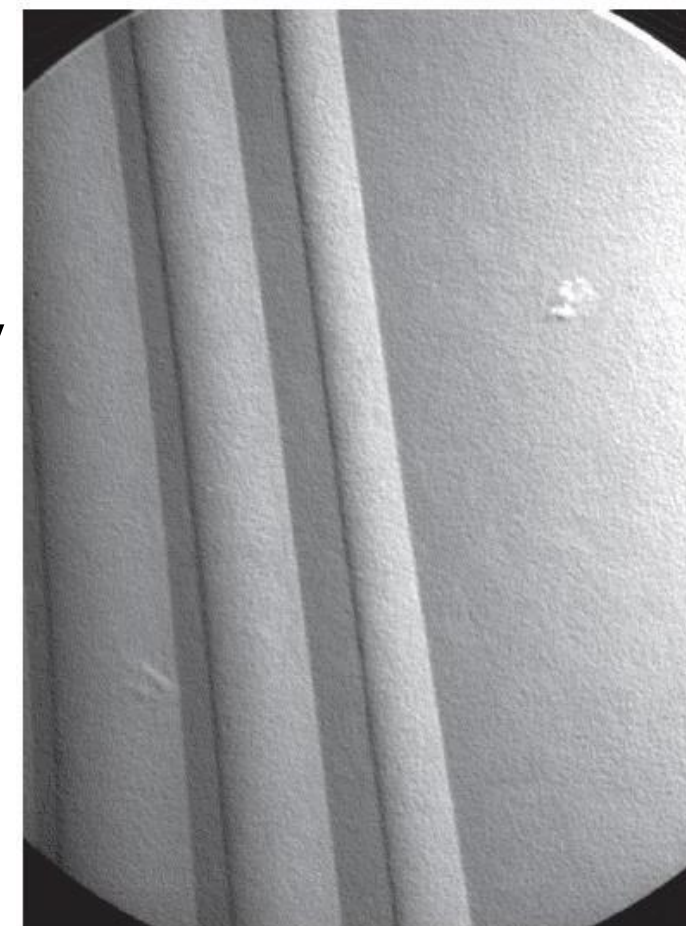
$$f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)$$

- Применение порога к отклику точки на маску

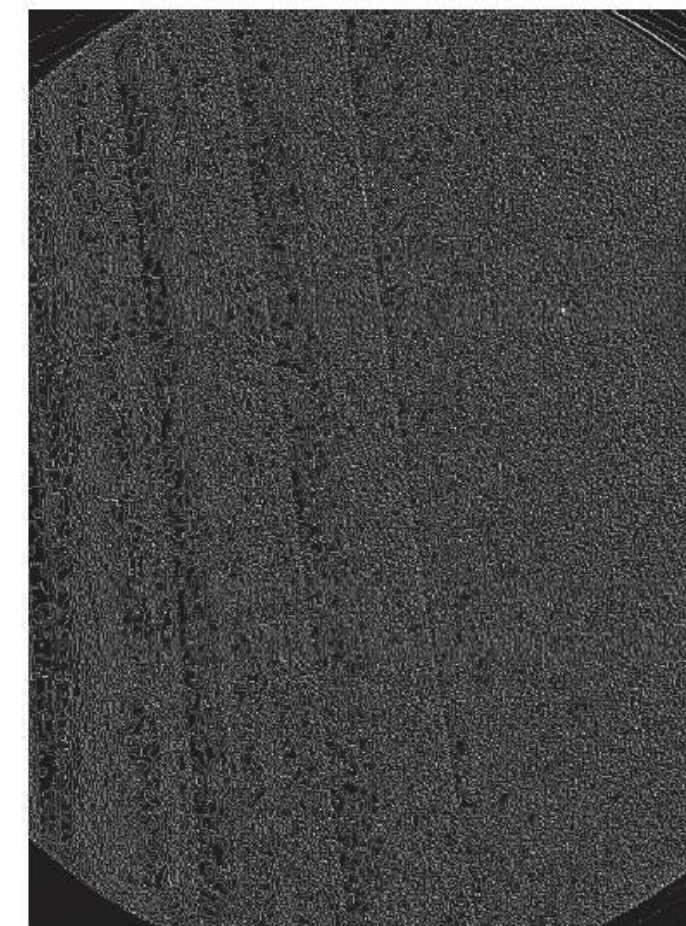
$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{если } |R(x, y)| \geq T \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Маска лапласиана

1	1	1
1	-8	1
1	1	1



Лопатка турбины с  
каверной



Результат свертки с  
маской



Результат применения  
порога

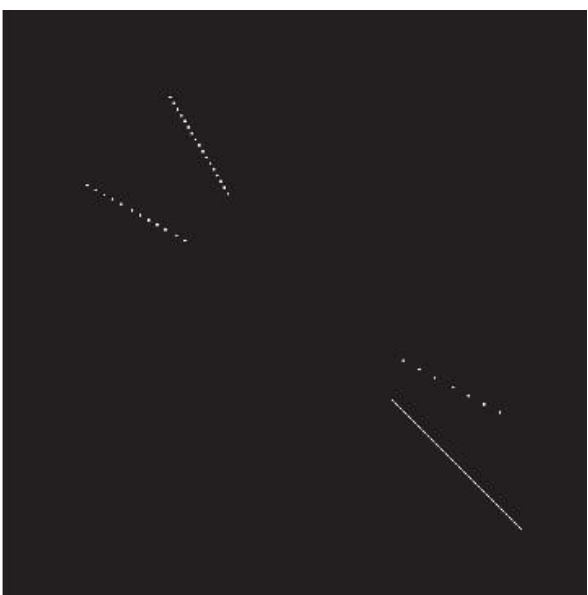
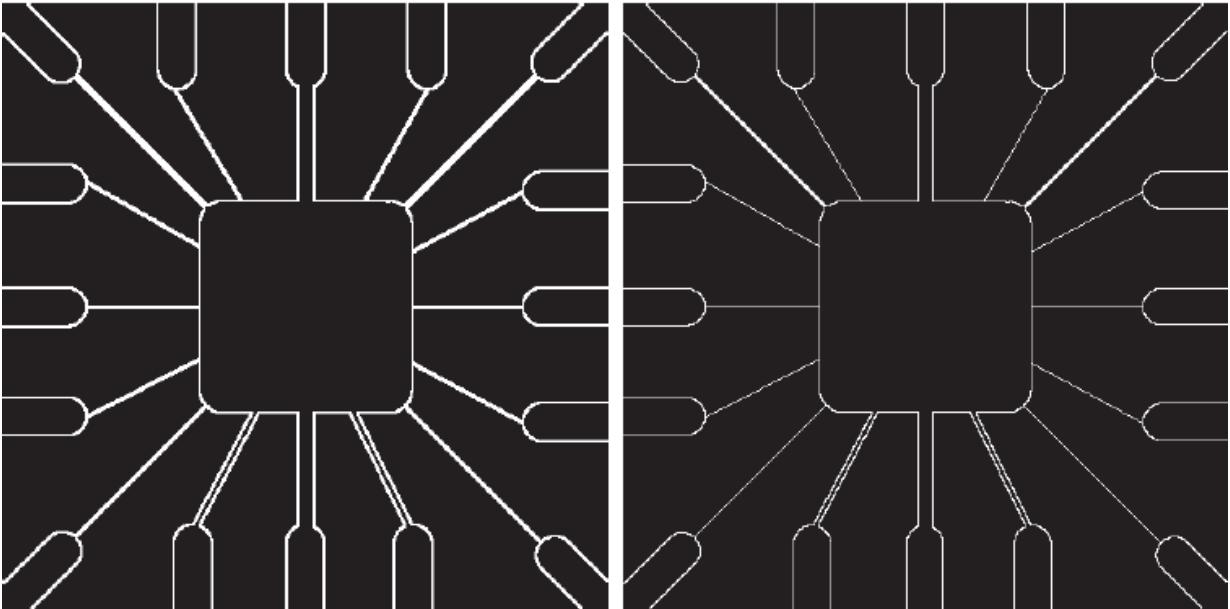
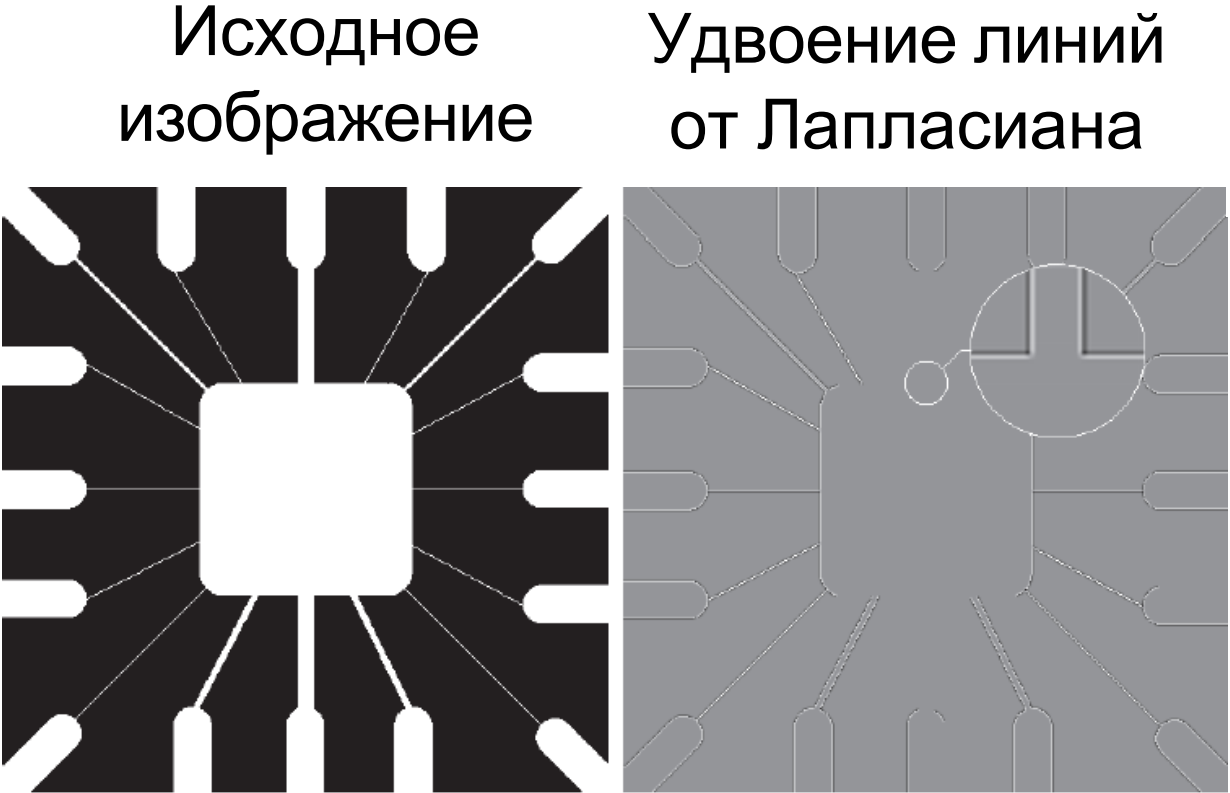
# Обнаружение ГМТ

## Линии

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

Горизонтальная	+45°	Вертикальная	-45°
1	1	1	1
1	-8	1	1
1	1	1	1

Обнаружение линий  
под углом +45°





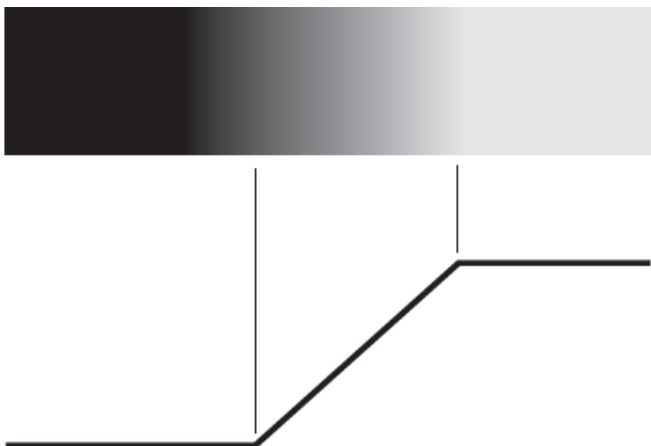
# Обнаружение GMT

## Модели перепадов

Виды перепадов:



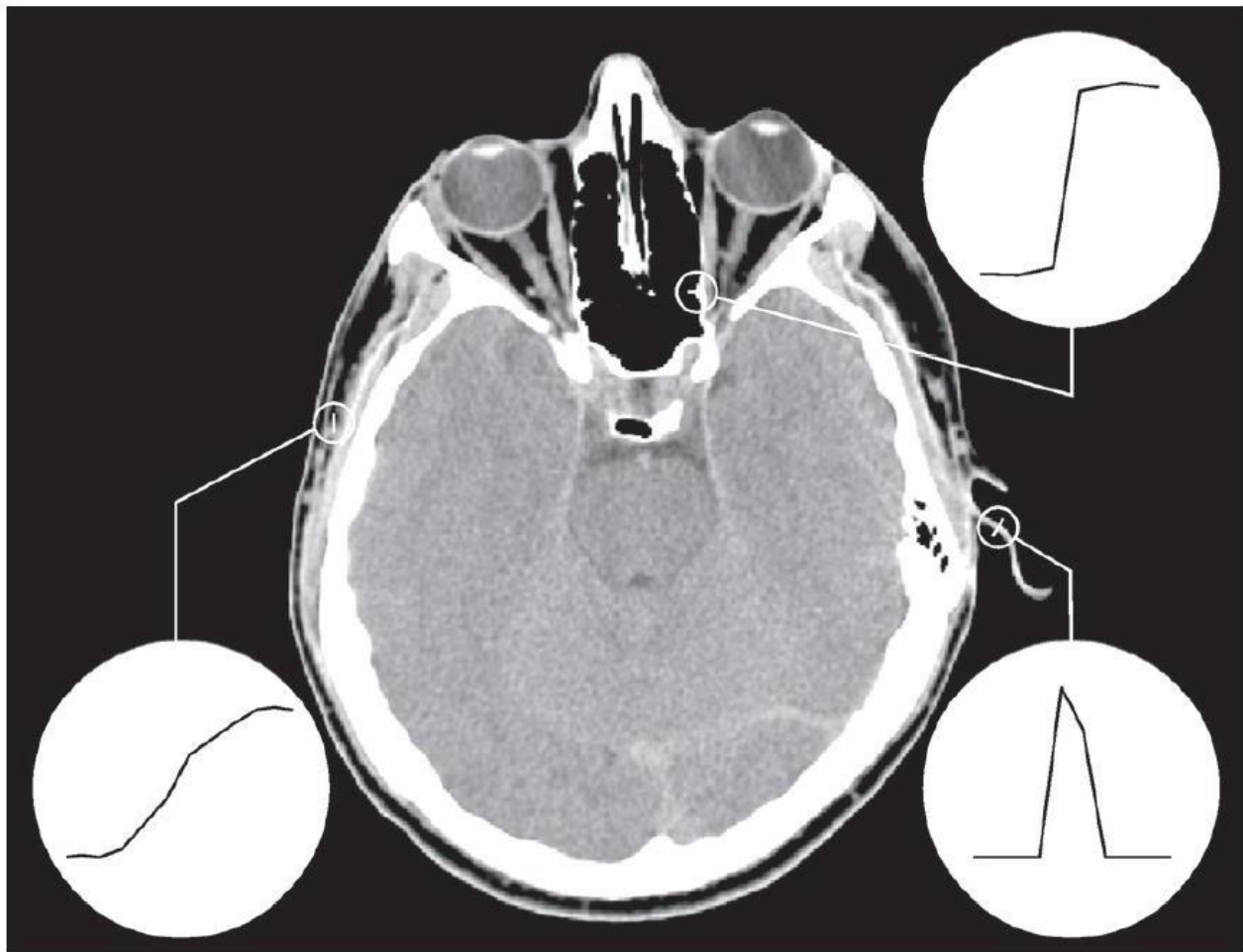
Идеальный



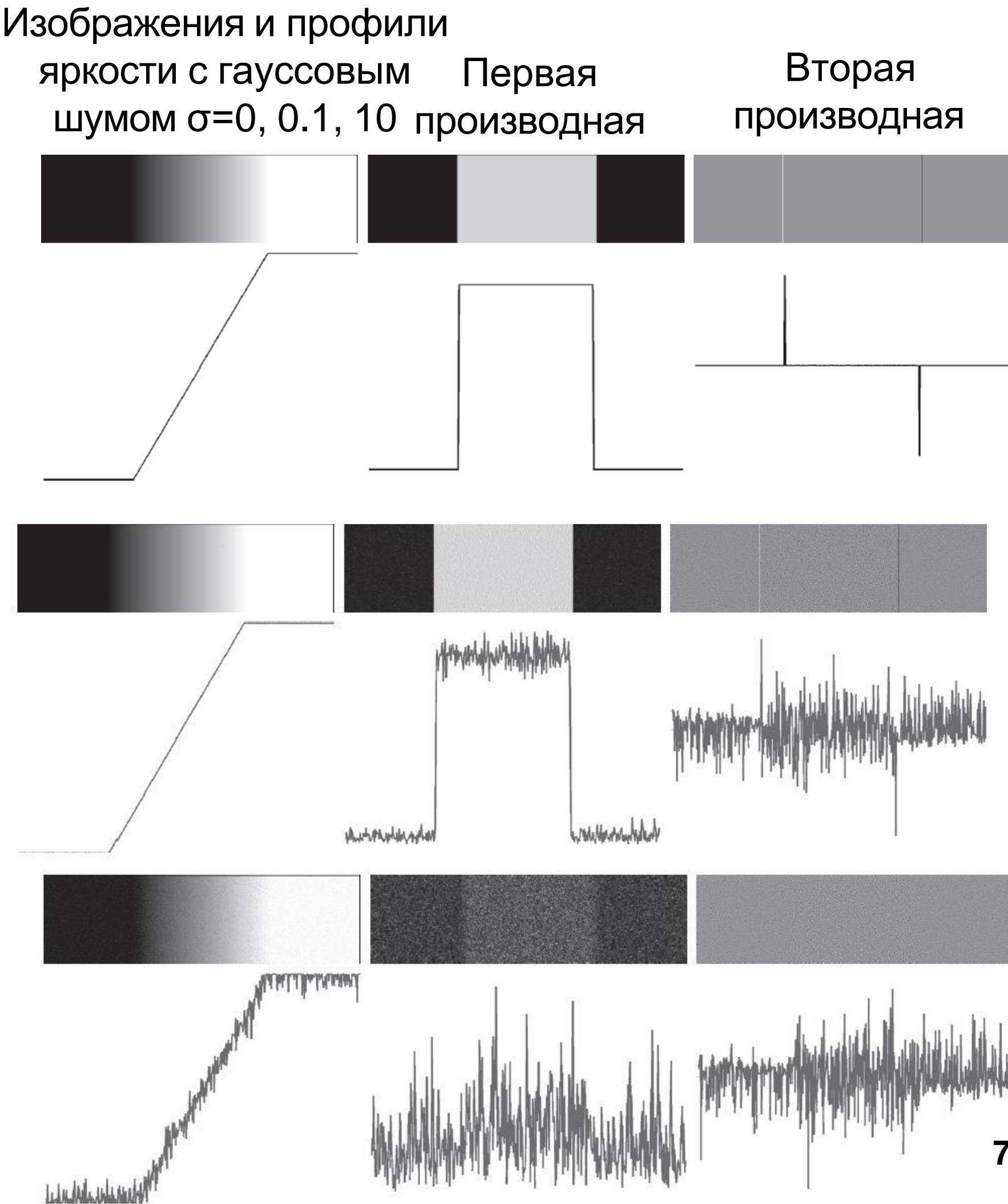
Наклонный



Треугольный импульс



Реальные профили, встречающиеся на практике





# 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	-1	0	1
0	0	0	-1	0	1
1	1	1	-1	0	1

Маски оператора Превитта

-1	0	0	-1
0	1	1	0

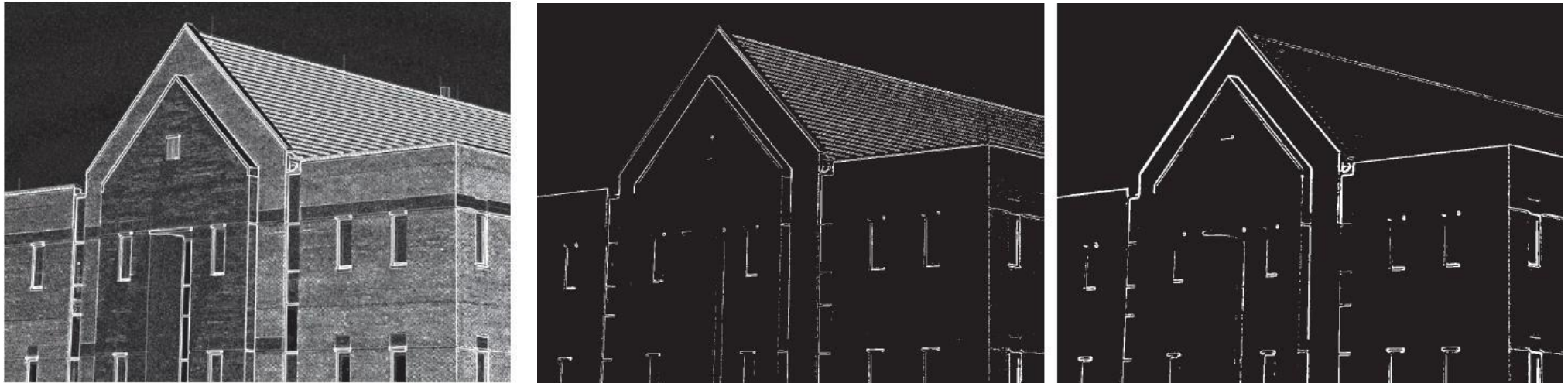
Маски оператора Робертса

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

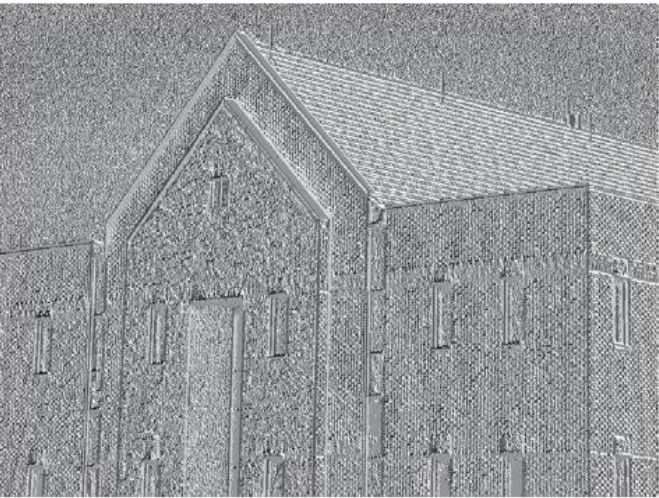
Маски оператора Собела



Сумма градиентов Пороговая обработка с различными порогами



Угол градиента показывает направление ориентации





# Обнаружение контурных перепадов

## Детектор контуров Марра-Хилдрета

Детектор контуров Марра-Хилдрета:

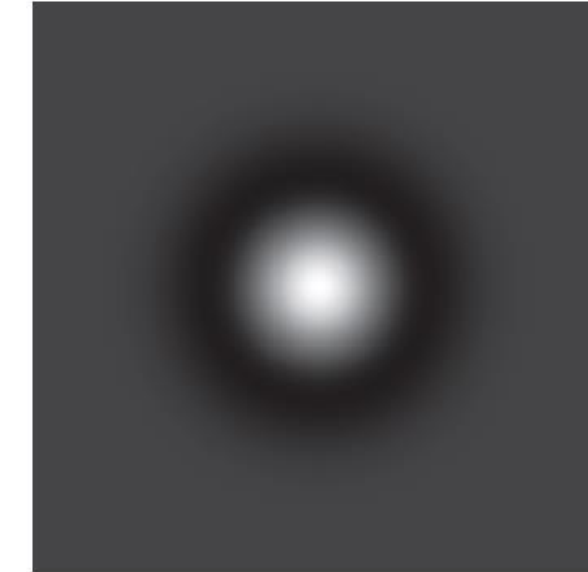
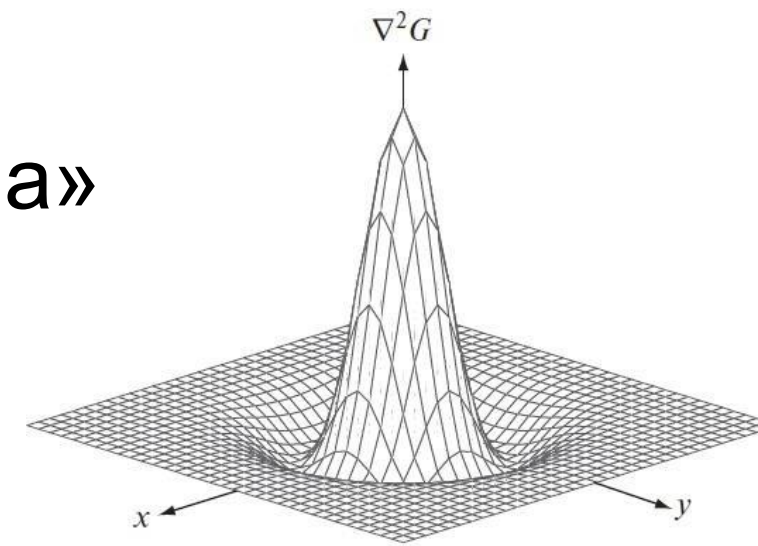
- Свертка с фильтром «лапласианом гауссиана»

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

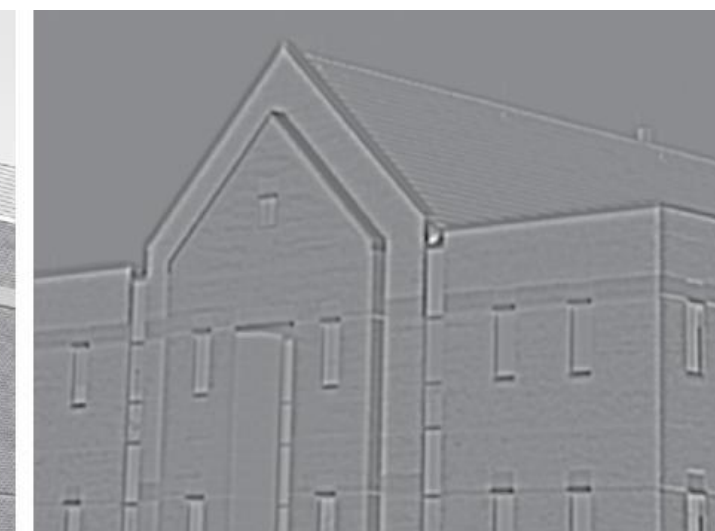
Алгоритм

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

Лапласиан гауссиана и его маска



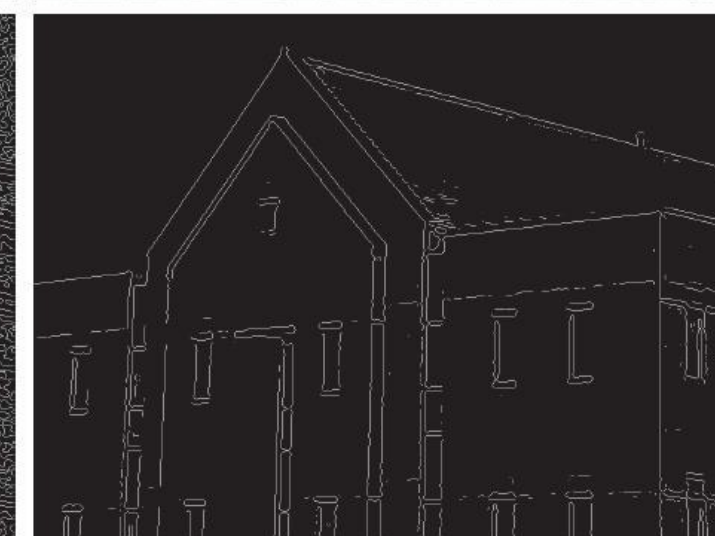
0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0



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



Порог 0



Порог 4%

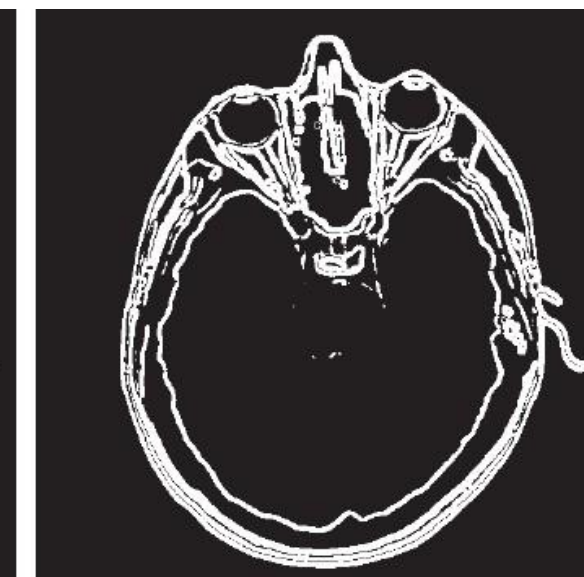
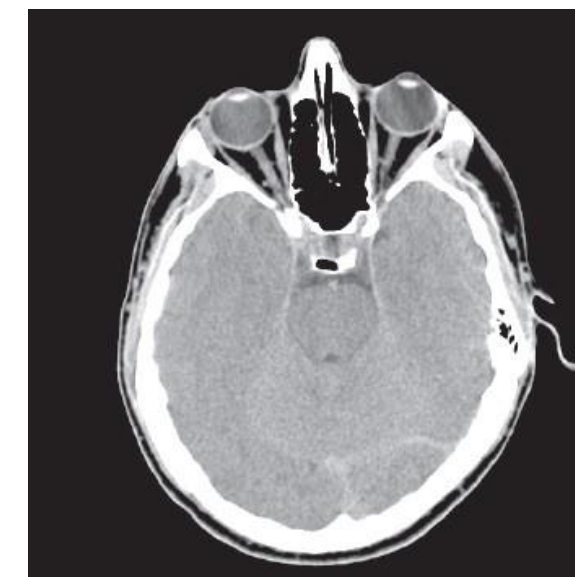
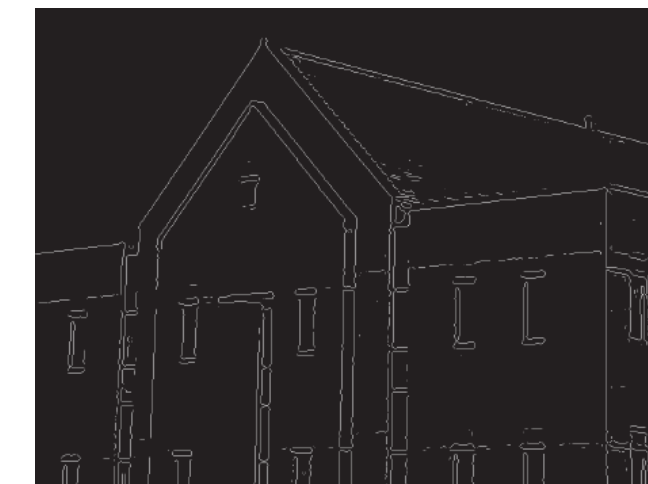
# Обнаружение контурных перепадов

## 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  
сглаженного изображения

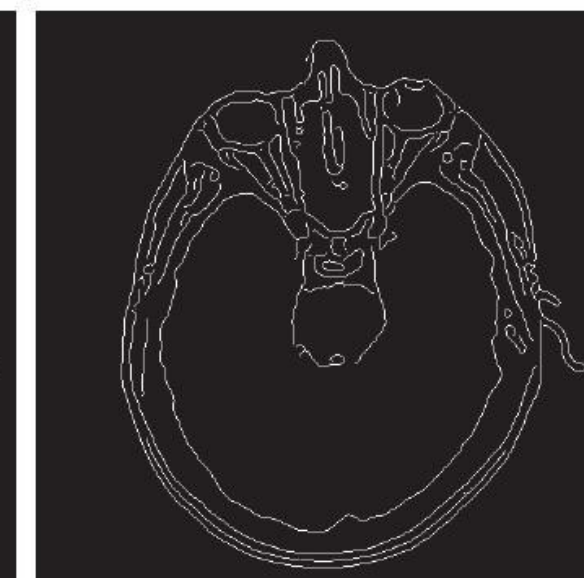


Пороговая  
обработка  
градиента  
сглаженного  
изображения

Алгоритм Марра-Хилдрета



Алгоритм  
Кэнни





# Связывание контуров

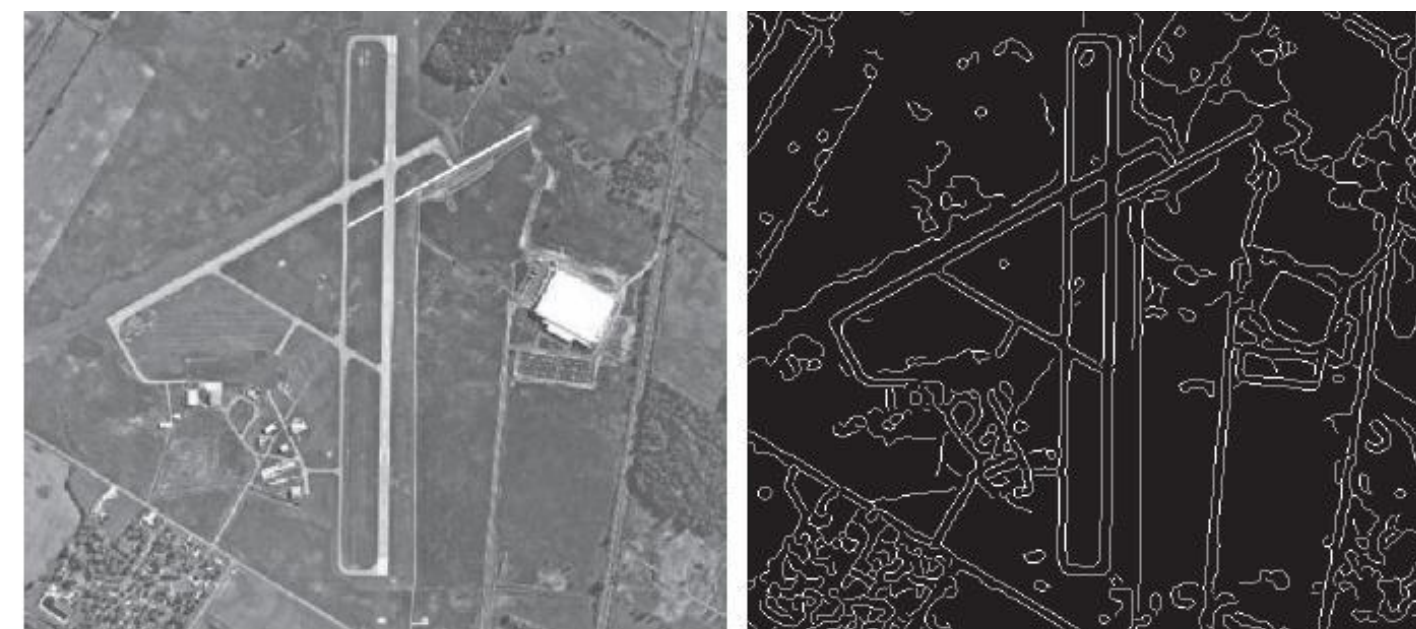
## Глобальный анализ Хафа

Алгоритм:

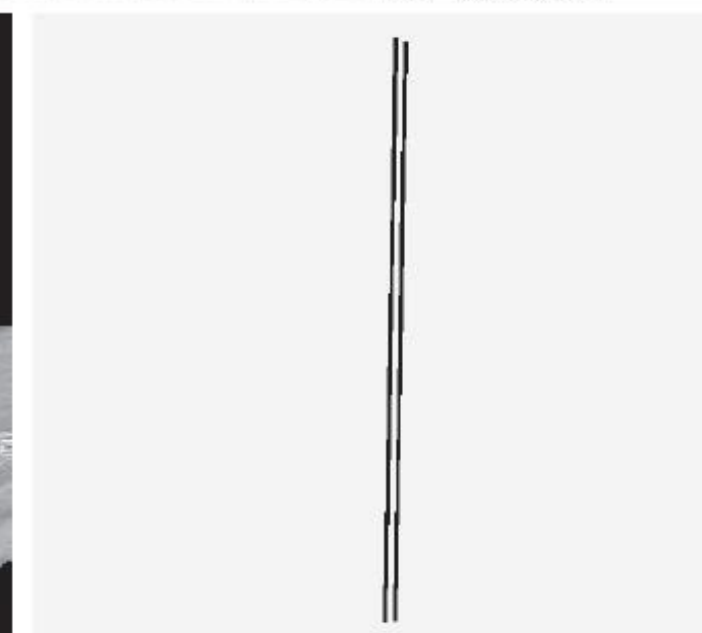
- Формируется двоичное изображение контуров
- Выполняется разбиение пространства параметров  $\rho\theta$  на ячейки накопления
- Для всех ненулевых пикселей двоичного изображения, полученного в п. 1, находятся образы в пространстве параметров  $\rho\theta$  и осуществляется процедура накопления
- Анализируются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

а б  
в г д

Аэрофотоснимок аэропорта      Контурное изображение



Пространство параметров Хафа



Линии в плоскости изображения, соответствующие выделенным прямоугольникам



Те же линии на исходном изображении

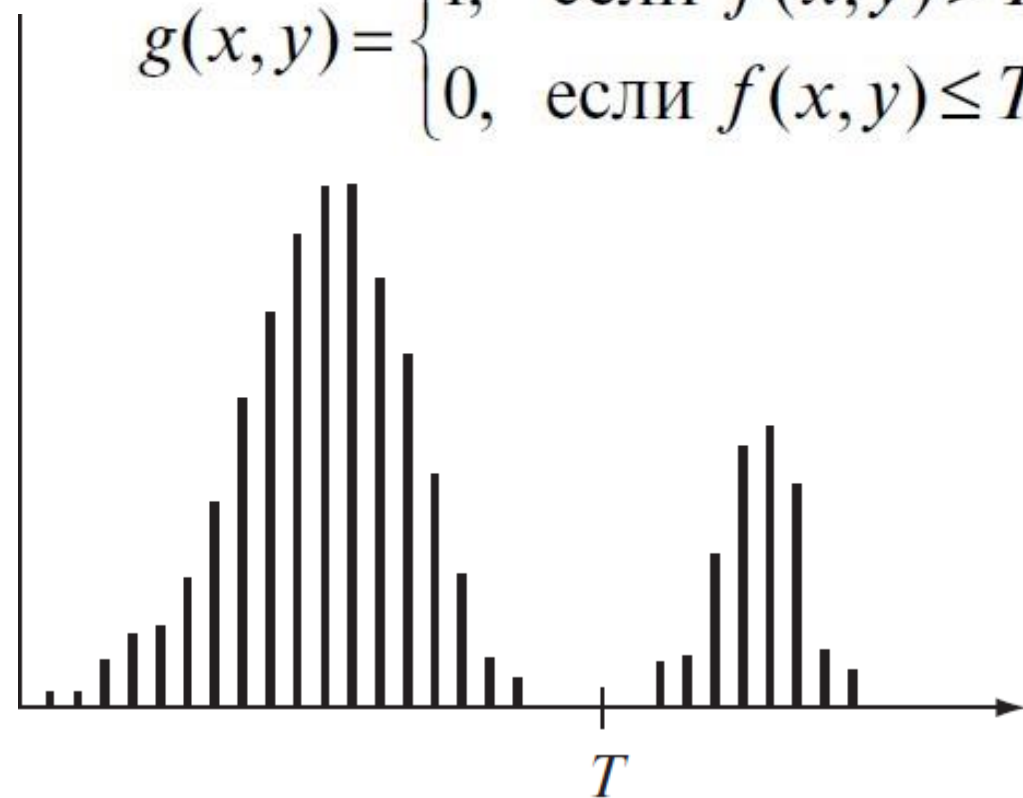
# Пороговая обработка

## Обоснование

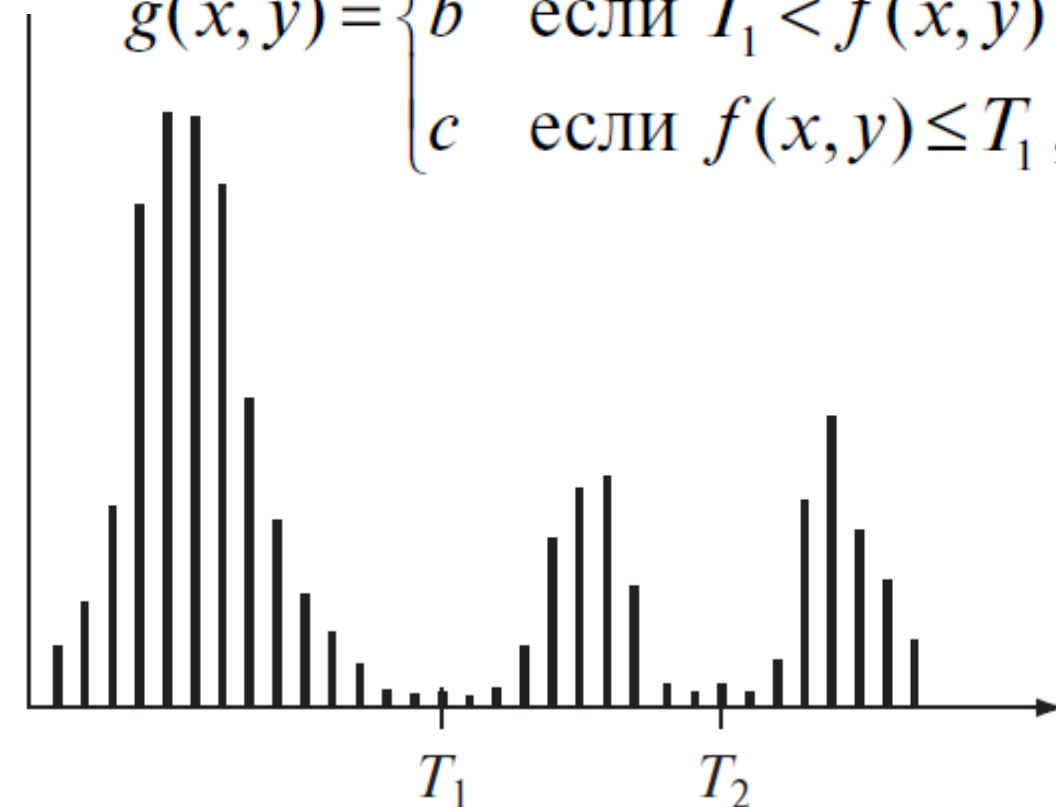
Результат порогового преобразования связан с:

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

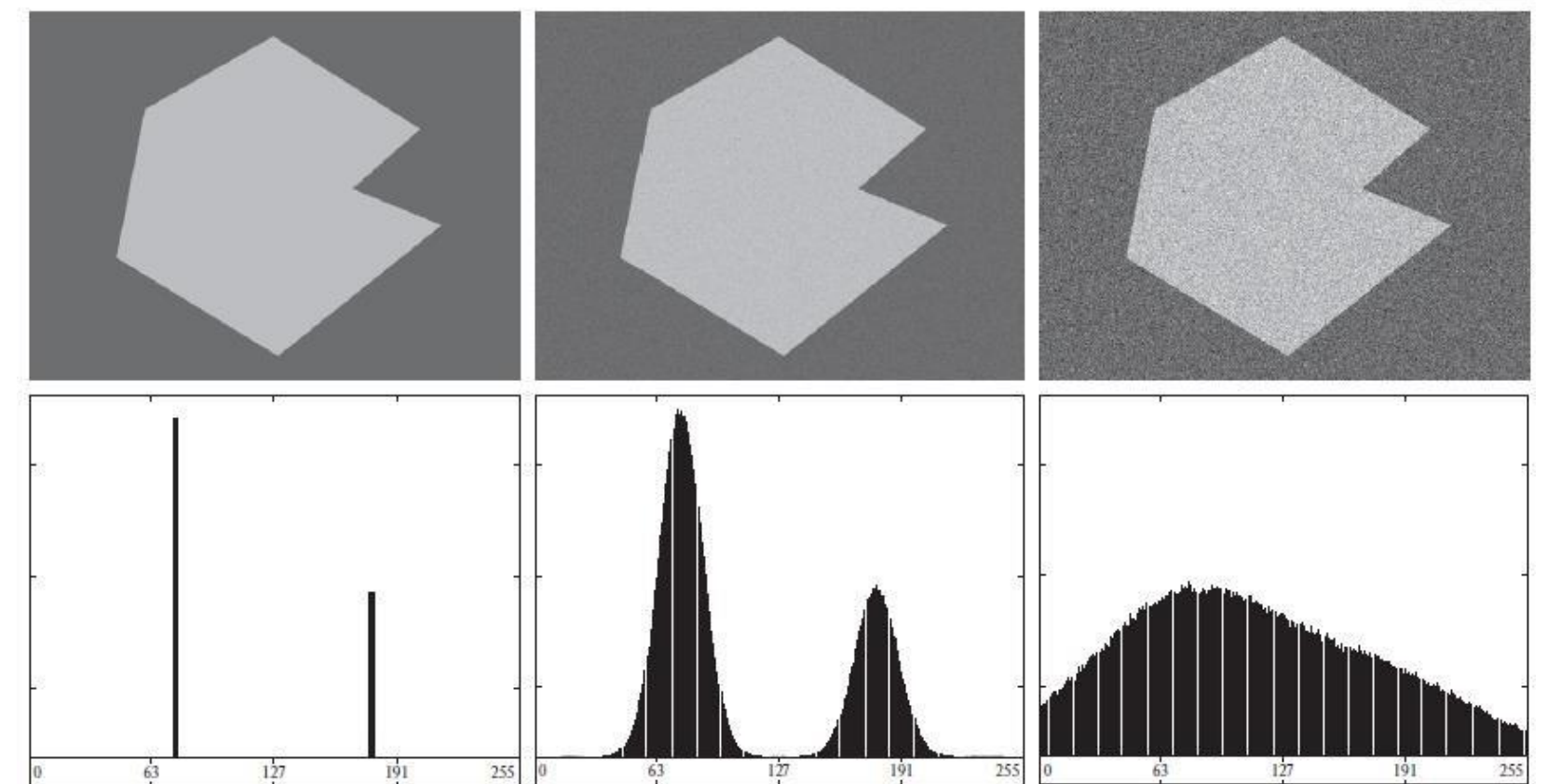
$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } f(x, y) > T \\ 0, & \text{если } f(x, y) \leq T \end{cases}$$



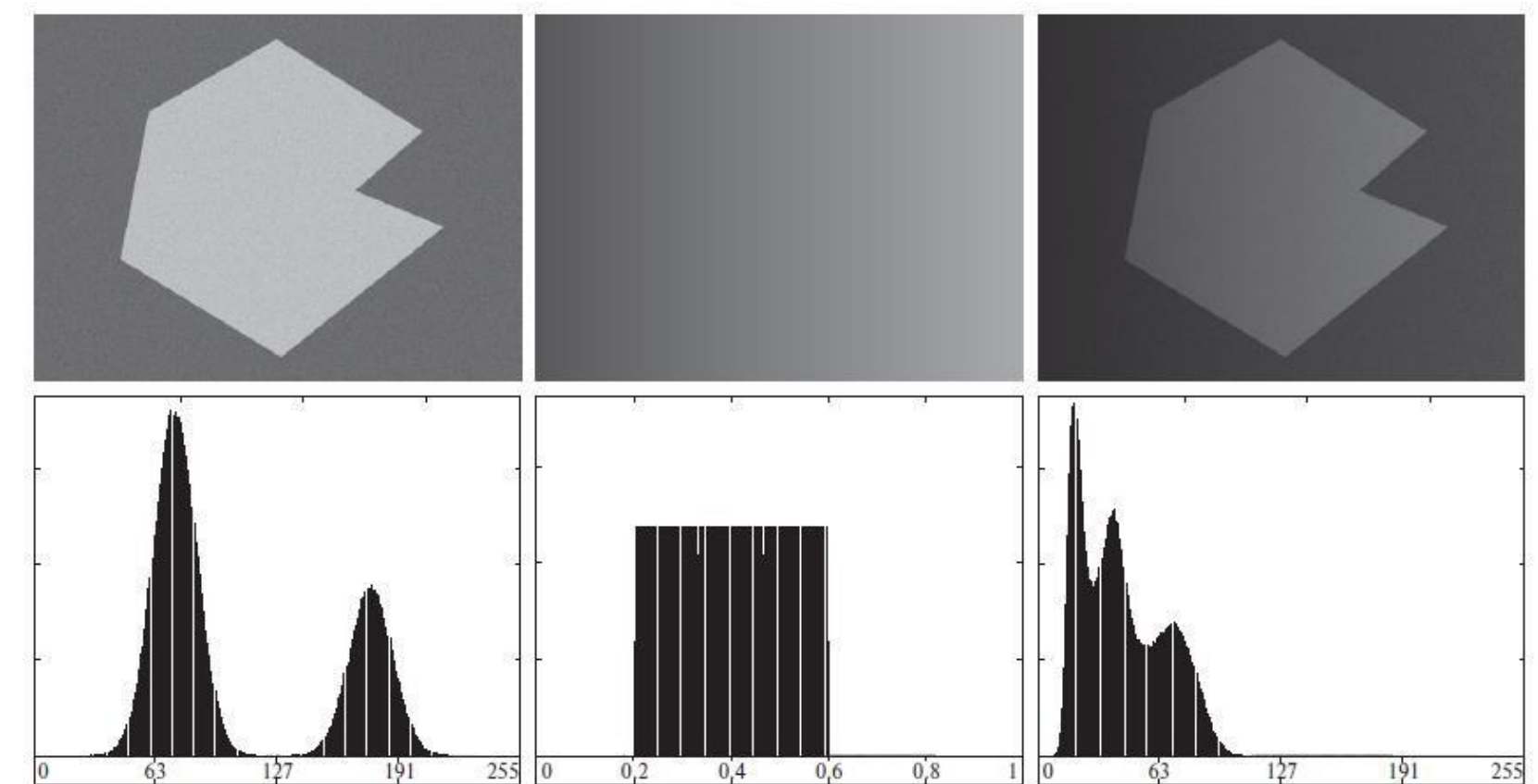
$$g(x, y) = \begin{cases} a & \text{если } f(x, y) > T_2 \\ b & \text{если } T_1 < f(x, y) \leq T_2 \\ c & \text{если } f(x, y) \leq T_1 \end{cases}$$



Влияние шума



Влияние освещения





# Пороговая обработка

## Глобальный порог

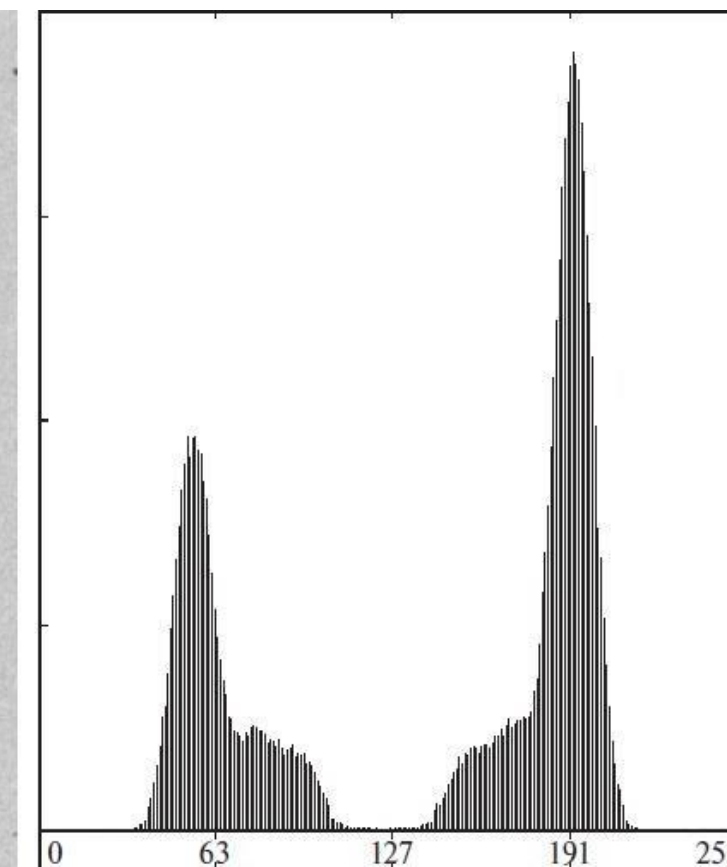
Итерационный алгоритм:

- Выбирается некоторая начальная оценка значения порога  $T$
- Сегментация изображения согласно с помощью порога  $T$  с получением двух групп пикселей
- Вычисляются значения  $m1$  и  $m2$  средних яркостей пикселей по группам
- Вычисляется новое значение порога как среднее  $m1$  и  $m2$
- 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  $\Delta T$ .

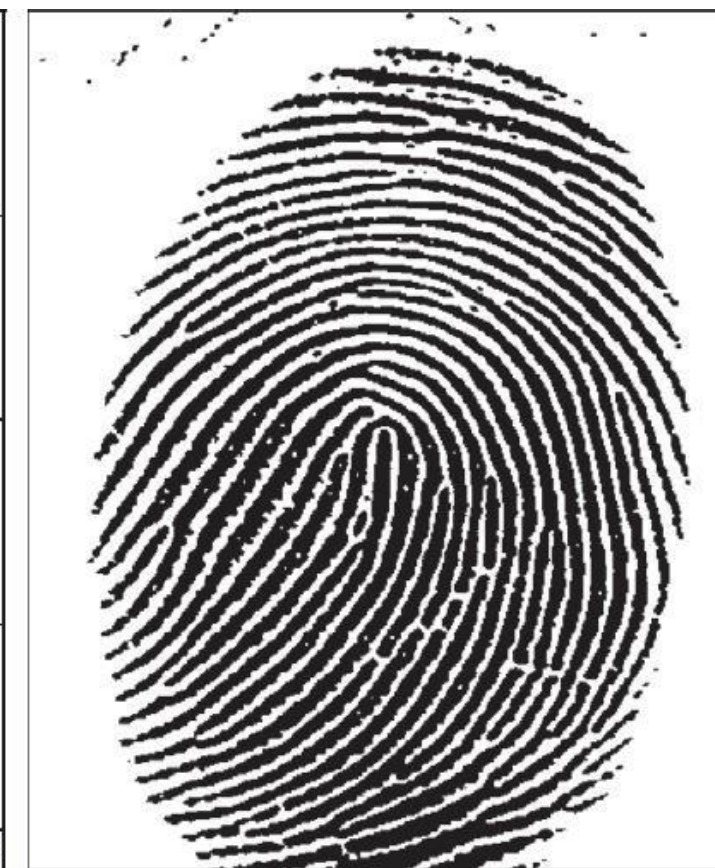
Зашумленное изображение отпечатка пальца



Гистограмма изображения



Результат сегментации с порогом, полученным итерационно



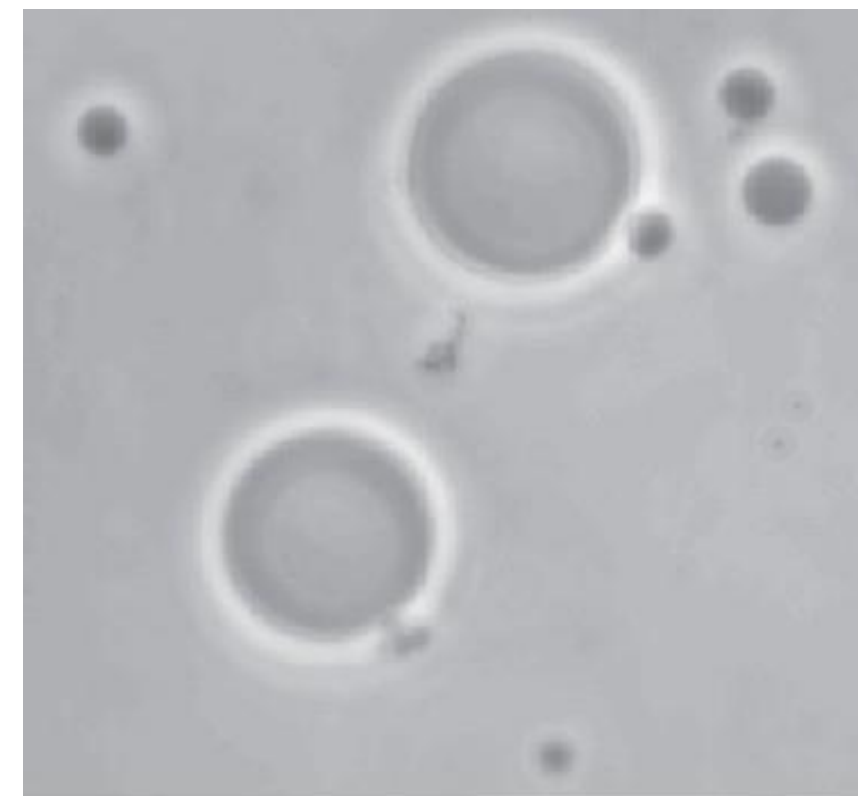
# Пороговая обработка

## Метод Оцу поиска оптимального порога

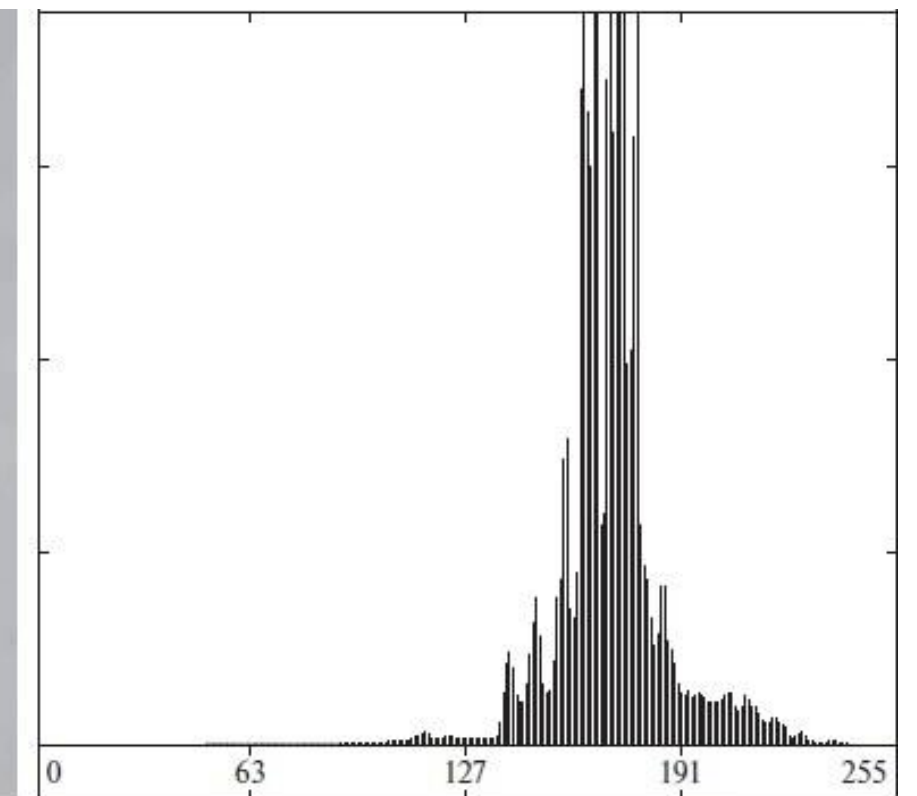
Алгоритм Оцу:

- 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



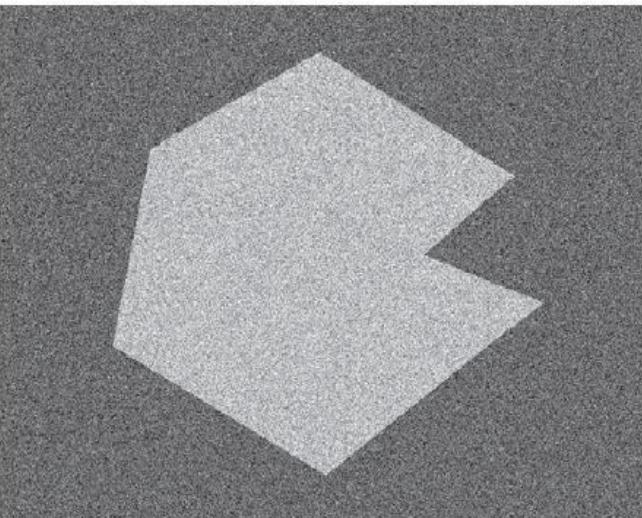
Применение порога Оцу



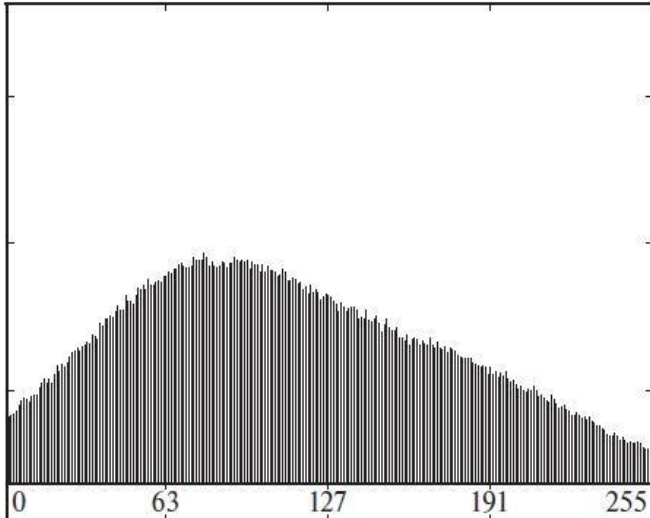
# Пороговая обработка

## Предварительное сглаживание

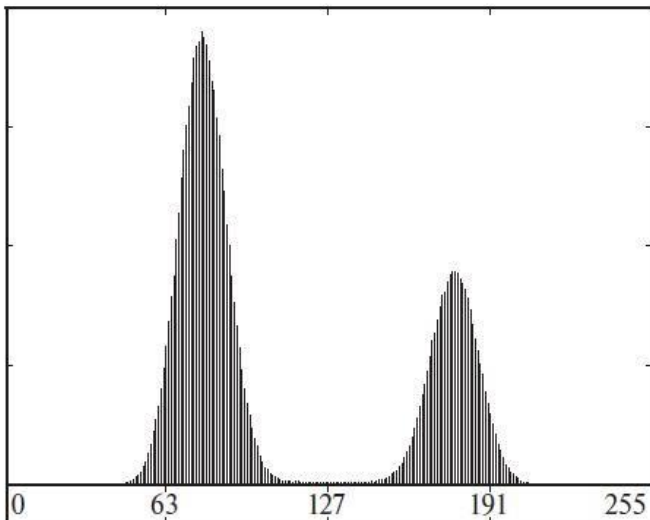
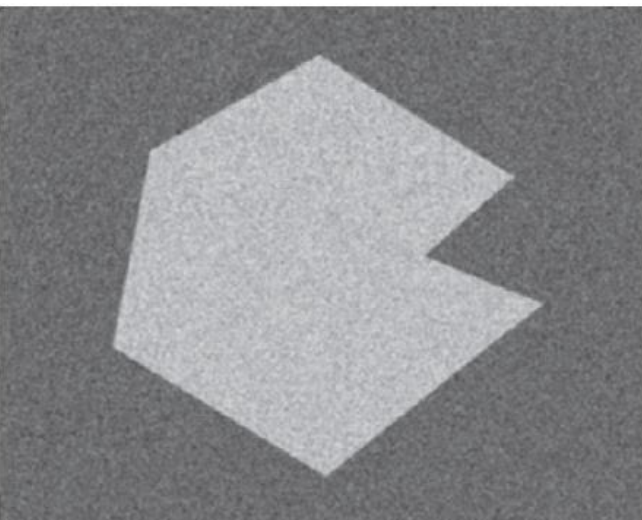
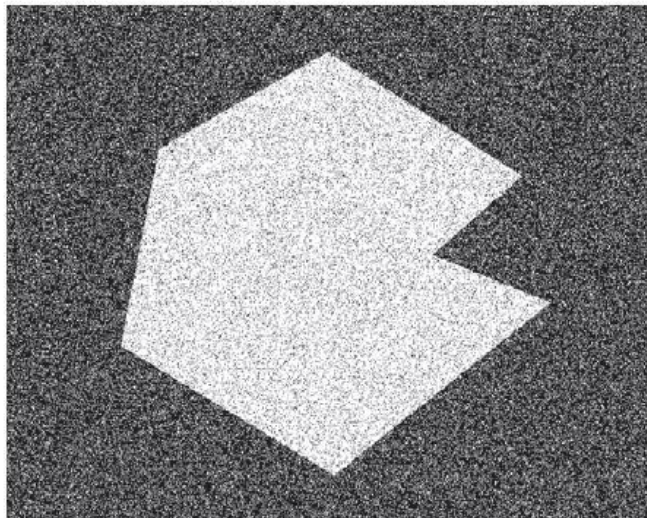
Зашумленное изображение



Гистограмма



Сегментация методом Оцу



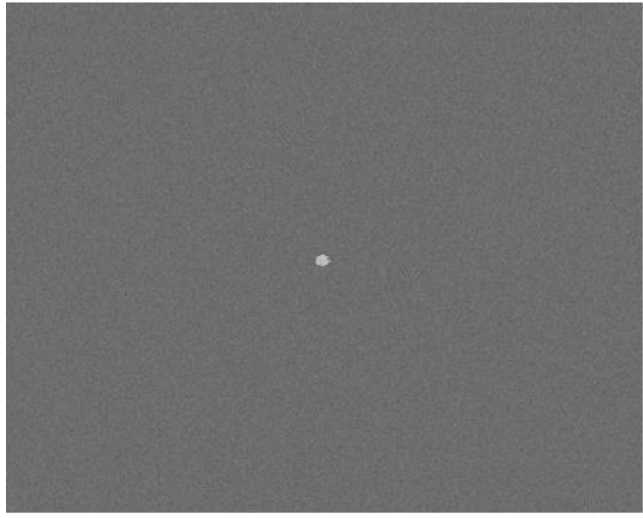
После сглаживания

Гистограмма

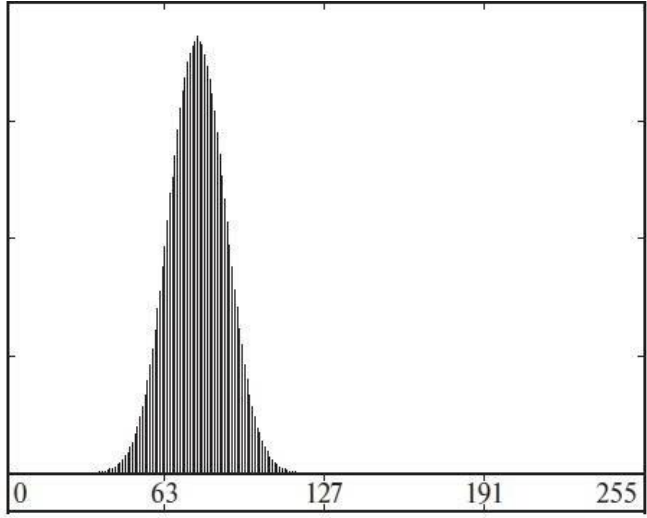


Сегментация методом Оцу

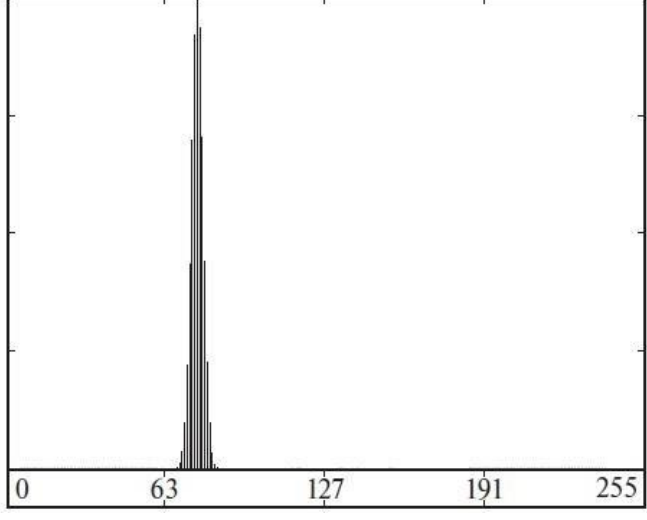
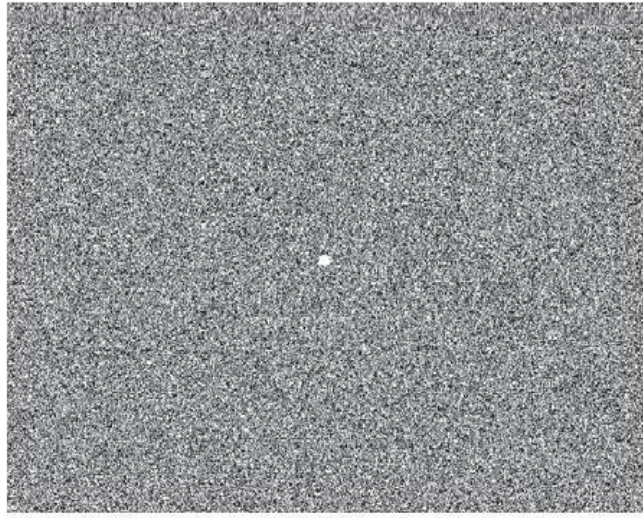
Уменьшенный объект



Гистограмма

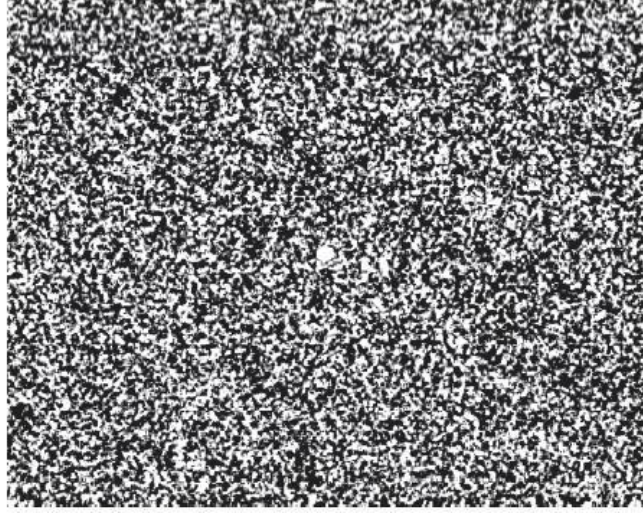


Сегментация методом Оцу



После сглаживания

Гистограмма



Сегментация методом Оцу

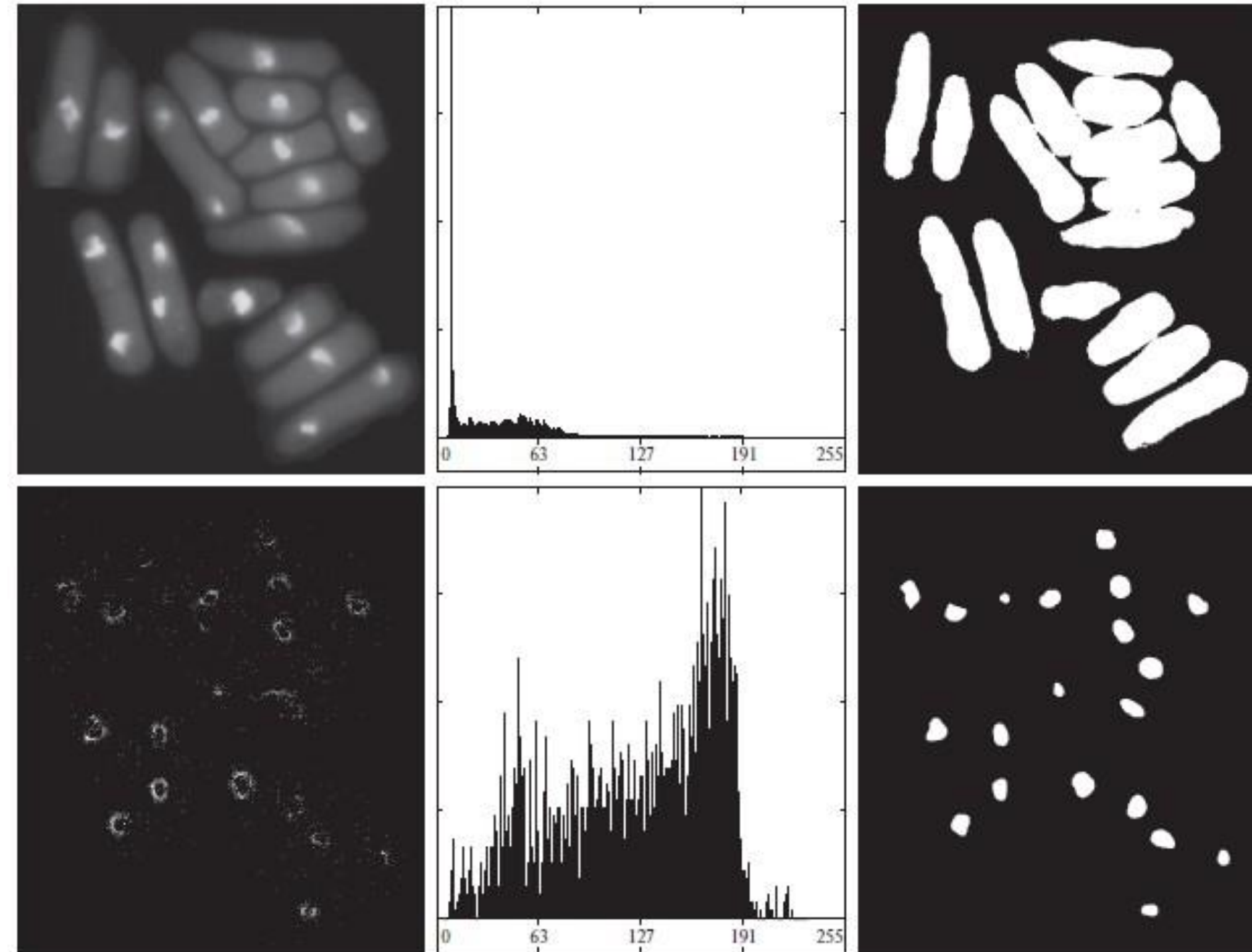


# Пороговая обработка

## 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  $gT(x, y)$ .
- Вычислить гистограмму по тем пикселям  $f(x, y)$ , которые соответствуют единицам в изображении  $gT(x, y)$ .
- С помощью полученной гистограммы выполнить глобальную сегментацию





# Пороговая обработка

## Обработка с несколькими порогами

Метод пороговой обработки допускает обобщение на произвольное число порогов:

- В случае  $K$  классов  $C_1, \dots, C_K$  межклассовая дисперсия

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

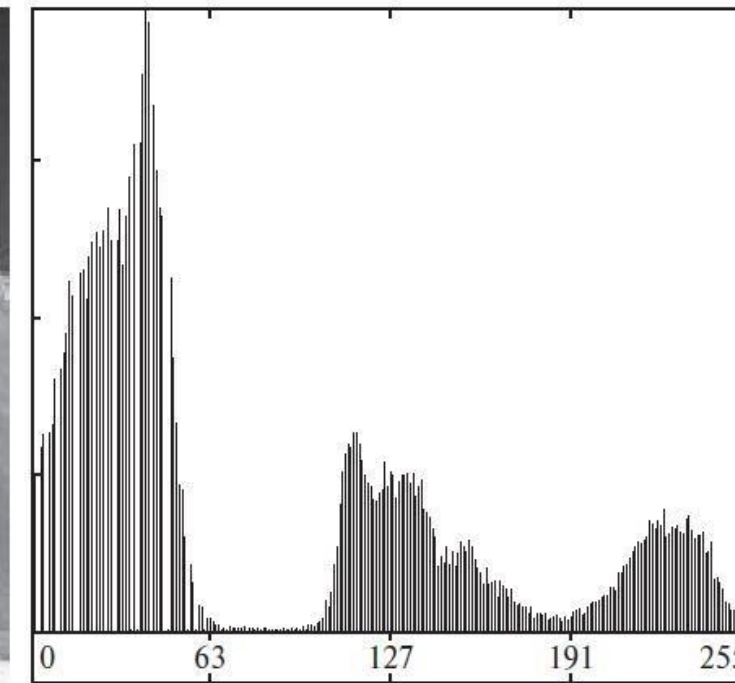
- $K$  классов разделяются  $K-1$  порогом, значения которых максимизируют величину

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

Изображение айсберга



Гистограмма



Сегментации на 3 области  
двойным глобальным  
порогом по методу Оцу



# Обработка с переменным порогом

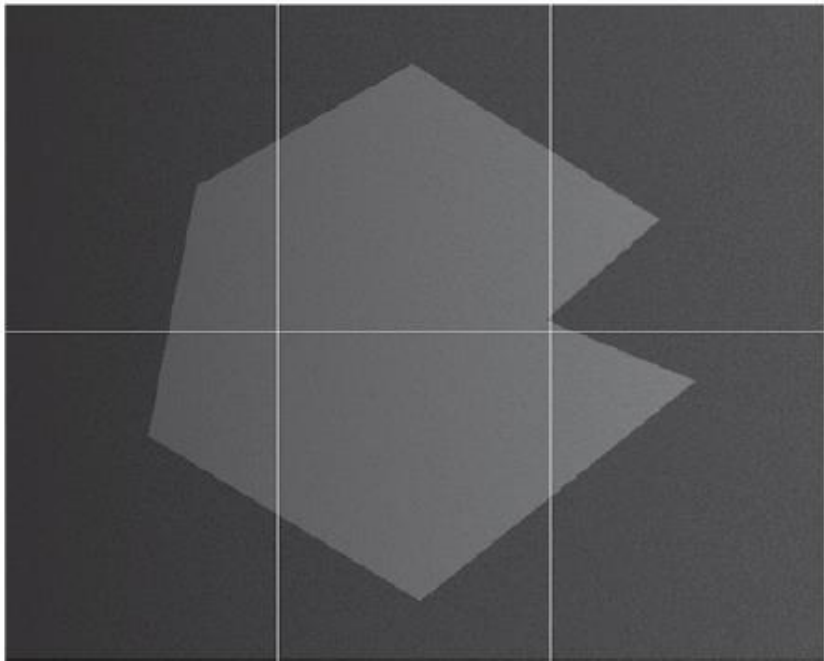
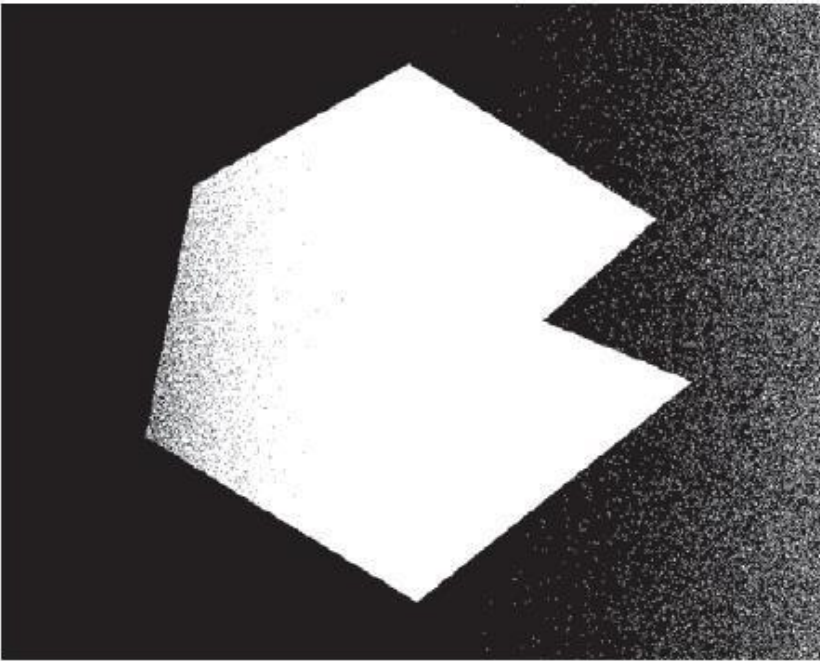
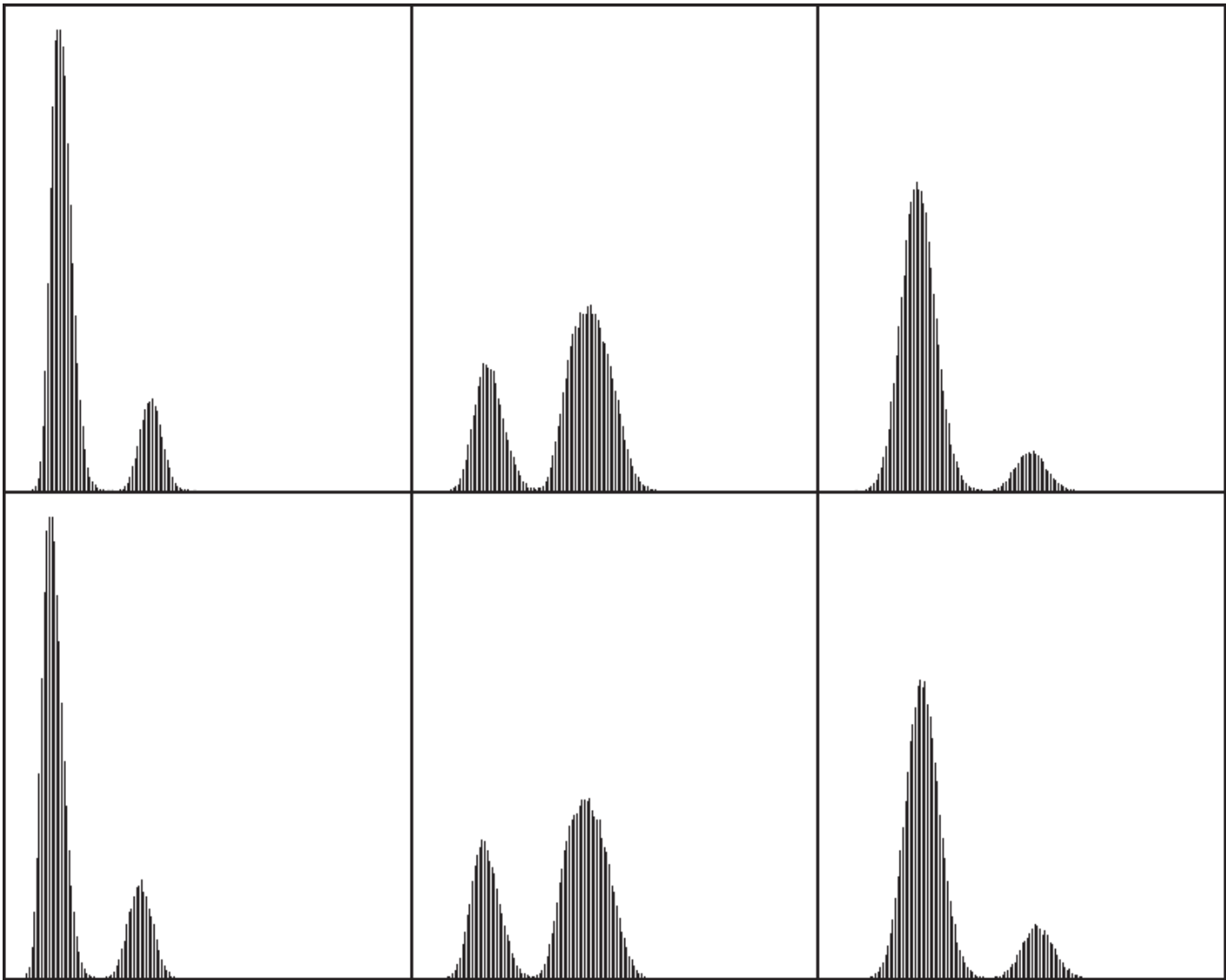
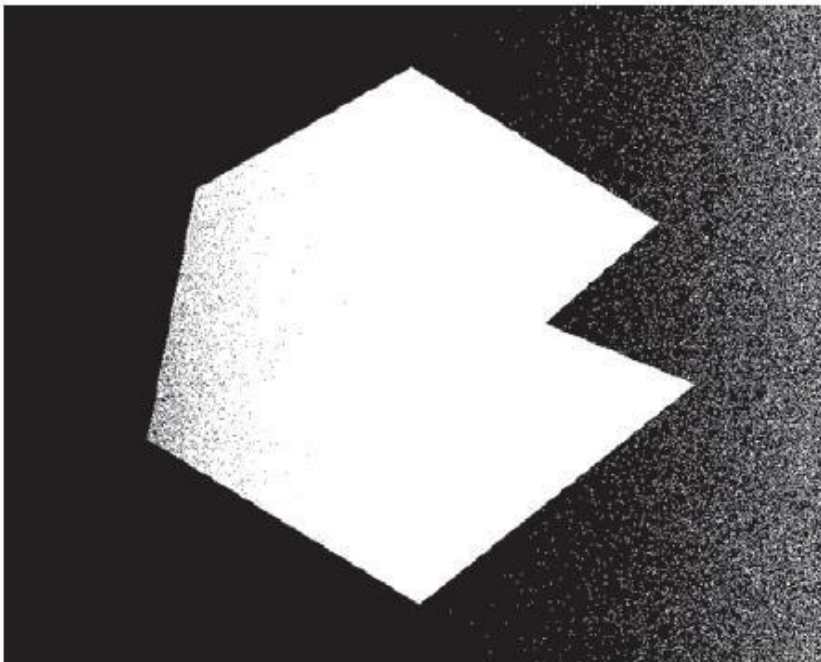
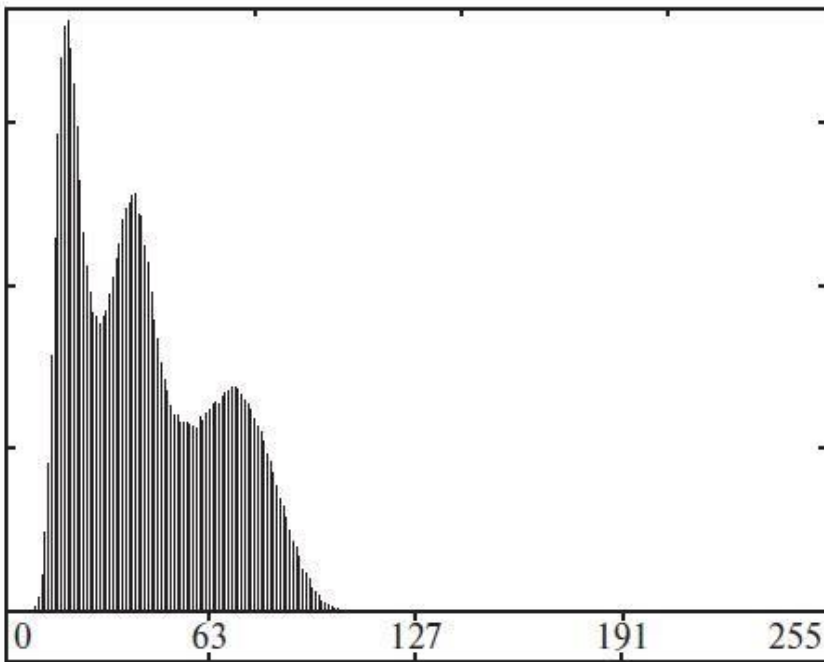
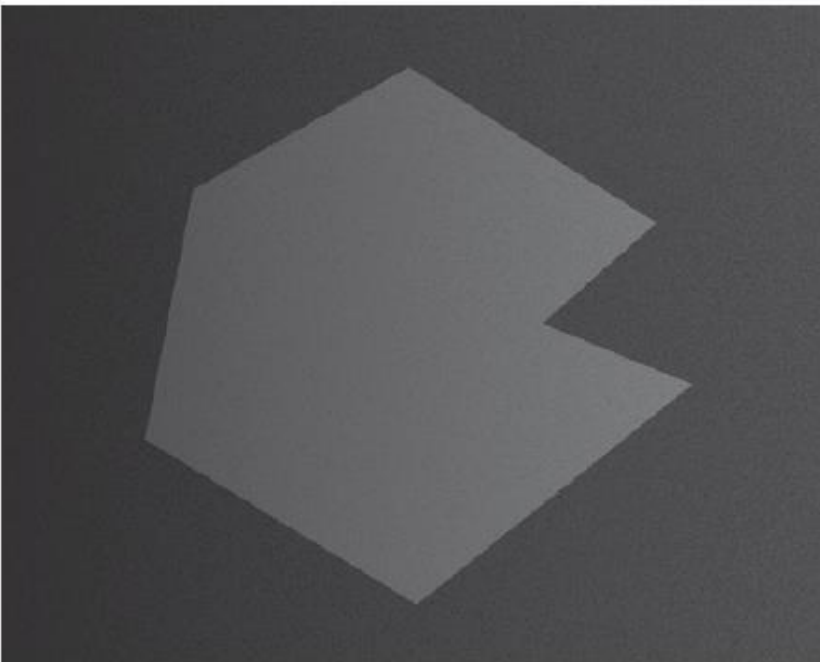
## Разбиение изображения

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



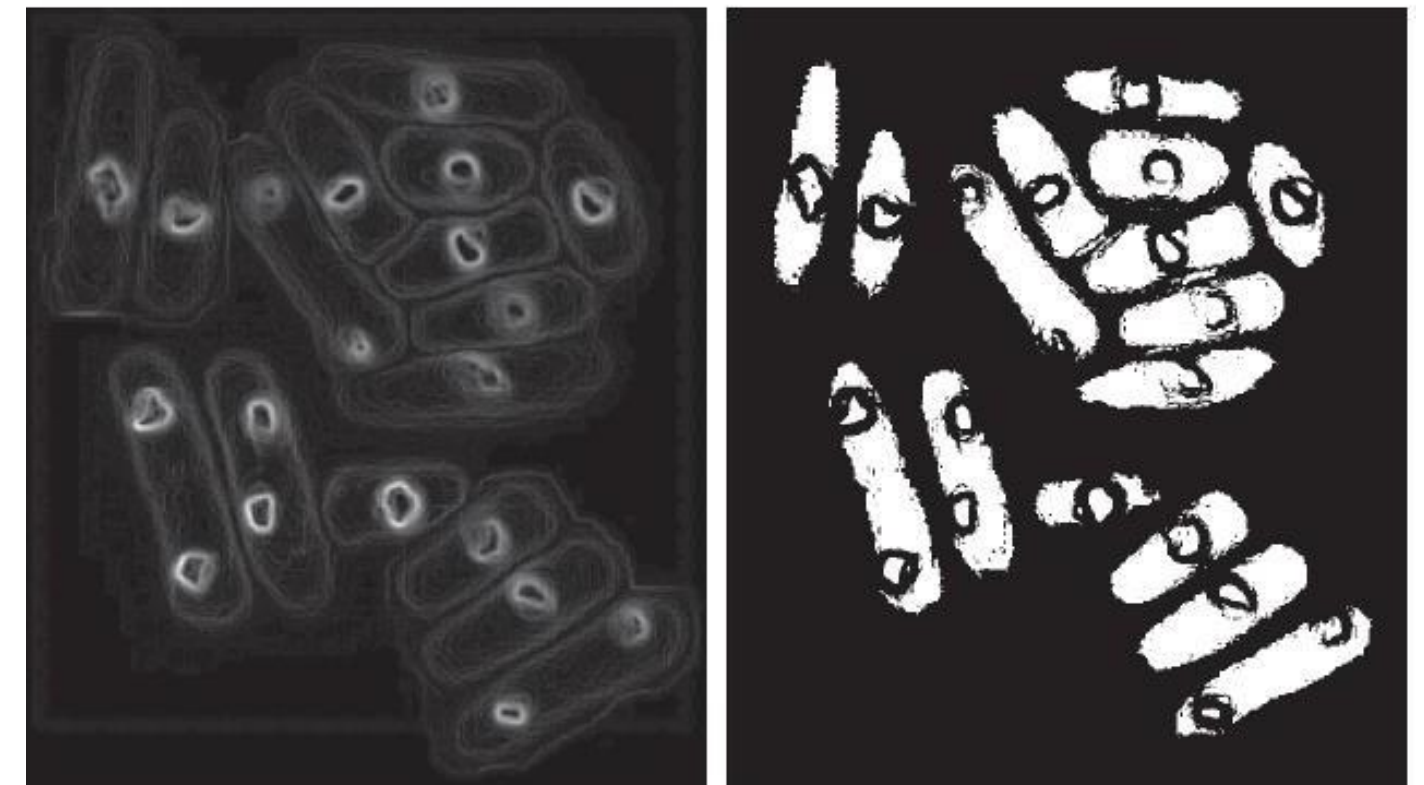
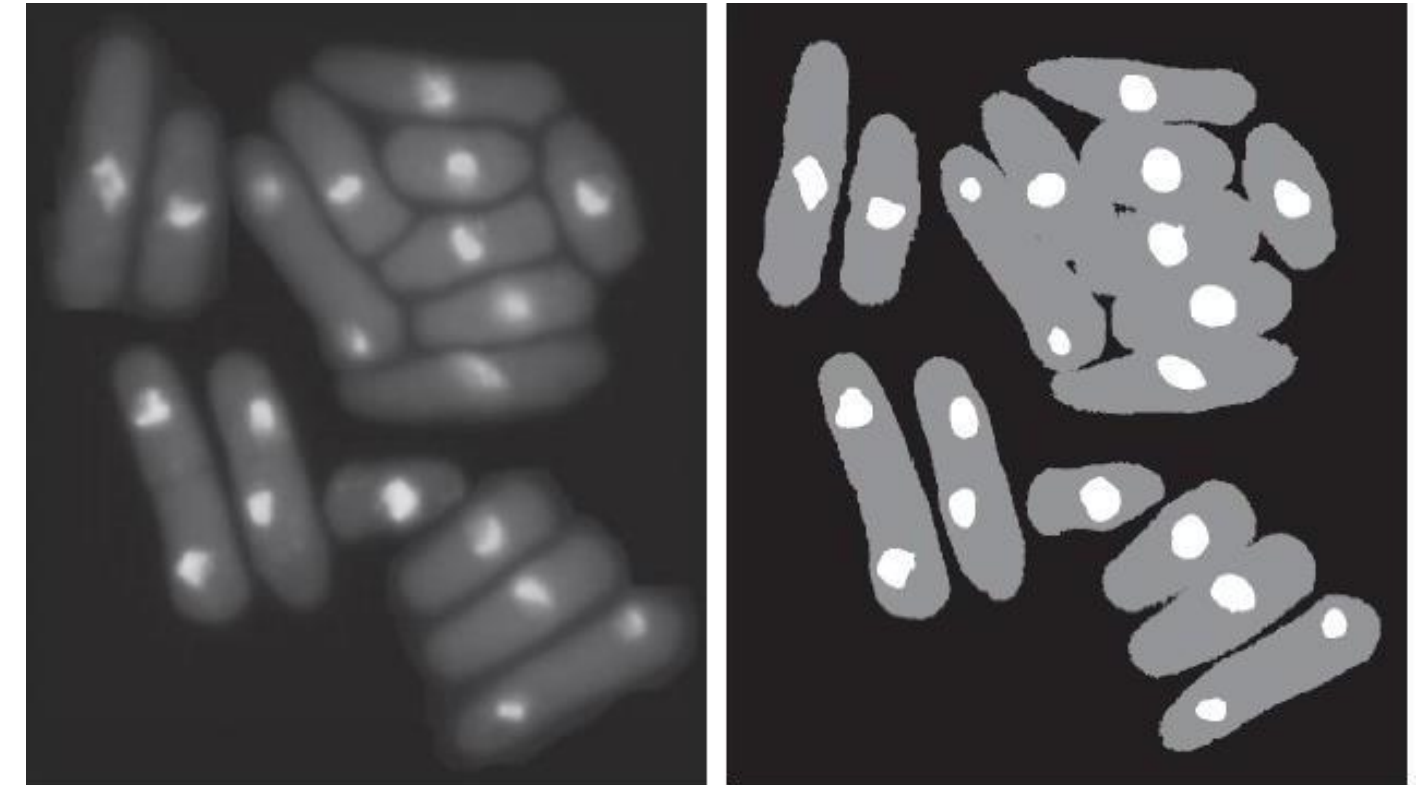
# Обработка с переменным порогом

## 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

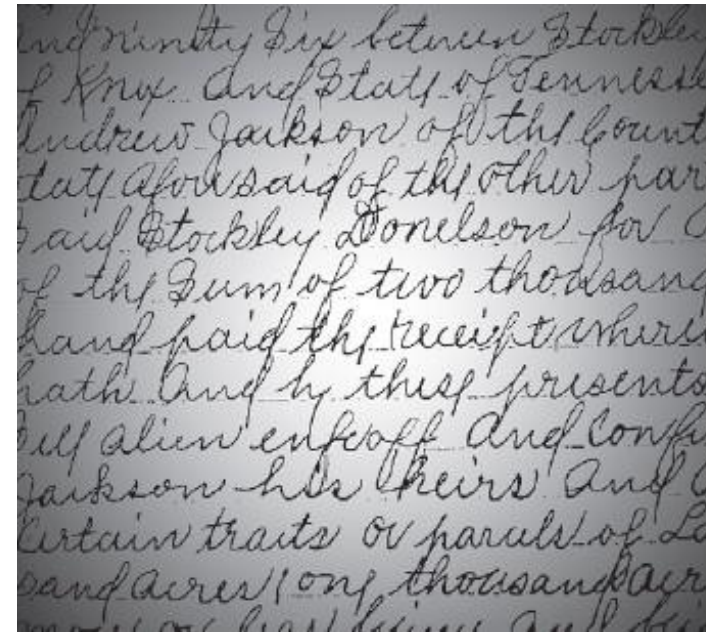
## Использование скользящего среднего

Особый случай локальной пороговой обработки:

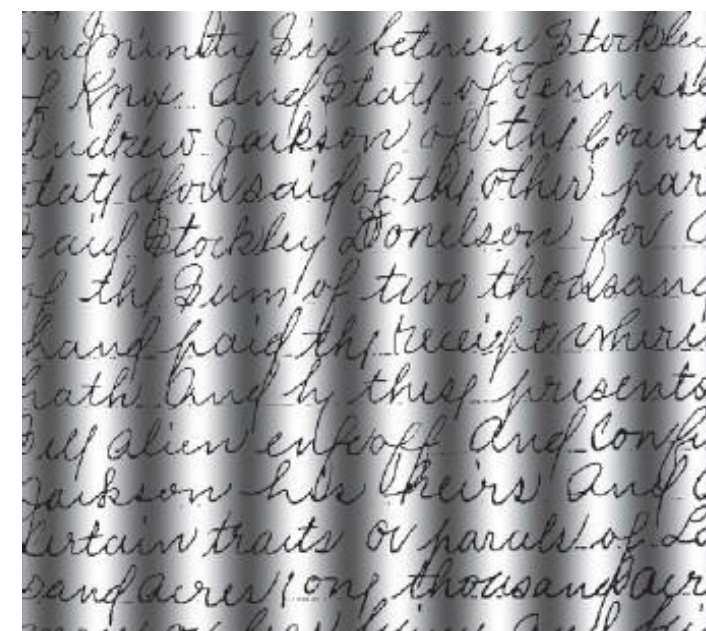
- Вычисление скользящего среднего значения при обходе изображения вдоль строк
- Применение для обработки документов, изображения которых получены при неравномерном освещении
- Вычисление значения яркости:

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

Текст, освещенный  
точечным источником



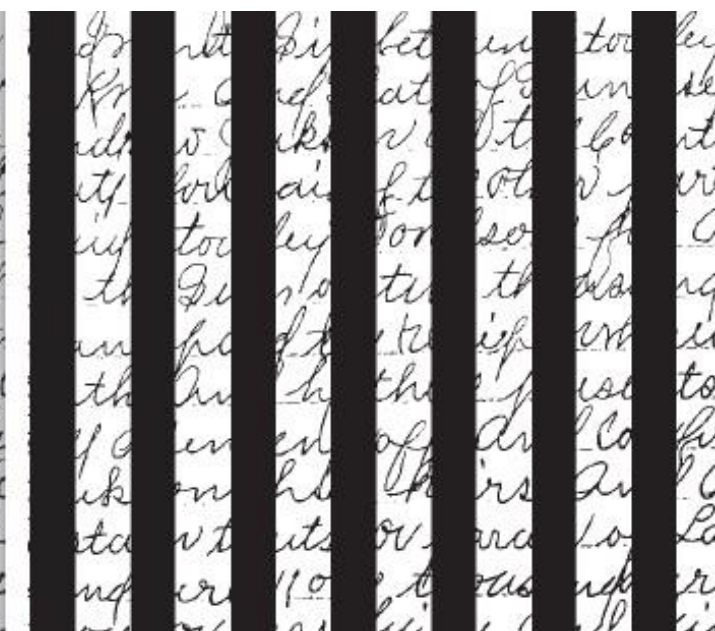
Текст, с  
синусоидальной  
помехой



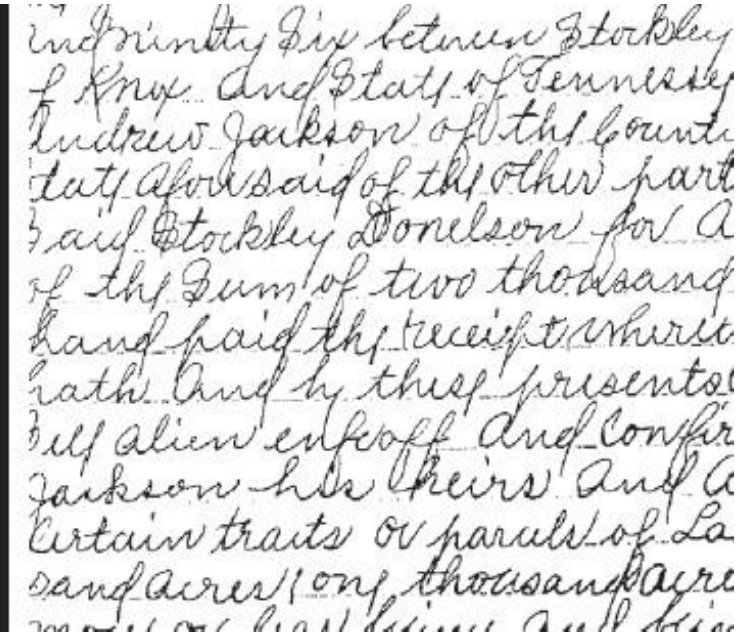
Глобальный метод  
Оцу



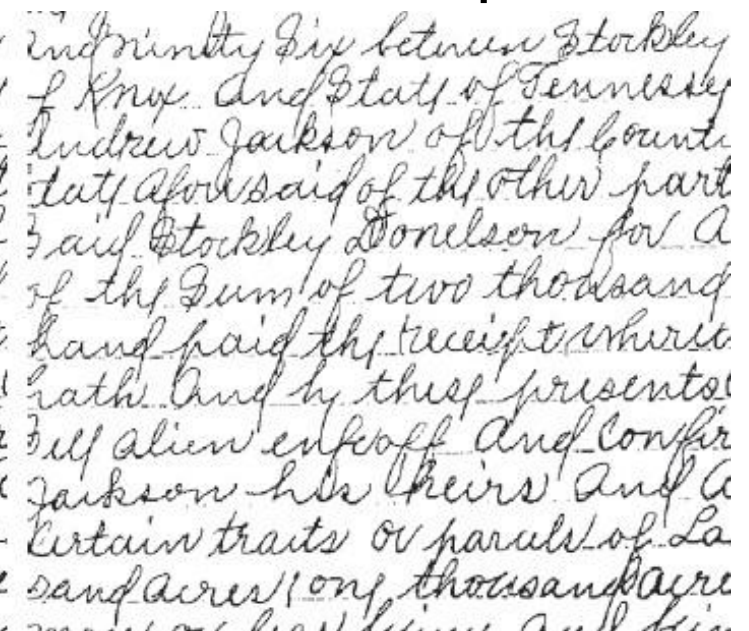
Глобальный метод  
Оцу



Локальная пороговая  
обработка со  
скользящим средним



Локальная пороговая  
обработка со  
скользящим средним

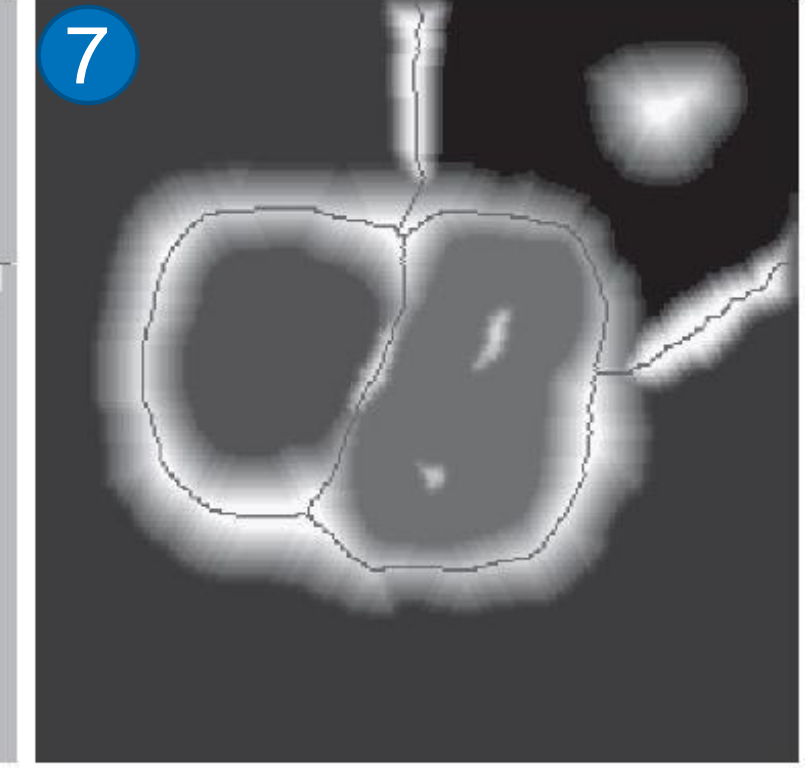
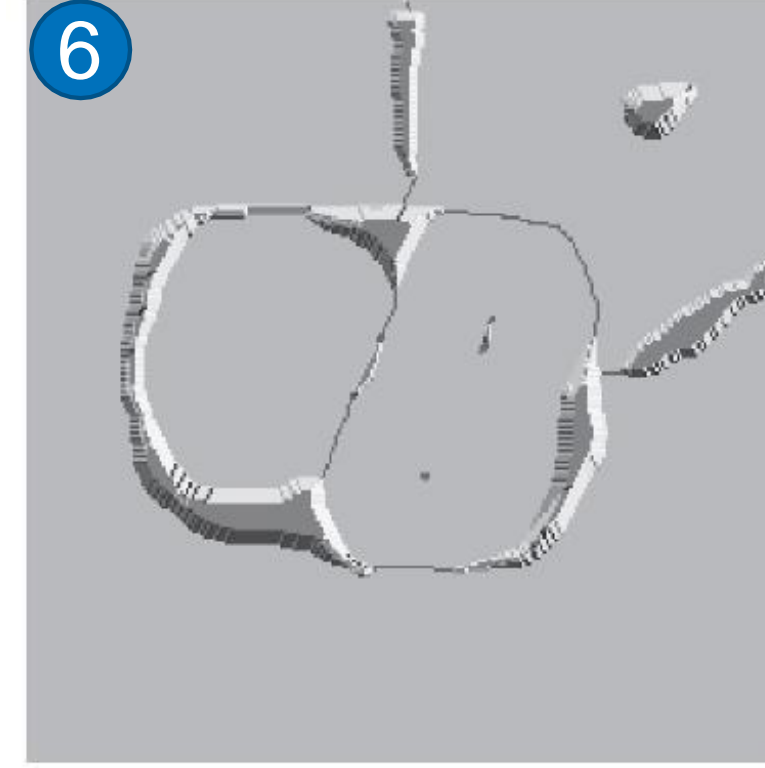
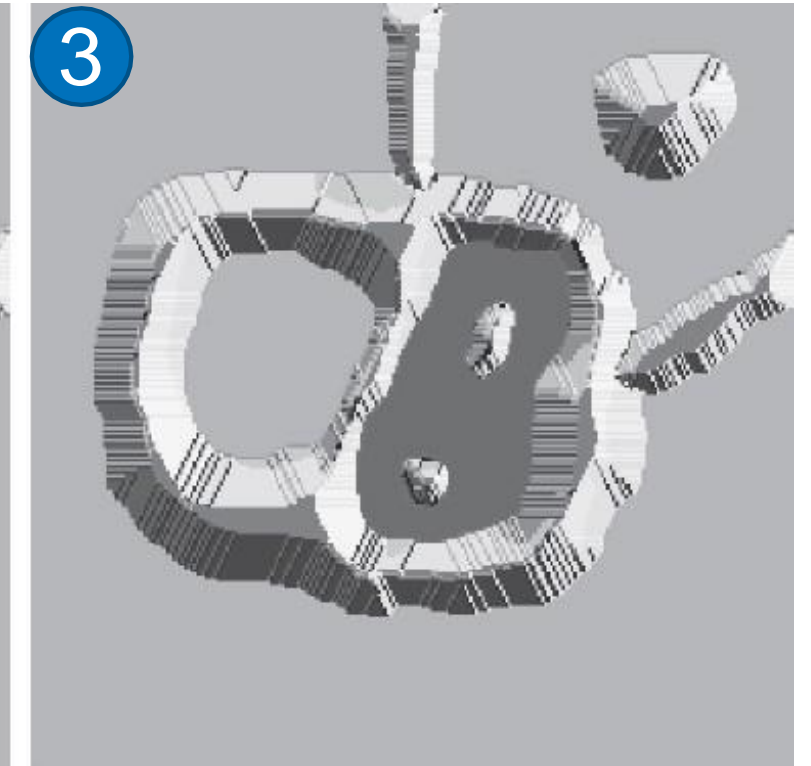
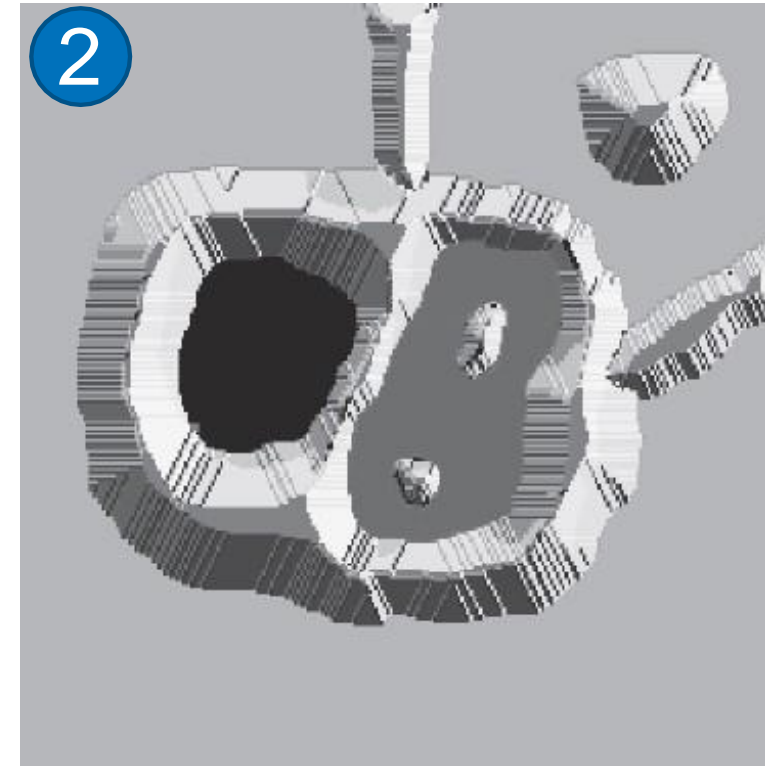
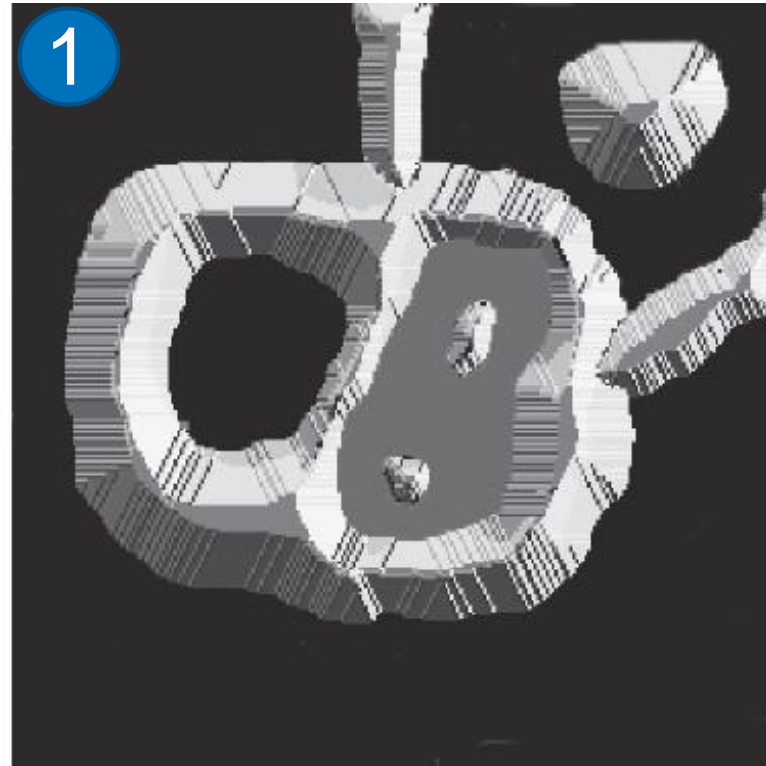
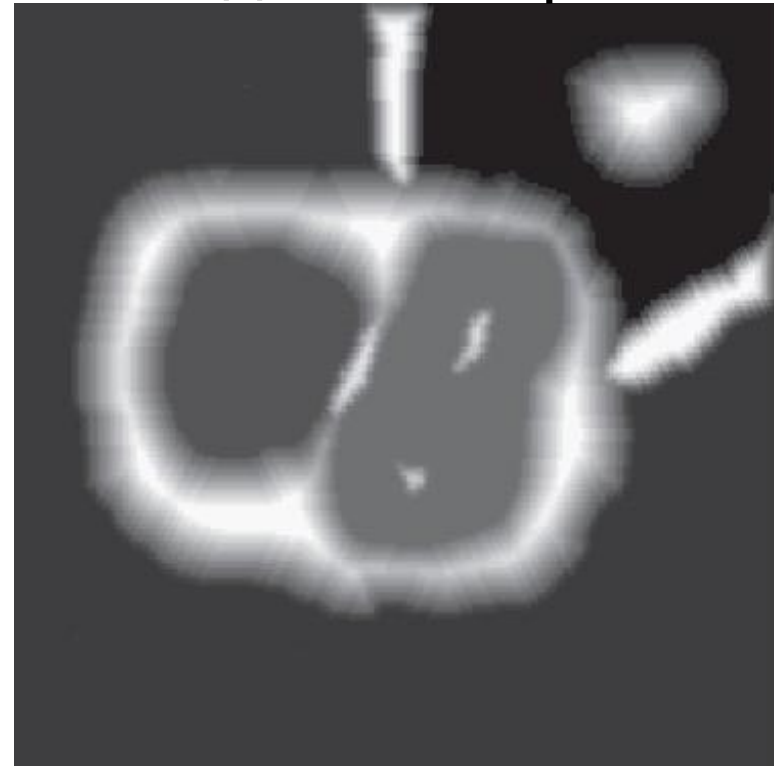




# Сегментация по водоразделам

## Исходные предпосылки

Исходное изображение



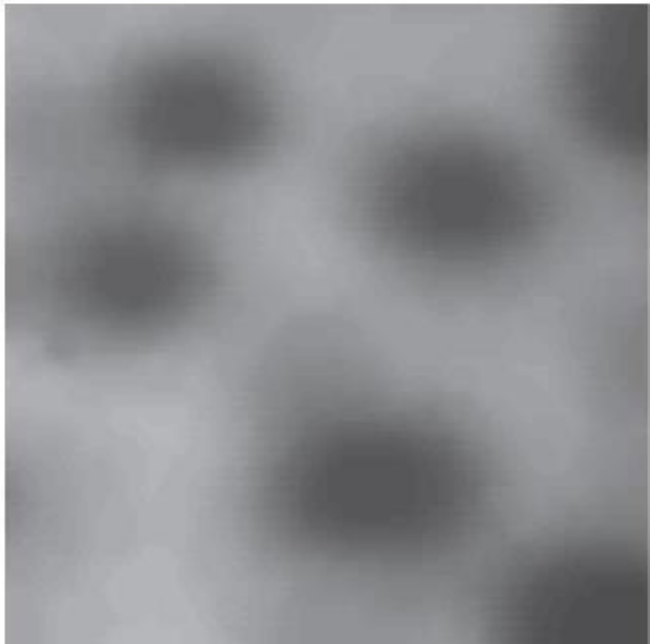


# Сегментация по водоразделам

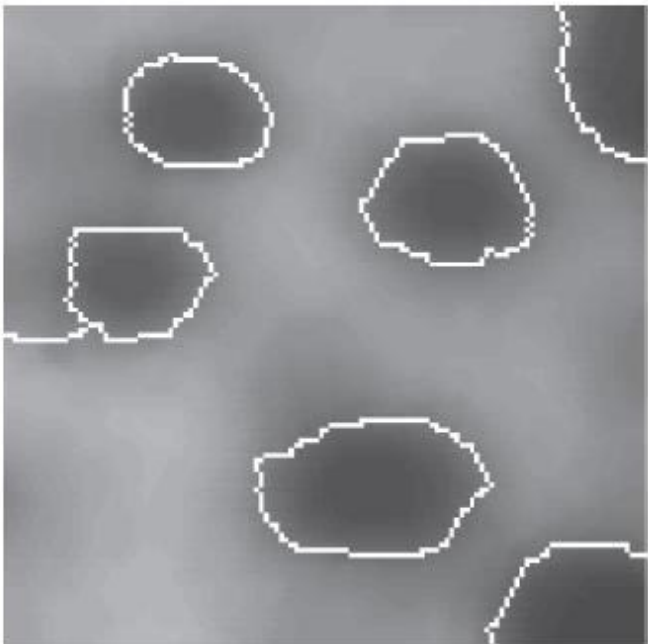
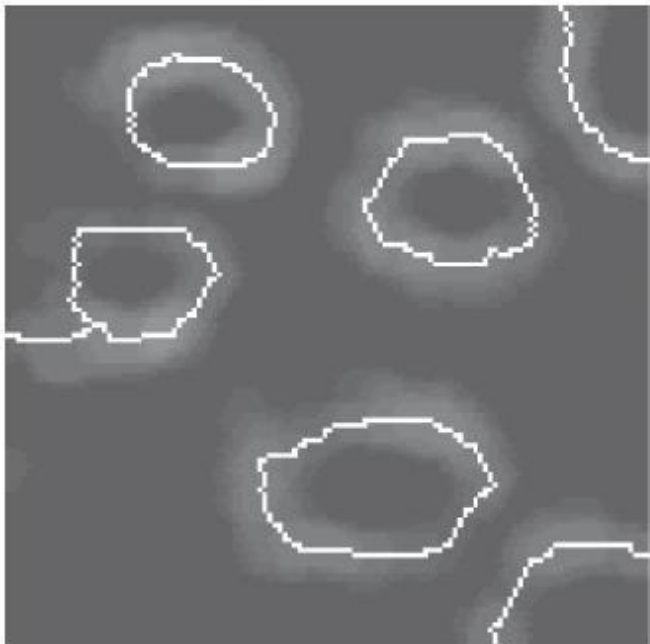
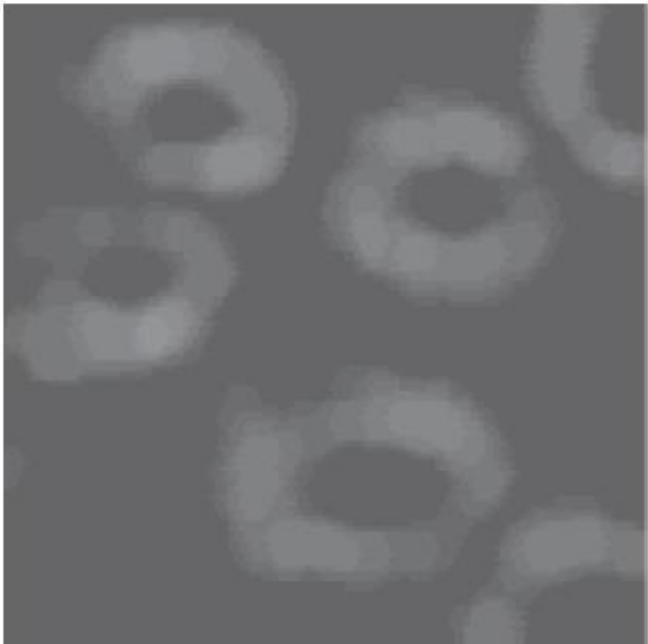
## Базовый алгоритм и использование маркеров

Использование базового алгоритма

Исходное



Градиент

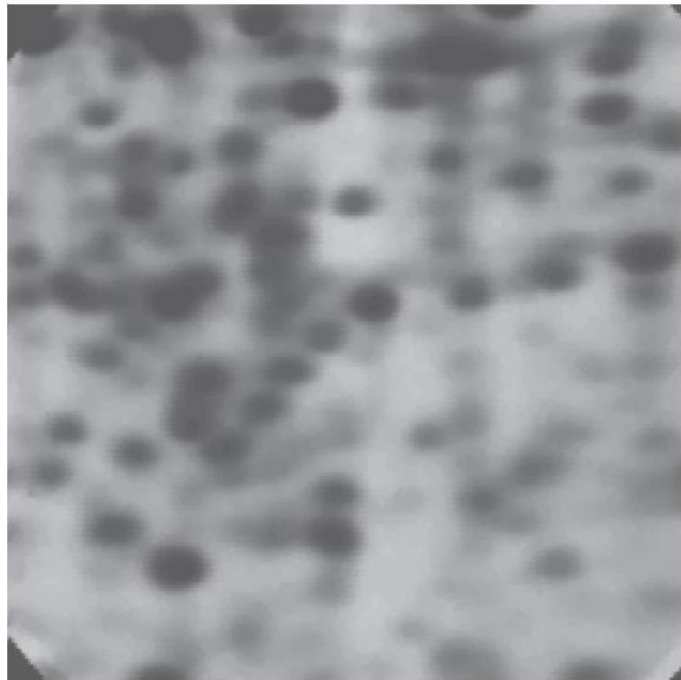


Линии водоразделов  
на градиентом  
изображении

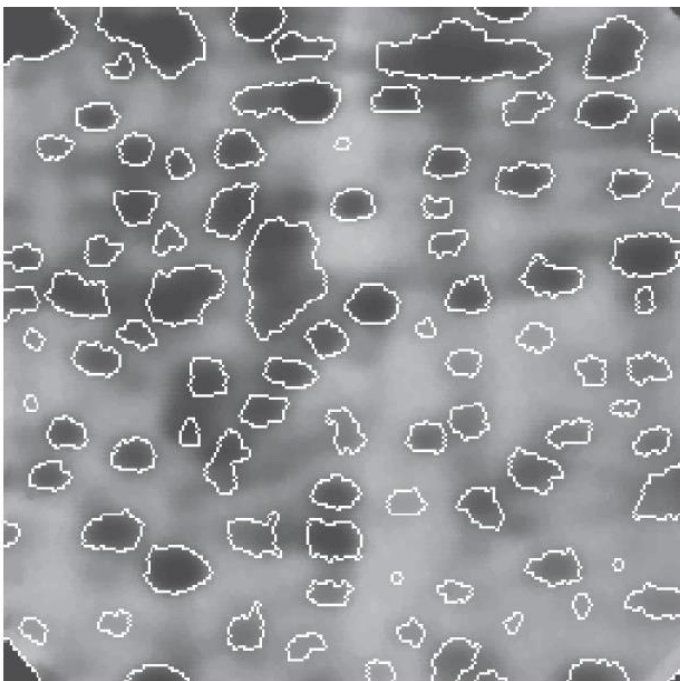
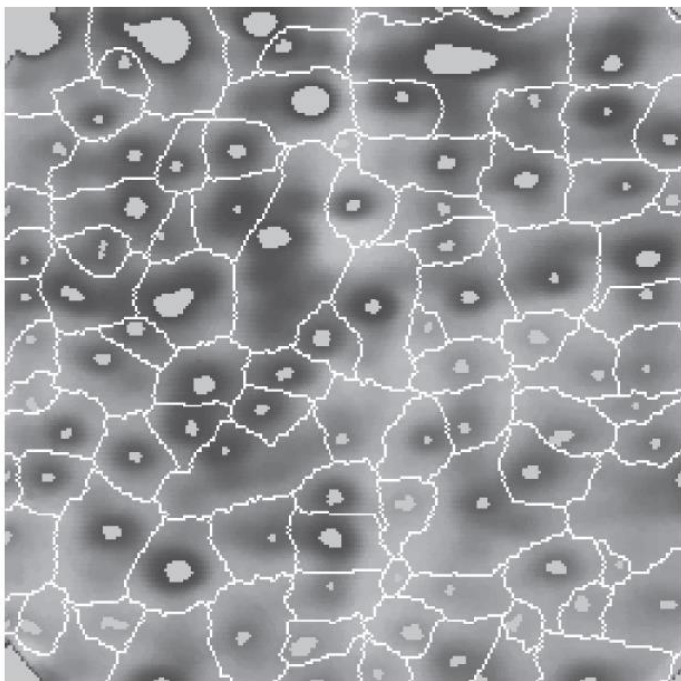
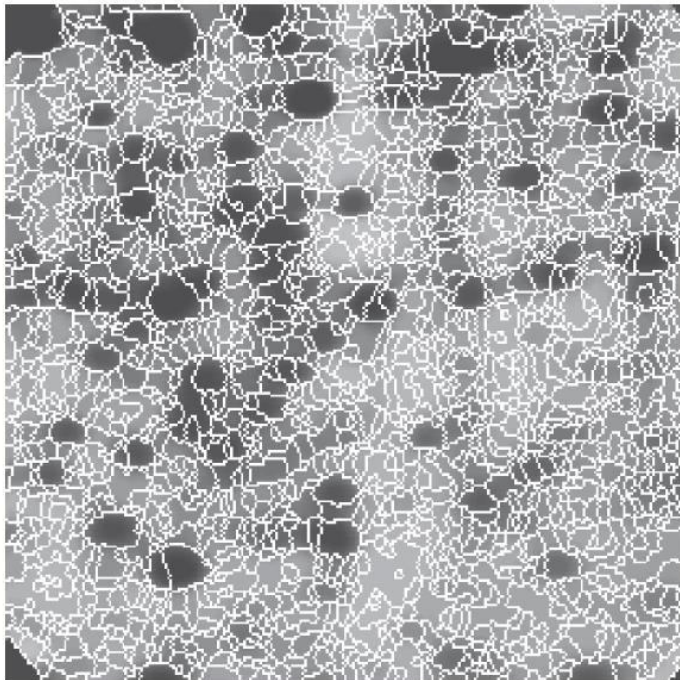
Линии водоразделов  
на исходном  
изображении

Базовый алгоритм и гиперсегментация

Исходное



Избыточная сегментация



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.