

Лекция 6

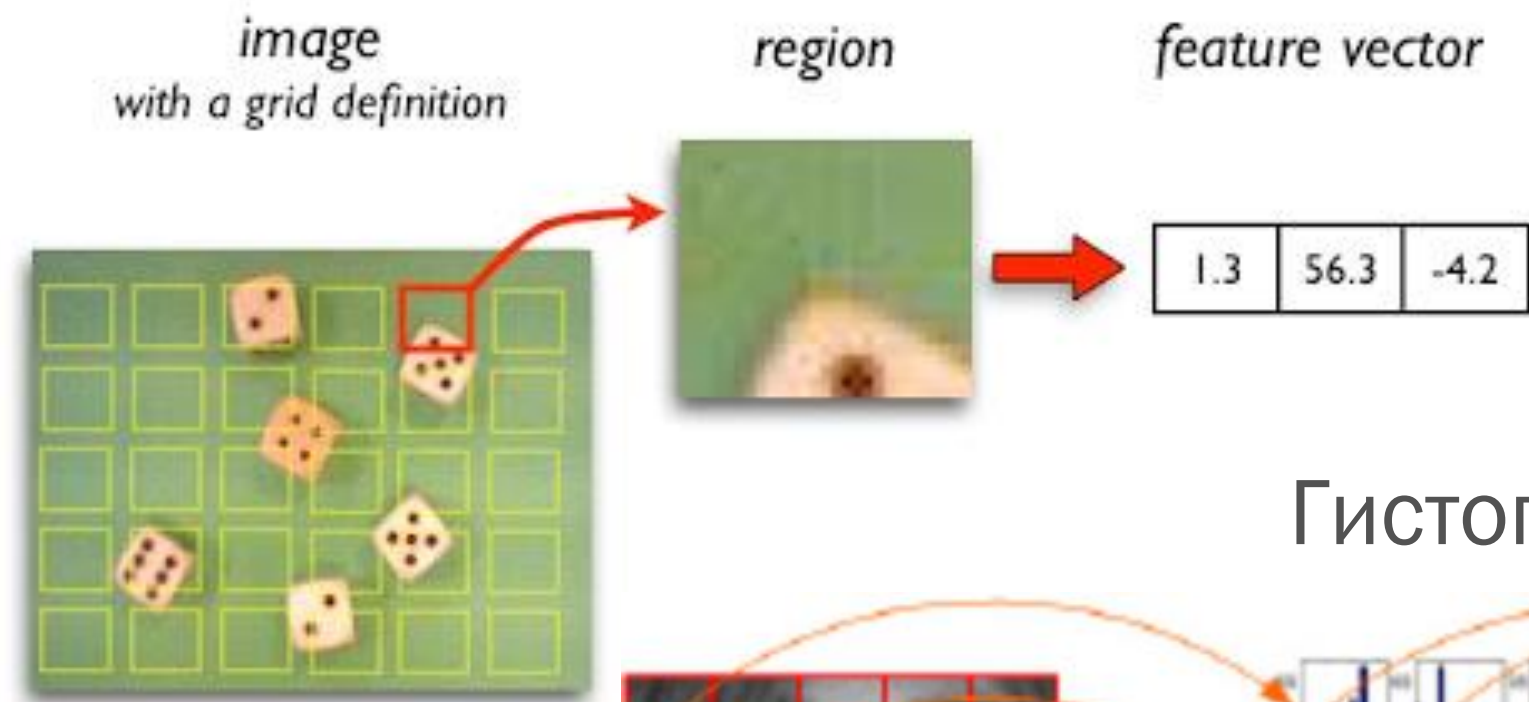
Представление и описание

Курс «Компьютерное зрение»

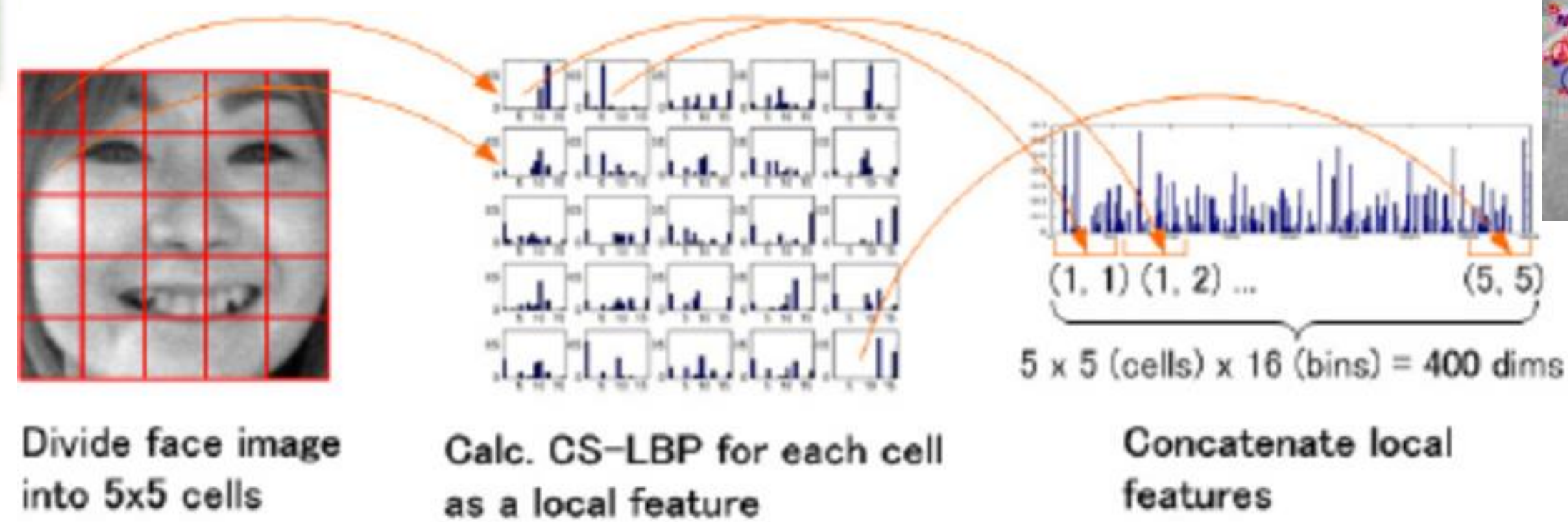
Представление и описание

Введение

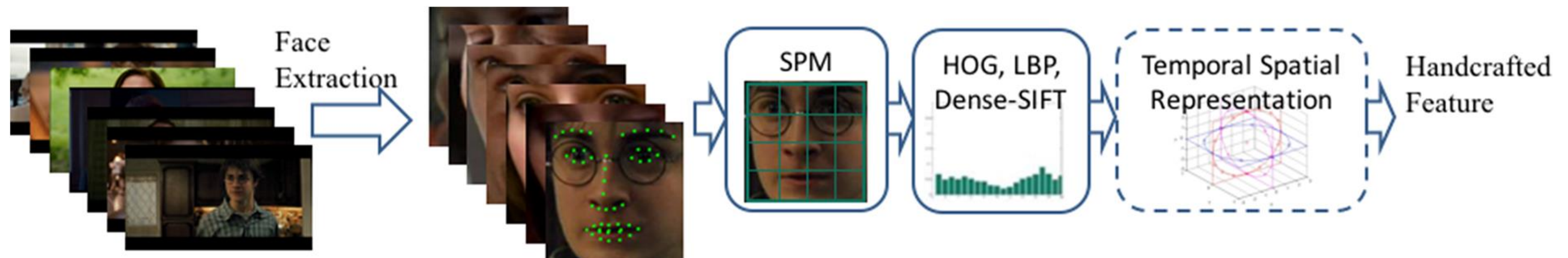
Базовое выделение признаков



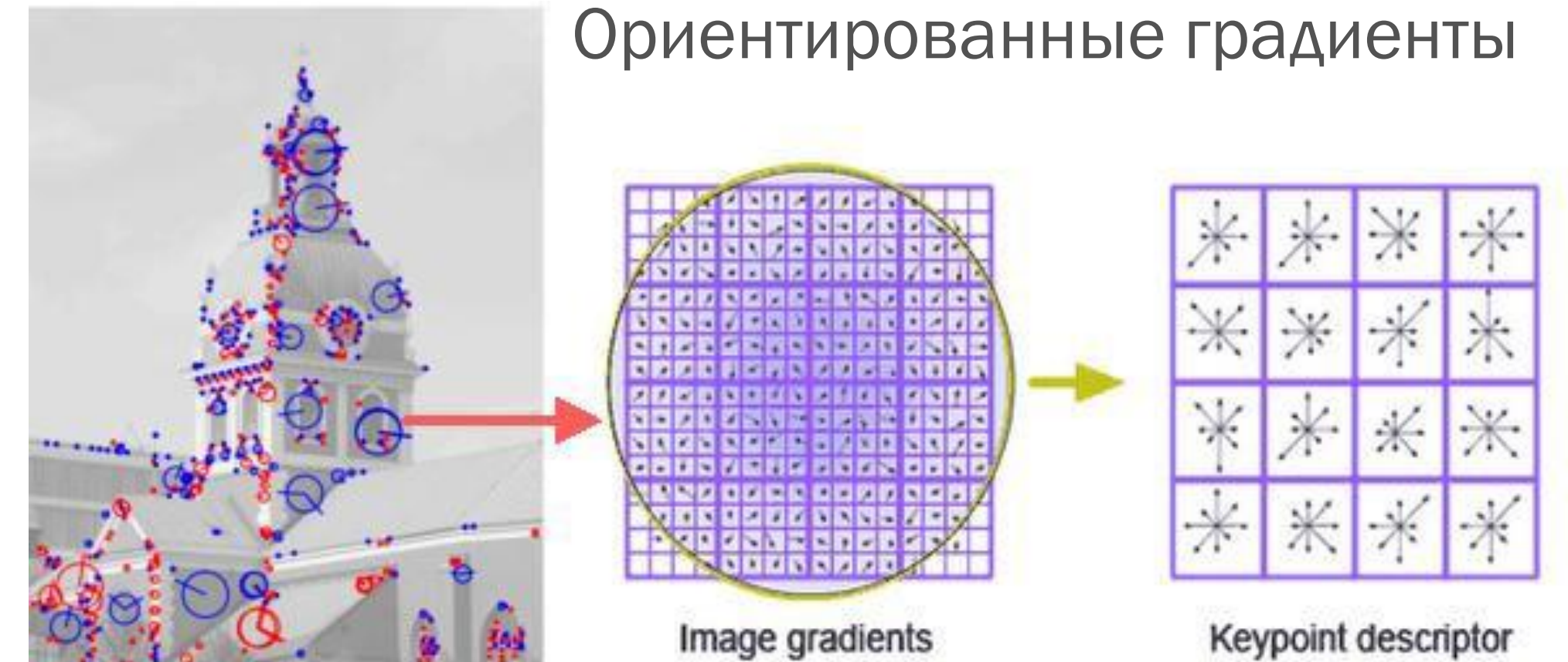
Гистограммные методы



Пайплайн выделения признаков



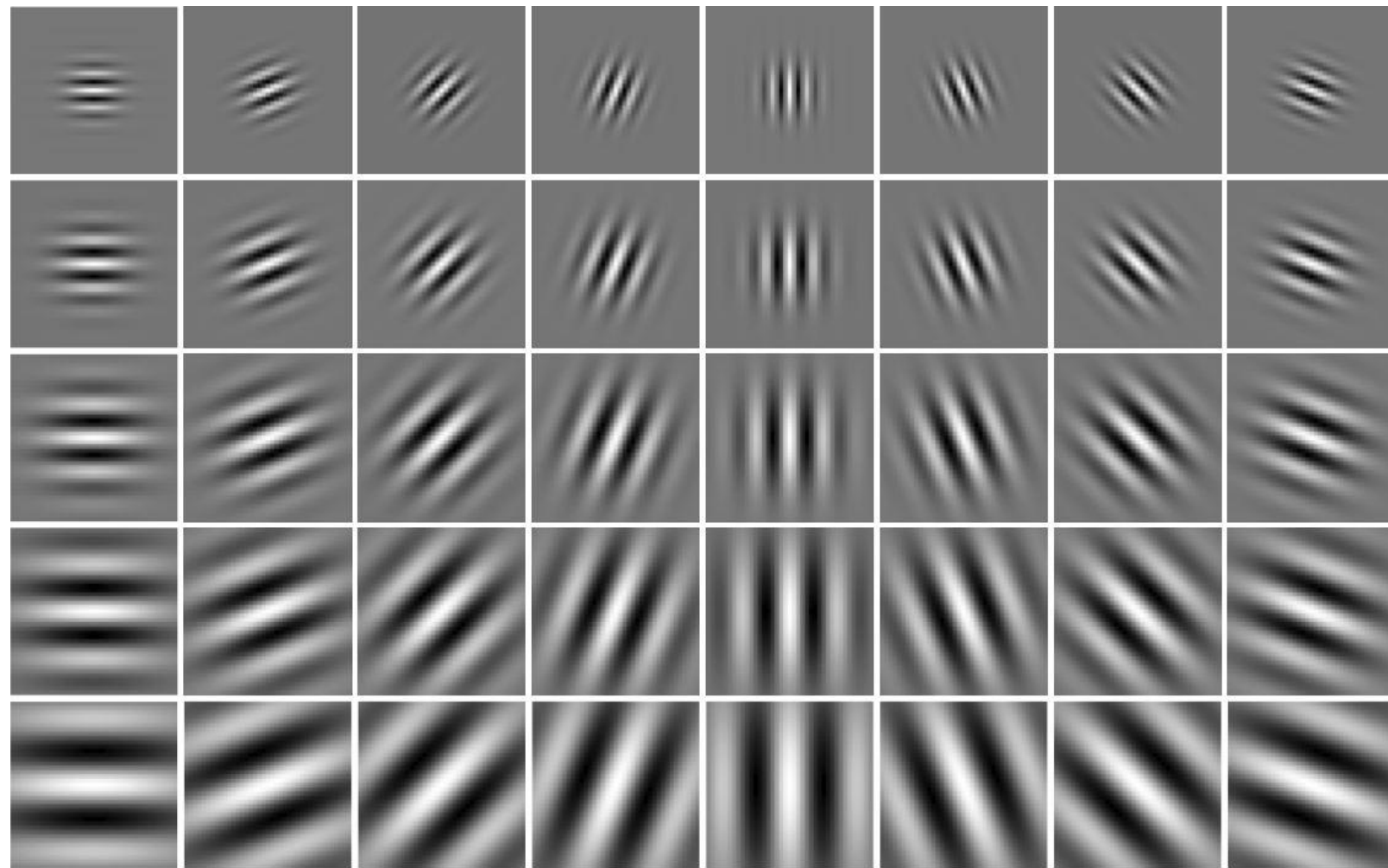
Ориентированные градиенты



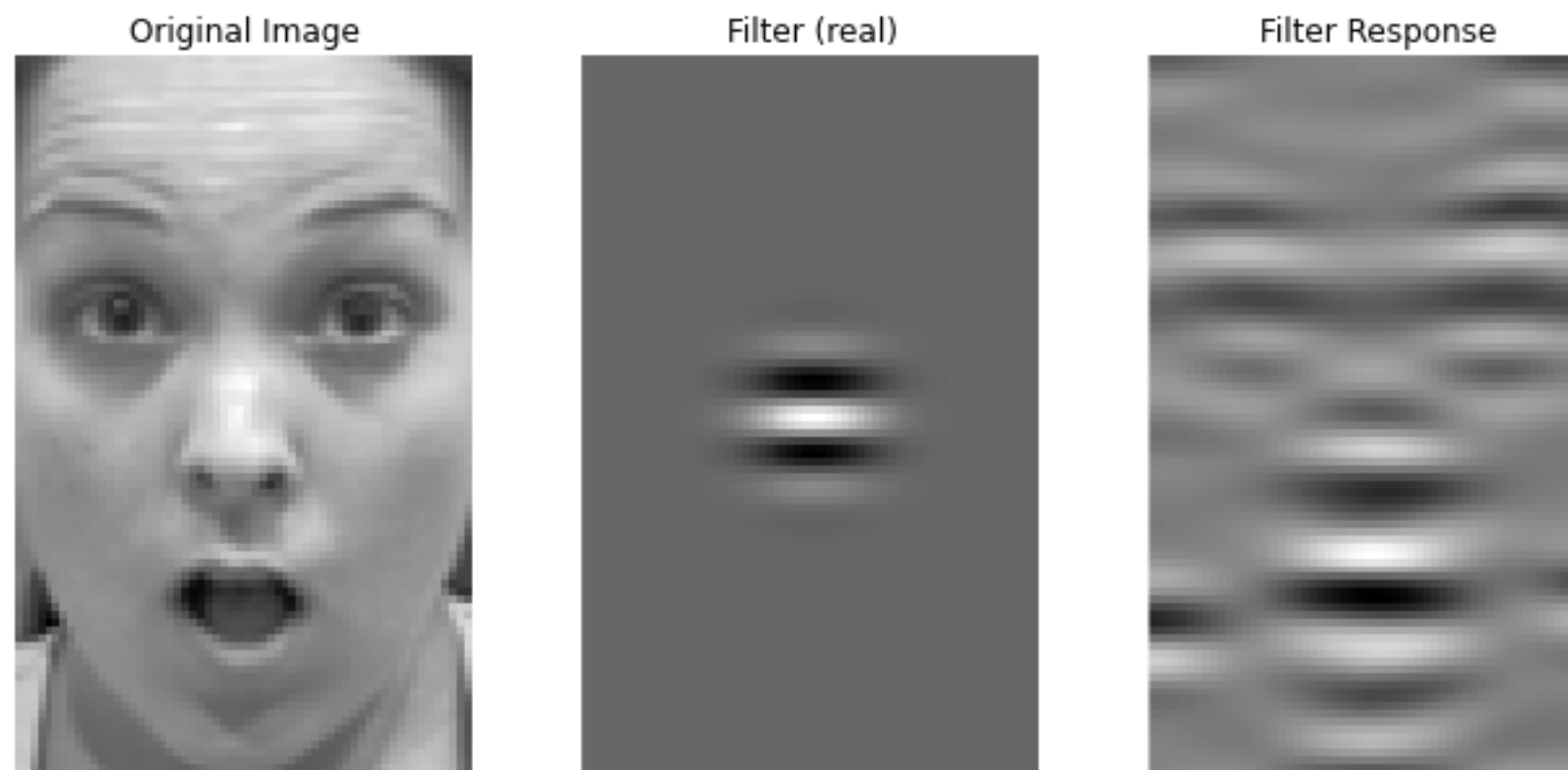
Представление и описание

Связь между **handcrafted** и **learned features**

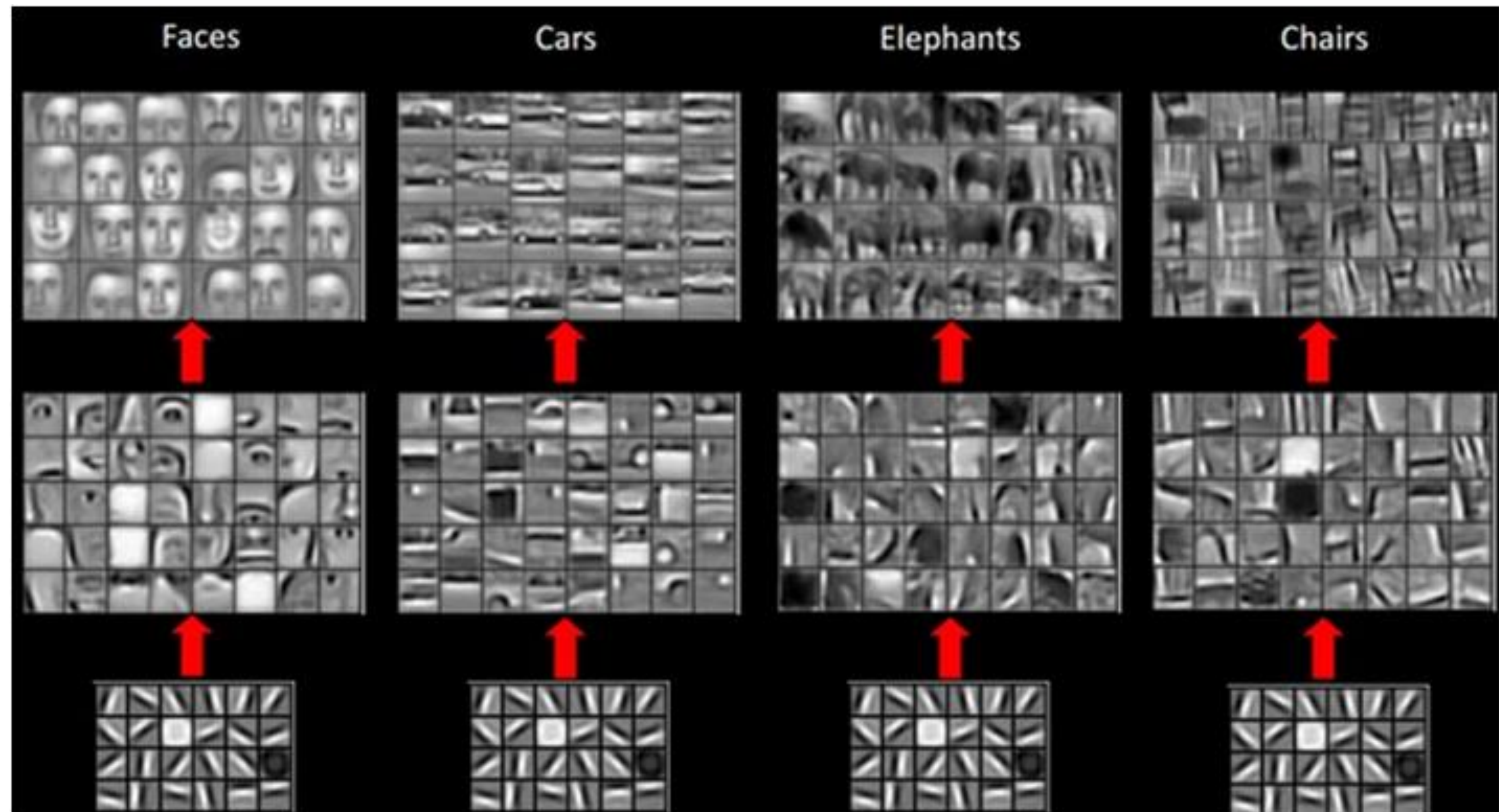
Банк фильтров Габора



Выделение признаков с помощью
фильтра Габора



Learned features



Представление

Прослеживание границы

Преобразование результатов сегментации в компактное представление:

- Пусть задана двоичная область R
- Начальной точки b_0 – левая верхняя точка $=1$
- Рассмотрим восьмерку соседей b_0 , двигаясь по часовой стрелке: b_1 — первая встретившаяся точка $=1$, а c_1 — точка фона, непосредственно ей предшествующая в указанном порядке обхода
- Пусть $b = b_1$ и $c = c_1$
- Начиная с c и двигаясь по часовой стрелке, обозначим восьмерку соседей b через n_1, n_2, \dots, n_8 . Находим первую точку $n_k = 1$
- $b = n_k$ и $c = n_{k-1}$
- Повторяем шаги 3 и 4 до тех пор, пока не получим, что $b = b_0$ и следующая найденная точка границы — b_1 .

Процесс
прослеживания
границы

		1	1	1	1	
	1			1		
		1		1		
	1			1		
	1	1	1	1		

	c_0	b_0	1	1	1	
	1			1		
		1		1		
	1			1		
	1	1	1	1		

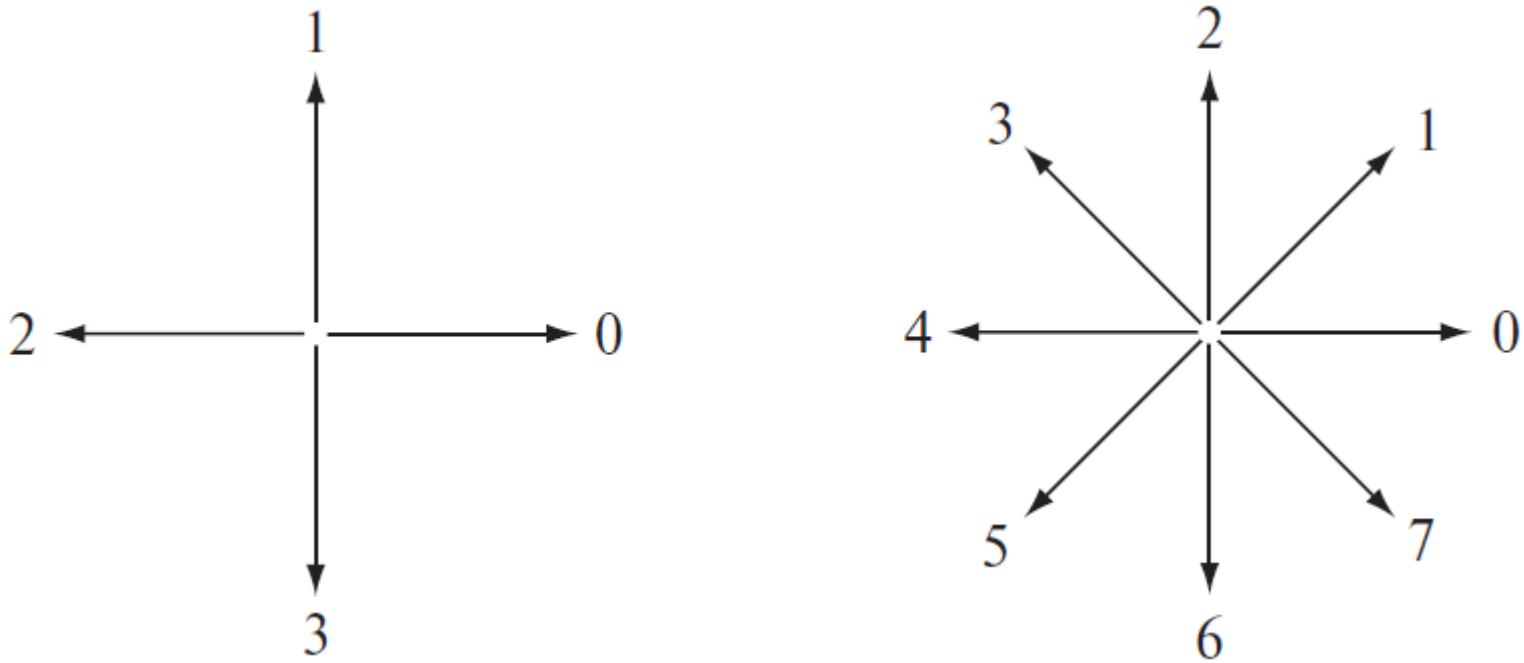
			c	b	1	1
	1				1	
		1			1	
	1				1	
	1	1	1	1		

				c	b	1
	1				1	
		1			1	
	1				1	
	1	1	1	1		

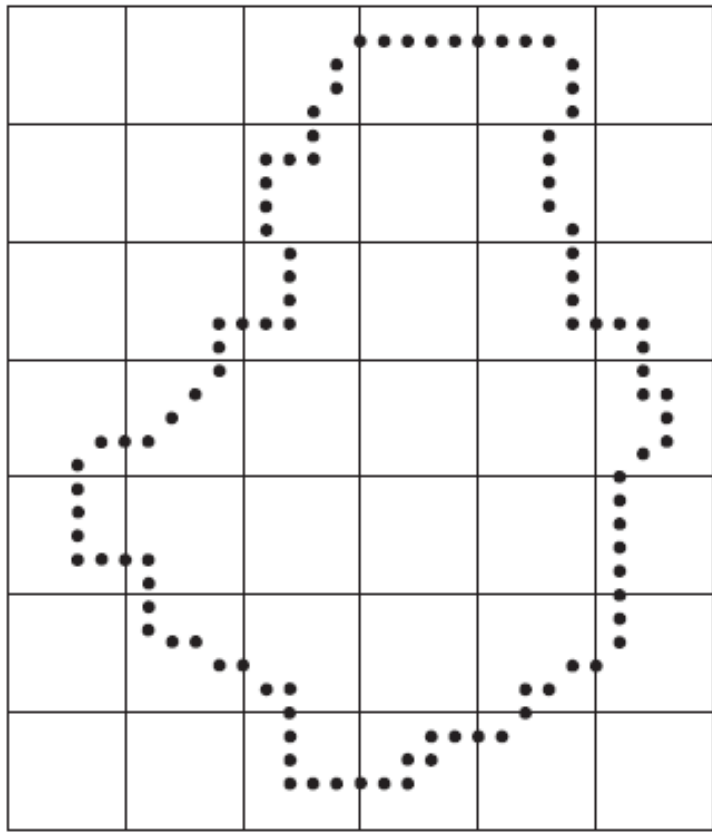
Результат
прослеживания
границы

Представление Цепные коды

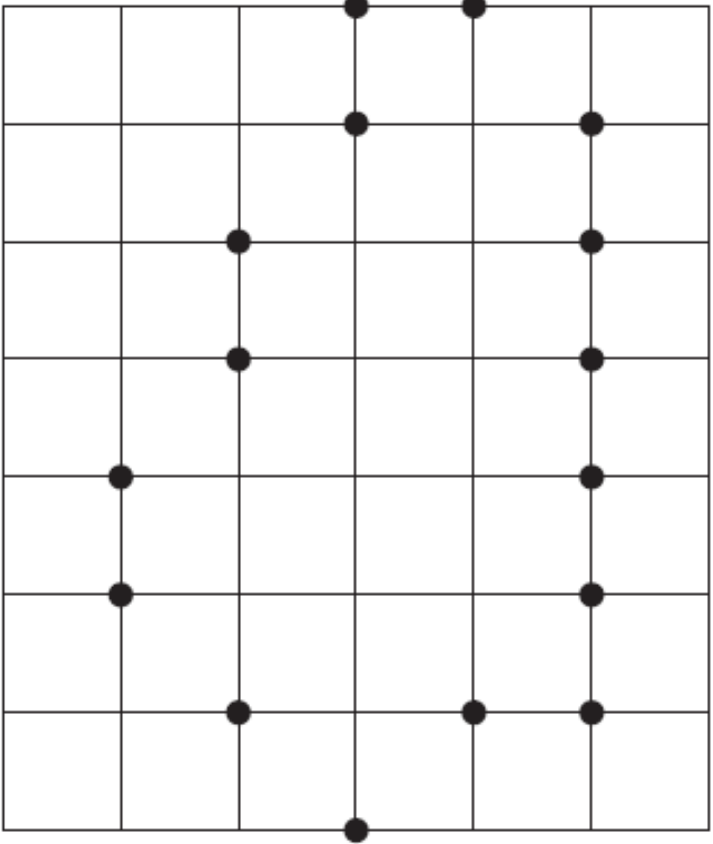
Нумерация направлений для 4-связного и 8-связного цепного кода



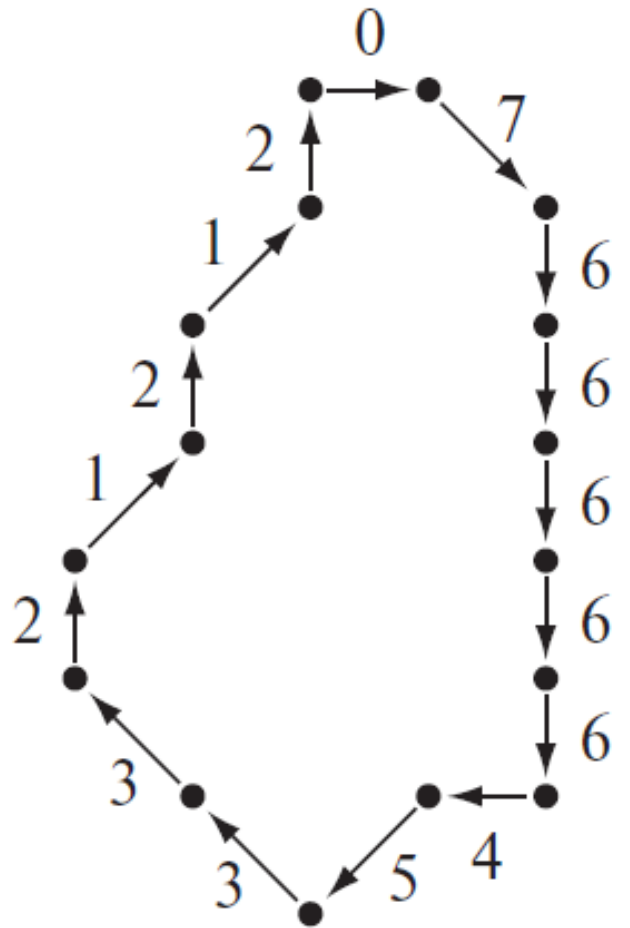
Дискретная граница с наложенной укрупненной сеткой дискретизации



Результат новой дискретизации



Представление границы 8-связным цепным кодом



Зашумленное изображение



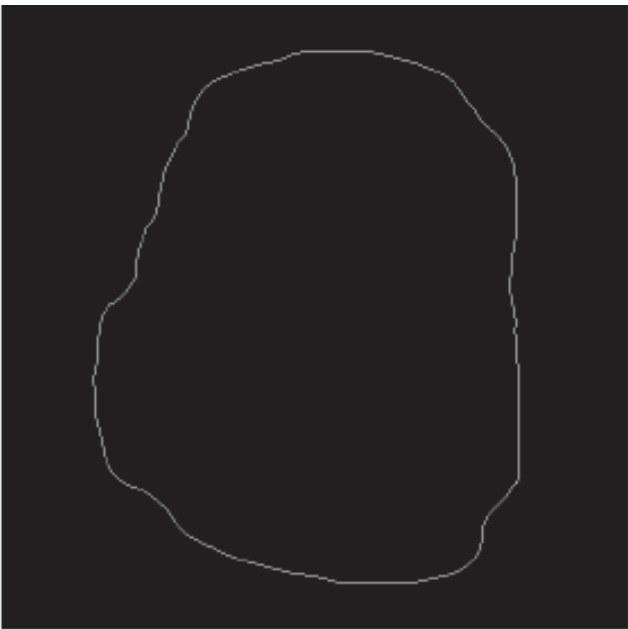
Результат сглаживания



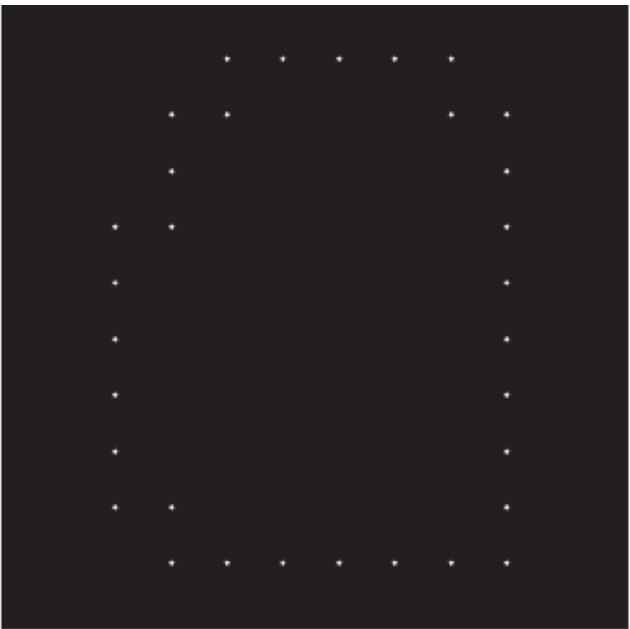
Пороговое разделение



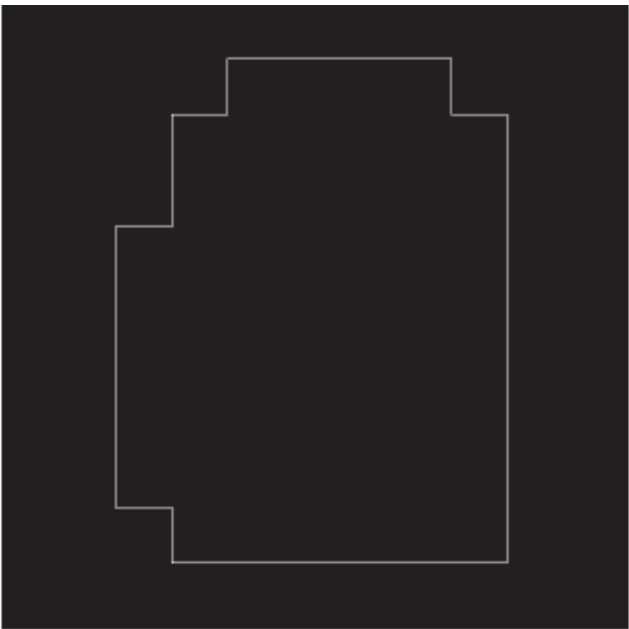
Наиболее длинная внешняя граница



Вторичная дискретизация



Соединенные точки



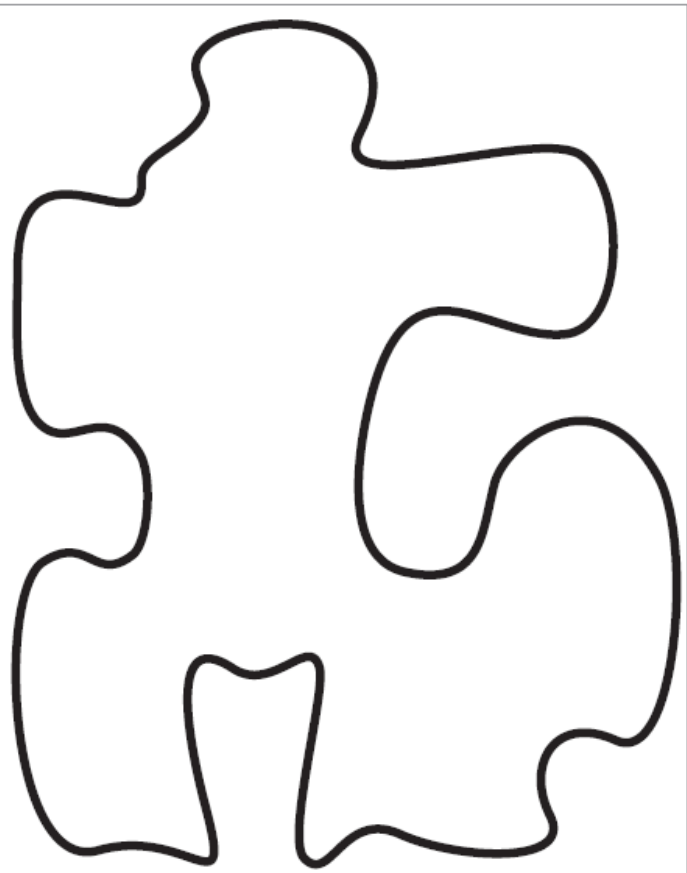
8-связный цепной код Фримена для упрощенной границы:

0 0 0 0 6 0 6 6 6 6 6 6 6 6 4 4 4 4 4 4 2 4 2 2 2 2 2 0 2 2 0 2

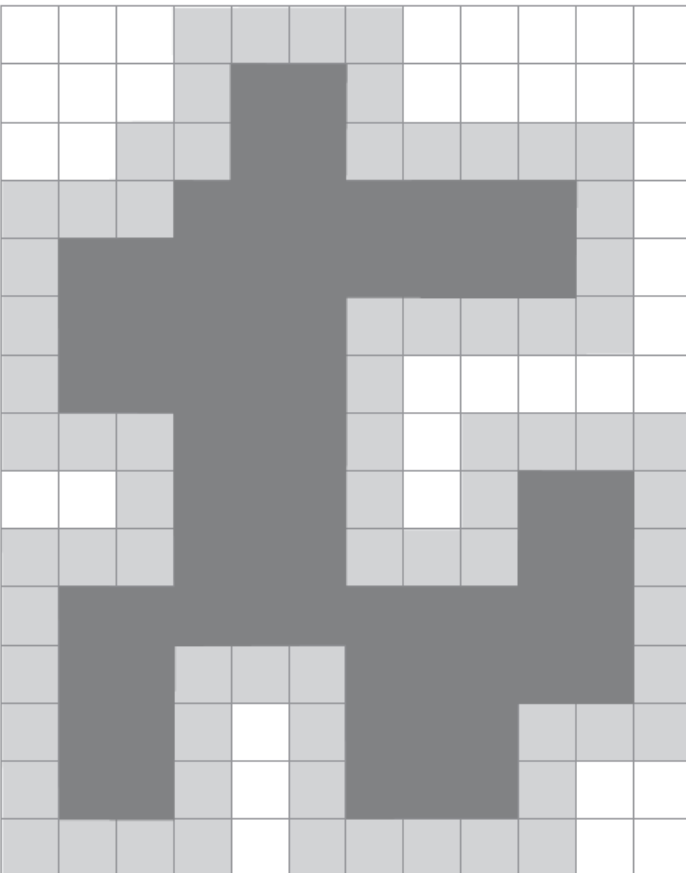
Представление

Аппроксимация ломаной линией минимальной длины

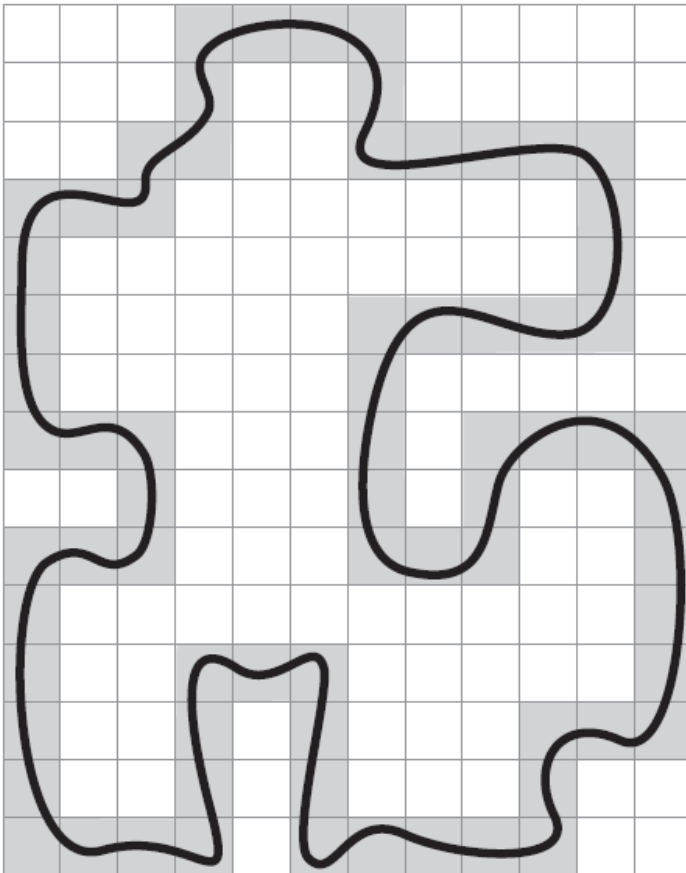
Граница объекта



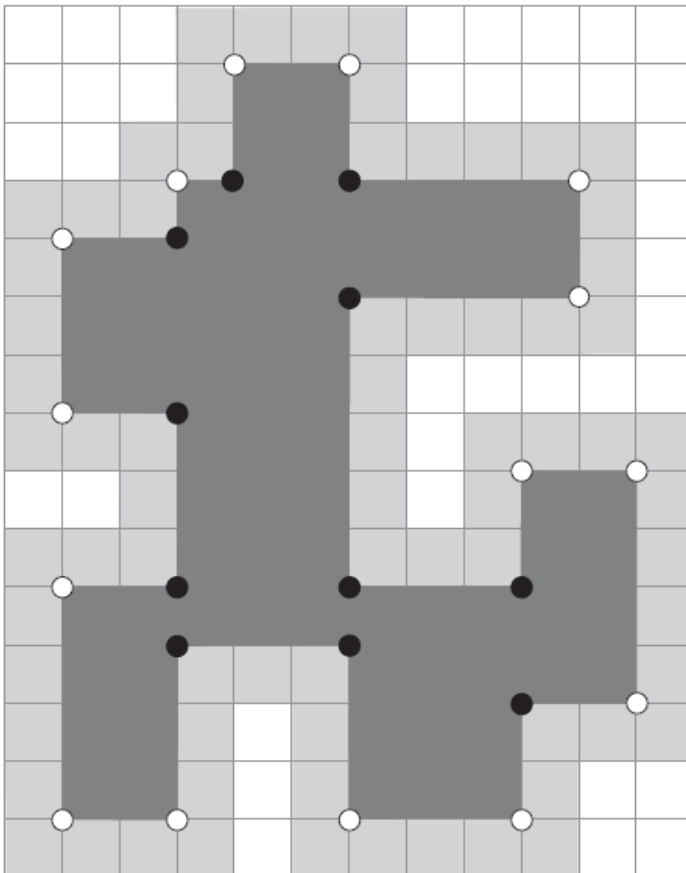
Темно-серый объект, граница которого заключена в сформированную цепочку элементов



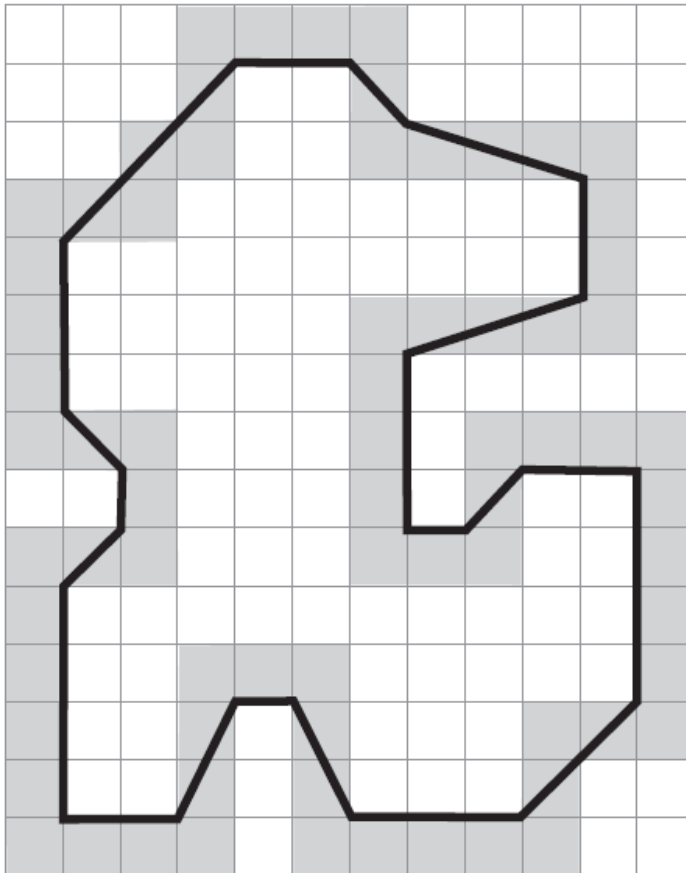
Граница объекта, заключенная внутри цепочки элементов



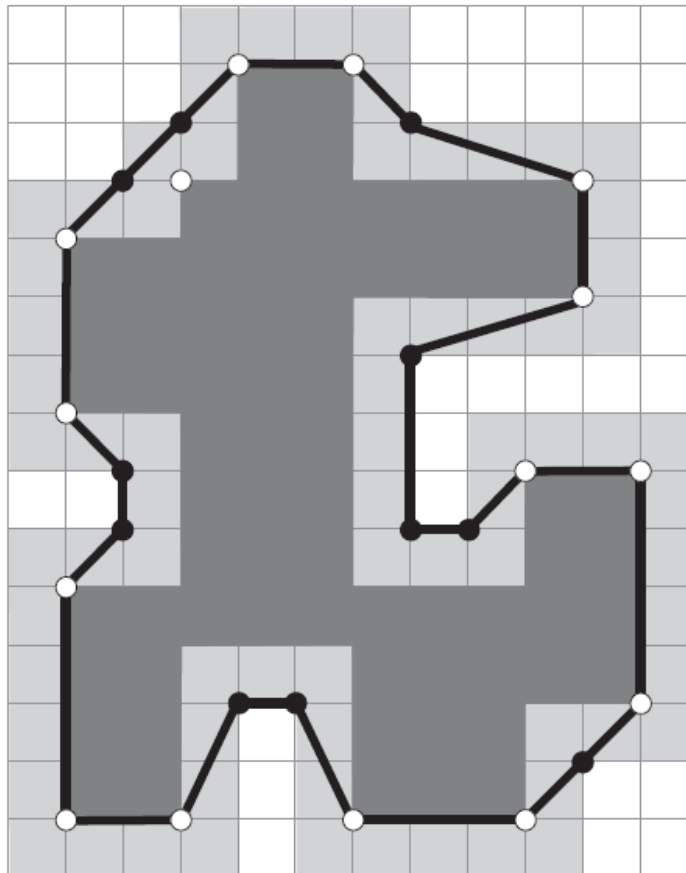
Выпуклые (белые) и вогнутые (черные) вершины, найденные при обходе границы темно-серого объекта против часовой стрелки.



ЛМД, полученная в результате стягивания границы



Вершины (черные точки), перенесенные в диагонально противоположные точки на внешней границе сформированной области



Двоичное изображение размерами 566×566



8-связная граница области (1900 точек)



ЛМД, полученные при использовании квадратных элементов размерами 2, 3, 4, 6, 8, 16 и 32 пикселей (206, 160, 127, 92, 66, 32 и 13 точек)



Представление

Другие методы аппроксимации ломаной линией

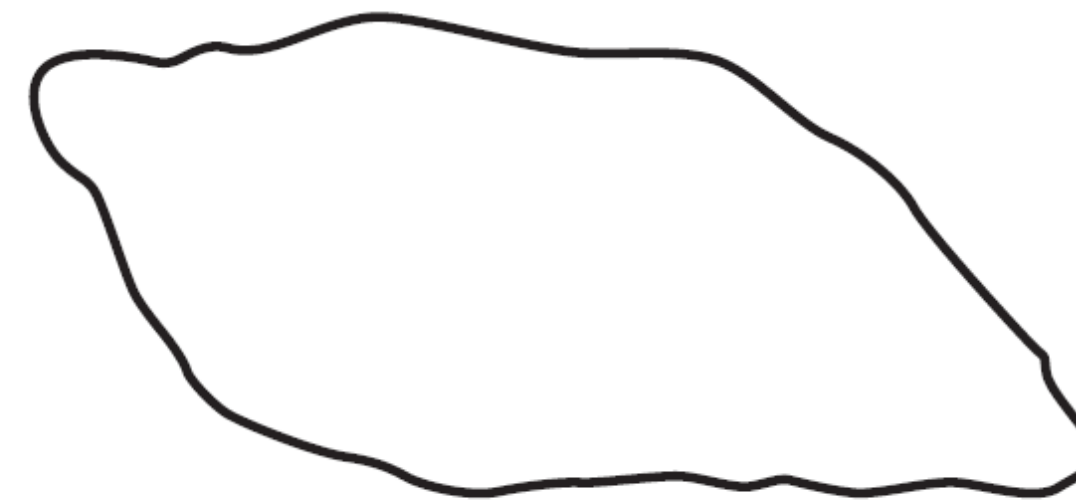
Методы слияния:

- Применение кусочно-линейной аппроксимации критерия средней ошибки
- Объединение точек вдоль границы в одну прямую линию до тех пор, пока СКО точек от формируемой прямой \leq заданного порога

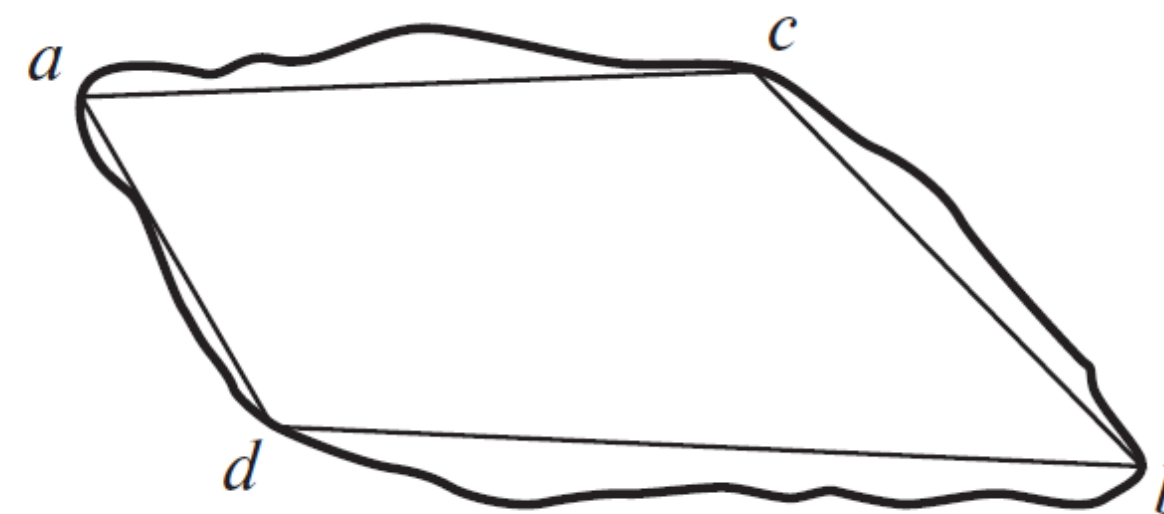
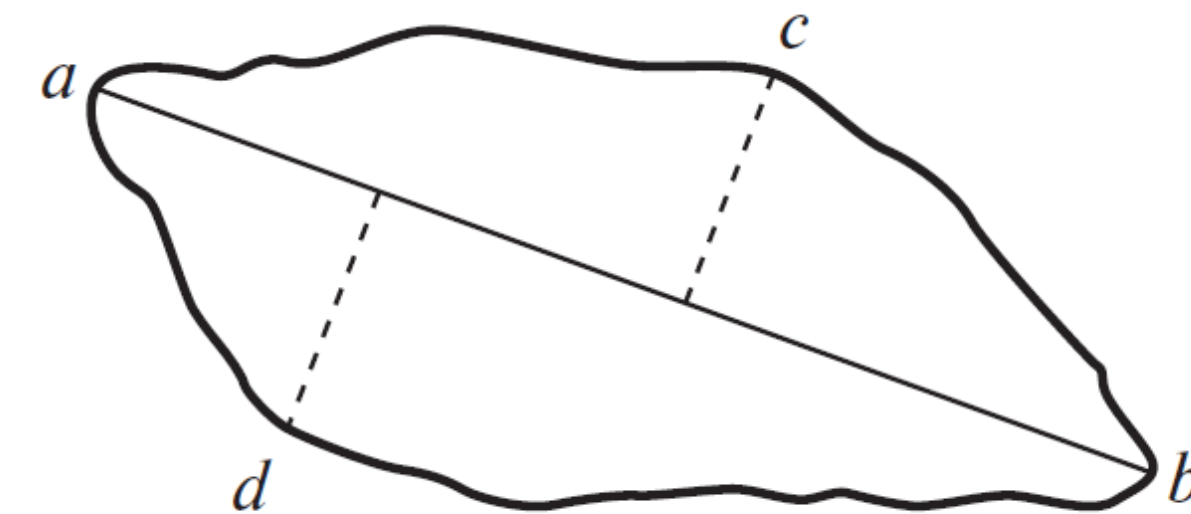
Методы разбиения:

- отрезок последовательно разбивается на две части до тех пор, пока не начнет выполняться некоторый заданный критерий

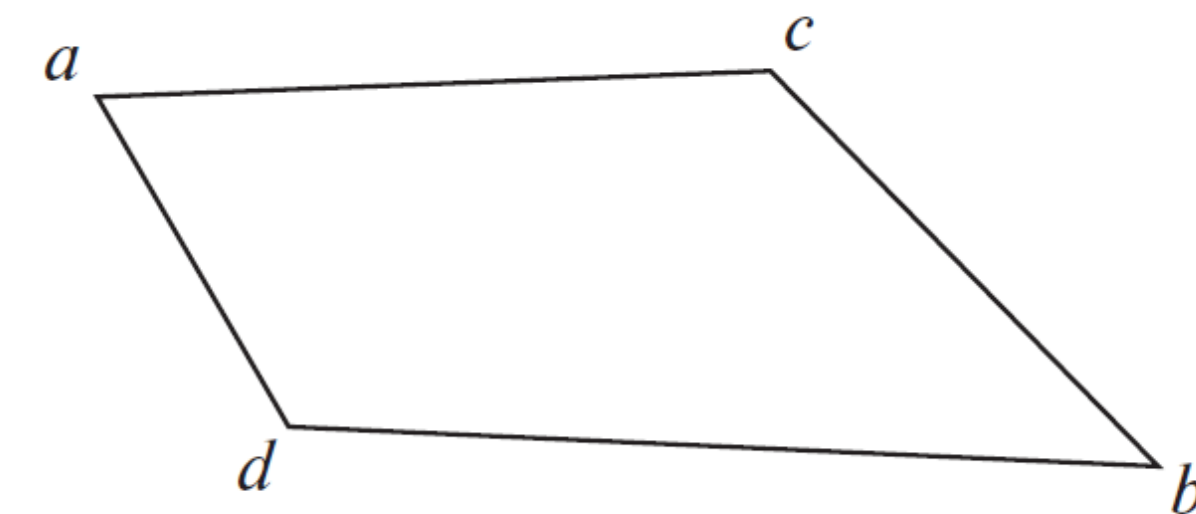
Исходная граница



Разбиение границы на участки с помощью угловых точек



Добавление вершин

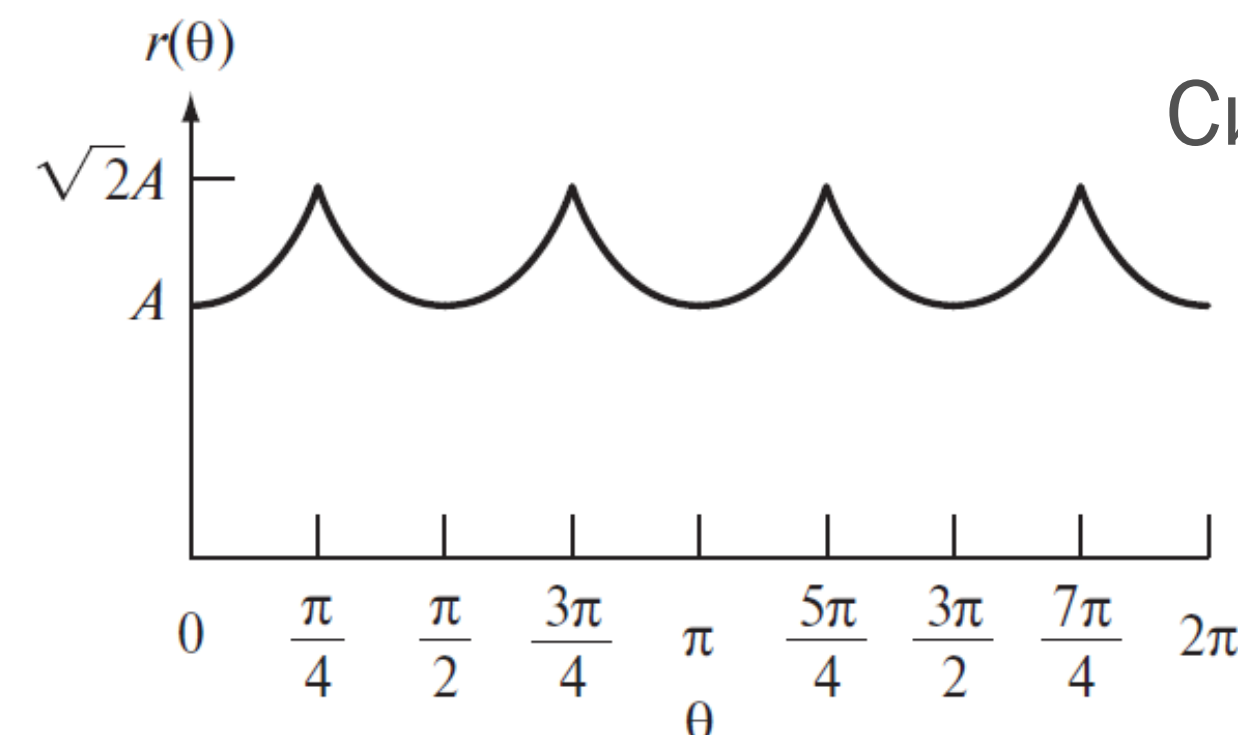
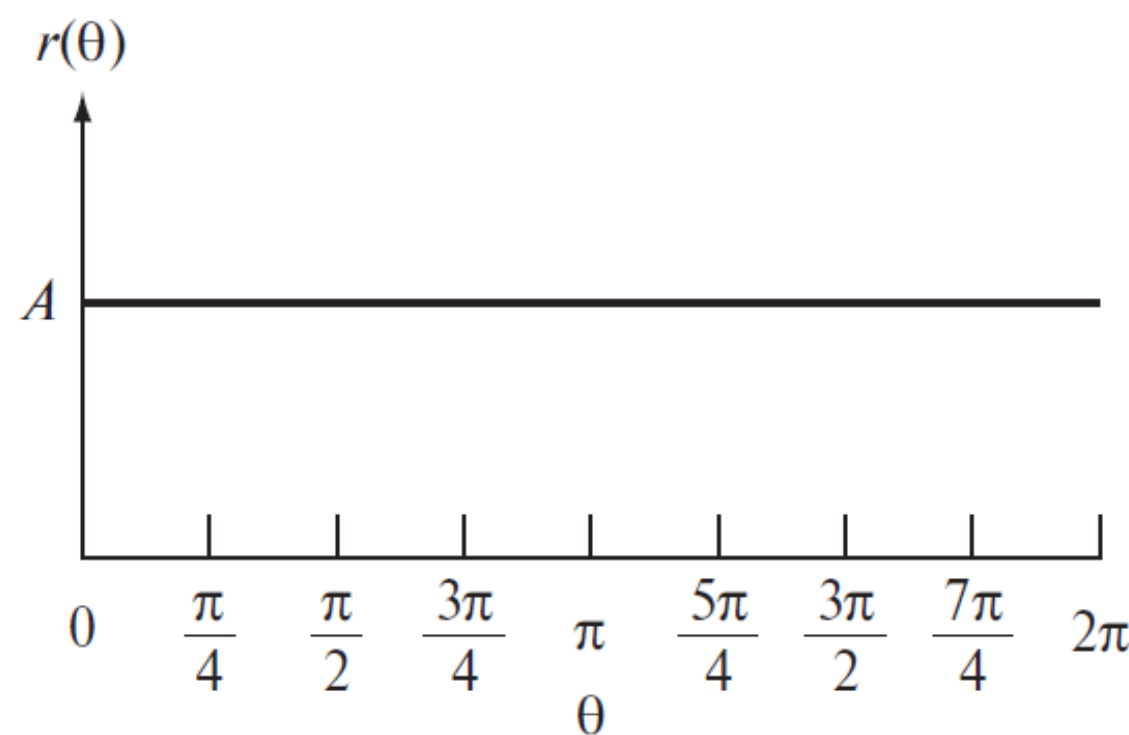
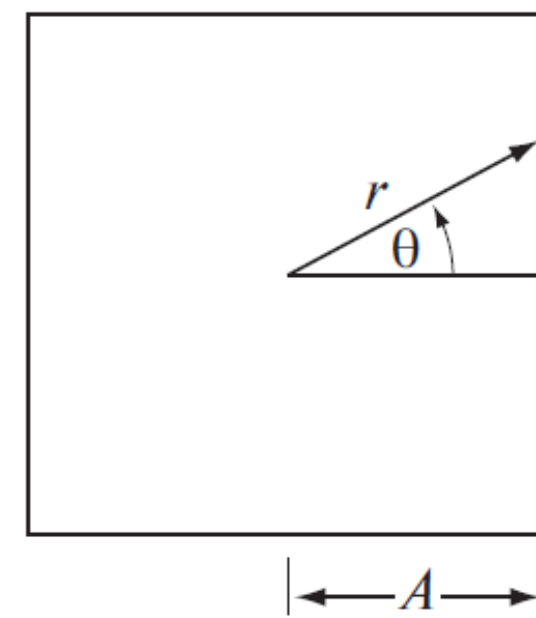
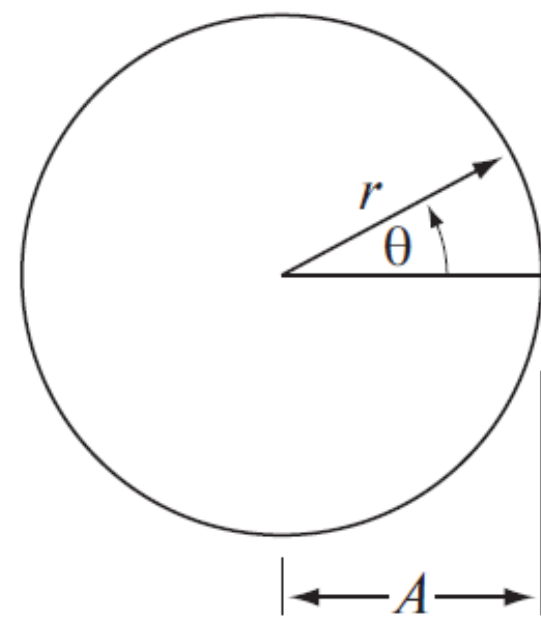


Полученная ломаная

Представление Сигнатуры

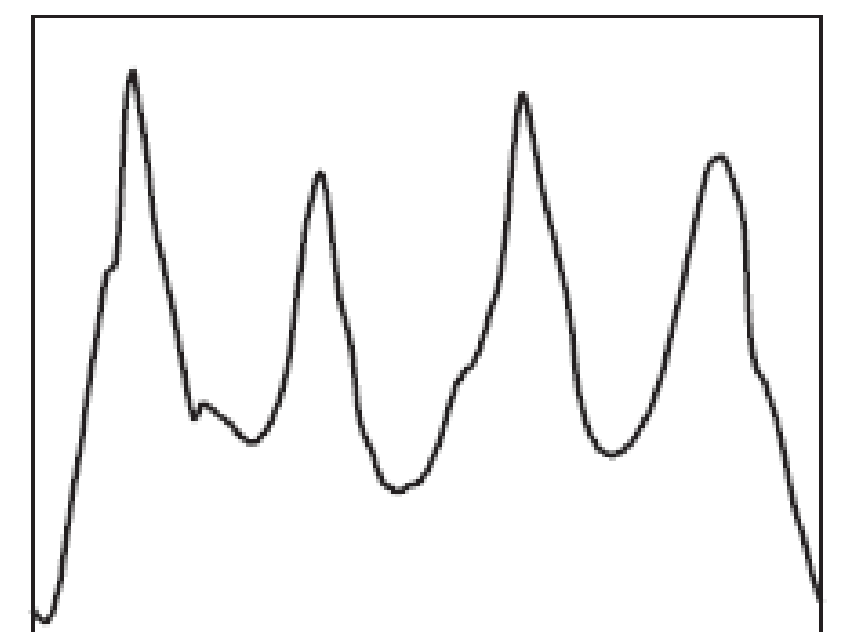
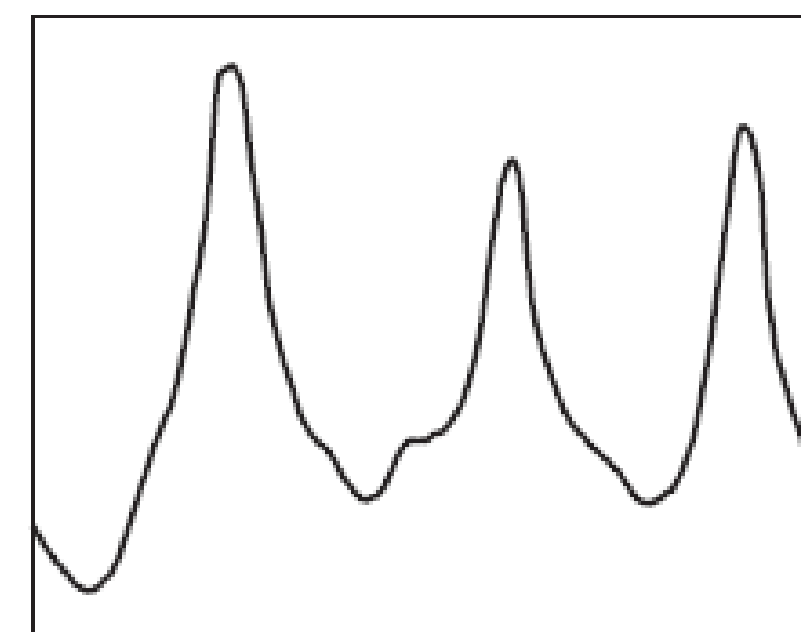
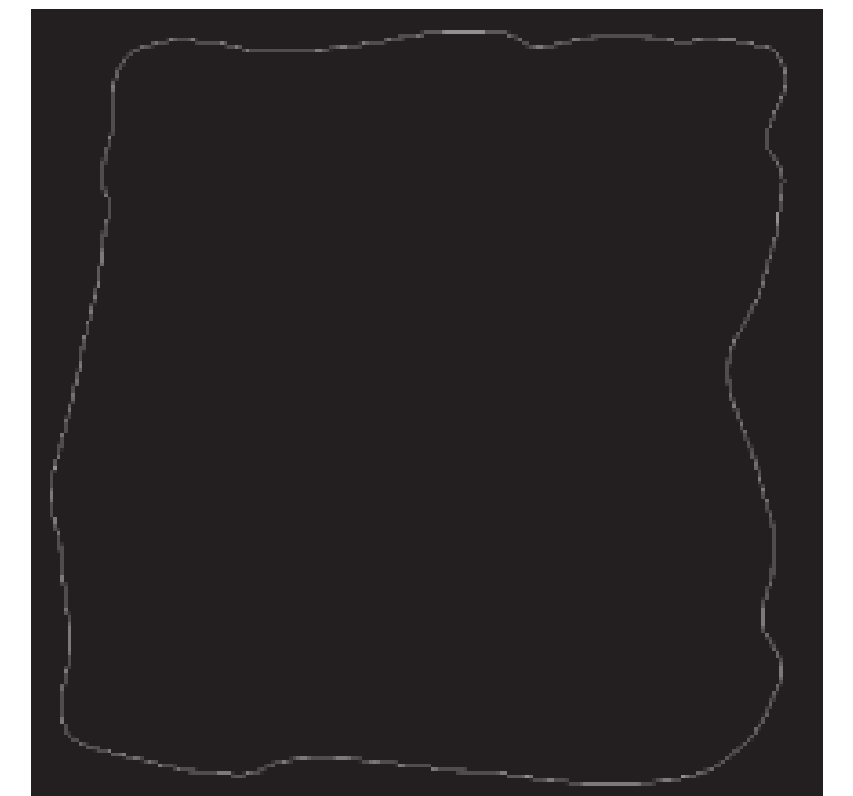
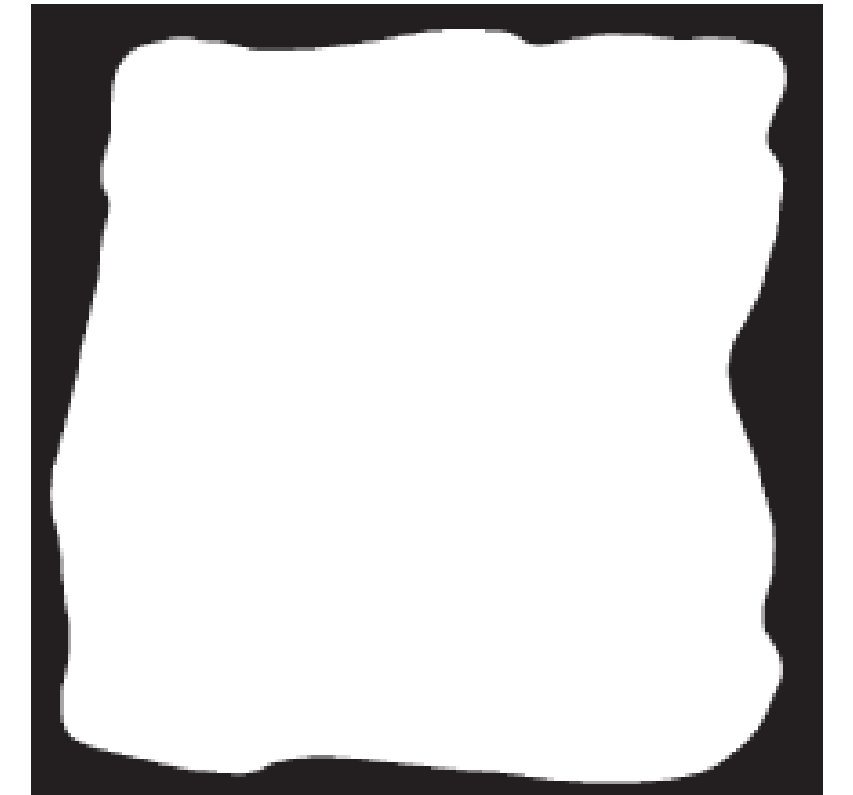
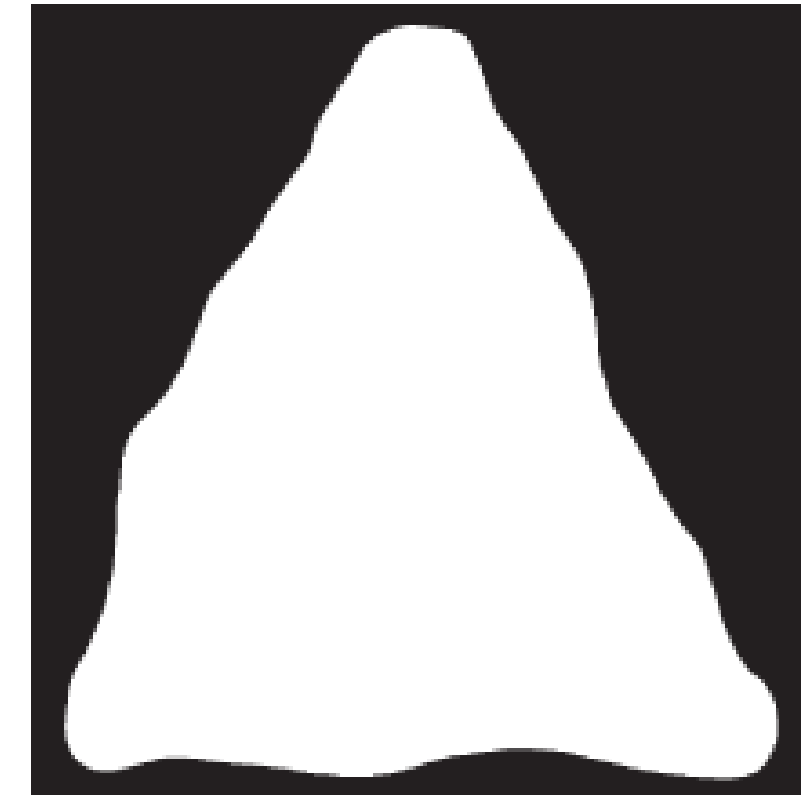
Свести представление границы к одномерной функции, которую легче описать, чем исходную двумерную границу:

- Сигнатура – описание границы объекта с помощью одномерной функции, которое может строиться различными способами



Сигнатуры «угол—расстояние»

Две двоичные области и их сигнатуры



Представление Сегменты границы

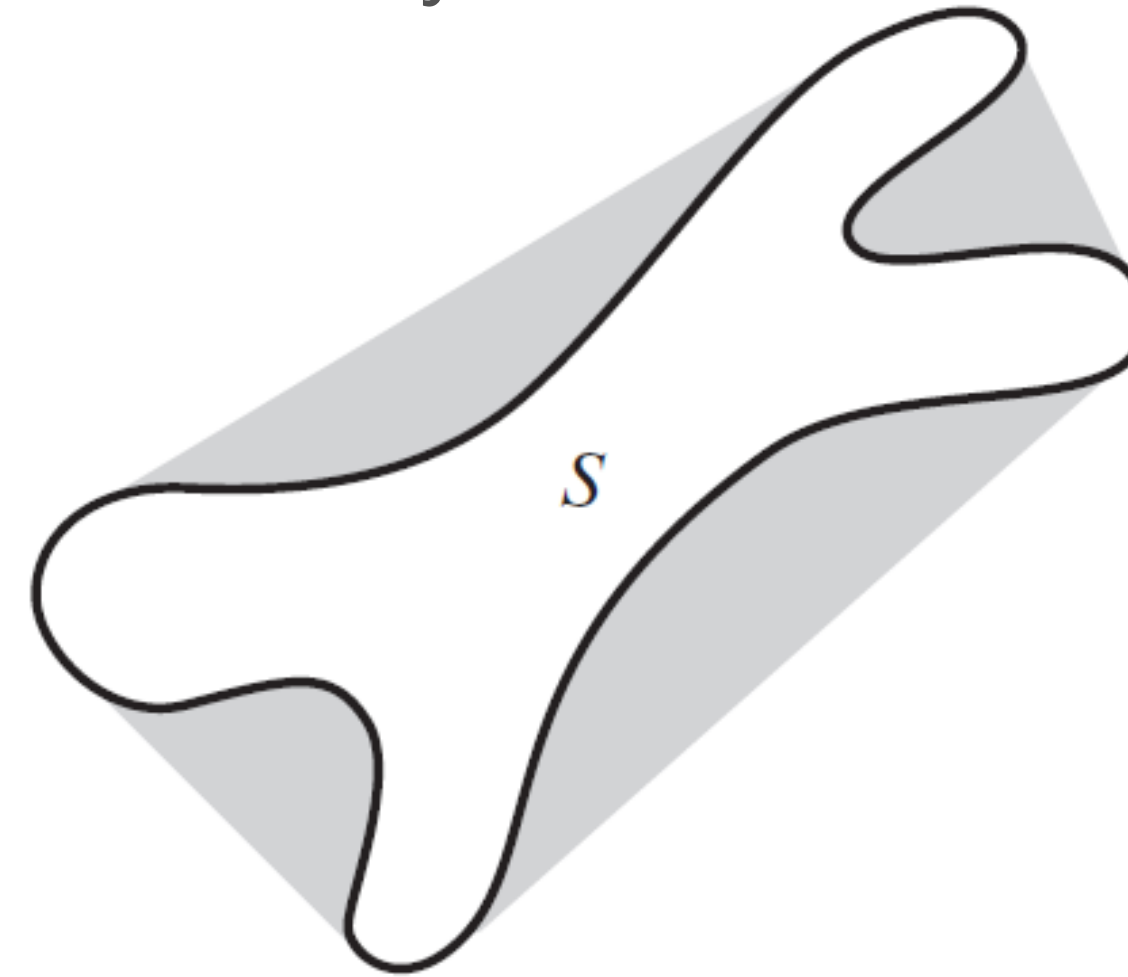
Цель:

- При декомпозиции уменьшается сложность границы
- Упрощается процесс описания границы

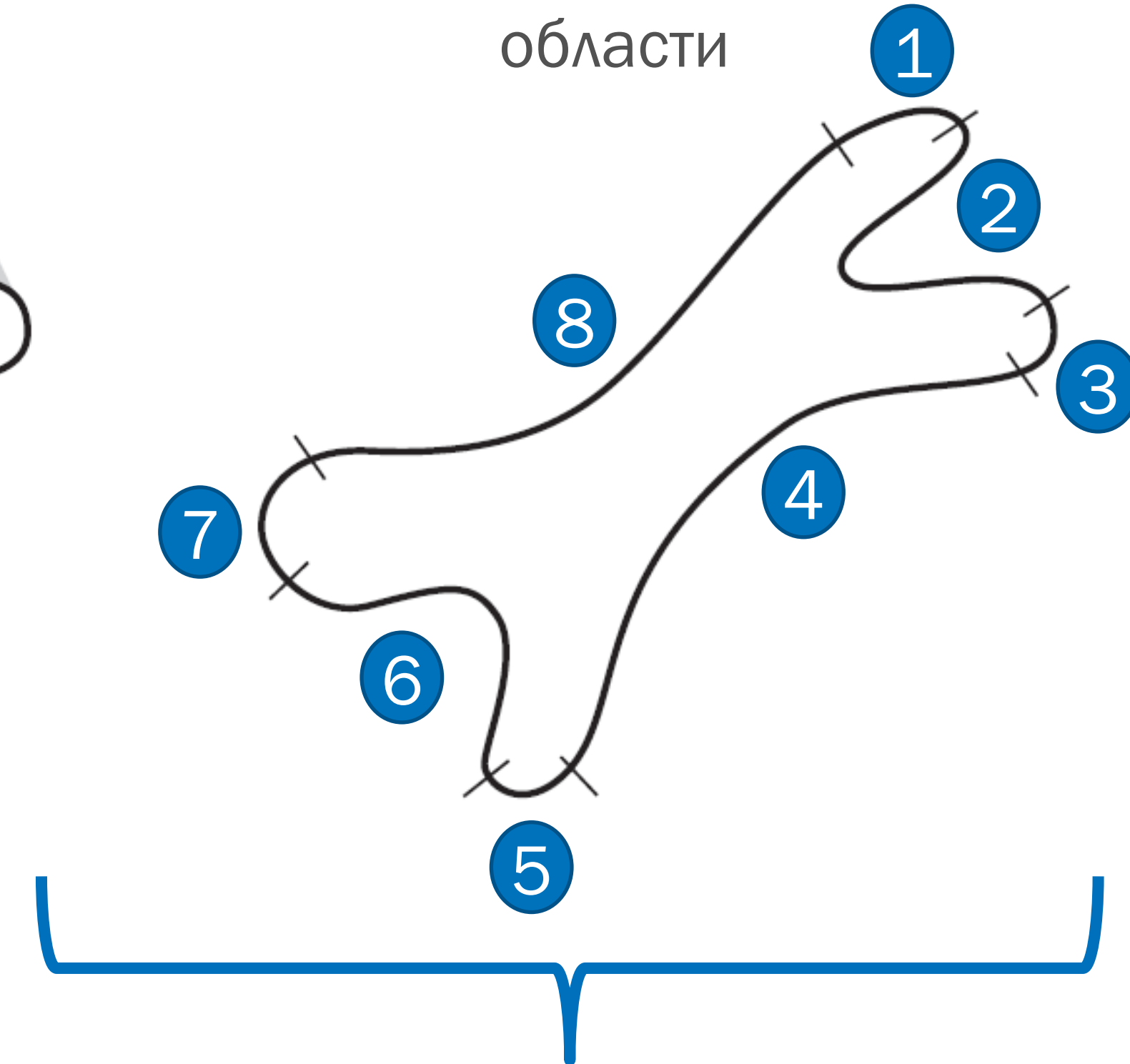
Механизм:

- Использование выпуклой оболочки и дефицита выпуклости

Область S и ее дефицит
выпуклости



Разбиение границы
области



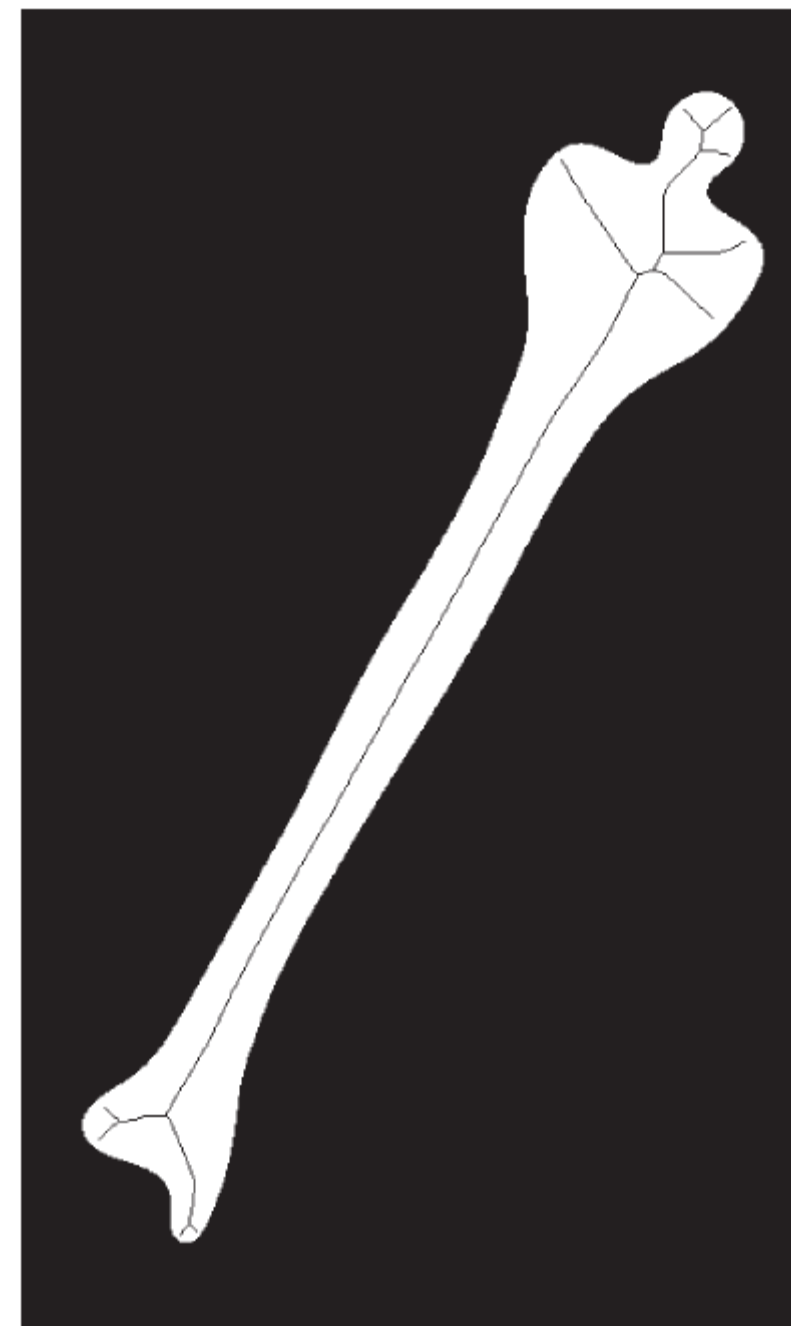
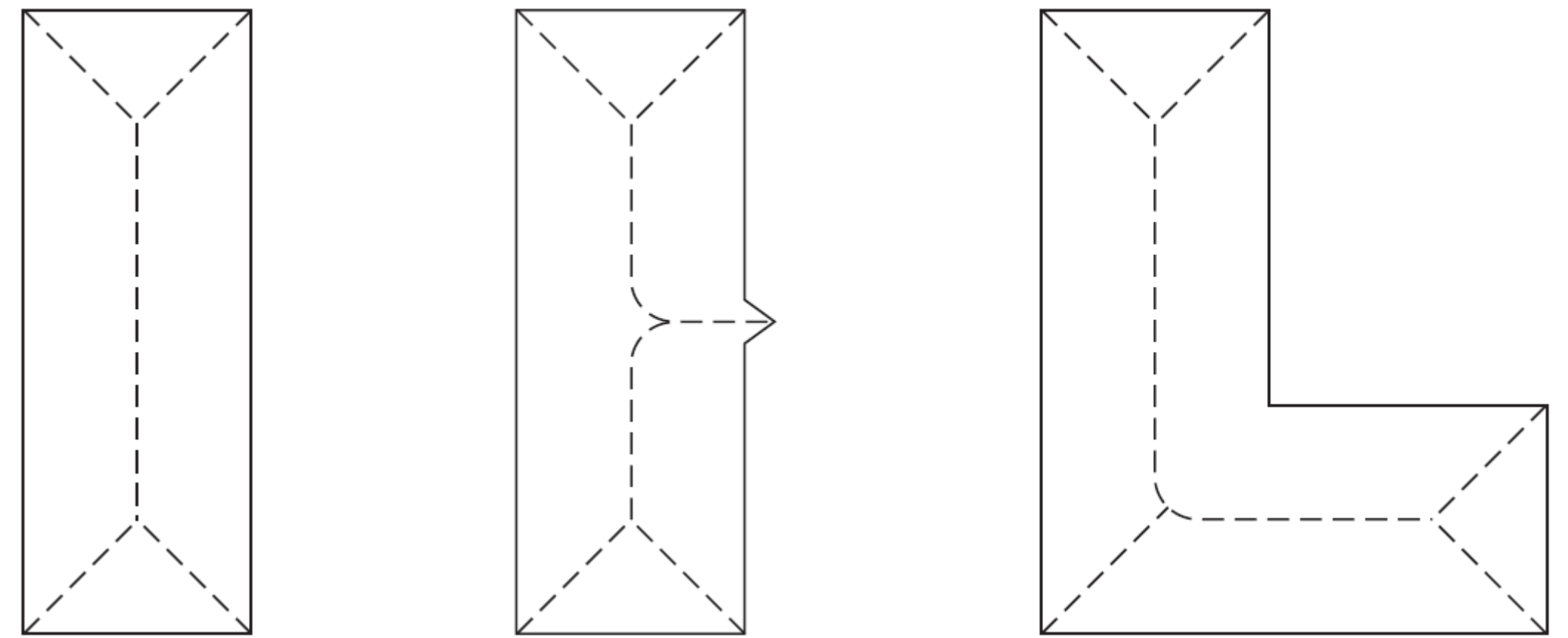
Совокупность сигнатур

Представление Остовы областей

Представление формы плоской области путем сведения ее к графу:

- Выделение остова (скелетонизация)
- Простейший алгоритм построения остова – преобразование к главным осям, предложенного Блюмом
- Возможны отклики на незначительные выступы

Срединные оси трех областей простой формы



Бедренная кость человека с наложенным остовом области

Дескрипторы границ

Некоторые простые дескрипторы

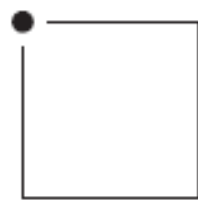
- Приближение длины – общее число пикселей границы является грубым приближением ее длины
- Точное значение длины для цепного кода с единичными шагами дискретизации по обоим направлениям – сумма числа вертикальных, горизонтальных и умноженных на $\sqrt{2}$ диагональных составляющих
- Диаметр границы
- Эксцентриситетом границы
- Кривизна – скорость изменения угла наклона

Дескрипторы границ

Нумерация фигур

Все возможные фигуры порядков 4, 6 и 8.

Порядок 4



Цепной код: 0 3 2 1

Разность первого порядка: 3 3 3 3

Номер фигуры: 3 3 3 3

Порядок 6

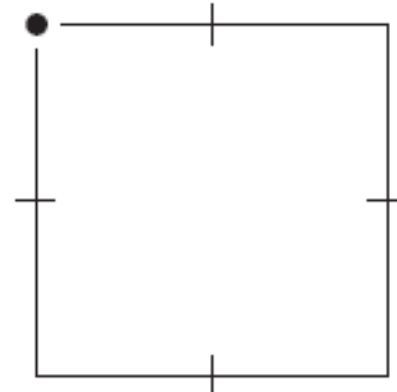


0 0 3 2 2 1

3 0 3 3 0 3

0 3 3 0 3 3

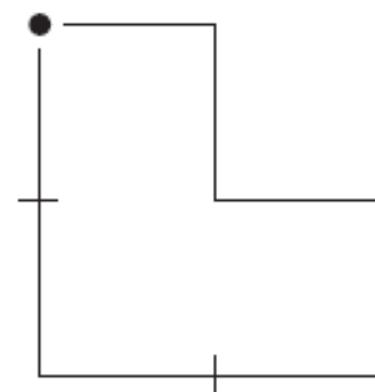
Порядок 8



Цепной код: 0 0 3 3 2 2 1 1

Разность первого порядка: 3 0 3 0 3 0 3 0

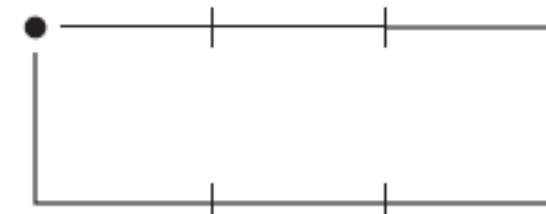
Номер фигуры: 0 3 0 3 0 3 0 3



0 3 0 3 2 2 1 1

3 3 1 3 3 0 3 0

0 3 0 3 3 1 3 3

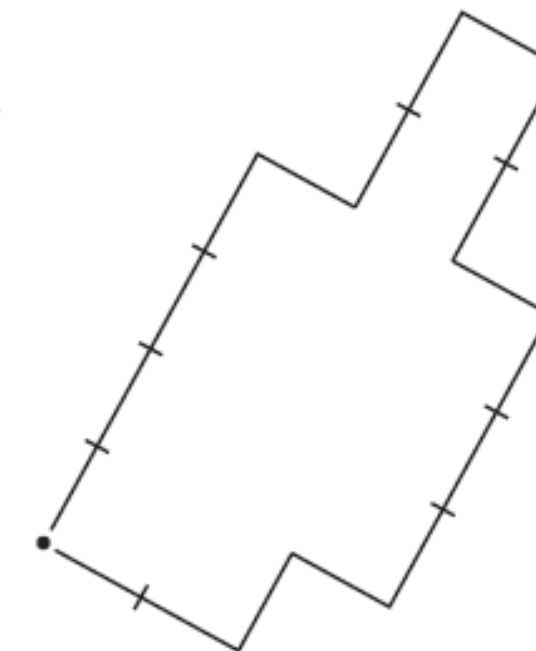
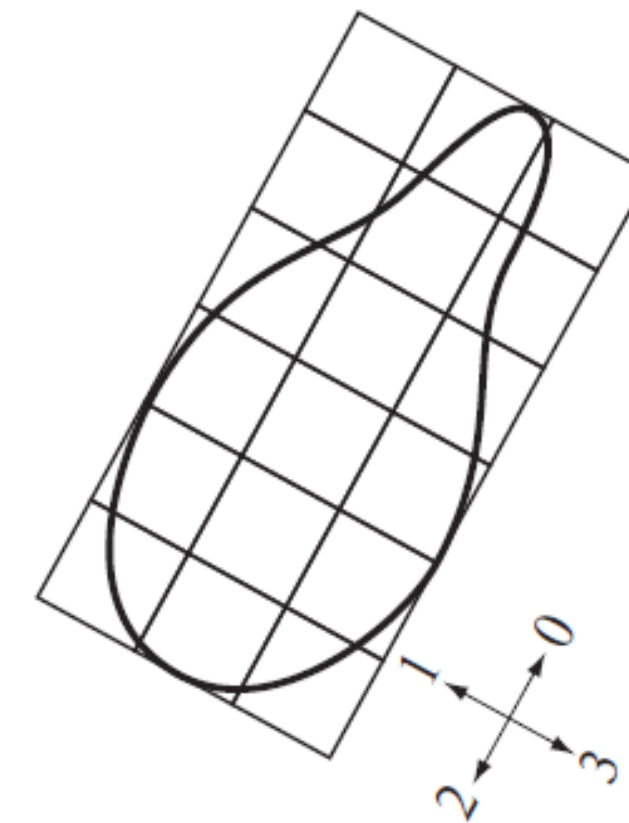
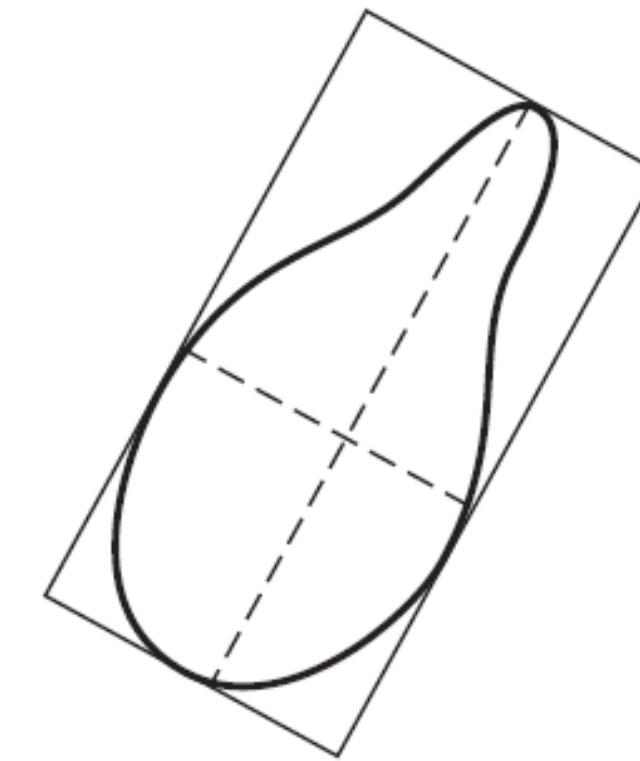


0 0 0 3 2 2 2 1

3 0 0 3 3 0 0 3

0 0 3 3 0 0 3 3

Шаги построения номера фигуры



Цепной код: 0 0 0 0 3 0 0 3 2 2 3 2 2 2 1 2 1 1

Разность первого порядка: 3 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0

Номер фигуры: 0 0 0 3 1 0 3 3 0 1 3 0 0 3 1 3 0 3

Дескрипторы границ

Фурье-дескрипторы

Сведение двумерной задачи к одномерной:

- Пара координат может быть представлена как комплексное число

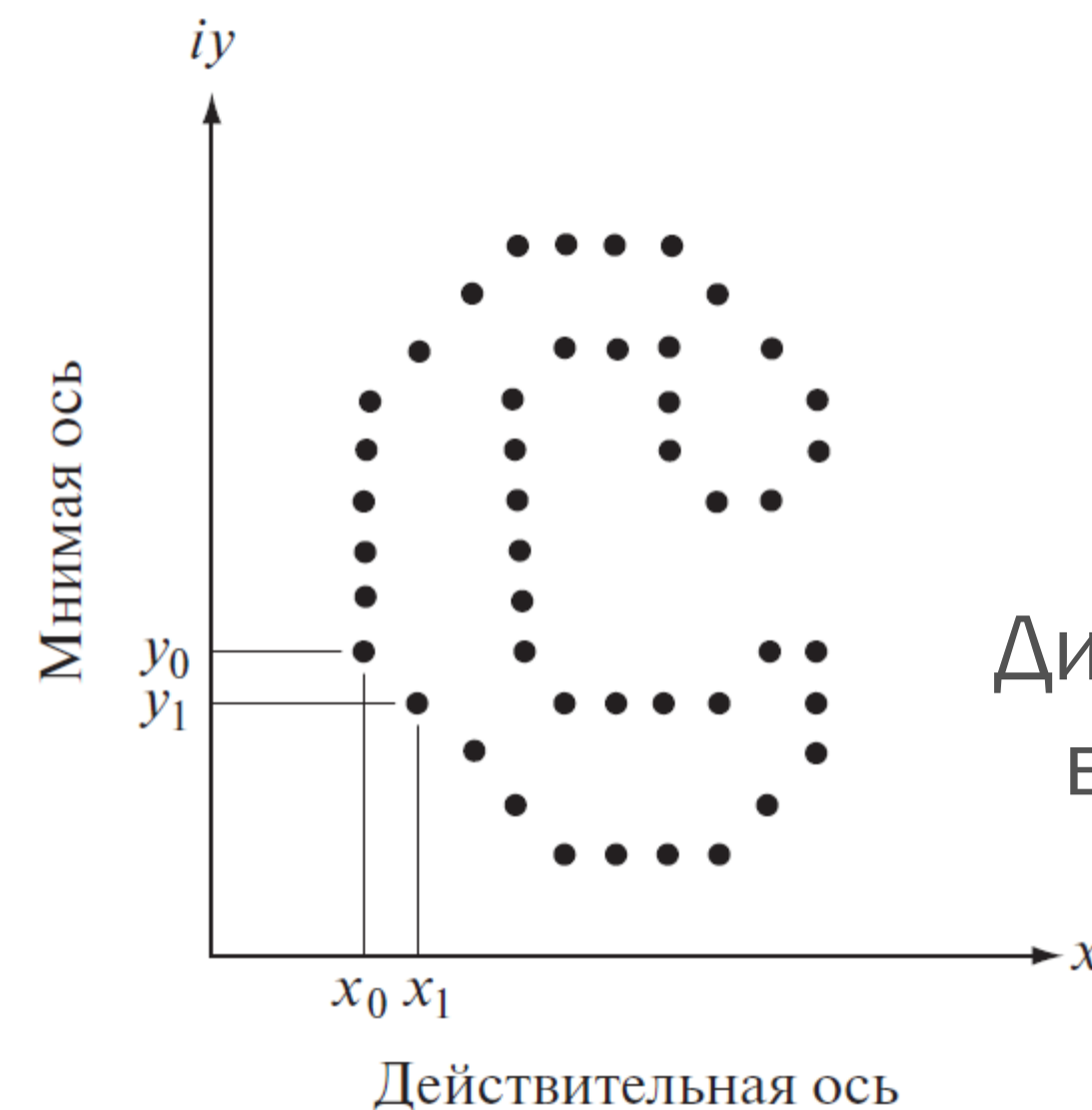
$$s(k) = x(k) + iy(k)$$

- Дискретное преобразование Фурье – Фурье дескриптор

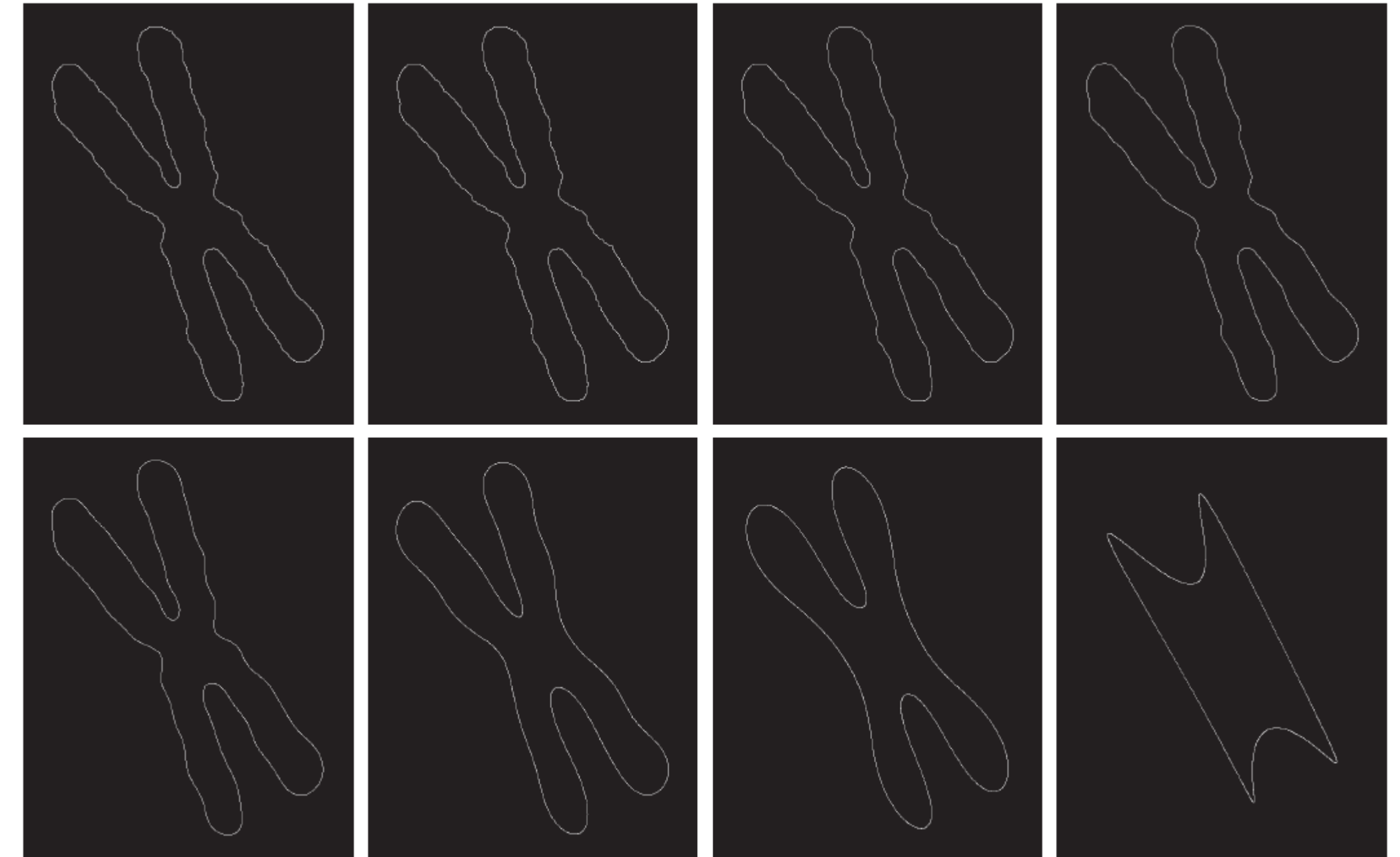
$$a(u) = \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-i2\pi uk/K}$$

- Восстановление границы

$$s(k) = \frac{1}{K} \sum_{u=0}^{K-1} a(u) e^{i2\pi uk/K}$$



Результаты восстановления границы с использованием 1434, 286, 144, 72, 36, 18 и 8 Фурье-дескрипторов



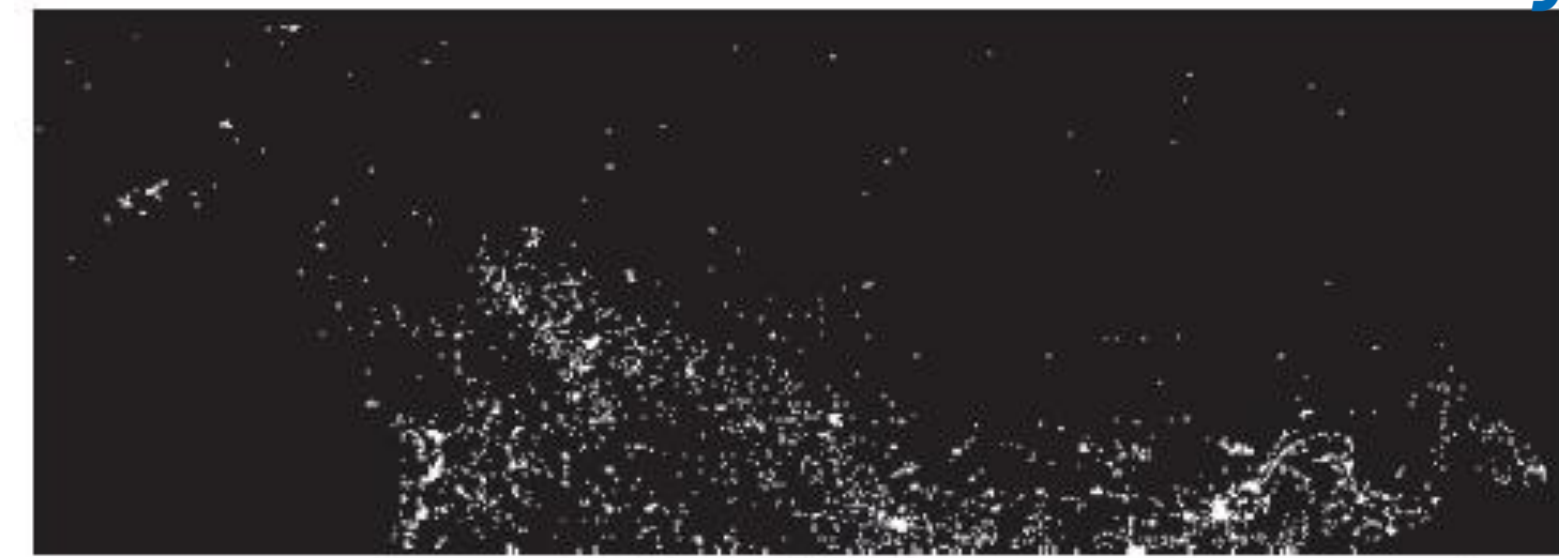
Дискретная граница и ее представление в виде комплексной последовательности

Дескрипторы областей

Некоторые простые дескрипторы

Дескрипторы:

- Площадь
- Периметр
- Меры компактности
- Коэффициент округлости
- Минимальное/максимальное/среднее значение яркости
- Число пикселей со значением яркости более заданного



Номер региона (сверху вниз)	Доля освещенной площади от всей освещенной площади
1	0,204
2	0,640
3	0,049
4	0,107



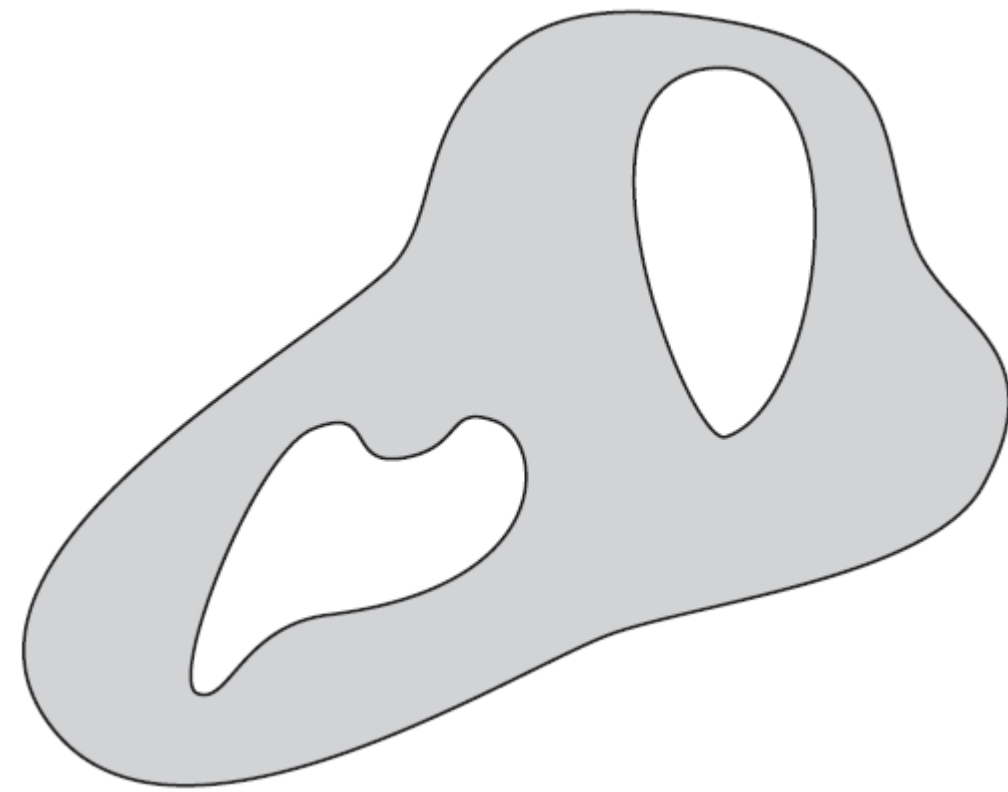
Инфракрасные спутниковые
изображения американского
континента ночью

Дескрипторы областей

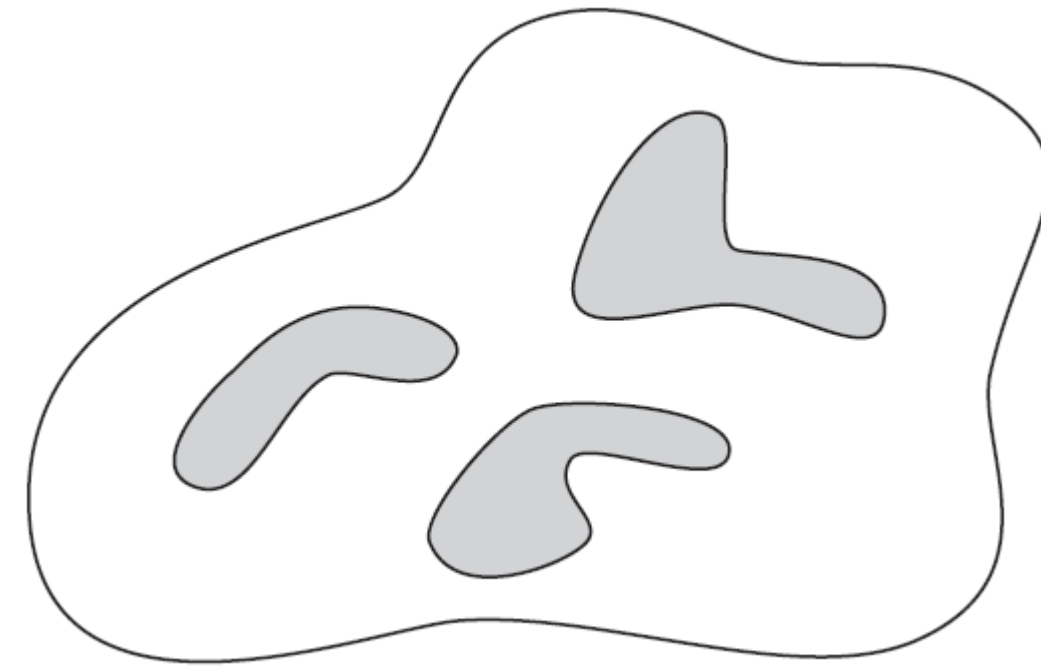
Топологические дескрипторы

Инфракрасное изображение
окрестностей г. Вашингтон

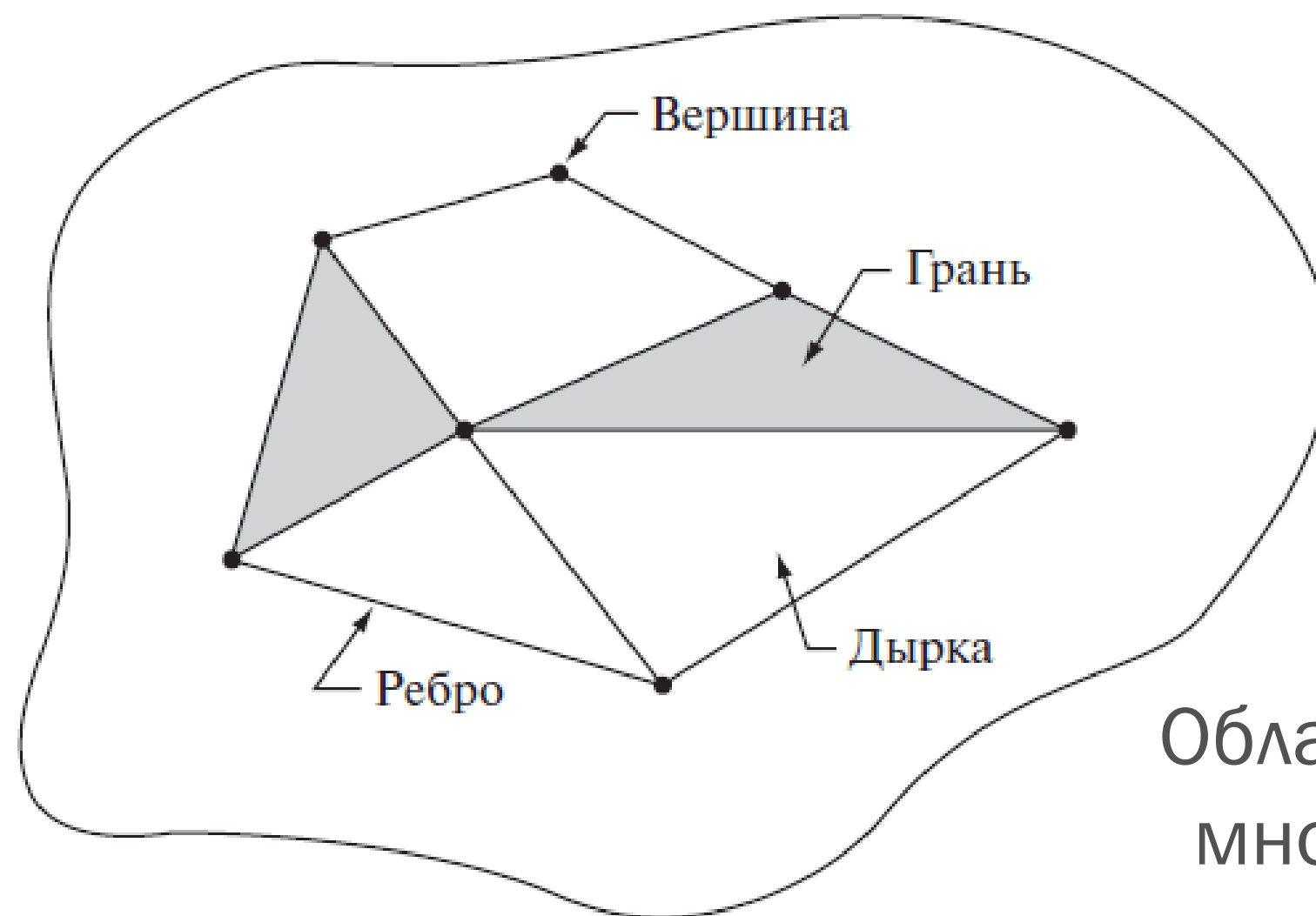
Изображение после
порогового
преобразования



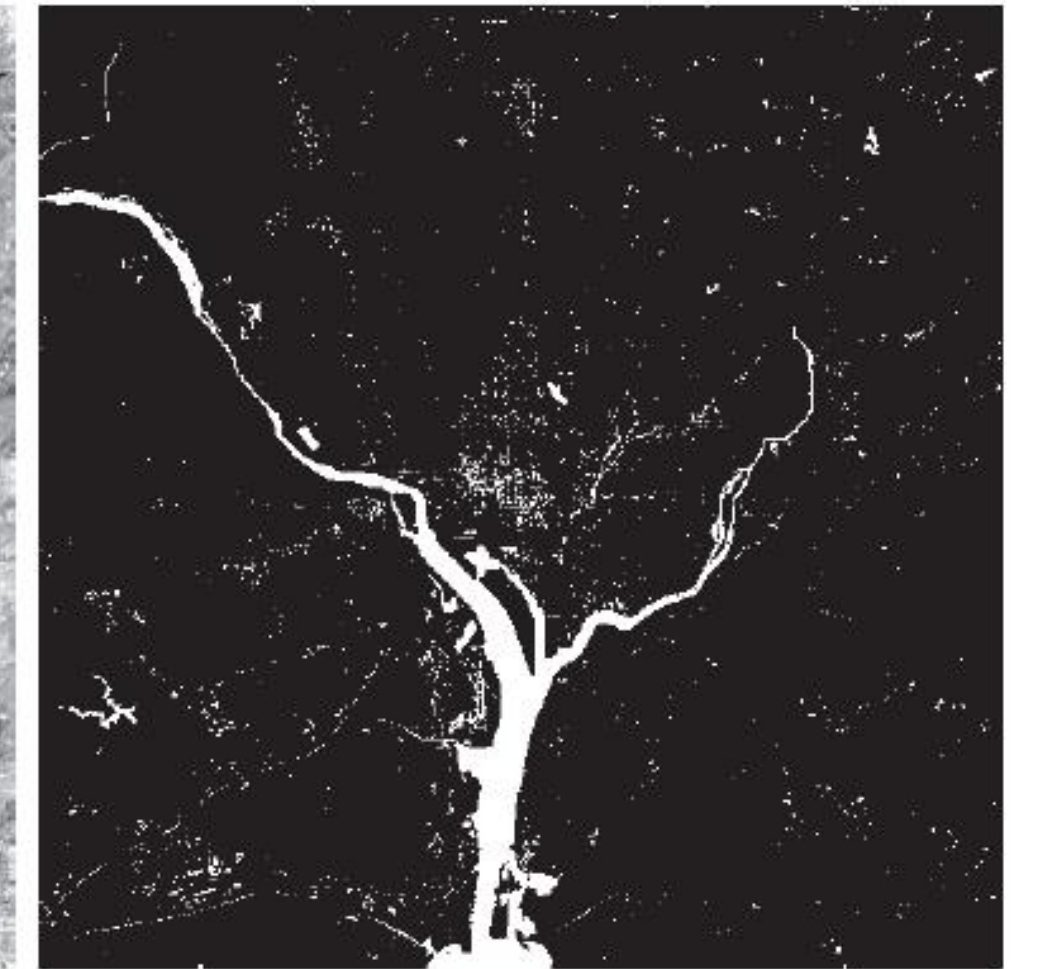
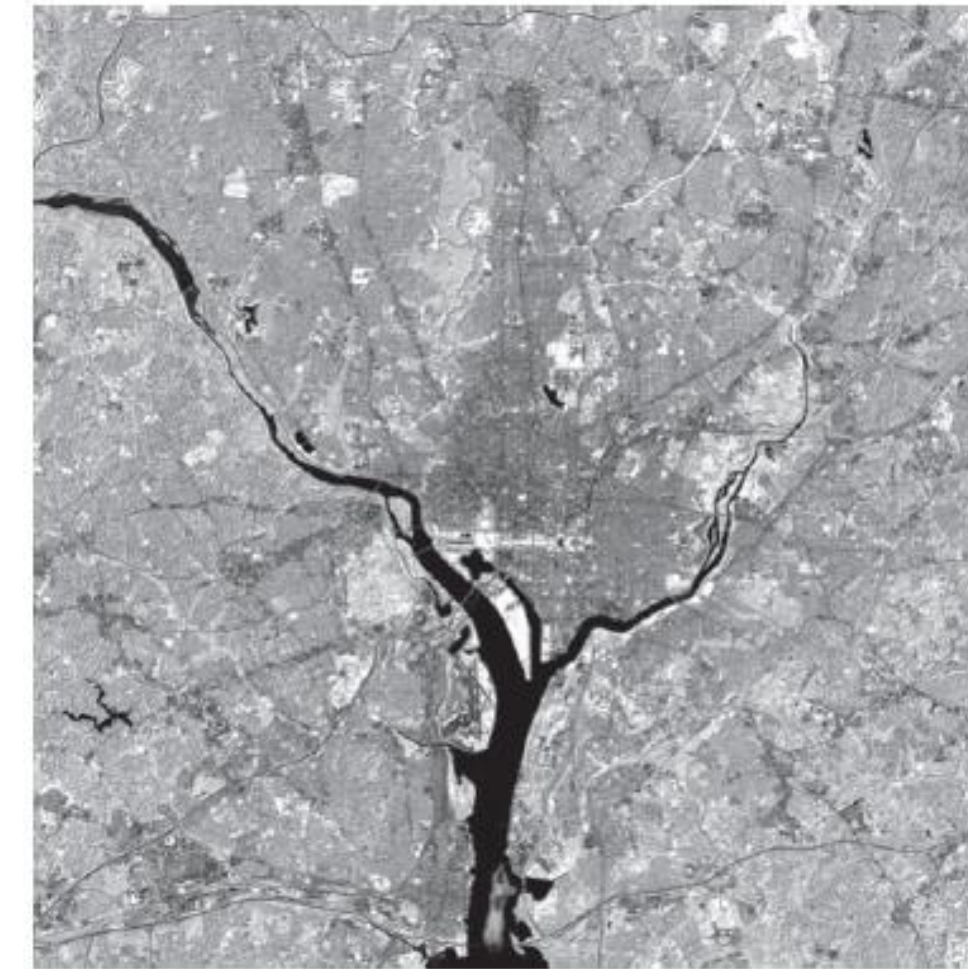
Область с двумя дырками



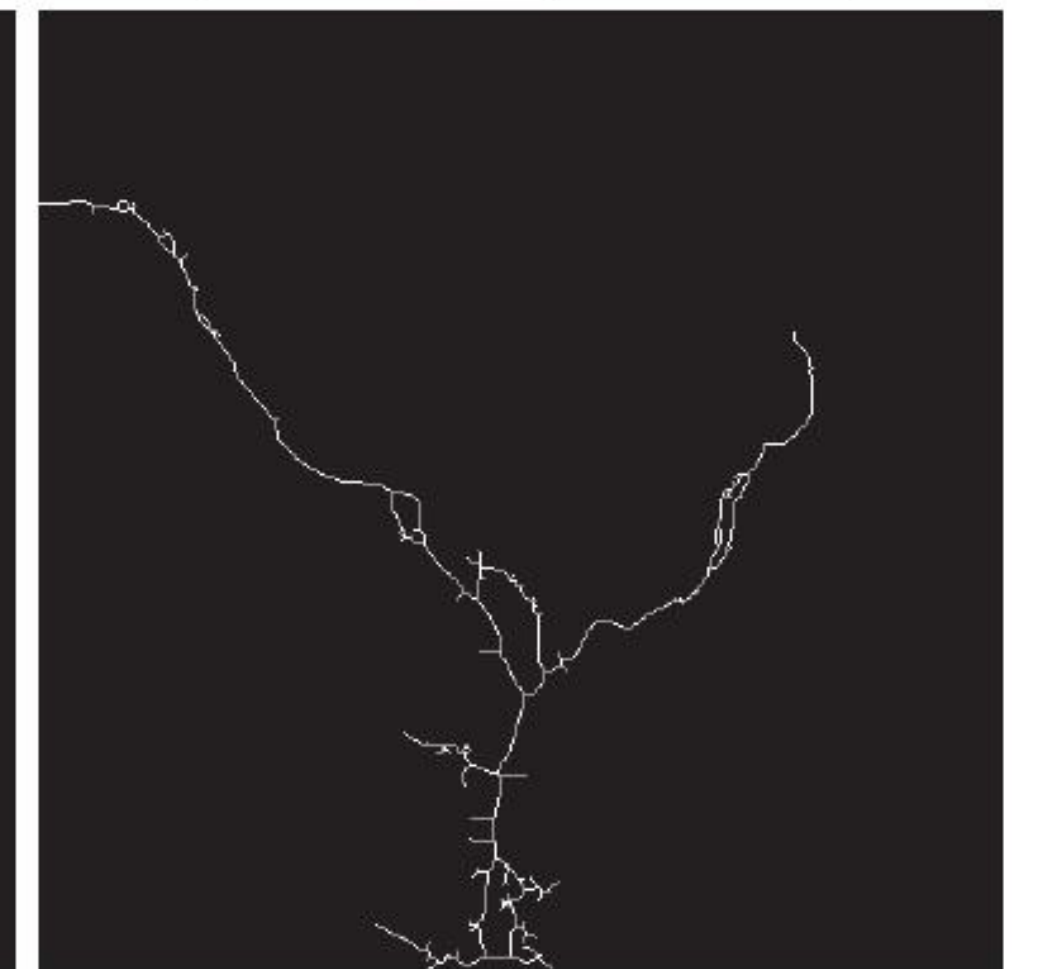
Область, состоящая из трех
компонент связности



Область, содержащая
многоугольную сеть



Наиболее крупная
компонента связности



Остов области

Дескрипторы областей

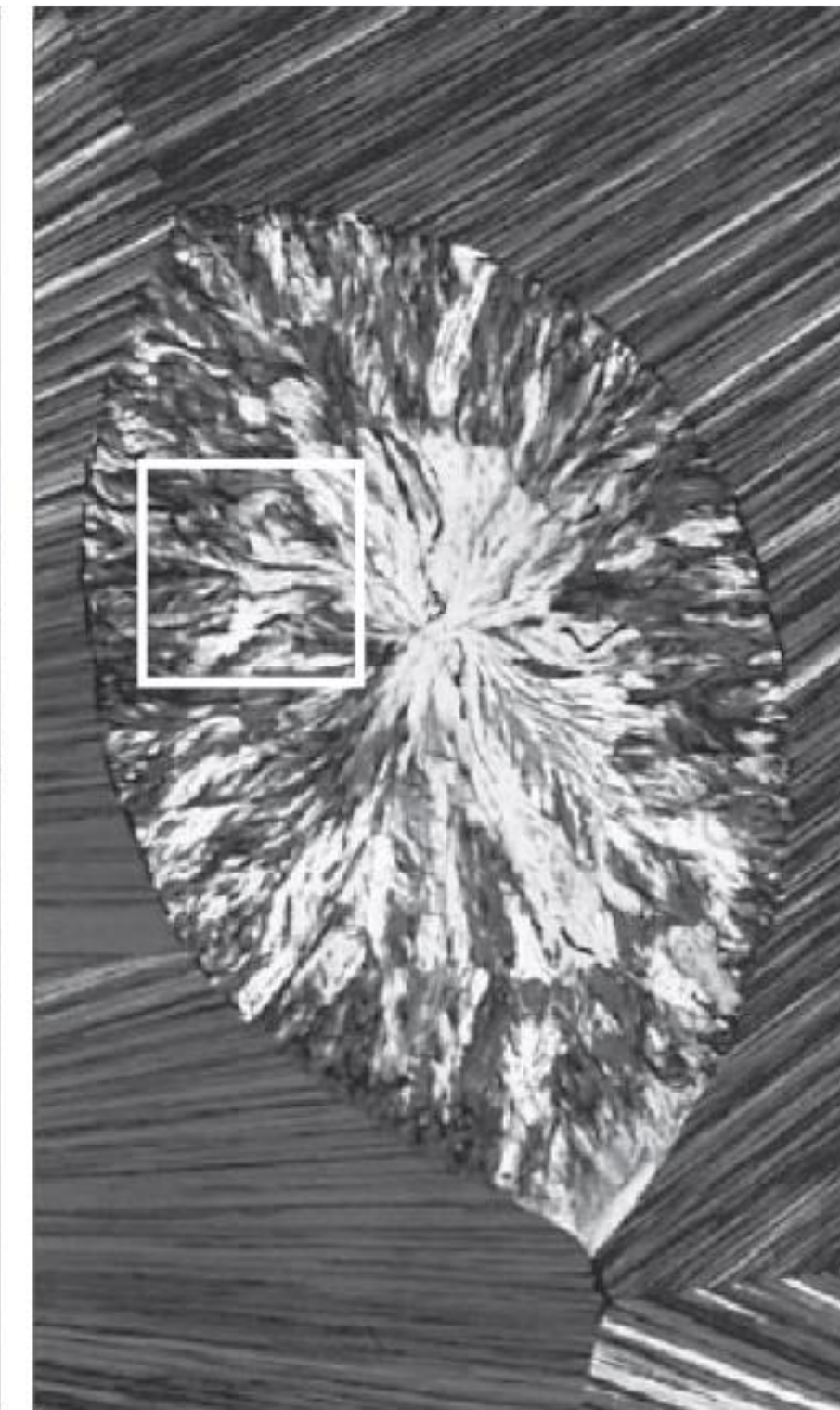
Текстурные дескрипторы

Количественное представление текстурных признаков:

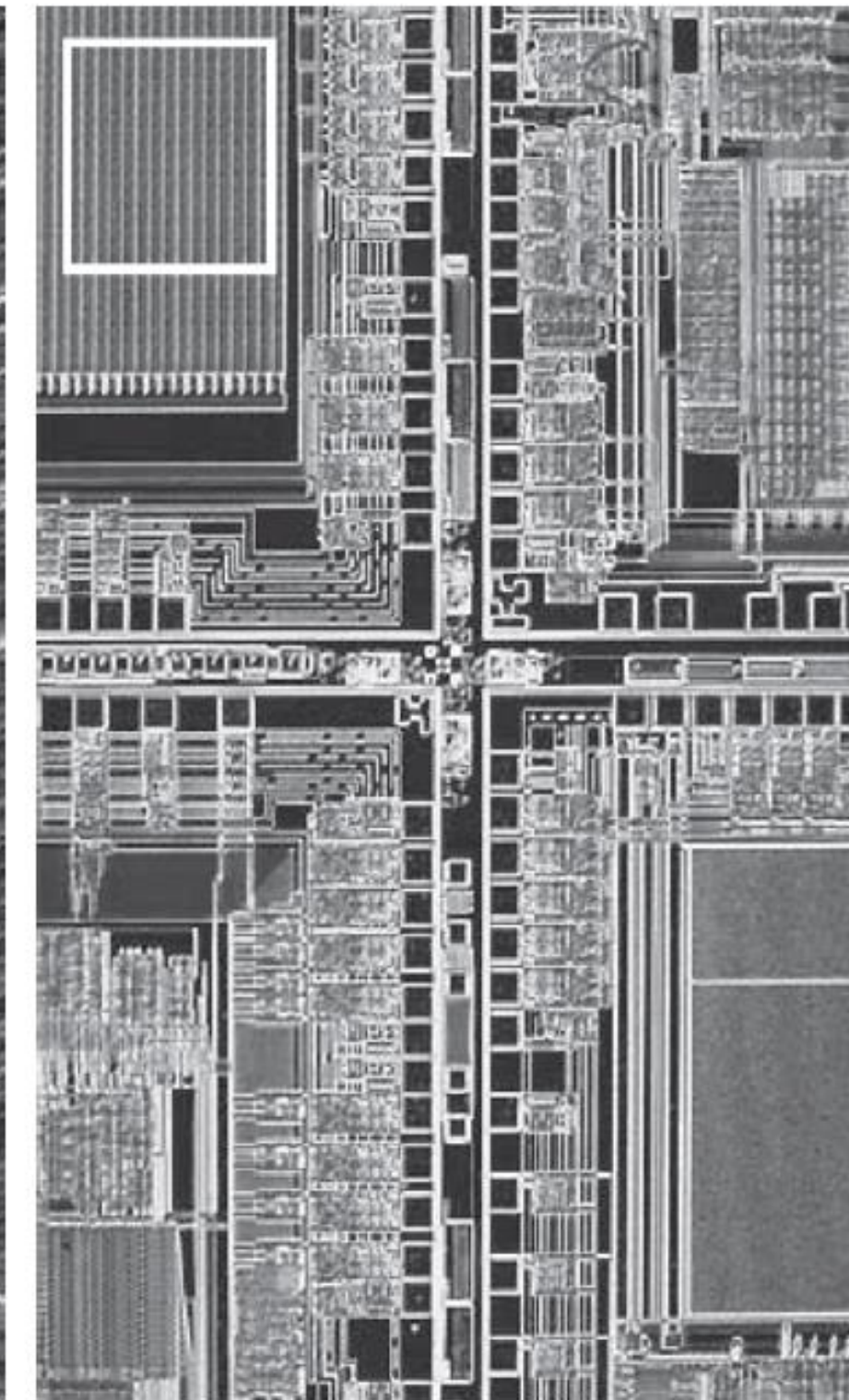
- Статистические методы позволяют охарактеризовать текстуру области как гладкую, грубую, зернистую
- Структурные методы занимаются изучением взаимного положения простейших составляющих изображения
- Спектральные методы основаны на свойствах Фурье-спектра и используются прежде всего для обнаружения глобальной периодичности



Области с гладкой текстурой



Области с грубой текстурой

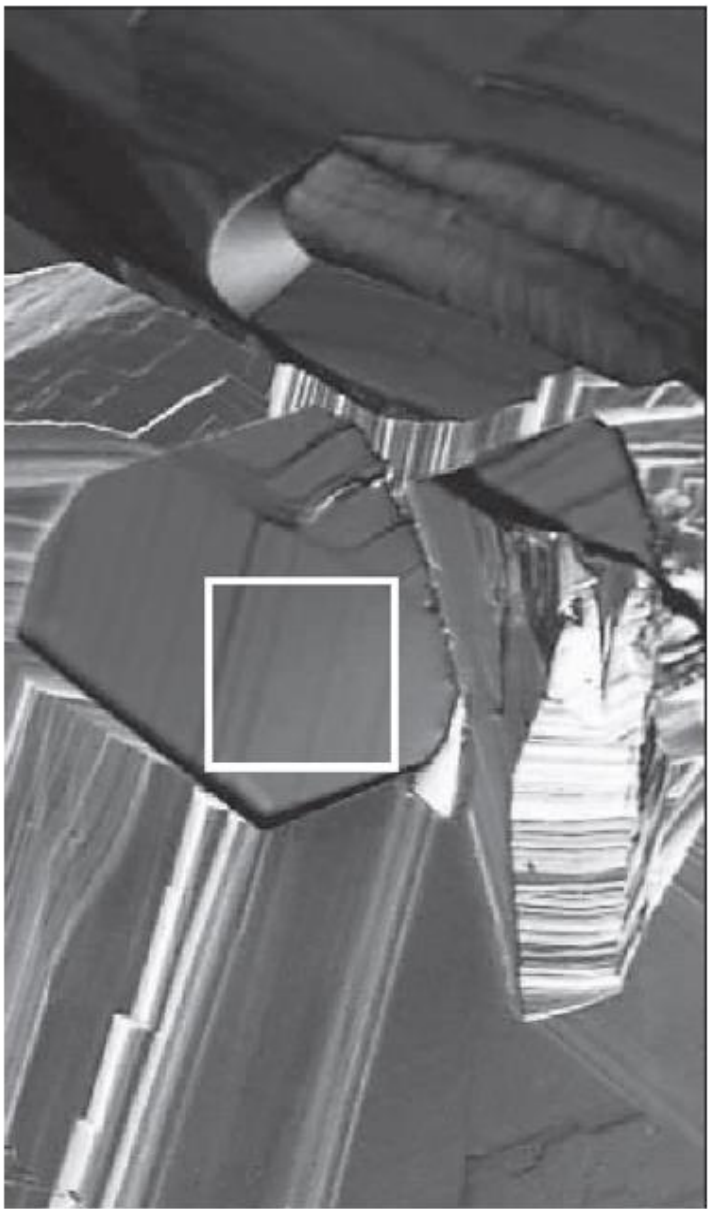


Области с периодичной текстурой

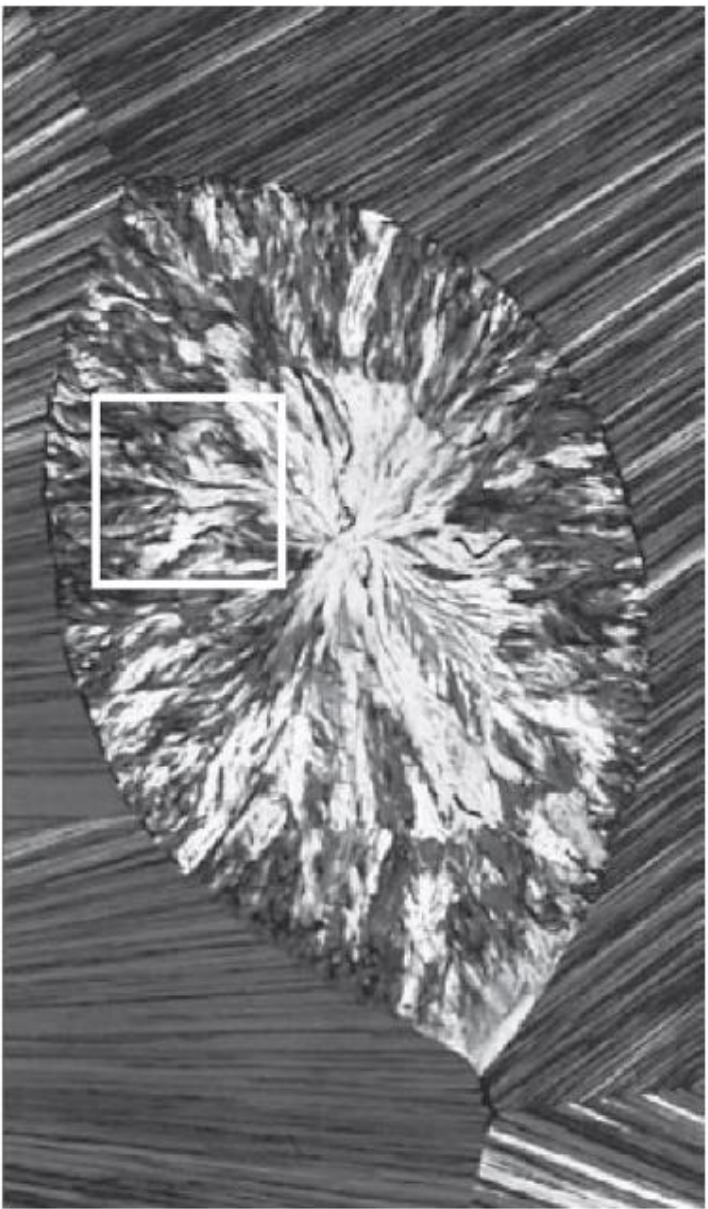
Текстурные дескрипторы

Статистический подход – гистограммные характеристики

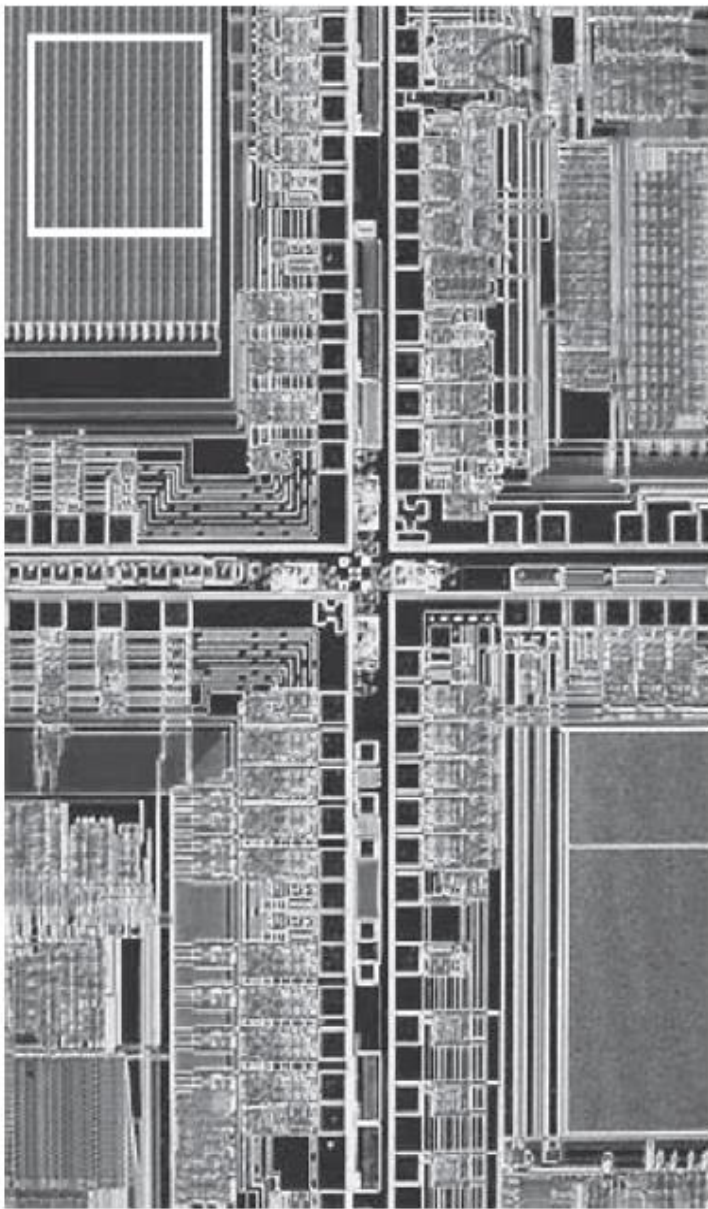
Гладкая
текстура



Грубой
текстура



Периодичная
текстура



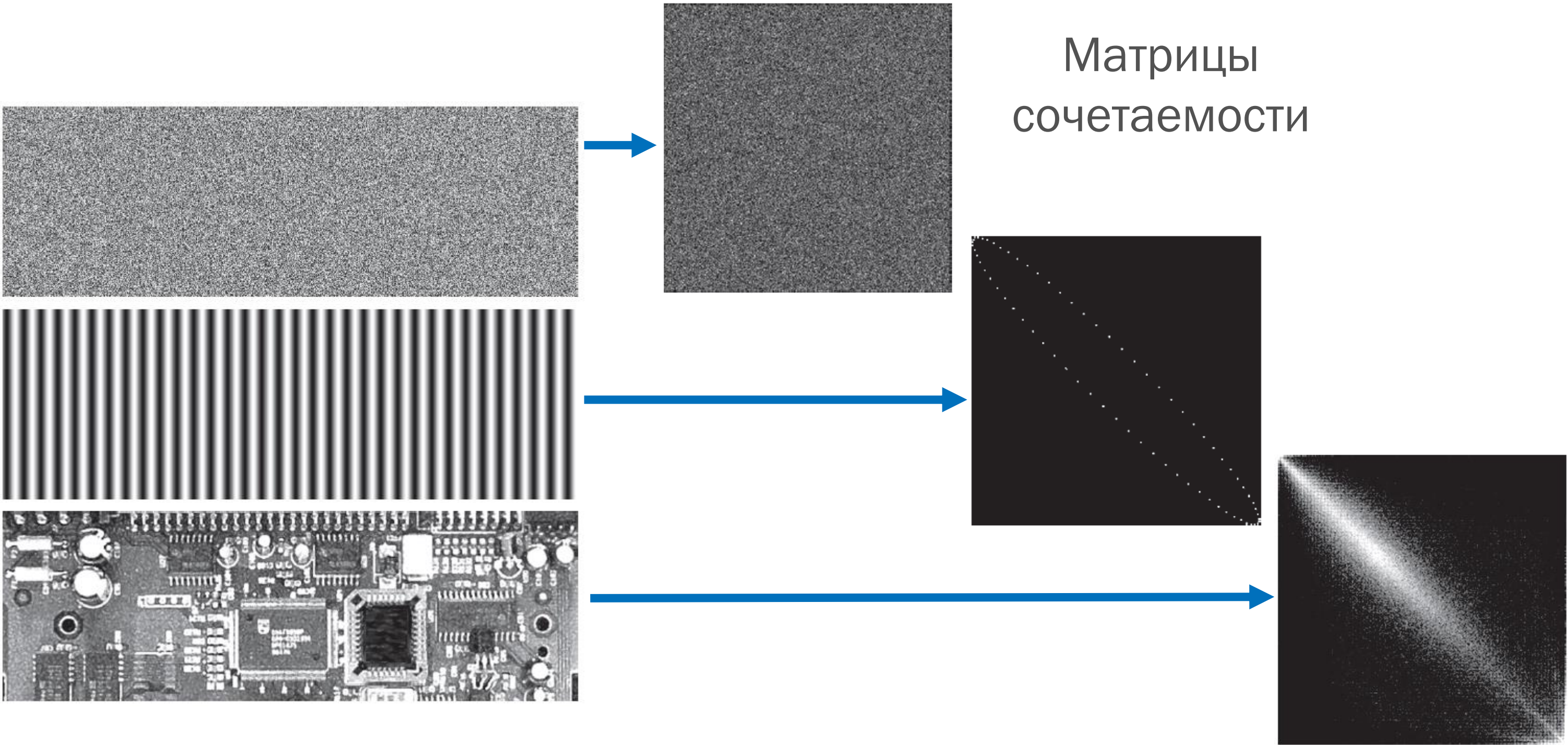
Характеристики текстуры
для областей изображений

Текстура	Среднее	Стандартное отклонение	R (нормировано)	Третий момент	Однородность	Энтропия
Гладкая	82,64	11,79	0,002	−0,105	0,026	5,434
Грубая	143,56	74,63	0,079	−0,151	0,005	7,783
Периодичная	99,72	33,73	0,017	0,750	0,013	6,674

Текстурные дескрипторы

Статистический подход – матрицы сочетаемости

Формирование матрицы
сочетаемости яркостей



Значение
дескрипторов для
матриц сочетаемости

Нормированная матрица сочетаемости	Дескрипторы					
	Максимум вероятности	Корре- ляция	Кон- траст	Равно- мерность	Одно- родность	Энтро- пия
G_1/n_1	0,00006	−0,0005	10838	0,00002	0,0366	15,75
G_2/n_2	0,01500	0,9650	570	0,01230	0,0824	6,43
G_3/n_3	0,06860	0,8798	1356	0,00480	0,2048	13,58

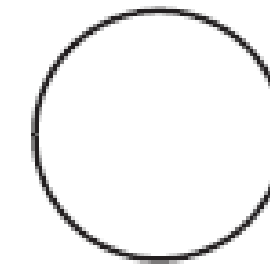
Текстурные дескрипторы

Структурный подход

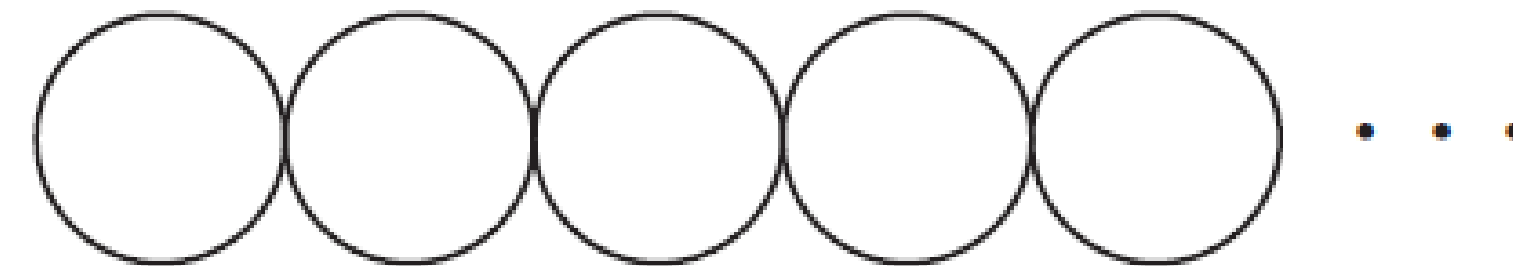
Представление символа $S \Rightarrow aS$:

- Формирование текстурных образов из геометрических примитивов
- Из базовых элементов текстур можно иерархически формировать более сложные текстурные образы с помощью правил

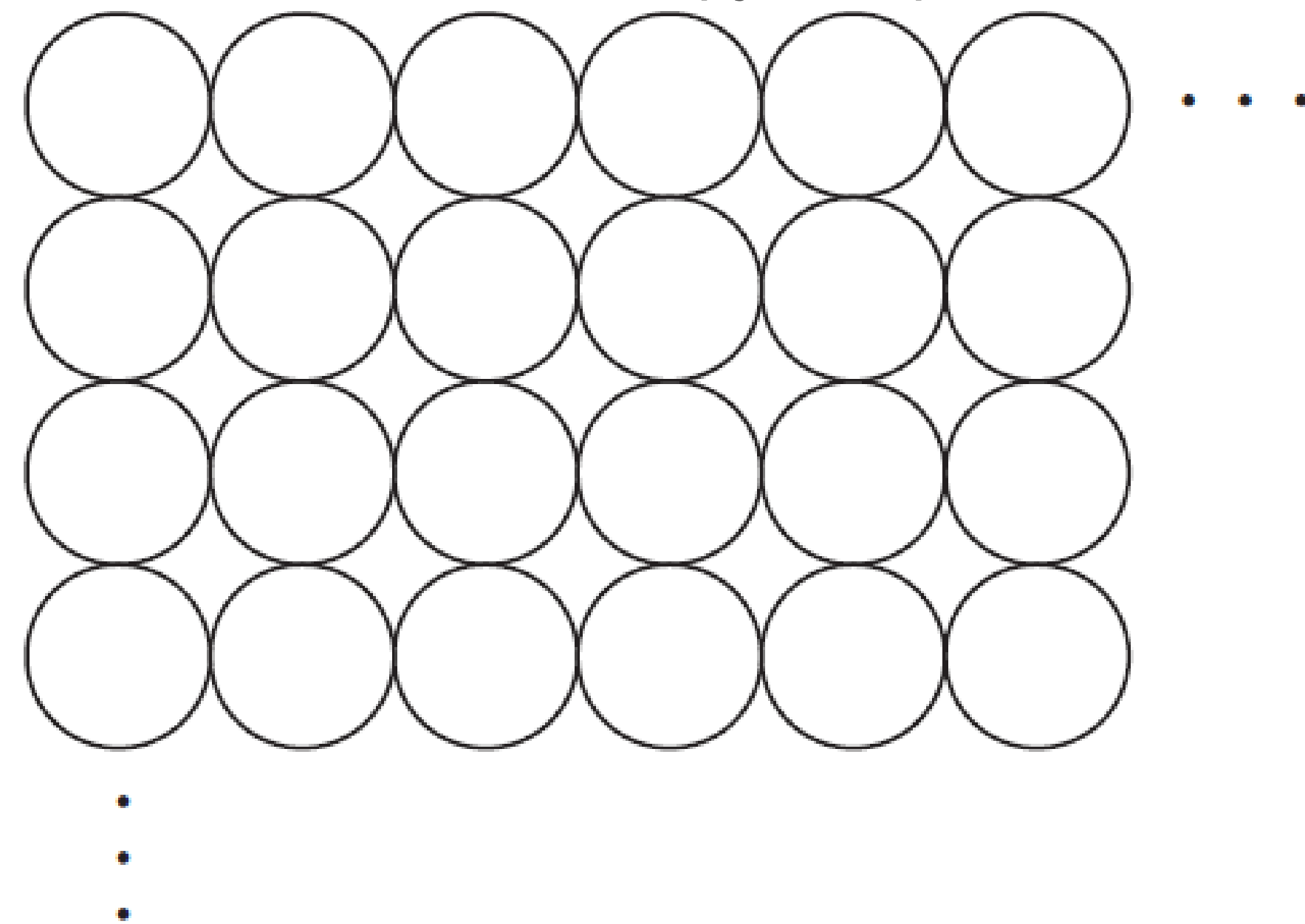
Базовый элемент
текстуры



Текстура, строящаяся
применением правила $S \rightarrow aS$



Двумерная текстура, сгенерированная с
помощью этого и других правил



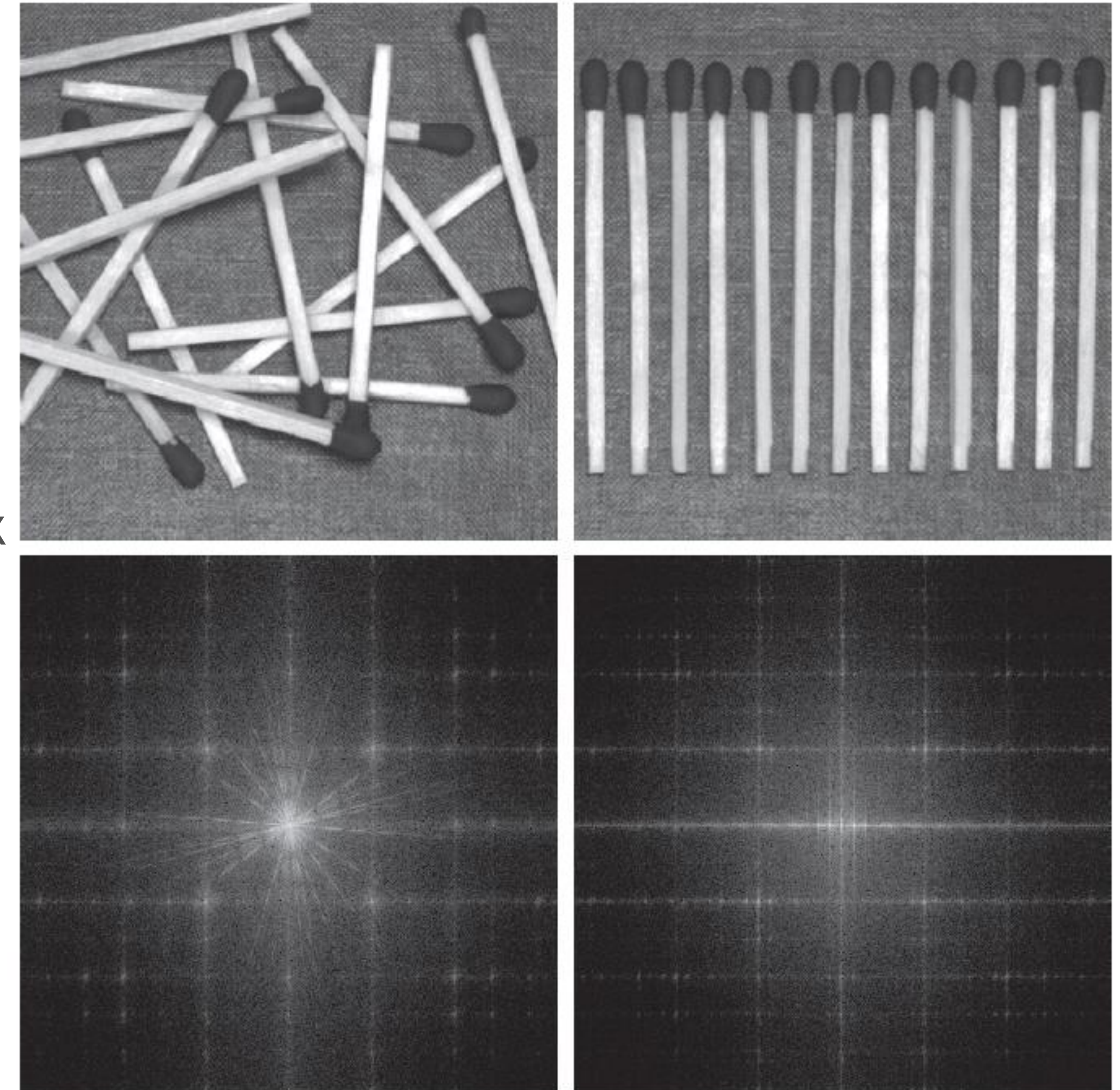
Текстурные дескрипторы

Спектральный подход

Свойства Фурье-спектра для описания текстур:

- Угловая координата выступающего пика спектра (в полярном представлении) указывает направление соответствующей текстурной составляющей
- Местоположение этих пиков на частотной плоскости дает основной пространственный период текстуры
- После устранения всех периодических составляющих путем фильтрации в изображении остаются только непериодические компоненты, которые могут описываться с помощью статистических методов

Изображения объектов со случайным и упорядоченным расположением



Соответствующие Фурье-спектры

Главные компоненты для описания

Математические предпосылки

- Вектор-столбец RGB-пикселя – реализация случайной величины $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$
- Характеризуется вектором матожидания и ковариационная матрица и их оценками

$$\mathbf{m}_x = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}_k \quad \mathbf{m}_x = E\{\mathbf{x}\} \quad \mathbf{C}_x = E\{(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)^T\} \quad \mathbf{C}_x = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \mathbf{x}_k \mathbf{x}_k^T - \mathbf{m}_x \mathbf{m}_x^T$$

- Преобразование Хотеллинга на основе матрицы собственных векторов

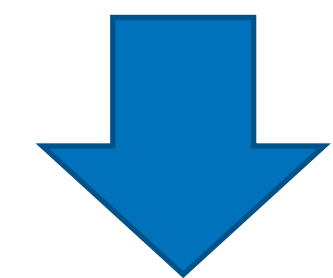
$$\mathbf{y} = \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{m}_x)$$

- Ковариационная матрица преобразованной совокупности векторов – диагональная $\mathbf{C}_y = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \lambda_2 & \\ 0 & & \ddots \\ & & & \lambda_n \end{bmatrix}$

- Любой вектор \mathbf{x} может быть восстановлен по \mathbf{y} :

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}^T \mathbf{y} + \mathbf{m}_x$$

Выбирая k собственных векторов, которым соответствуют наибольшие собственные значения Λ можно минимизировать средний квадрат ошибки \mathbf{x} и $\tilde{\mathbf{x}}$



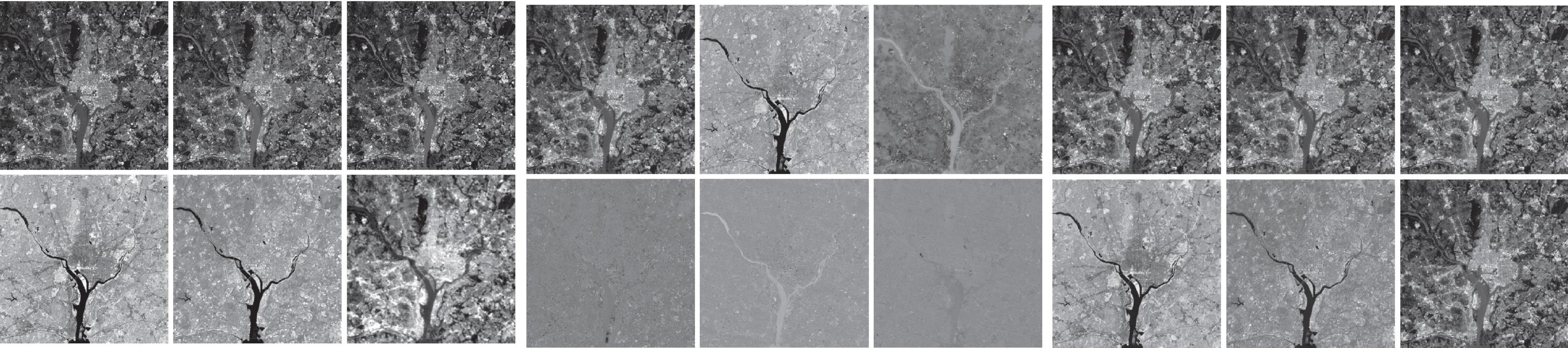
Приведение к главным компонентам

Главные компоненты для описания

Описание изображений

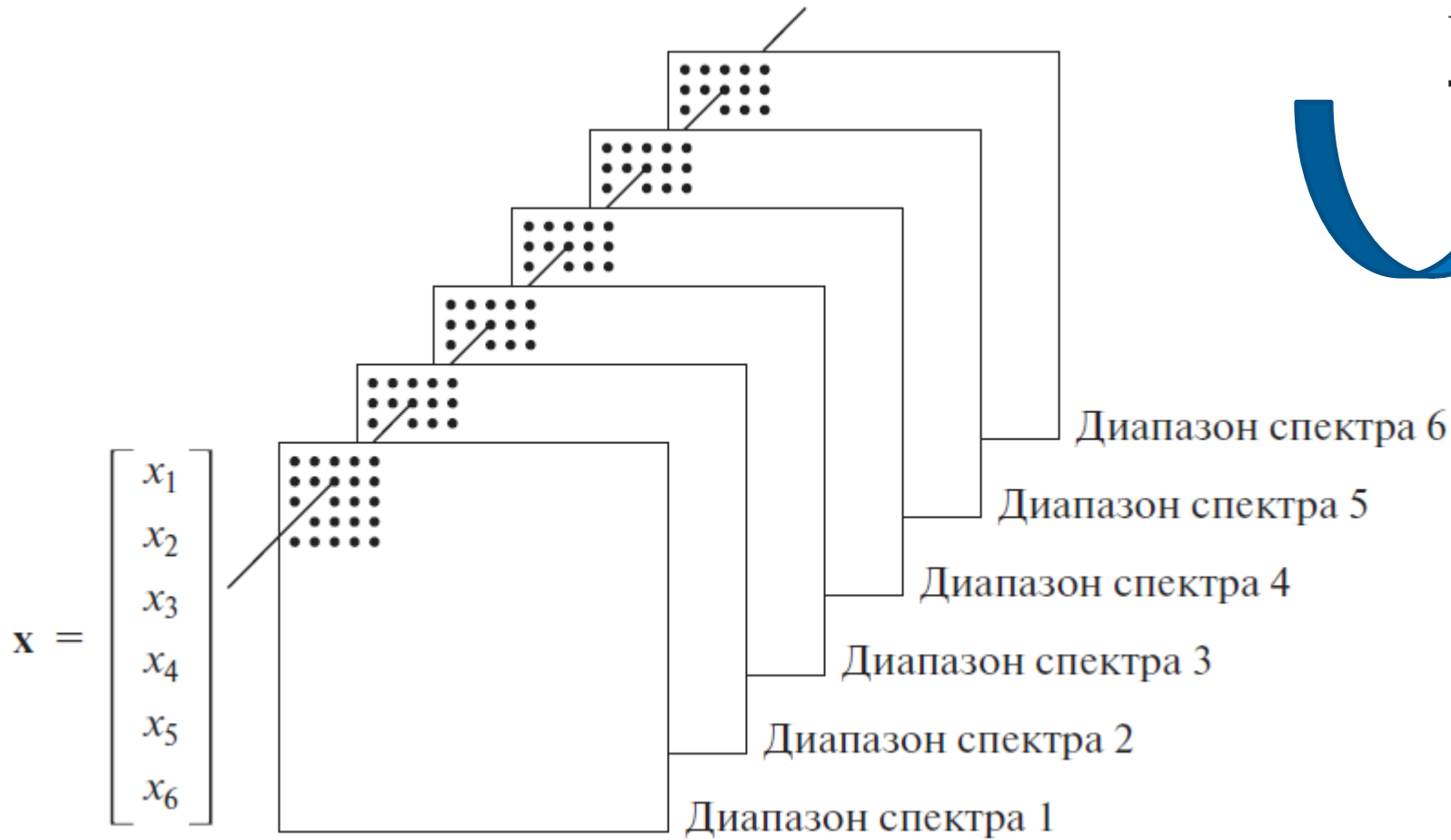
Компоненты мультиспектрального изображения

Восстановление мультиспектрального изображения по 2м главным компонентам



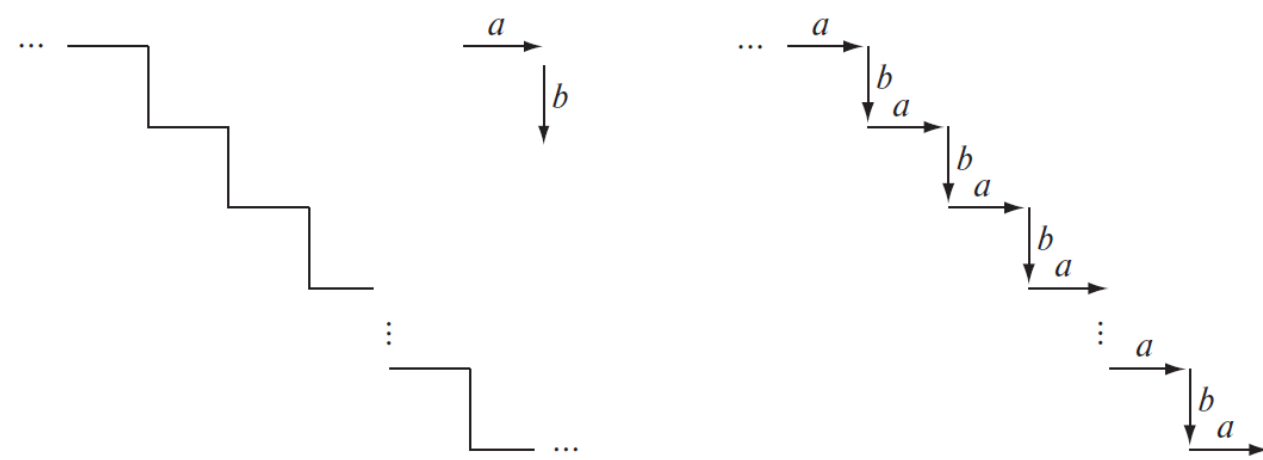
λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6
10344	2966	1401	203	94	31

Шесть изображений главных компонент, построенных из векторов

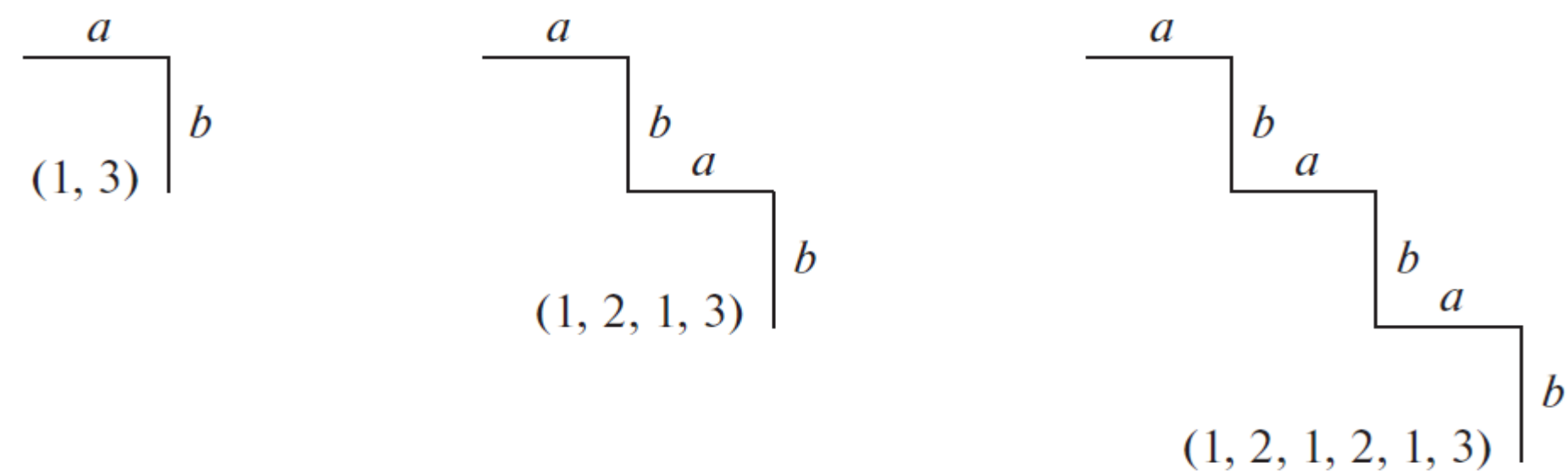


Представление Реляционные дескрипторы

Простая ступенчатая структура и ее закодированный вид



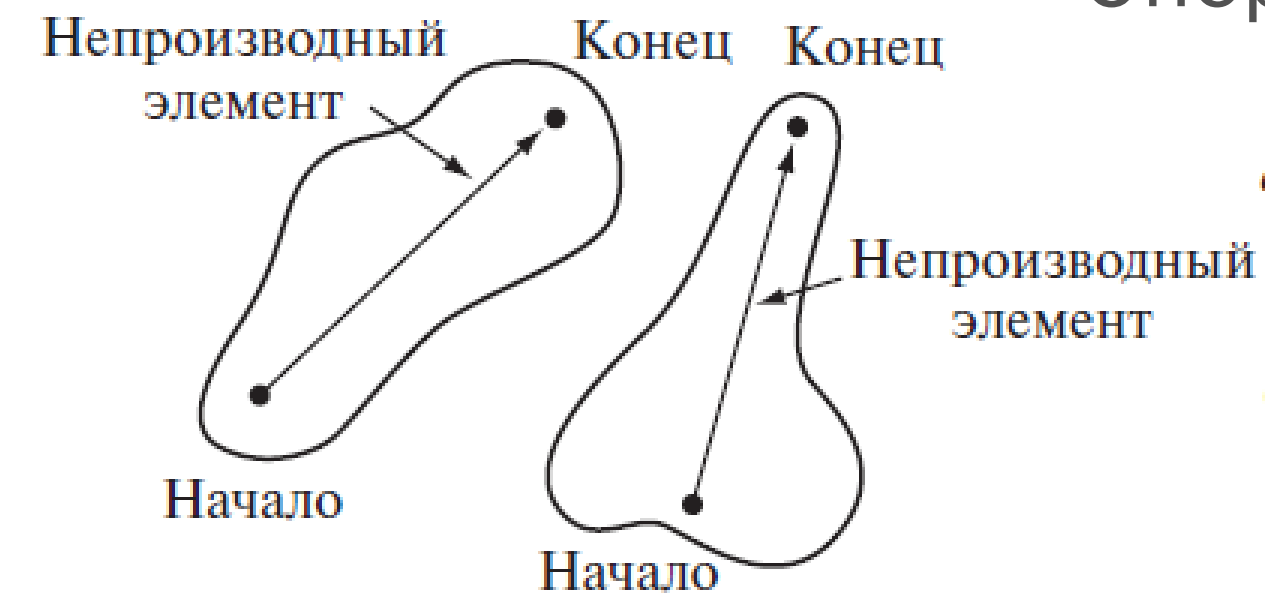
Процесс прослеживания границы



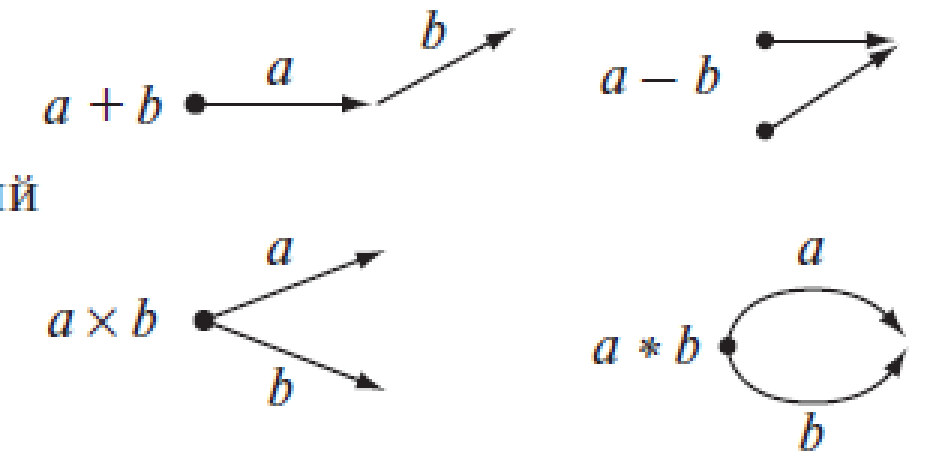
Кодирование границы
области с помощью
направленных отрезков



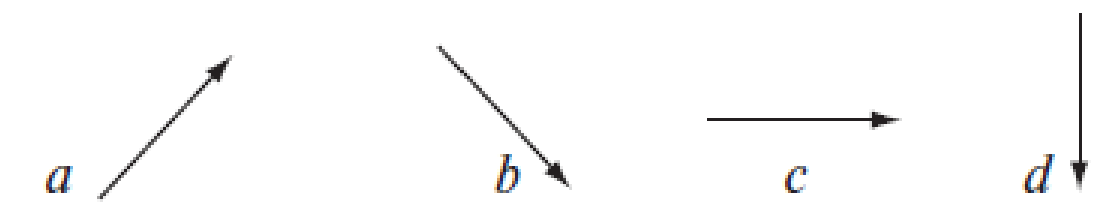
Абстрактные непроизводные
элементы



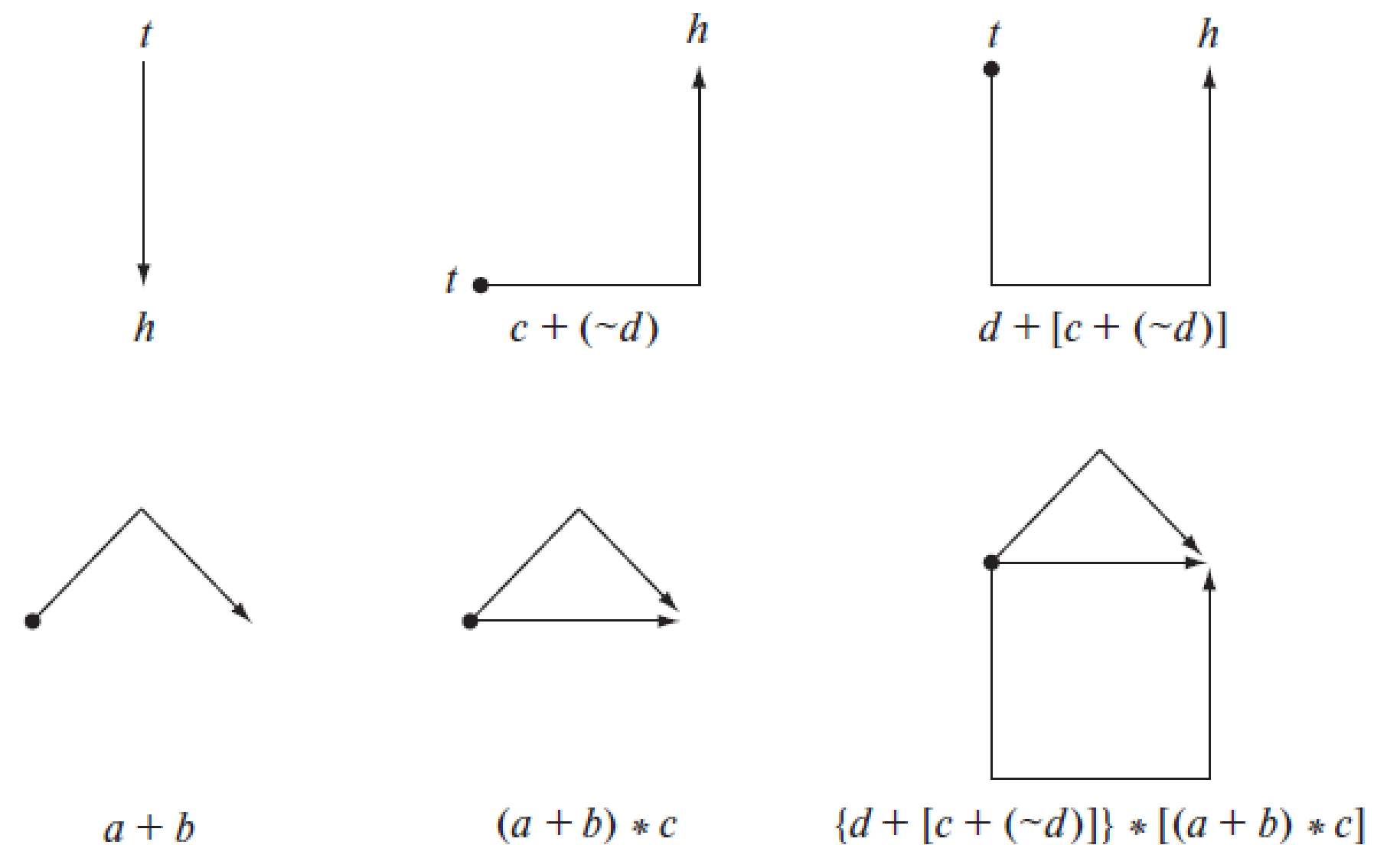
Операции над элементами



Конкретный набор
непроизводных элементов



Шаги построения некоторой структуры



Вейвлеты/кратномасштабная обработка

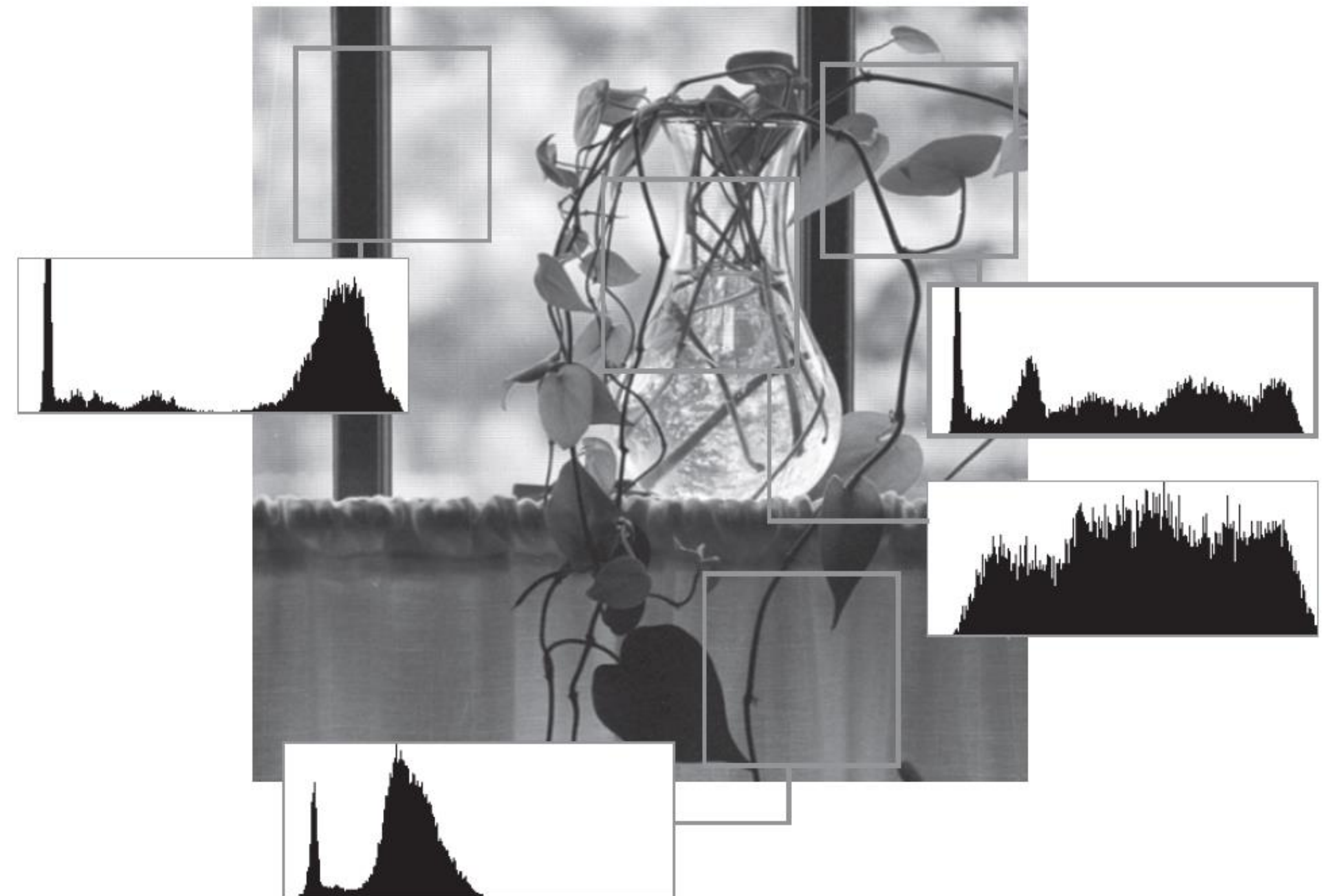
Предпосылки

Преобразование Фурье – частотная информация

Вейвлет-преобразование – изменение частот и временная (пространственная) локализация

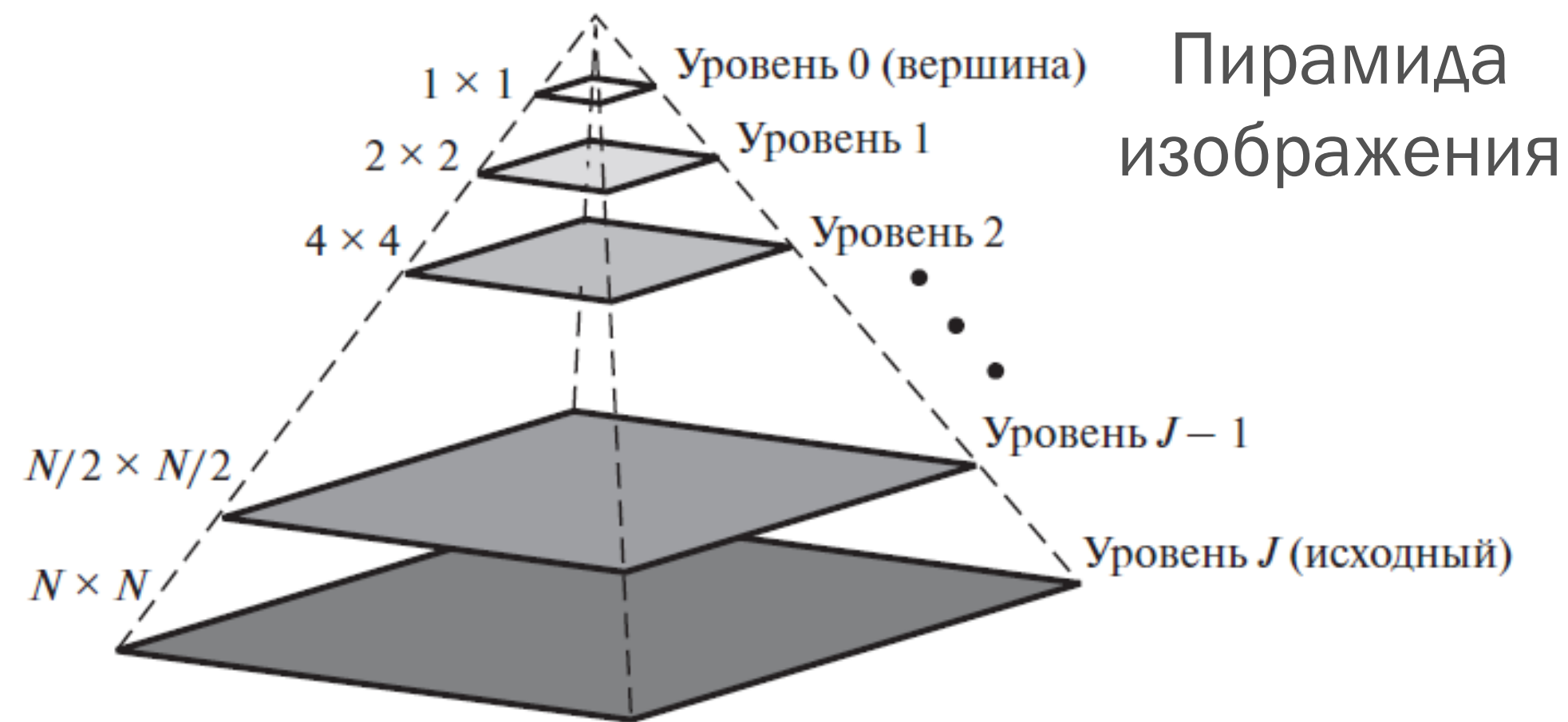
Кратномасштабная обработка – представление и описание сигнала в различных масштабах с различным разрешением

Обычное изображение и локальные гистограммы отдельных его фрагментов

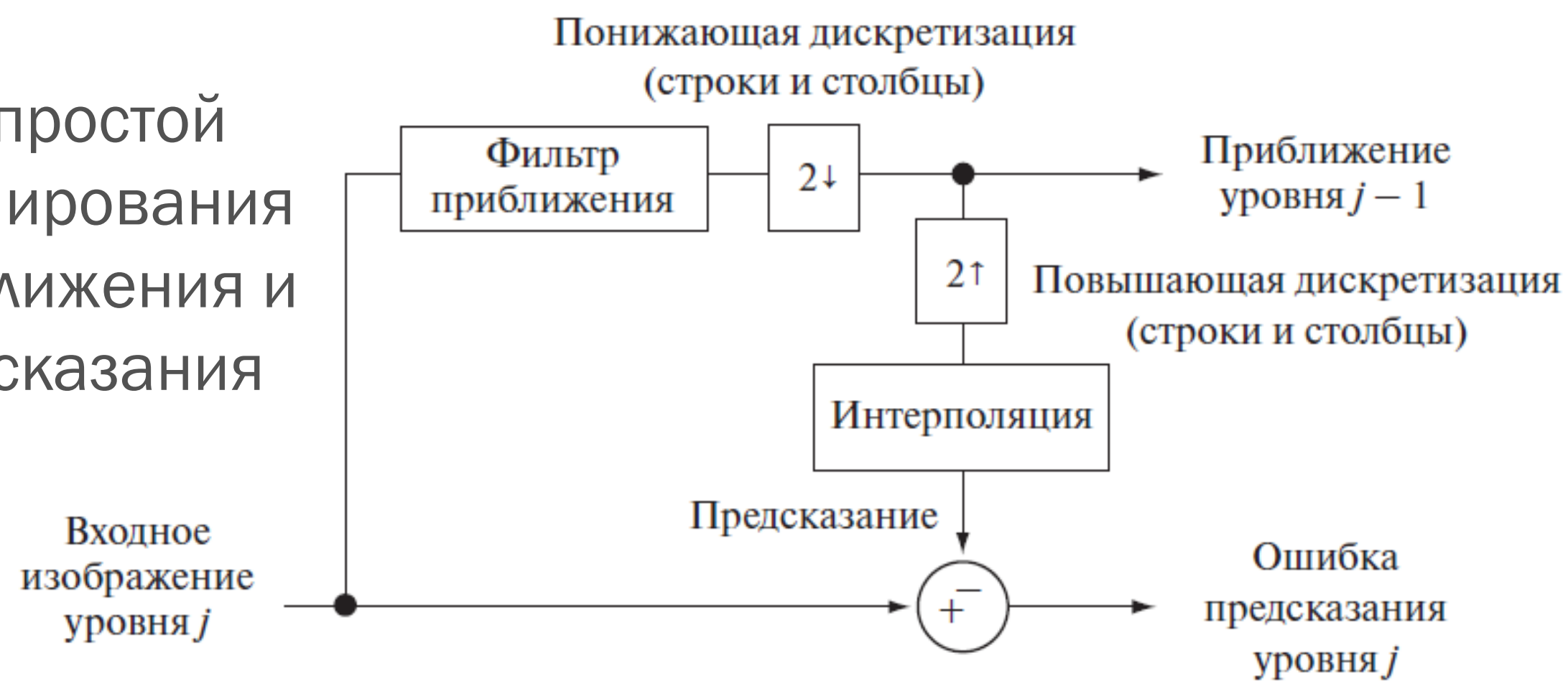


Вейвлеты/кратномасштабная обработка

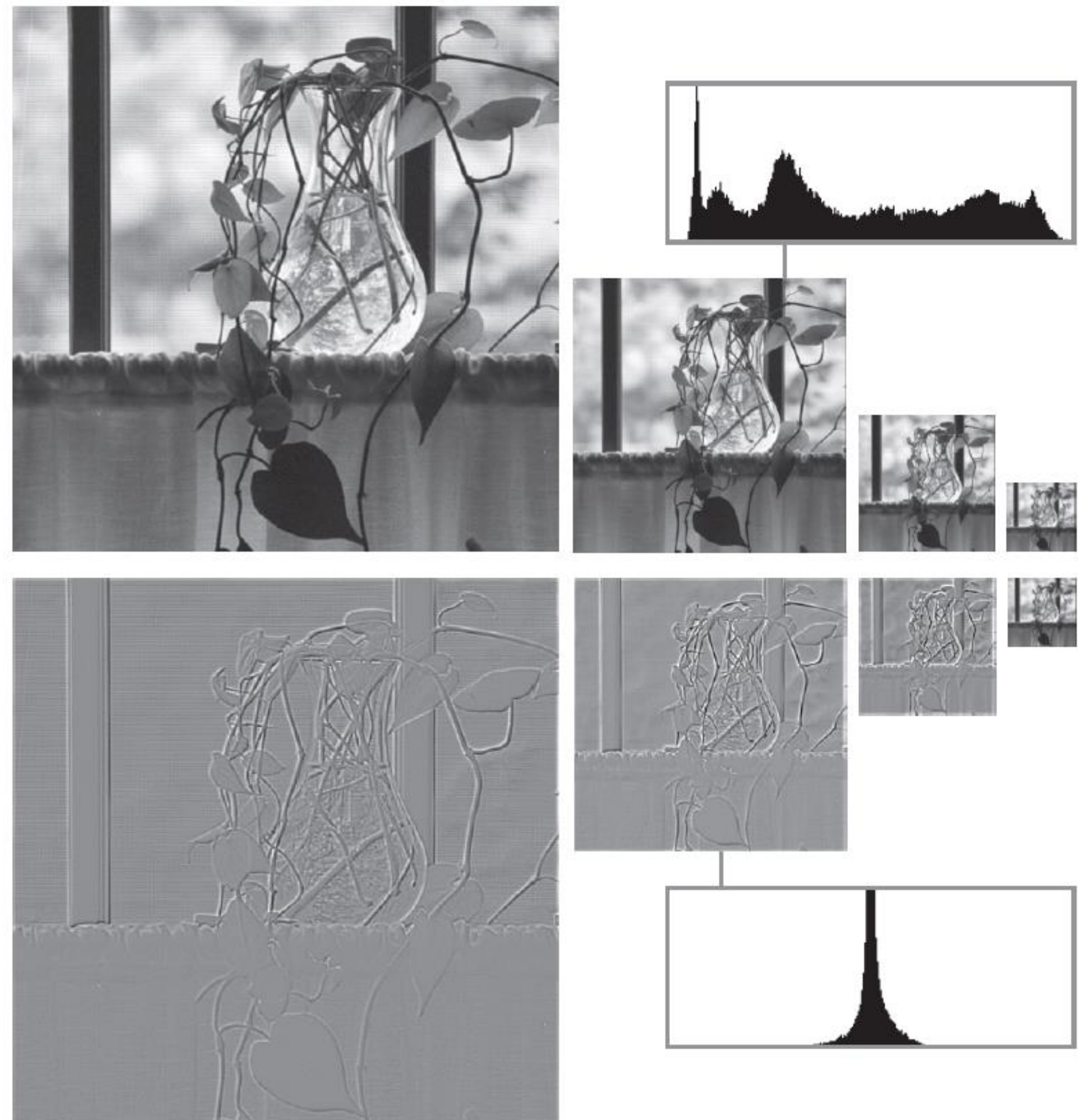
Пирамиды изображений



Блок-схема простой системы формирования пирамид приближения и ошибок предсказания



Пирамиды приближений/ошибок и их гистограммы



Вейвлеты/кратномасштабная обработка

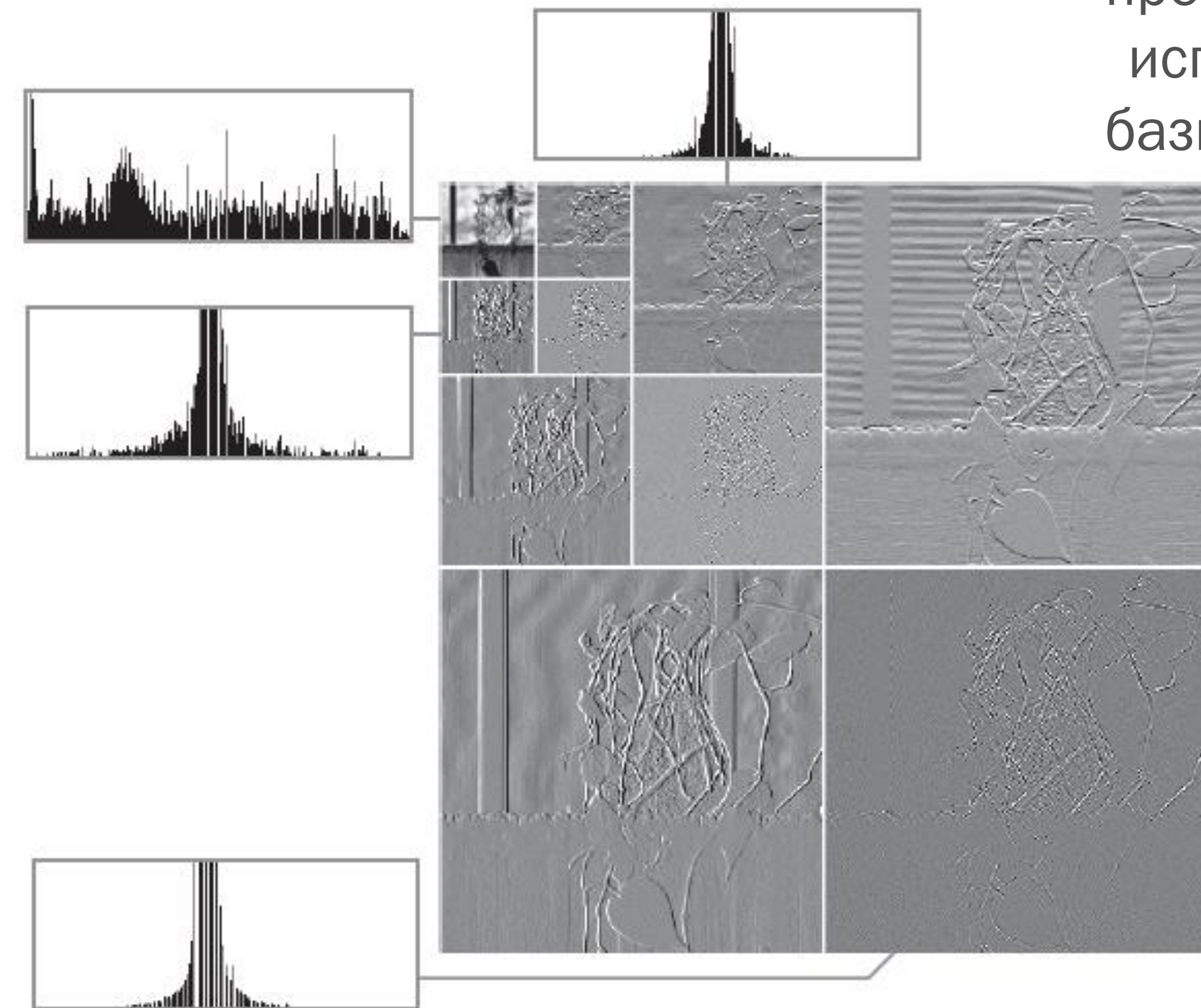
Преобразование Хаара

Базисные функции Хаара – простейшая система ортонормированных вейвлетов

Свойства дискретного вейвлет-преобразования:

- За исключением уменьшенного субизображения в левом верхнем углу, гистограммы остальных субизображений весьма похожи и содержат много значений элементов вблизи нуля
- Субизображения могут быть использованы для получения как грубых, так и точных приближений оригинального изображения
- Возможно точное восстановление исходного изображения

Несколько различных приближений размерами 64×64 , 128×128 и 256×256 , которые могут быть получены на основе исходного



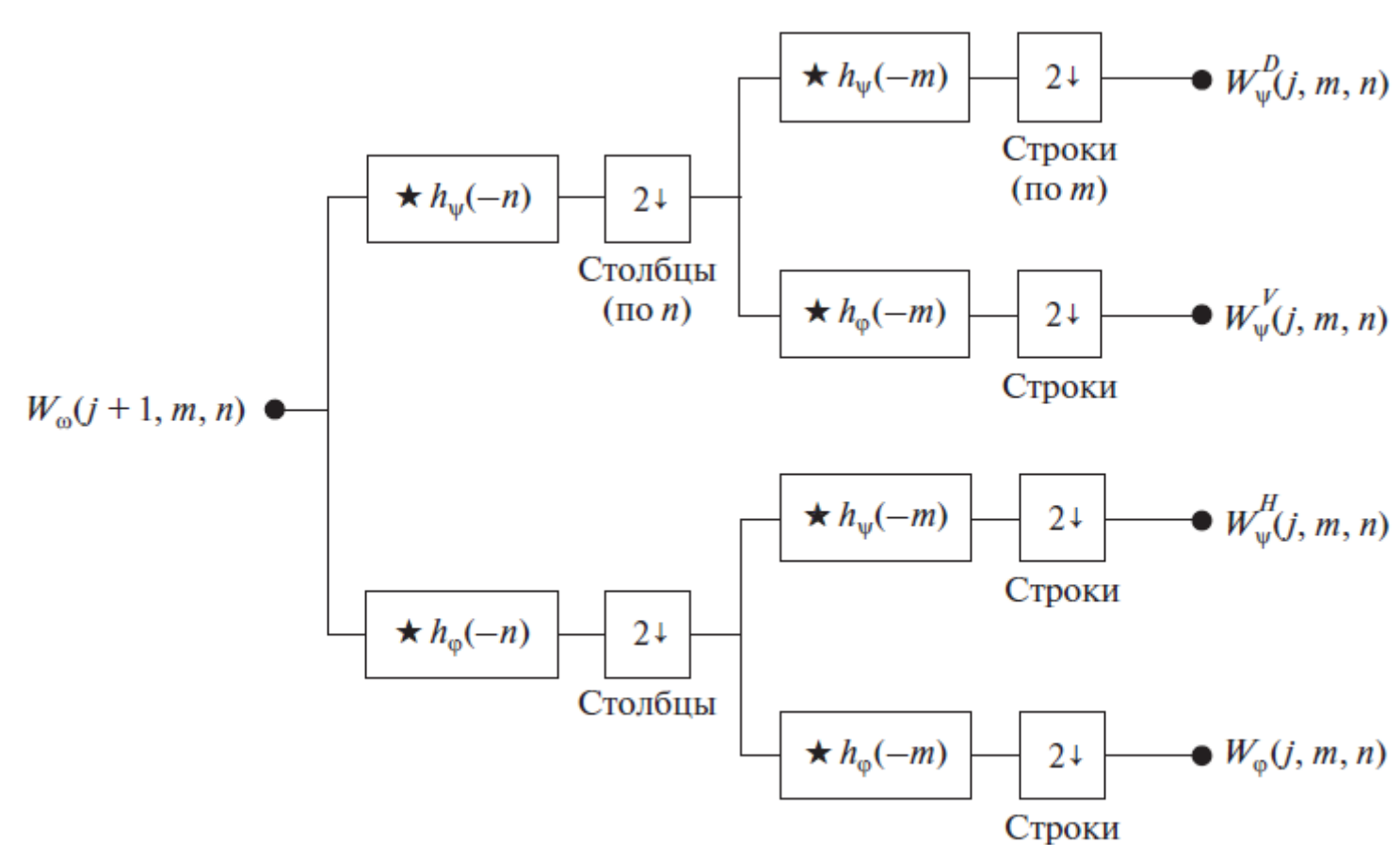
Дискретное вейвлет-преобразование с использованием базисных функций Хаара H2



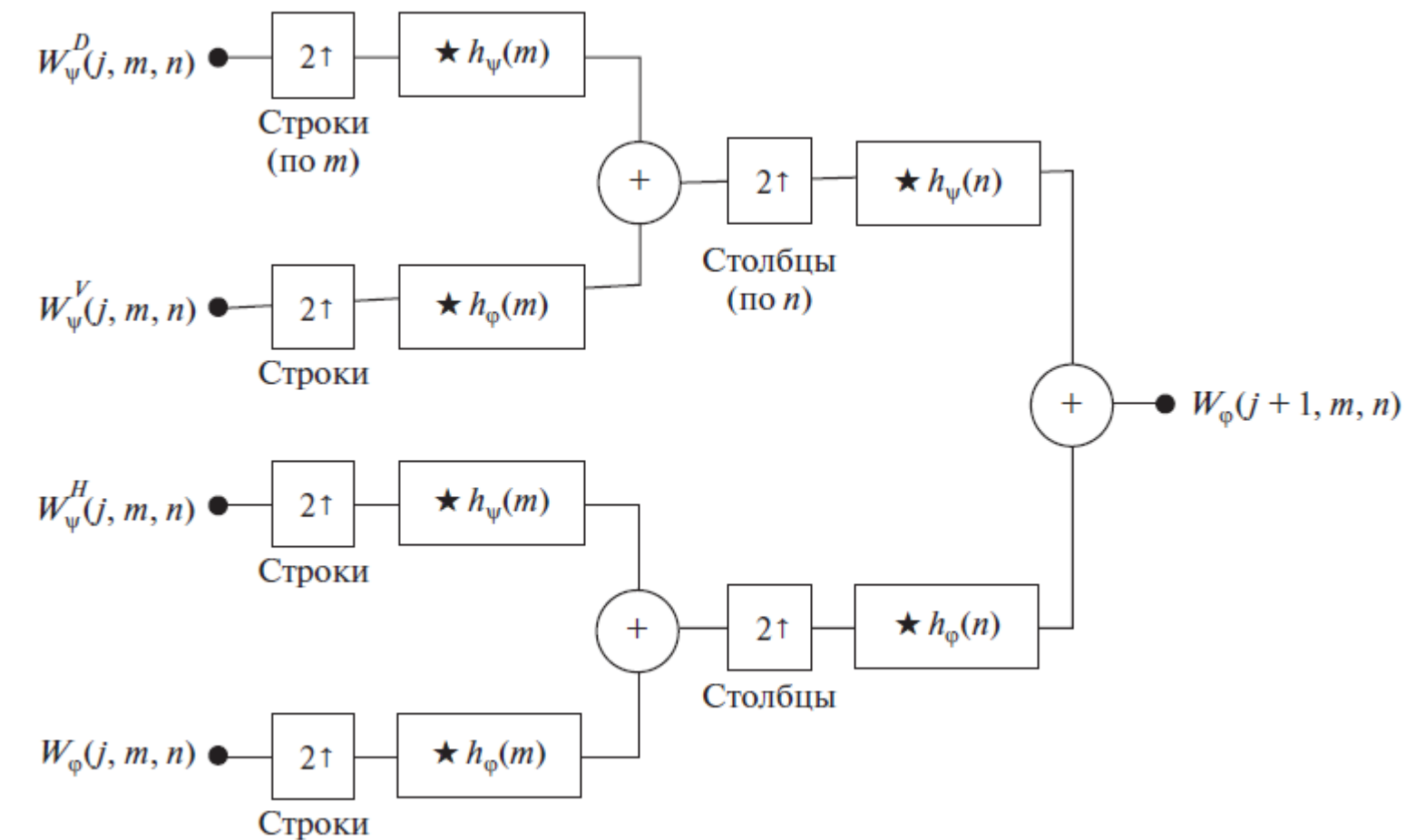
Вейвлеты/кратномасштабная обработка

Двумерное вейвлет-преобразование

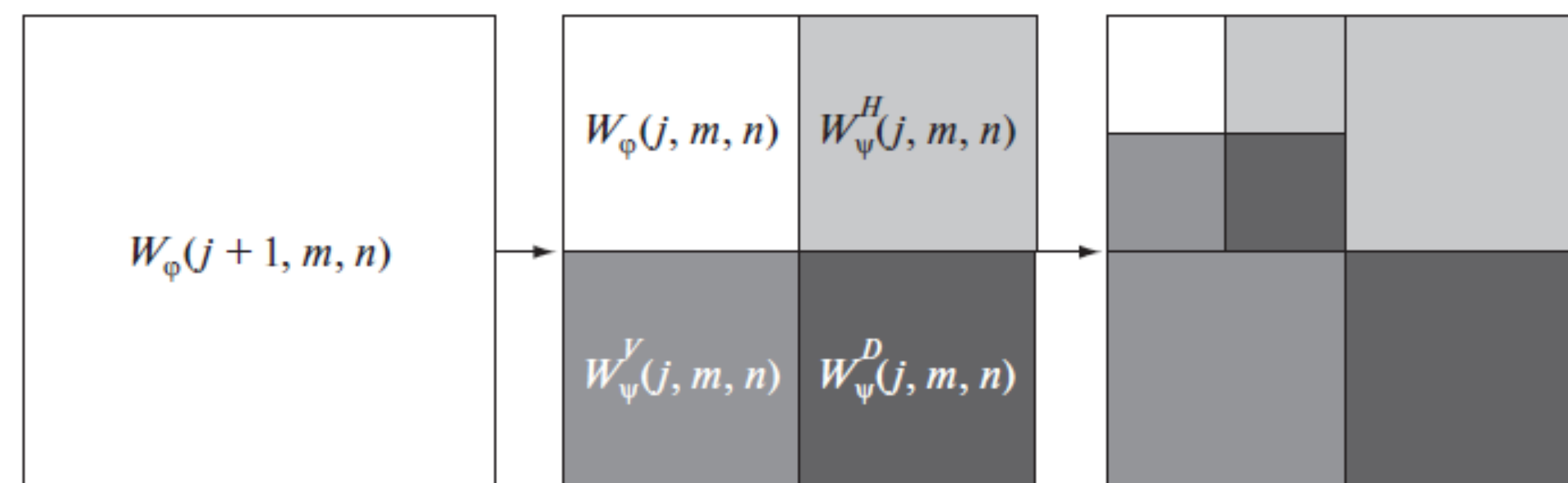
Банк фильтров анализа



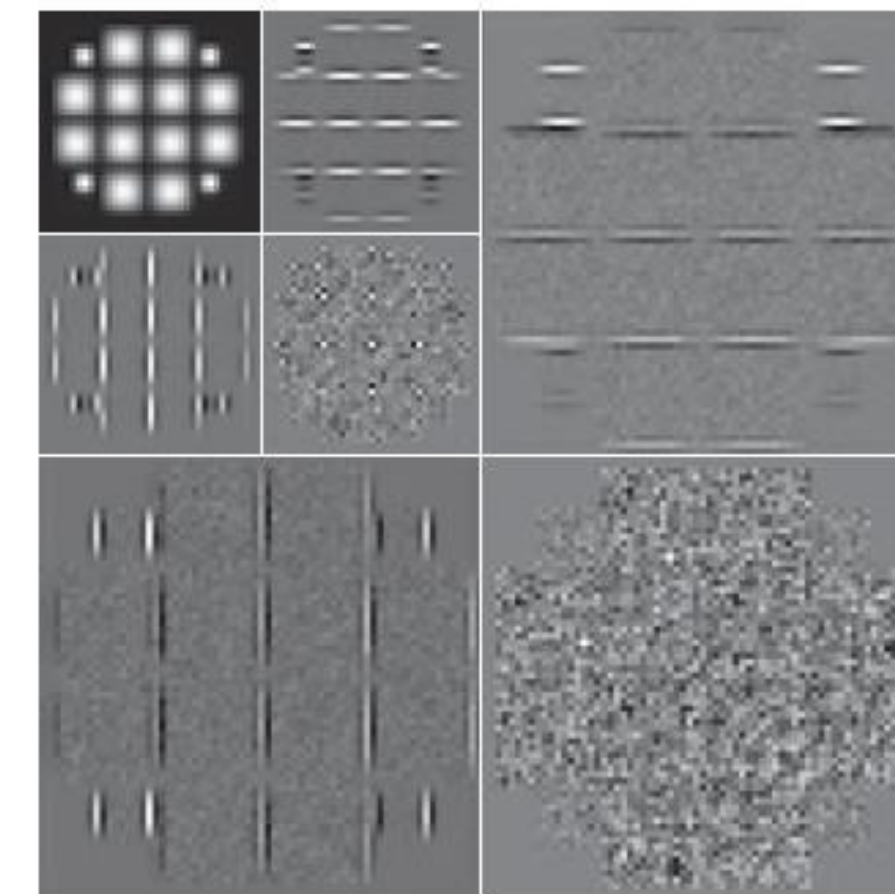
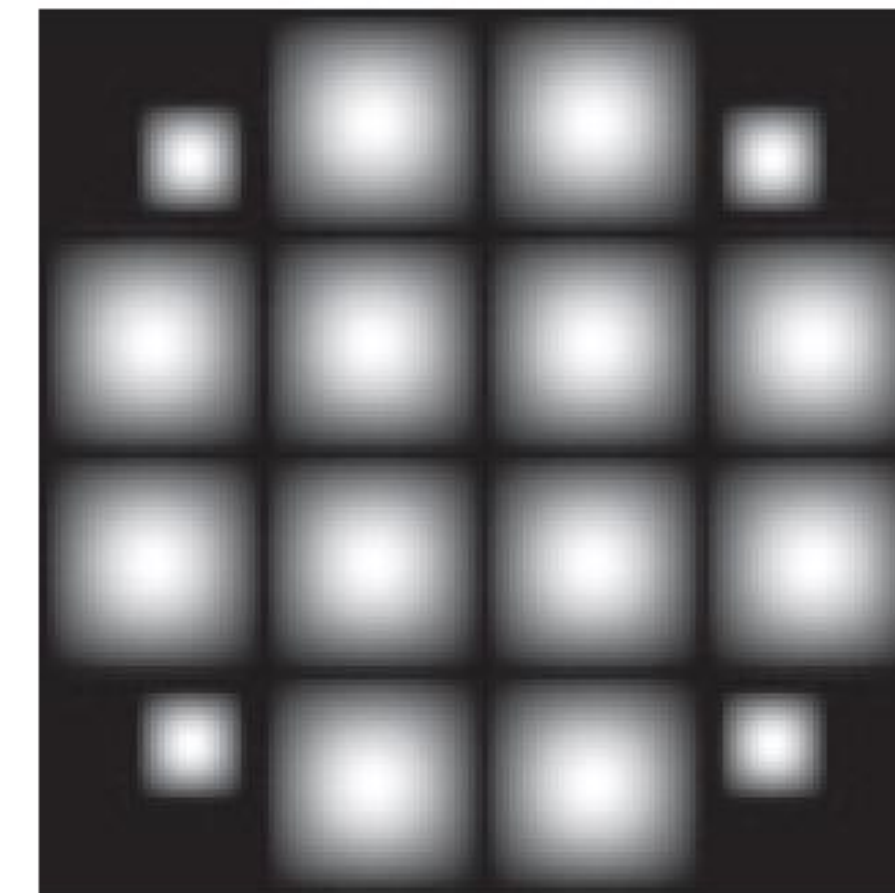
Банк фильтров синтеза



Получаемое разложение

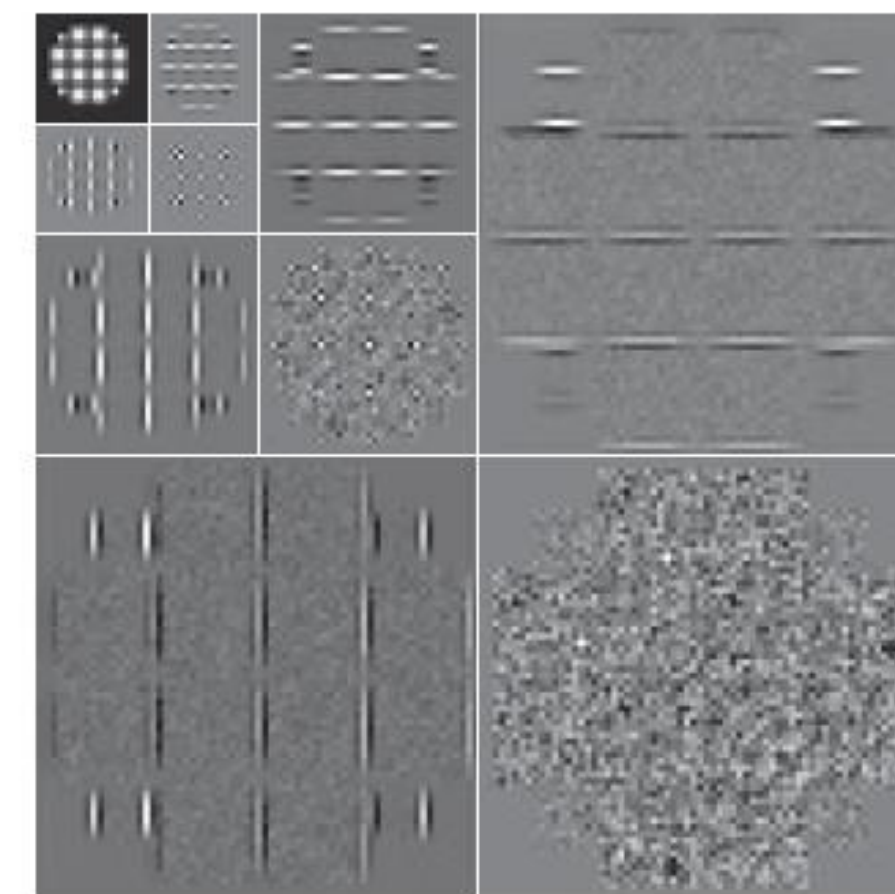
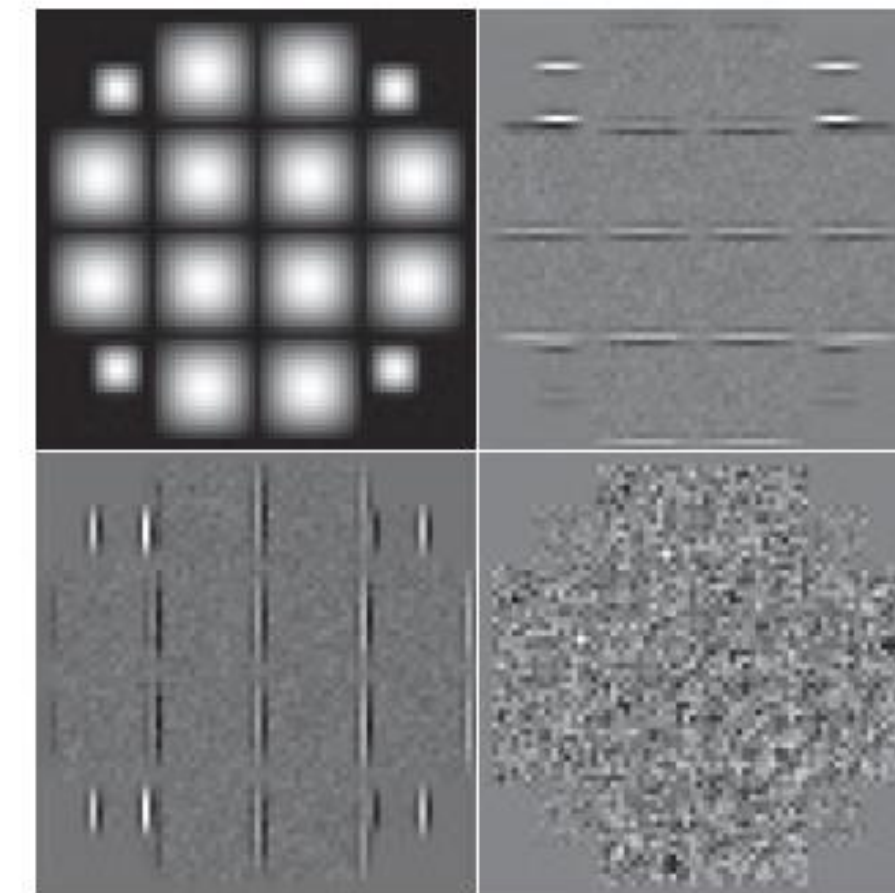


Исходное изображение



Двухмасштабное БВП

Одномасштабное БВП



Трехмасштабное БВП

- Общие принципы представления и описания изображений
- Прослеживание границы
- Deskрипторы границ
- Deskрипторы областей
- Главные компоненты для описания изображений
- Реляционные deskрипторы
- Вейвлеты и кратномасштабная обработка

Спасибо за внимание!

**Колокольников
Георгий Андреевич**

Telegram: @Georg_Bell

E-mail: geokolok5@gmail.com

Сайт: <https://github.com/GeorgBell>

Использованные материалы:

- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с. – ISBN 978-5-94836-331-8.2.
- Курс лекций cs231n «Convolutional Neural Networks for Visual Recognition» (<http://cs231n.stanford.edu>).
- Курс лекций HSE «Deep Learning in Computer Vision» (<https://www.coursera.org/learn/deep-learning-in-computer-vision>)