Системы компьютерного зрения

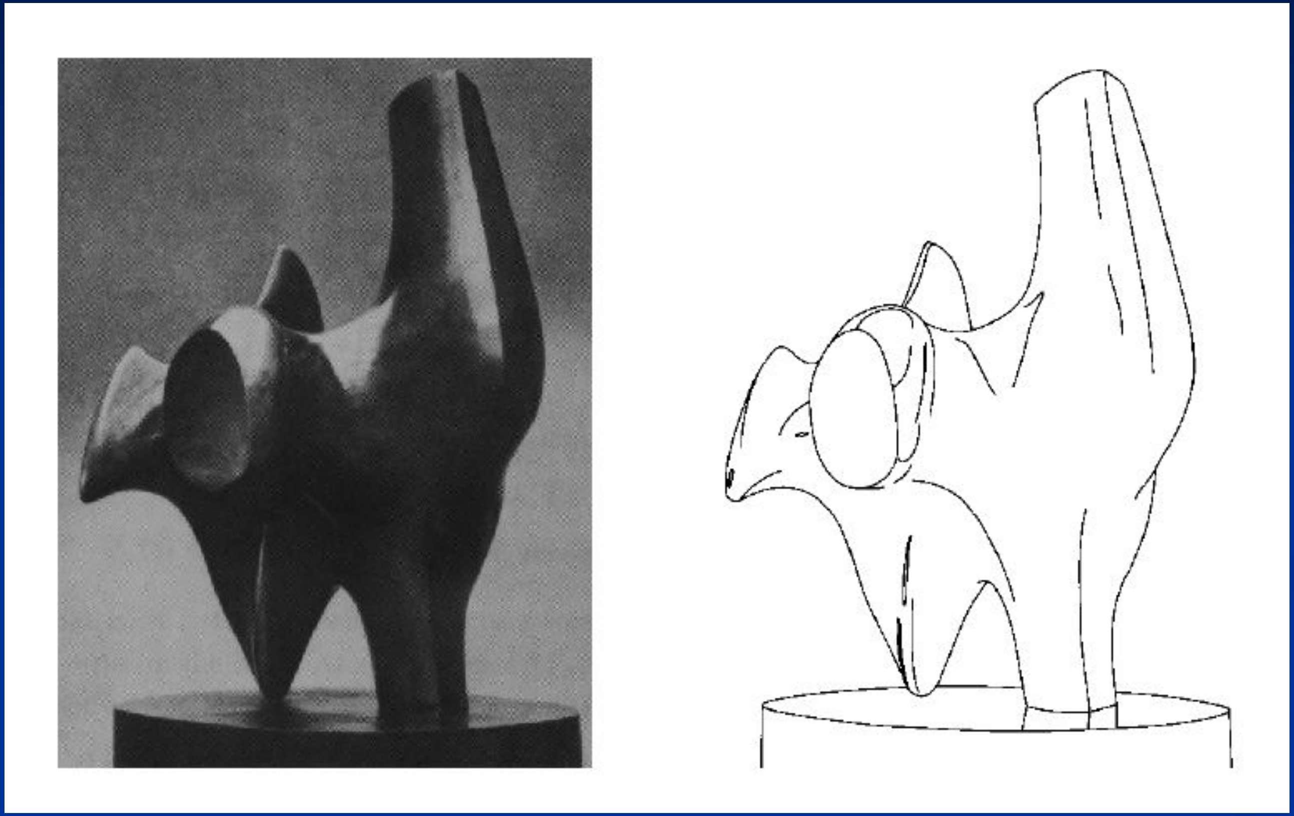
Лекция 2

На основе лекций «Введение в компьютерное зрение»
в МГУ, авторы - В.Вежневец, А.Конушин, В.Вежневец

Анализ изображений

- Темы этой лекции
  - Выделение краев
    - Градиент изображения
    - Алгоритм Canny
  - Работа с контурами
    - Цепные коды
    - Полигональная аппроксимация
    - Ψ-s представление
    - Дескрипторы контуров
  - Как проводить прикладное исследование?

Выделение краев



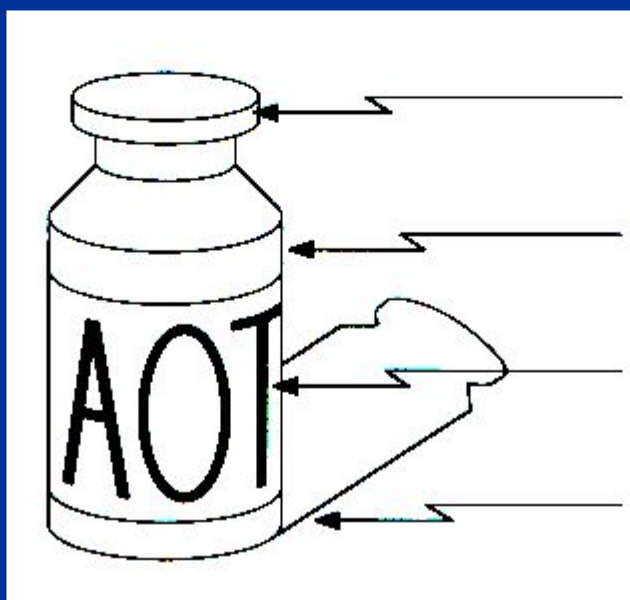
Цель – преобразовать изображение в набор кривых для:

- выделения существенных характеристик
- сокращения объема информации для анализа

Выделение краев

Откуда берутся края?

- Край – резкий переход яркости.
- Различные причины возникновения:



Резкое изменение нормали поверхности

Резкое изменение глубины сцены

Резкое изменение цвета поверхности

Резкое изменение освещенности

Как найти резкое изменение яркости?

Нас интересуют области резкого изменения яркости – нахождение таких областей можно организовать на основе анализа первой и второй производной изображения.

Рассмотрим одномерный случай…

График функции

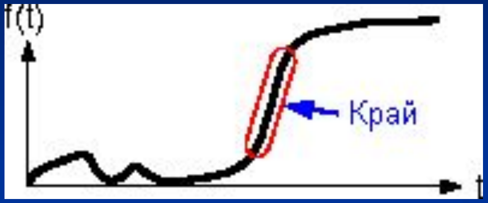


График производной

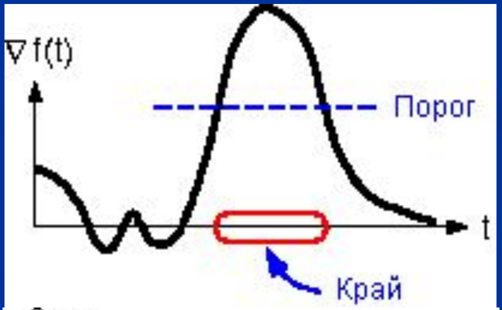
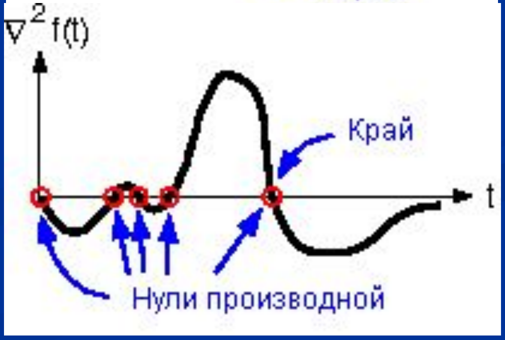


График 2ой производной



Как найти резкое изменение яркости?

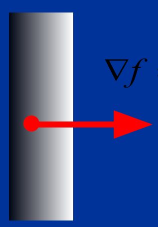
Известно, что наибольшее изменение функции происходит в направлении ее градиента. Величина изменения измеряется абсолютной величиной градиента.

$$\nabla I(x,y) = \left(\frac{\partial I}{\partial x}(x,y), \frac{\partial I}{\partial y}(x,y) \right);$$

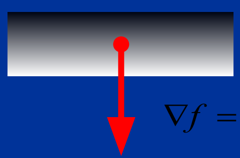
$$\left| \nabla I(x,y) \right| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}(x,y) \right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}(x,y) \right)^2}$$

Градиент яркости изображения

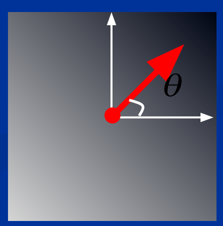
- Известно, что наибольшее изменение функции происходит в направлении ее градиента
  - Приведем примеры…



$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, 0\right]$$



$$\nabla f = \left[0, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$$



$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}\right]$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{\partial f}{\partial y} \Big/ \frac{\partial f}{\partial x}\right)$$

Градиент яркости изображения

- Направление градиента задается:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\partial f}{\partial y} \bigg/ \frac{\partial f}{\partial x}\right)$$

  - «Направление края» задается перпендикулярным градиенту

- «*Сила края*» задается абсолютной величиной градиента:

$$\left|\nabla I(x,y)\right| = \sqrt{\left(\frac{\partial I}{\partial x}(x,y)\right)^2 + \left(\frac{\partial I}{\partial y}(x,y)\right)^2}$$

- Иногда используется приближенное вычисление градиента:

$$\left|\nabla I(x,y)\right| \cong \left|\frac{\partial I}{\partial x}(x,y)\right| + \left|\frac{\partial I}{\partial y}(x,y)\right|$$

Вычисление градиента яркости изображения

Семейство методов основано на приближенном вычисление градиента, анализе его направления и абсолютной величины. Свертка по функциям:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Робертса Превитт Собеля

Математический смысл – приближенное вычисление производных по направлению

Карта силы краев

Примеры:

Робертса

Превитт

Собеля

Выделение краев

- Вычисление градиента – это еще не всё…

Исходное изображение

Карта силы краев

- Чего не хватает?
  - Точности – края «толстые» и размытые
  - Информации о связности

Выделение краев

- Нужно:
  - Убрать слабые края и шум
  - Сделать края тонкими
  - Объединить пиксели краев в связные кривые

Алгоритм Canny

- Давно придуман, однако до сих пор широко используется

- Шаги:
  - Убрать шум и лишние детали из изображения
  - Рассчитать градиент изображения
  - Сделать края тонкими (edge thinning)
  - Связать края в контура (edge linking)

Начало…

- Размыть изображение с помощью фильтра Гаусса
  - Убрать шум, лишние детали текстуры
- Рассчитать градиент изображения
  - Одним из операторов – например, Собеля

Исходное изображение

Размытое изображение

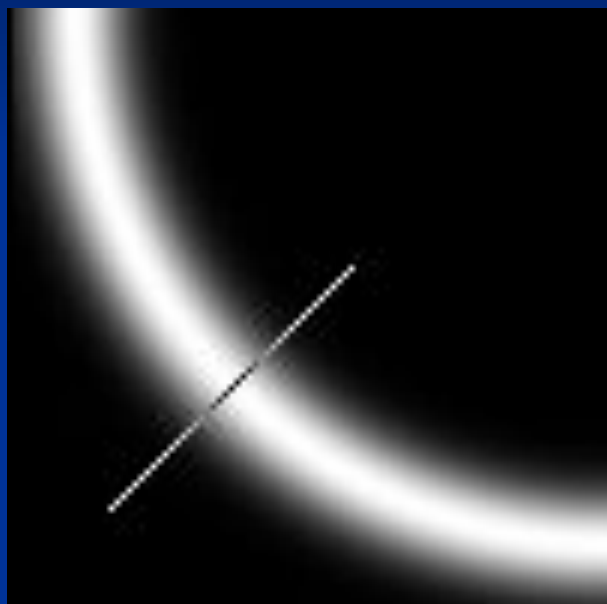
Карта силы краев

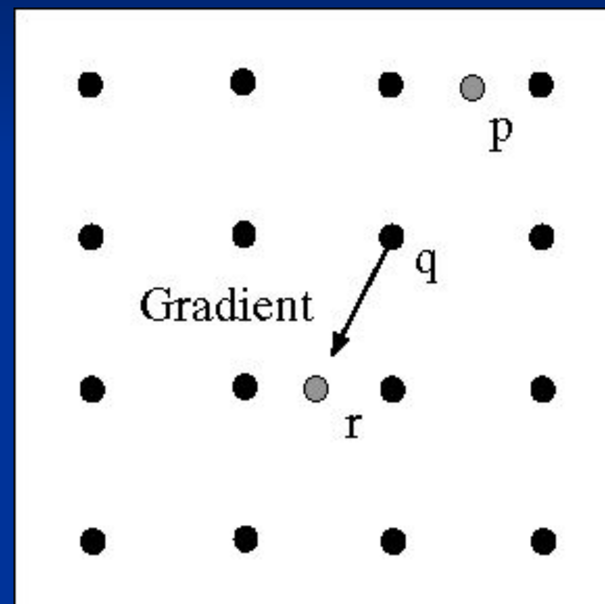
…середина…

- Все пиксели где сила краев $< T$ убрать из рассмотрения

…середина…

- Поиск локальных максимумов





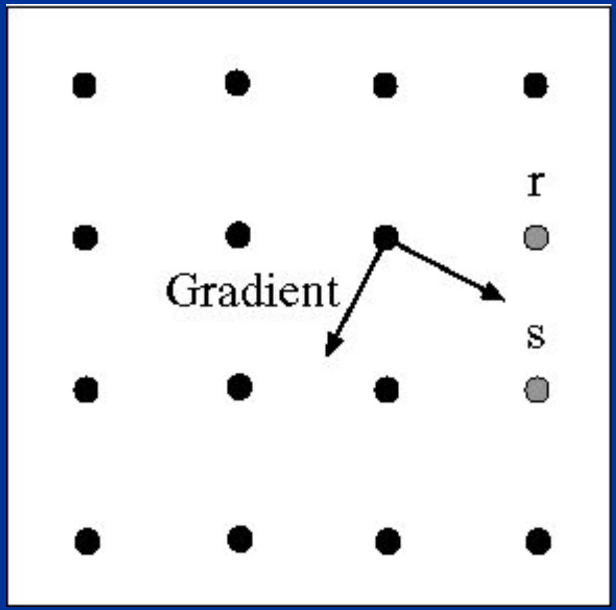
- Проверяя – является ли пиксель локальным максимумом вдоль направления градиента
  - Приходится интерполировать «нецелые» пиксели p и r

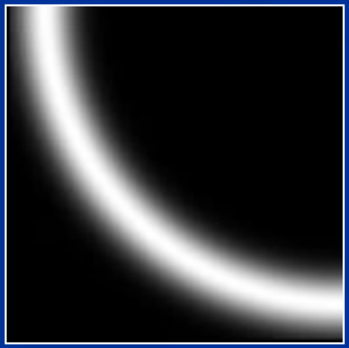
… финал

1. Выбираем еще не обработанную точку локального максимума p в которой сила края $|\nabla I(p)| > T_1$
2. Прослеживание края выбранного локального максимума p:
   a) Предсказание следующей точки края q;
   b) Проверка – $|\nabla I(q)| > T_2$? $(T_1 > T_2)$
   c) Если да – $p = q$, переход на начало шага 2;
   d) Если нет - переход на шаг 1;

Пояснения

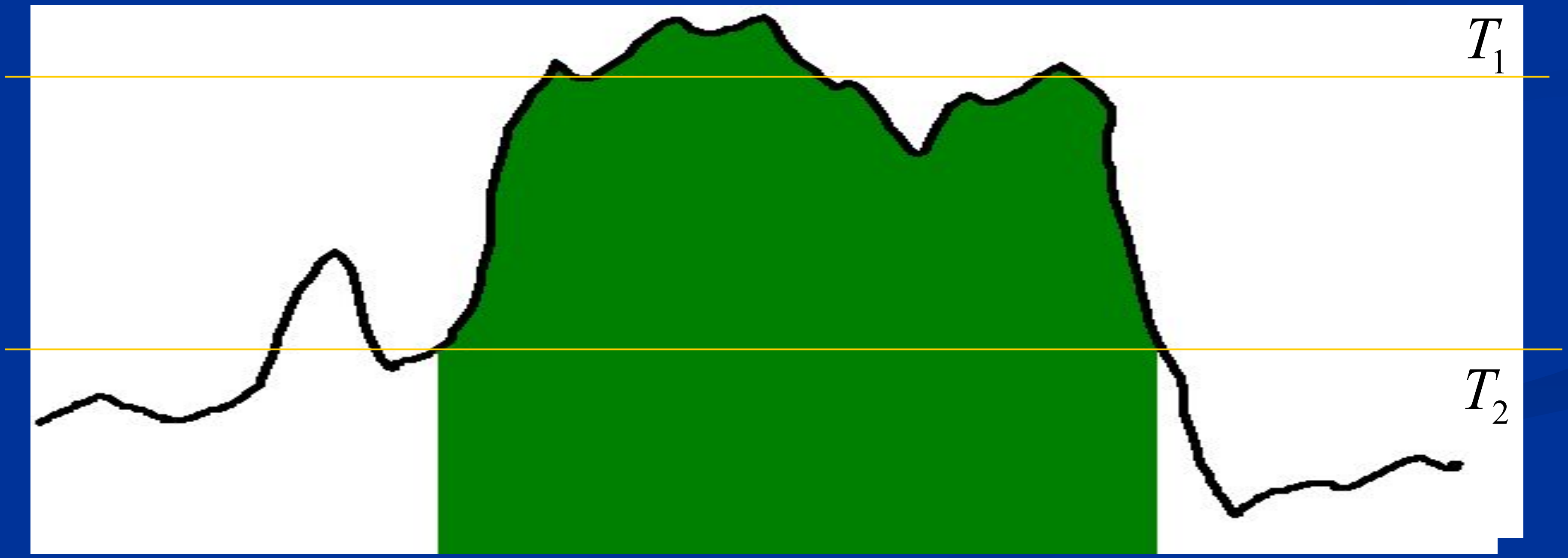
- Как предсказать следующую точку края?
  - От текущей точки шаг в сторону перпендикулярную градиенту
  - В данном случае – в точку r или s





Пояснения

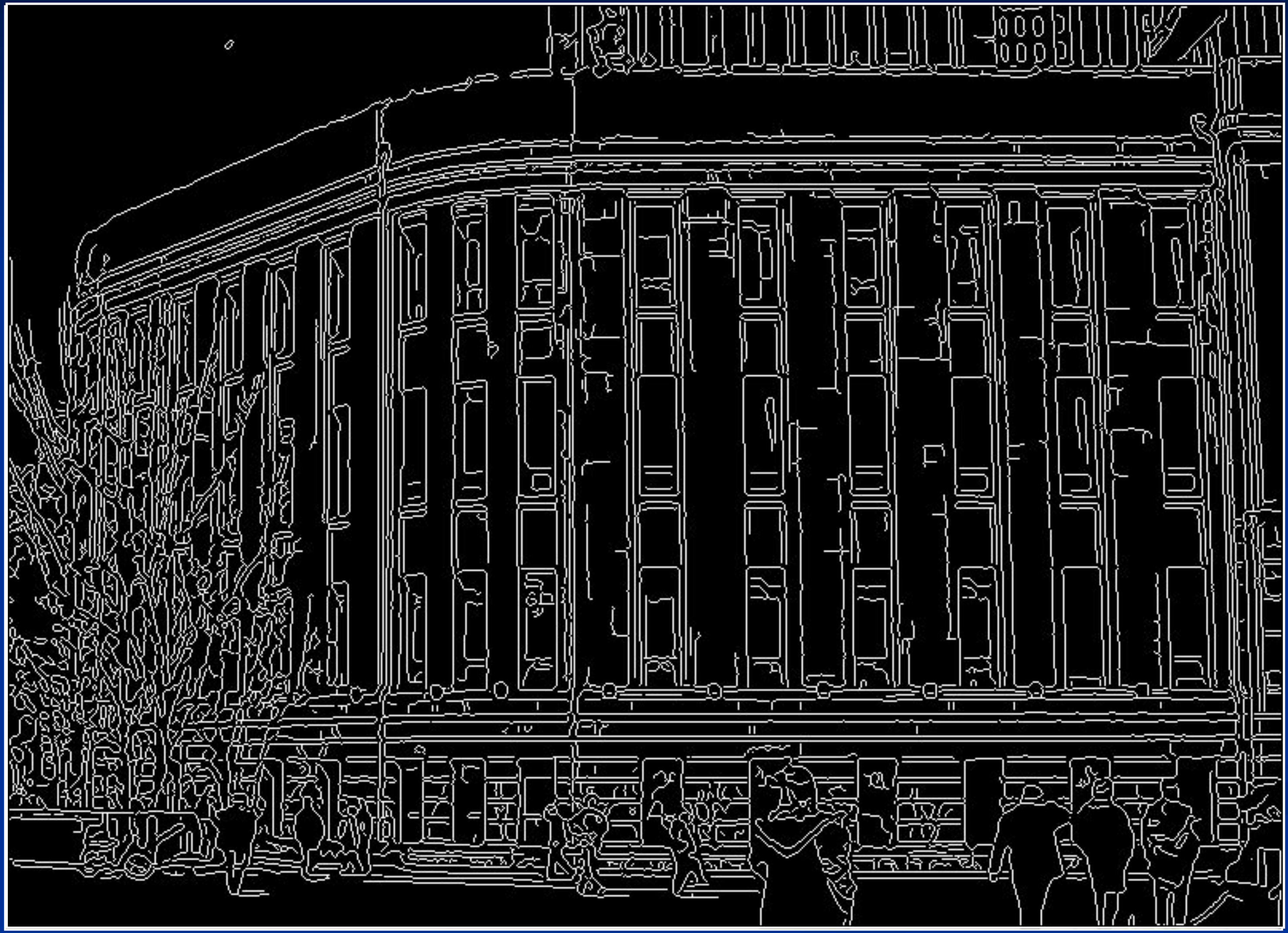
1. Для чего используются два порога? $(T_1 > T_2)$
   1. Чтобы уменьшить влияние шума для инициализации кривой используем больший порог
   2. Чтобы «не потерять хвост» используем меньший порог при прослеживании



Алгоритм Canny

- Размыть изображение фильтром Гаусса с некоторым σ
  - Убрать шум, лишние детали текстуры
- Рассчитать градиент изображения
  - Одним из операторов – например, Собеля
- Все пиксели где сила краев < T убрать из рассмотрения
- Поиск локальных максимумов
- Прослеживание краев из точек локальных максимумов

Canny - результат



Влияние σ (параметр фильтра Гаусса)

исходное

Canny с

Canny с

Вопрос

? Получив контур объекта (связный набор пикселей) – как его дальше анализировать?

! Вариант - нужно преобразовать контур в некоторое численное представление

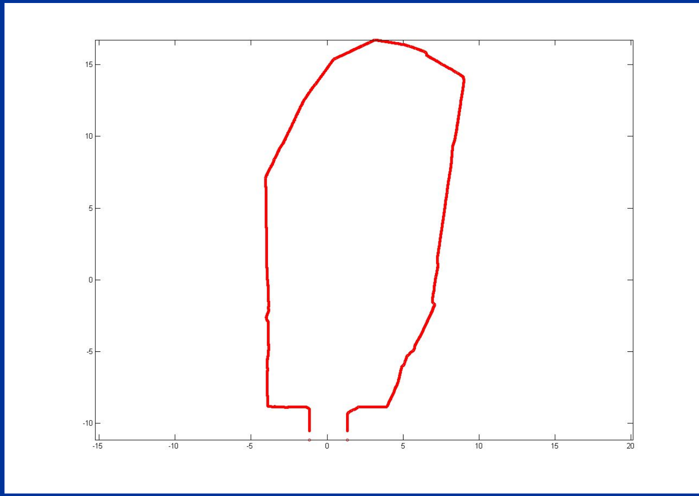
- Один из способов – использование цепных кодов

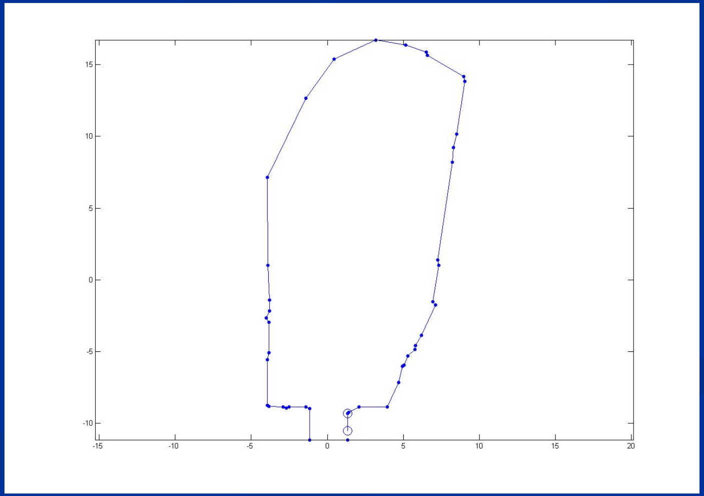
Работа с контурами

- Полигональная аппроксимация
- Цепные коды
- Дескрипторы контуров

Полигональная аппроксимация

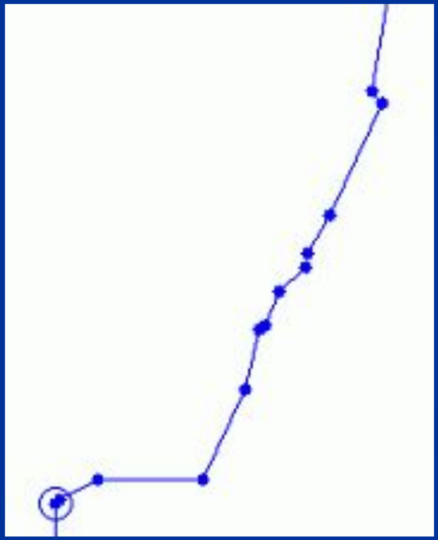
- Постановка:
  - Аппроксимация точечной кривой ломаной линией
- Цель:
  - Сжатие информации
  - Борьба с дискретностью и шумом
  - Облегчение дальнейшего анализа





Полигональная аппроксимация

- Постановка:
  - Аппроксимация точечной кривой ломаной линией
- Цель:
  - Сжатие информации
  - Борьба с дискретностью и шумом
  - Облегчение дальнейшего анализа



Алгоритм Дугласа-Пекера (рекурсивное подразбиение)

- Инициализация – начнем с прямой, идущей от начальной точки к конечной
  - Если контур замкнутый – выберем точки максимально удаленные друг от друга

Алгоритм Дугласа-Пекера (рекурсивное подразбиение)

- Шаг №1 – найти точку контура максимально удаленную от прямой
  - Если расстояние от нее до прямой $d < \varepsilon$ – разбиение завершено, если нет – к шагу 2

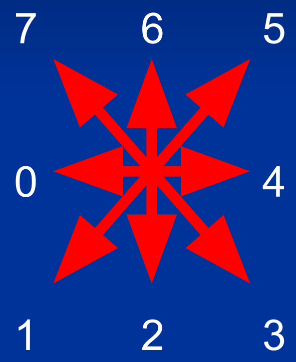
Алгоритм Дугласа-Пекера (рекурсивное подразбиение)

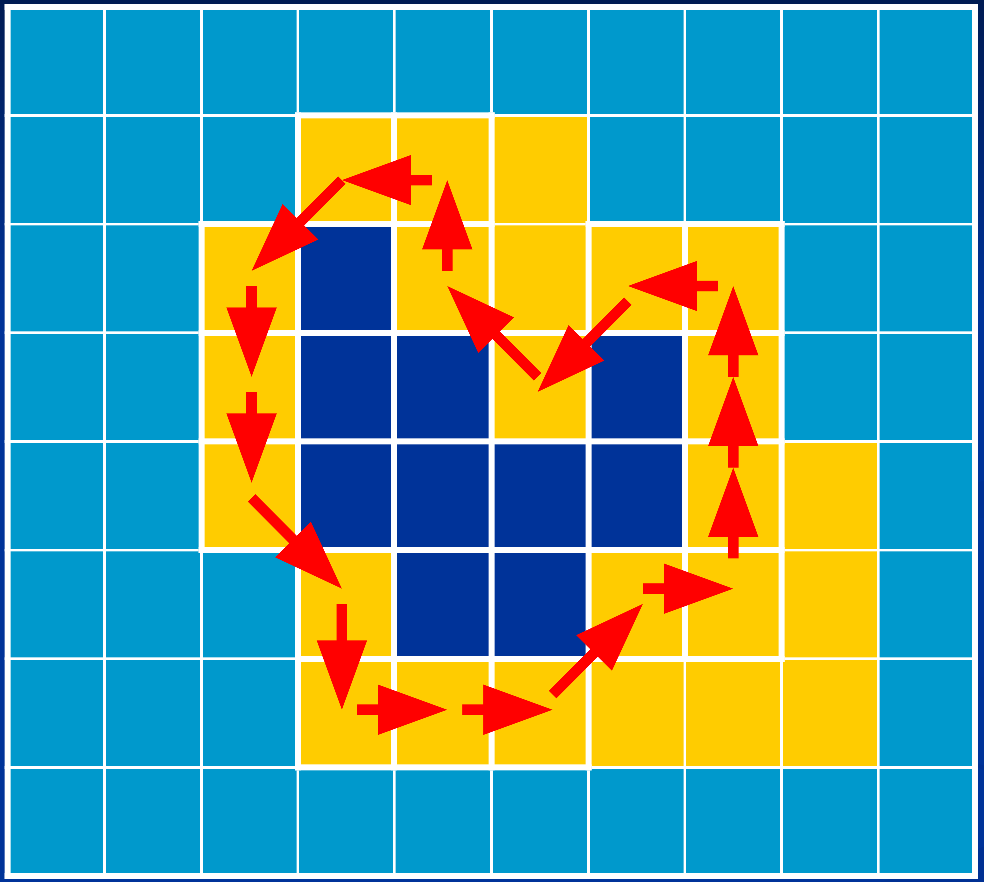
- Шаг №2 – добавить узел к ломаной линии
  - Затем рекурсивно вызвать Шаг №1 для каждой из половинок ломаной

Алгоритм Дугласа-Пекера (рекурсивное подразбиение)

- Результат:

Цепной код – 8-ми связные контура

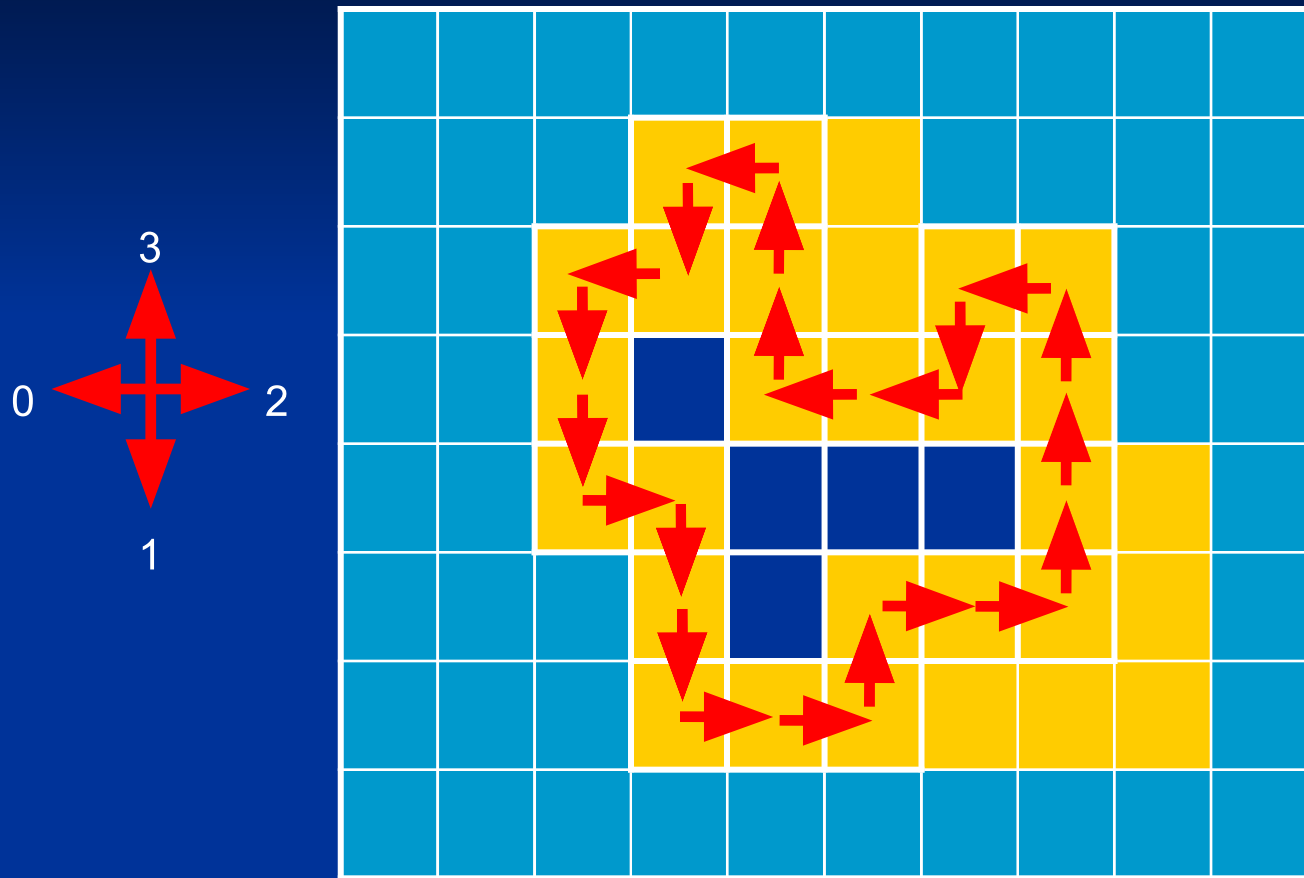




- Кодирование контура как последовательности перемещений

Код: 12232445466601760

Цепной код – 4-х связные контура



- Кодирование контура как последовательности перемещений

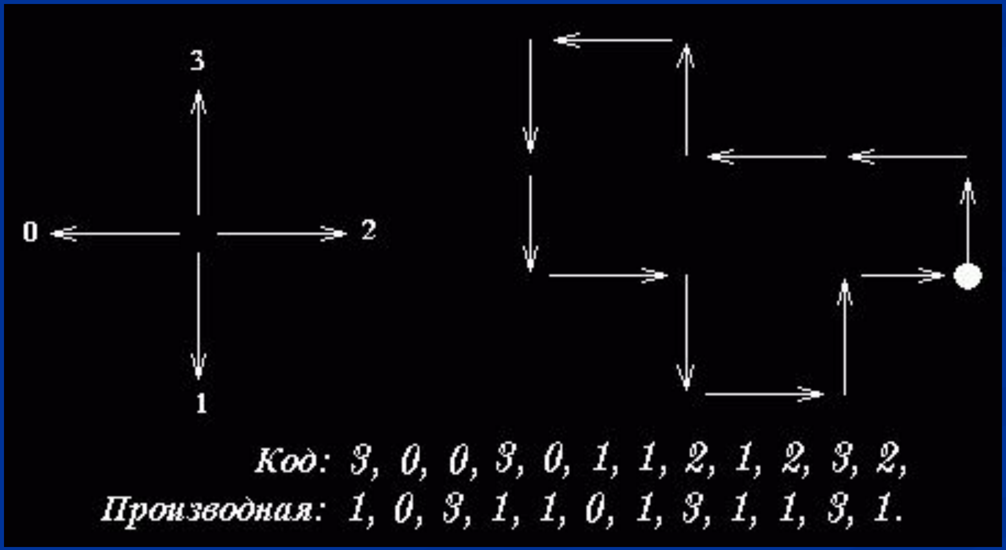
Код: 1122322333010033010112

Цепной код - свойства

- Свойства
  - Цепной код – представление контура, независимое к его перемещению
  - При замене в 8-ми связном кода любого n но (n mod 8) + 1 контур будет **повернут** по часовой стрелке на 45 градусов
  - Некоторые особенности контуров, такие как уголки, например могут быть сразу рассчитаны по анализу цепных кодов
- Сложности
  - В цепном коде важна начальная точка – при ее изменении меняется и код
  - Небольшие вариации границы (шум) серьезно меняют код. Сравнение двух шумных контуров по цепному коды – сложно
  - Цепной код не инвариантен к повороту

Разностный код

- Это «производная» цепного кода
  - Формула
    - $y_i = (x_{i+1} - x_i) \bmod 8$ – восьмисвязный
    - $y_i = (x_{i+1} - x_i) \bmod 4$ – четырехсвязный

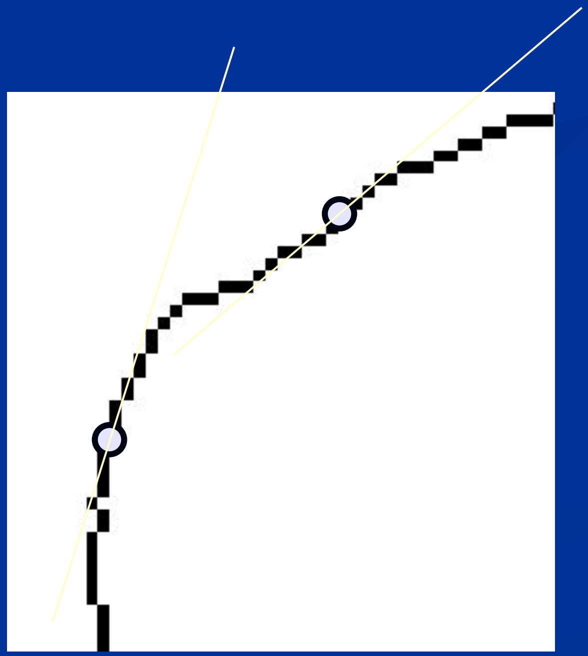


Разностный код

- Свойства:
  - Инвариантен к повороту кратному 45 градусам (восьмисвязный)
- Проблемы:
  - Также чувствителен к шуму
  - Не инвариантен к повороту на произвольный угол

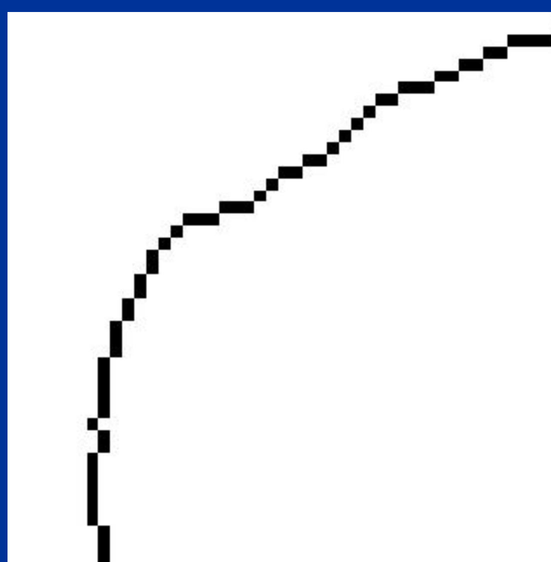
Ψ-s представление

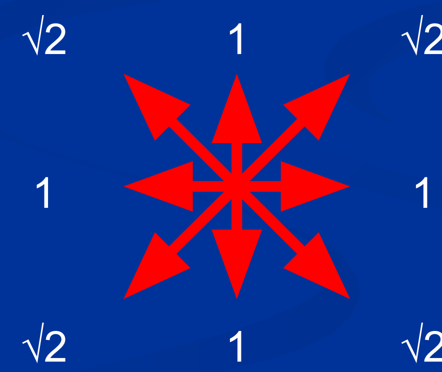
- Аналогично считаем направление контура в каждой точке, но:
  - Направление не ограничиваем точностью в 45 градусов – считаем точную касательную (угол ψ)



Ψ-s представление

- Обратите внимание:
  - Результирующая функция *ψ(s)* зависит от длины дуги *s* (при движении «наискосок» она увеличивается быстрее)

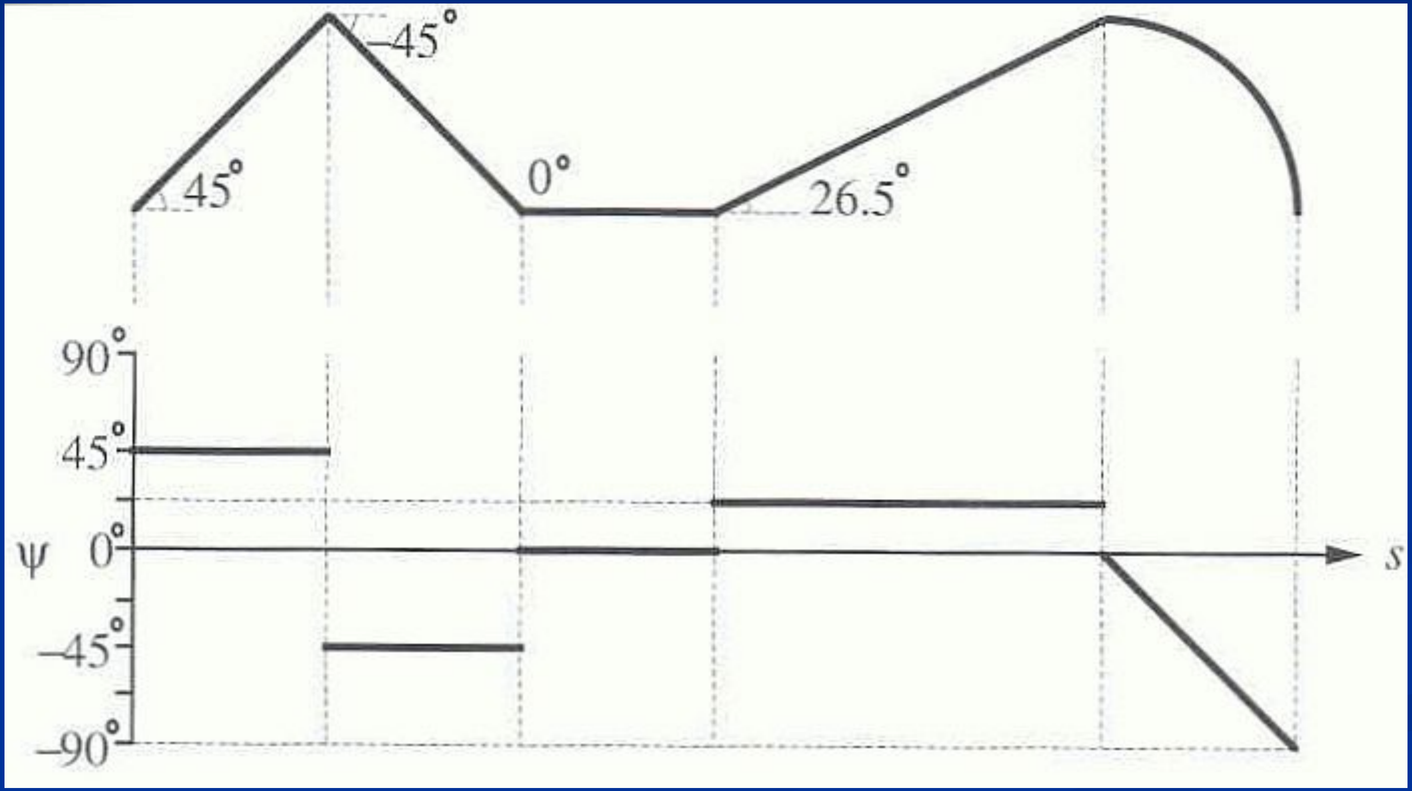




Расстояние между соседними пикселами

Ψ-s представление

NB на данном графике ось абсцисс – не длина дуги, а ее горизонтальная проекция (для наглядности)



Ψ-s представление

- Свойства:
  - Если нормировать полную длину к 1 – инвариантно к масштабу
  - Несложным преобразованием можно свести к *практически* инвариантной к повороту мере
- Как *быстро* сравнить между собой две функции *ψ(s)*?
  - Использовать функцию плотности наклона (slope density function)
    - Это гистограмма распределения углов наклона касательной контура

Кривизна

- Кривизна (*curvature*) – производная *ψ(s)*
  - Аналогично разностному цепному коду, но со знаком

$$K(s) = \psi(s) - \psi(s-1)$$

  - Представление, инвариантное к повороту и переносу

- Функция плотности кривизны
  - Гистограмма распределения значений кривизны

Дескрипторы Фурье

- Контур задается набором точек:

$$(x_i, y_i),\ i = 1,2,\ldots,L$$

$$(x_c, y_c) = \left(\tfrac{1}{L}\sum_i x_i, \tfrac{1}{L}\sum_i y_i\right)$$

$$r_i = \sqrt{[x_i - x_c]^2 + [y_i - y_c]^2}$$

- Кол-во точек нормализуется к некоторому числу *N*
- Вычисляем коэффициенты дискретного ПФ:

$$A_n = \frac{2}{N}\sum_{i=0}^{N-1} r_i \cos\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot i}{N}\right),\ n = 1,2,\ldots,\frac{N}{2}-1$$

$$A_n = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} r_i \cos\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot i}{N}\right),\ n = 0,\frac{N}{2}$$

$$B_n = \frac{2}{N}\sum_{i=0}^{N-1} r_i \sin\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot i}{N}\right),\ n = 0,2,\ldots,\frac{N}{2}$$

Дескрипторы Фурье

- Вычисляем амплитуды коэффициентов:

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

- Дескрипторы:

$$\mathrm{f} = \left[\frac{|C_1|}{|C_0|}, \frac{|C_2|}{|C_0|}, \ldots, \frac{|C_{N/2}|}{|C_0|}\right]$$

- Свойства:
  - *Инвариантны к переносу (вычли среднюю точку)*
  - *Инвариантны к повороту (берем модули коэффициентов)*
  - *Инвариантны к масштабу (нормировали на нулевой коэффициент)*
  - *Общая форма – первые по порядку дескрипторы, детали и шум – в конце*
  - *Нельзя характеризовать локальные особенности кривой*

Признаки для распознавания контуров

- Цепной код (разностный код)
- Ψ-s представление
  - Функция плотности наклона (slope density function)
  - Функция плотности кривизны (curvature density function)
- Дескрипторы Фурье

Как вести прикладное исследование?

- Подготовительный этап
  1. Уяснить постановку задачи
  2. Собрать данные для проверки работы методов
  3. Провести обзор литературы
     - Уяснить отличия, сильные/слабые стороны методов, трудоемкость реализации
     - Фиксировать критерии сравнения до начала обзора
  4. Выбрать потенциально подходящие методы

Как вести прикладное исследование?

- Экспериментальный этап
  1. Составить план экспериментов
     - Какие характеристики и как именно будет проверяться (скорость, точность, устойчивость и т.д.)
  2. Провести проверку методов на собранных данных
  3. Если один из методов работает приемлемо
     - выбираем его
  4. Если ни один метод приемлемо не работает
     - Анализируем проблемы и причины ошибок
     - Делаем предположения – что именно может помочь
     - Создаем свой метод или комбинируем несколько методов, основываясь на сделанных предположениях
     - Переходим на шаг 2 для проверки предположений