

ЛОКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ. Лекция 5.

Преподаватель: Сибирцева Елена
elsibirtseva@gmail.com



Орг. вопросы

- Как встретили НГ?
- Можно ли перенести занятия на 12:00?
- У кого были проблемы с домашкой (или вы ее не делали), поговорим на семинаре
- Уже нужно выбрать экзаменационный проект по курсу

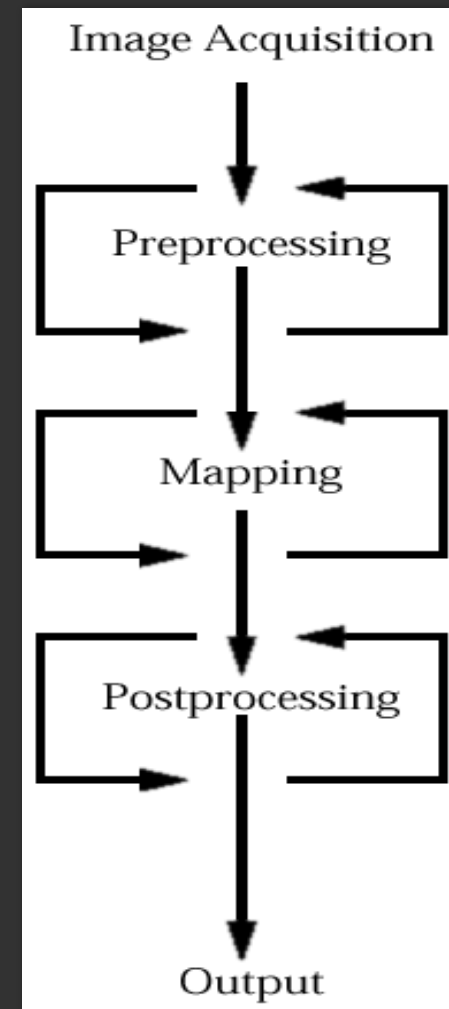
В предыдущих сериях...

Идеальный процесс обработки, 5 шагов

- **Получение изображения** – как мы, в первую очередь, получаем изображение
- **Предобработка** – любые преобразования, которые применяются до отображения (обрезка, маска, фильтр)
- **Отображение (mapping)** – всеохватывающий этап с участием преобразования или композицию изображений
- **Постобработка** – любые преобразования, которые применяются после отображения (e.g., текстуризация, изменение цветов)
- **Вывод** – вывод на печать, экран и т.п.

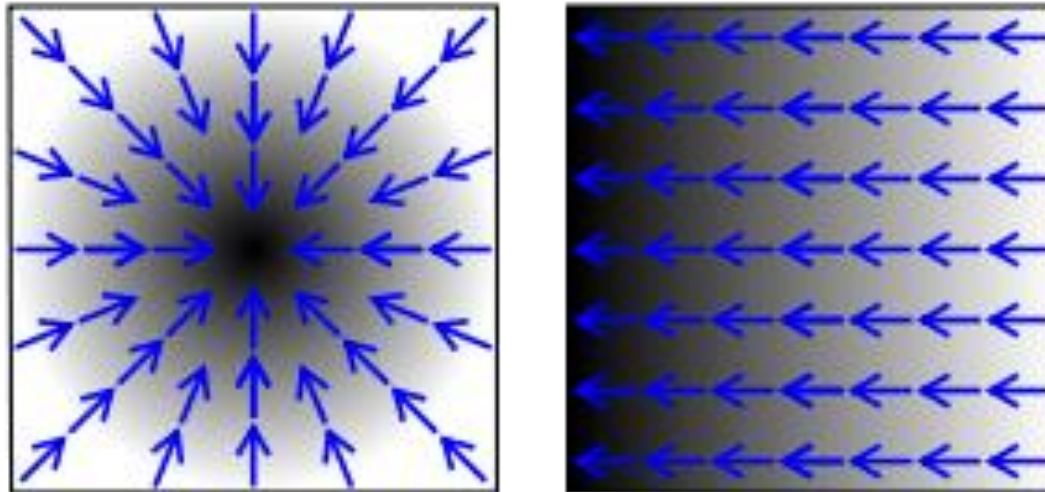
*Часто на практике некоторые стадии пропускают

*Промежуточные шаги часто пересекаются



Градиентное изображение

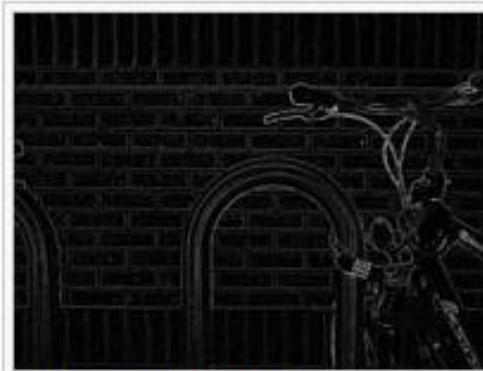
- Градиент изображения - направленное изменение интенсивности или цвета в изображении. Градиенты изображения могут быть использованы для извлечения информации из изображений.
- Хороши для распознавания границ...



Сравнение операторов поиска краев



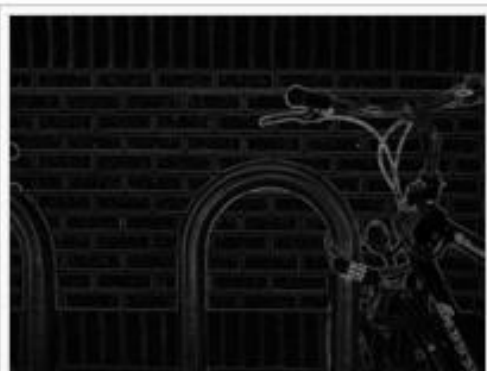
Grayscale test image of brick wall and bike rack



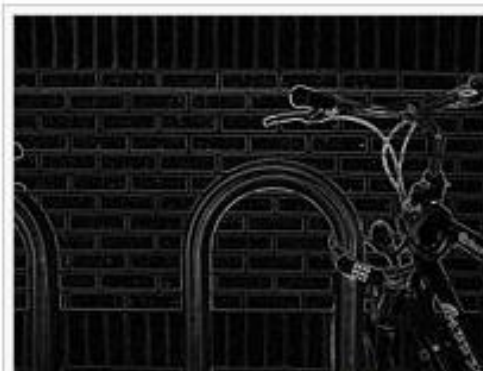
Gradient magnitude from Roberts cross operator



Gradient magnitude from Sobel operator



Gradient magnitude from Scharr operator



Gradient magnitude from Prewitt operator



Image Scissors

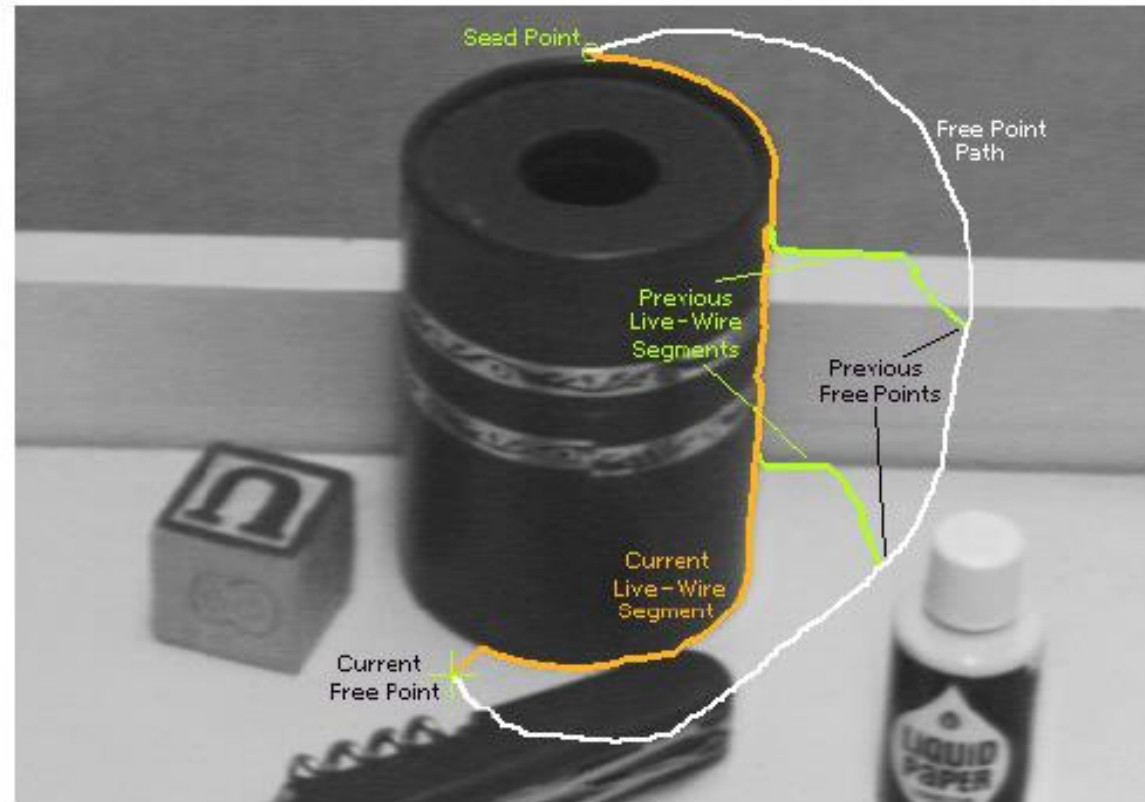


Figure 2: Image demonstrating how the live-wire segment adapts and snaps to an object boundary as the free point moves (via cursor movement). The path of the free point is shown in white. Live-wire segments from previous free point positions (t_0 , t_1 , and t_2) are shown in green.

Примеры



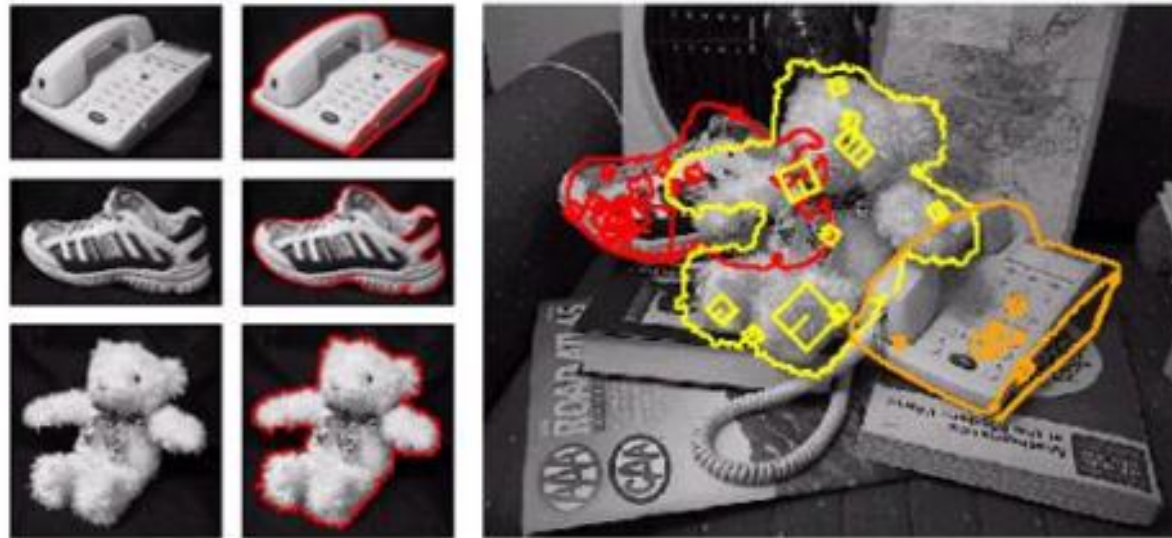
Kuan-chuan Peng



Le Zhang

СОПОСТАВЛЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Задача сопоставления изображений



- Есть несколько изображений конкретных объектов
- Хотим найти эти объекты на тестовом изображении
- Попробуем «сопоставить» изображения объектов с тестовым изображением
- Задача «image matching»

Как работает сопоставление?



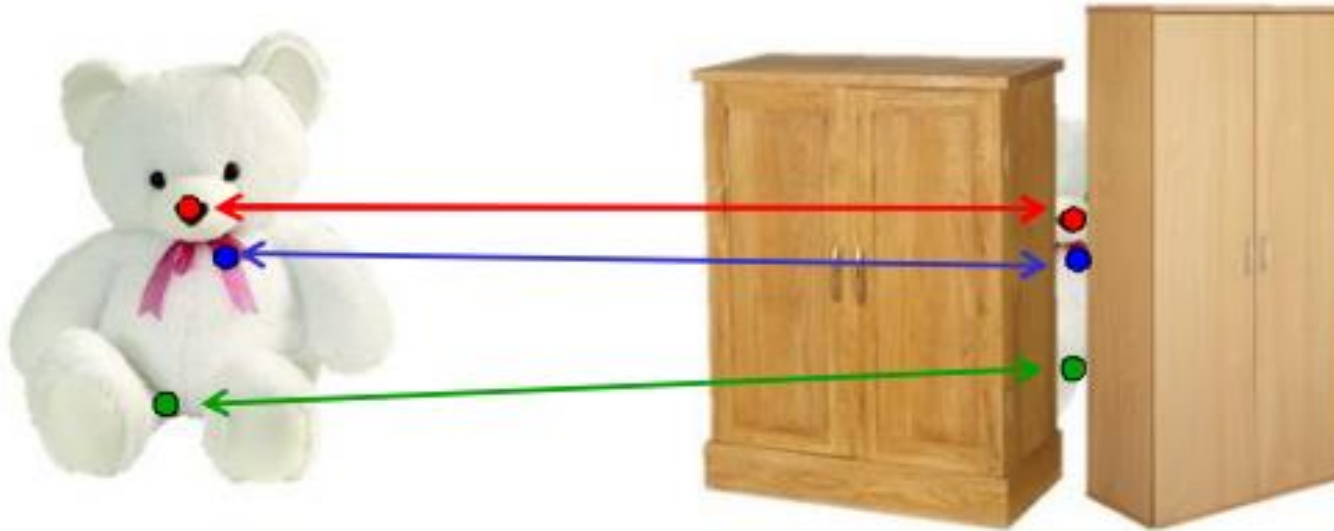
Где медведь?



А тут?

- Почему во втором случае было легче его найти?
- Были видны «характерные» фрагменты медведя

Особенности (features)



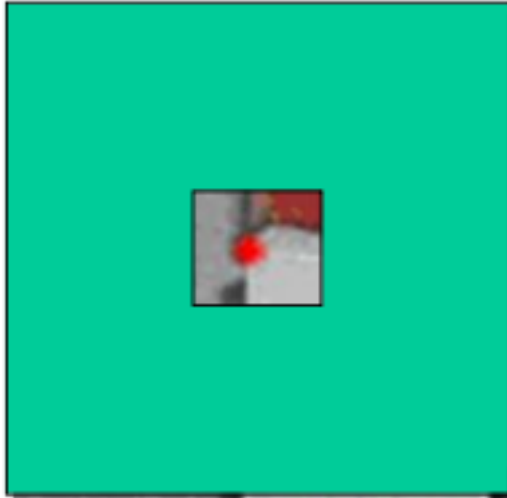
- «Хорошо различимые фрагменты» объекта
 - «особенности» (features)
 - «характеристические точки» (characteristic points)
 - «локальные особые точки» (local feature points)
- Характерные фрагменты позволяют справиться с изменениями ракурса, масштаба и перекрытиями

Требования

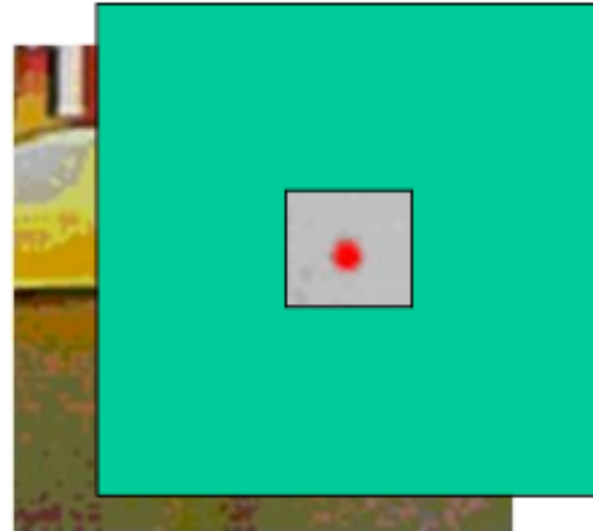


- Какие можно сформулировать требования к «хорошо различимым фрагментам» объекта?
- Отличаются от большинства других фрагментов объекта
- Инвариантны к изменению освещения
- Инвариантны к изменению ракурса
 - Можно находить одну и ту же точку на измененных изображениях
 - Можем «идентифицировать» эту точку

Локальные особенности



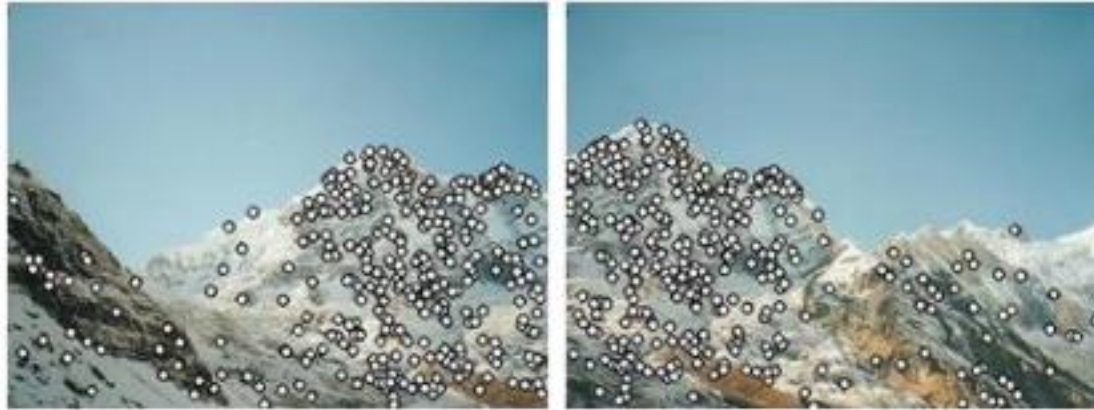
Пример особой точки



Пример точки, не являющейся особой

- Какая из двух точек является характерной («особой»)?
- Локальная (особая) точка p изображения I должна обладать «характерной окрестностью» D , т.е. отличаться от всех точек в некоторой окрестности p
- Для определения, является ли точка «характерной», нам достаточно только её окрестности

Требования к особенностям




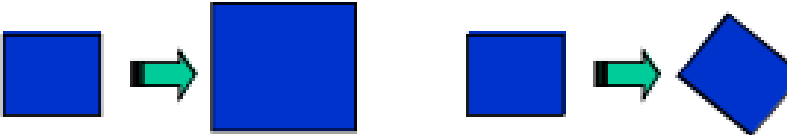
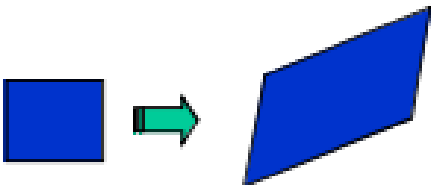
- **Повторимость (Repeatability)**
 - Особенность находится в том же месте объекта не смотря на изменения масштаба, положения, ракурса и освещения
- **Локальность (Locality)**
 - Особенность занимает маленькую область изображения, поэтому работа с ней нечувствительна к перекрытиям
- **Значимость (Saliency)**
 - Каждая особенность имеет уникальное (distinctive) описание
- **Компактность и эффективность**
 - Количество особенностей существенно меньше числа пикселей изображения

Повторимость

- Особенность должна находиться в том же месте объекта не смотря на изменения масштаба, положения, ракурса и освещения изображения
- Как можно это проверить?
 - Применим к изображению геометрическое или цветовое преобразование
 - Выделим характерные особенности на изображении объекта
 - Выделим характерные особенности на изменённом изображении, они должны найтись в тех же местах объекта
- Метод выделения особенностей должен быть **«инвариантным»** к преобразованиям



Геометрические преобразования

- Параллельный перенос 
- Подобие (перенос, масштаб, поворот) 
- Аффинное 

Аффинное преобразование даёт хорошее приближение искажений, претерпеваемых небольшим плоским фрагментом объекта при изменении ракурса

Геометрические преобразования

- Параллельный перенос

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

- Евклидово преобразование
(M – ортогональная матрица)

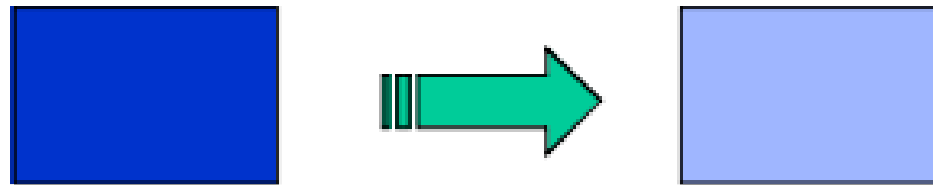
$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

- Аффинное преобразование

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 \\ m_3 & m_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \end{bmatrix}$$

Фотометрическое преобразование

Аффинное изменение яркости ($I \rightarrow a I + b$)



Его вполне достаточно для моделирования устойчивости методы выделения особенностей к изменению условий освещения

Особенно, если будем работать с серыми изображениями!

Применение



Поиск и выделение объектов, распознавание изображений

Применение



Поиск изображений по содержанию в базе изображений

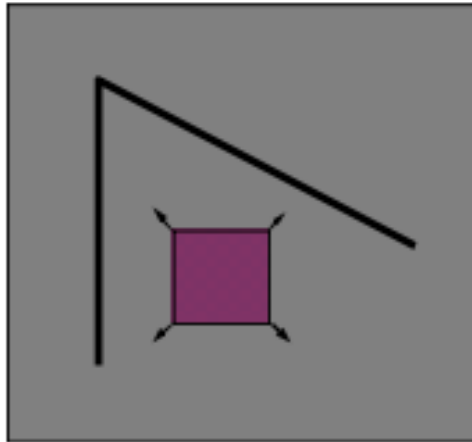
Применение



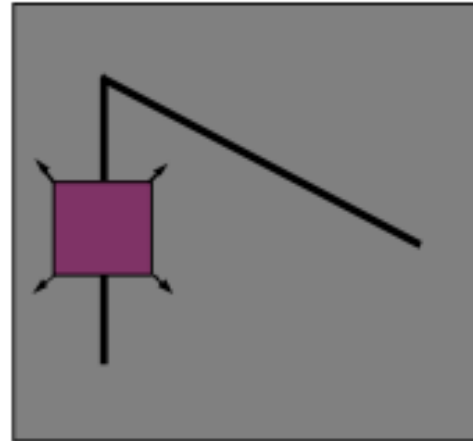
Сопоставление изображений, построение панорам и
трёхмерная реконструкция

Локальные особенности

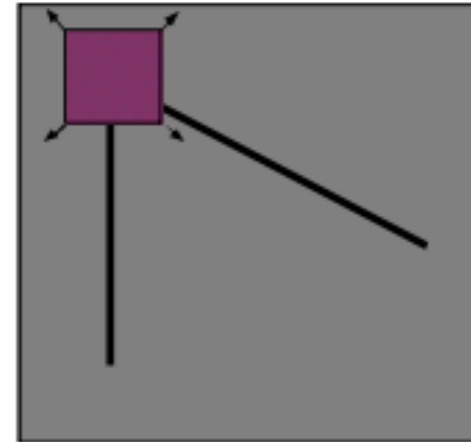
Проведём эксперимент, будем рассматривать разные точки на изображении и проверять, являются ли они локальными особенностями



монотонный регион:
в любом направлении
изменений нет



«край»:
вдоль края
изменений нет

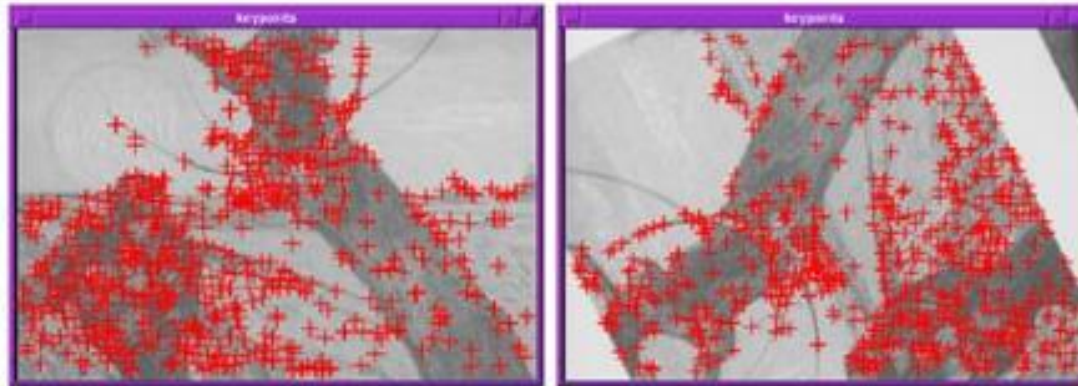


«уголок»:
изменения при
перемещении
в любую сторону

ДЕТЕКТОР ХАРРИСА



Детектор Харриса



- Наиболее популярный детектор локальных особенностей точек – детектор Харриса (Harris)
- Ищет такие точки (x,y) , окрестность которых меняется при любом сдвиге $(x+u, y+v)$
- Такие точки обычно оказываются углами, поэтому метод ещё называют «детектор углов»

C.Harris and M.Stephens. ["A Combined Corner and Edge Detector."](#)
Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference: pages 147—151, 1988

Устройство метода

Изменение окрестности точки (x, y) при сдвиге $[u, v]$:

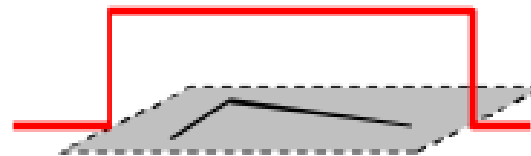
$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2$$

Функция
окна

Сдвиг
яркости

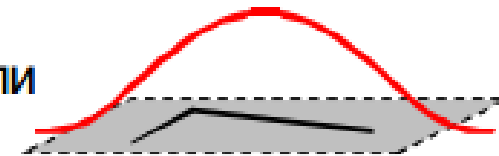
Яркость

Функция окна $w(x, y) =$



1 в окне, 0 вне

или



Гауссиана

Устройство метода

Изменение окрестности точки при сдвиге $[u, v]$:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2$$

Разложение в ряд Тейлора 2го порядка $I(x, y)$ вокруг (x, y)
(билинейная интерполяция при маленьких сдвигах)

$$[I(x + u, y + v) - I(x, y)]^2 \cong [I(x, y) + I_x u + I_y v - I(x, y)]^2$$

$$= [I_x u + I_y v]^2 = I_x^2 u^2 + 2I_x I_y uv + I_y^2 v^2$$

$$= (u, v) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} (u, v)^T$$

Устройство метода

Итого изменение окрестности можно свести к:

$$E(u, v) \approx [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

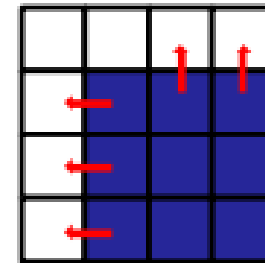
где M – матрица 2×2 вычисленная по частным производным:

$$M = \sum_{x,y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} \sum I_x I_x & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y I_y \end{bmatrix} = \sum \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} [I_x \ I_y] = \sum \nabla I (\nabla I)^T$$

Интерпретация матрицы моментов

Рассмотрим случай, когда градиенты выровнены по осям (вертикальные или горизонтальные)



$$M = \sum \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

Если одно из λ близко к 0, тогда это не угол, и нужно искать другие точки

Общий случай

M – симметричная, поэтому её можно привести к диагональному виду:

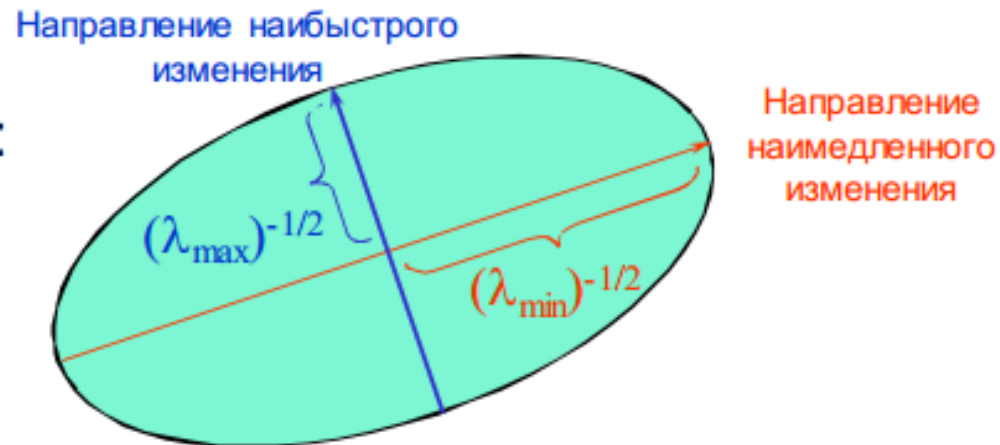
$$M = R^{-1}DR = R^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} R$$

R – ортогональная матрица из собственных векторов M , D – диагональная из собственных значений M

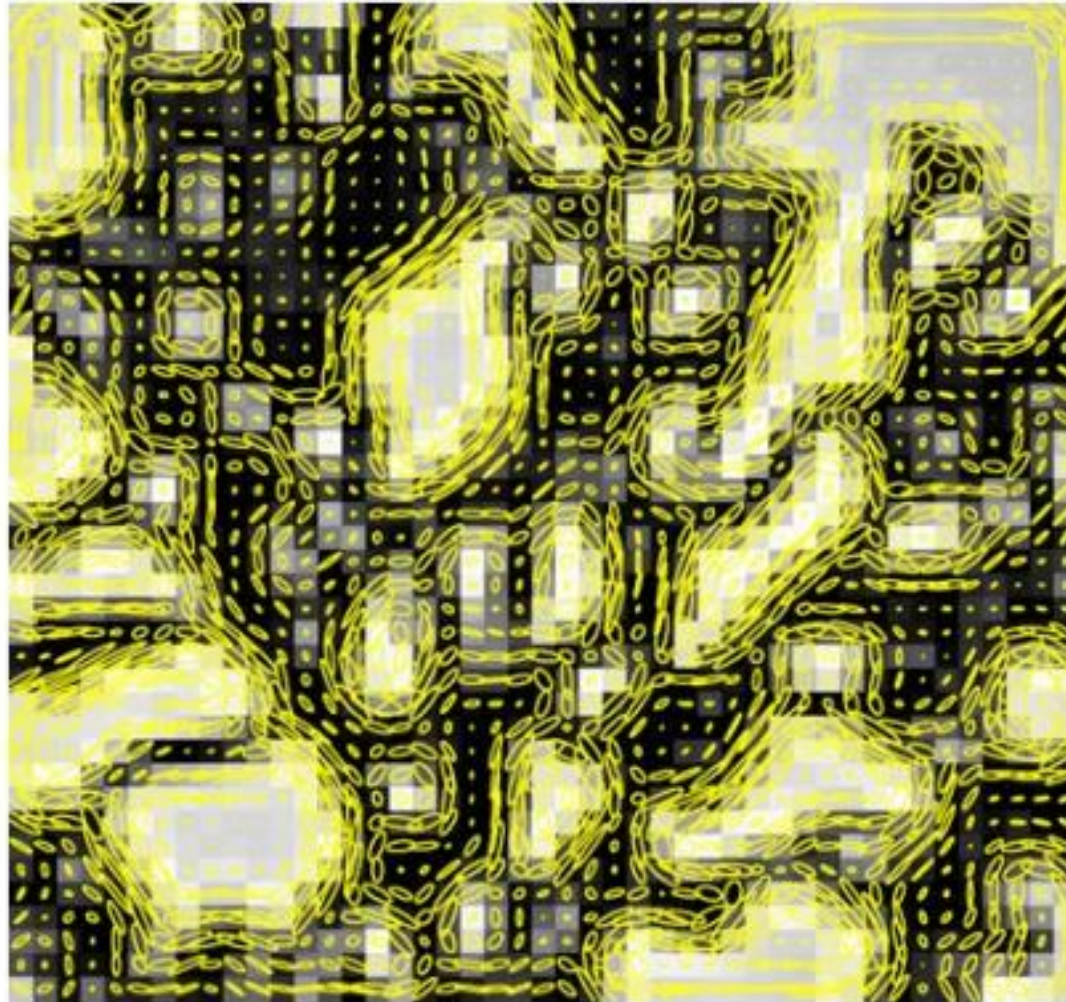
Матрицу M можно визуализировать в виде эллипса, у которого длины осей определены собственными значениями, а ориентация определена матрицей R

Уравнение эллипса:

$$\begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix} M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \text{const}$$



Пример



Визуализация матриц вторых моментов (Гессианов)

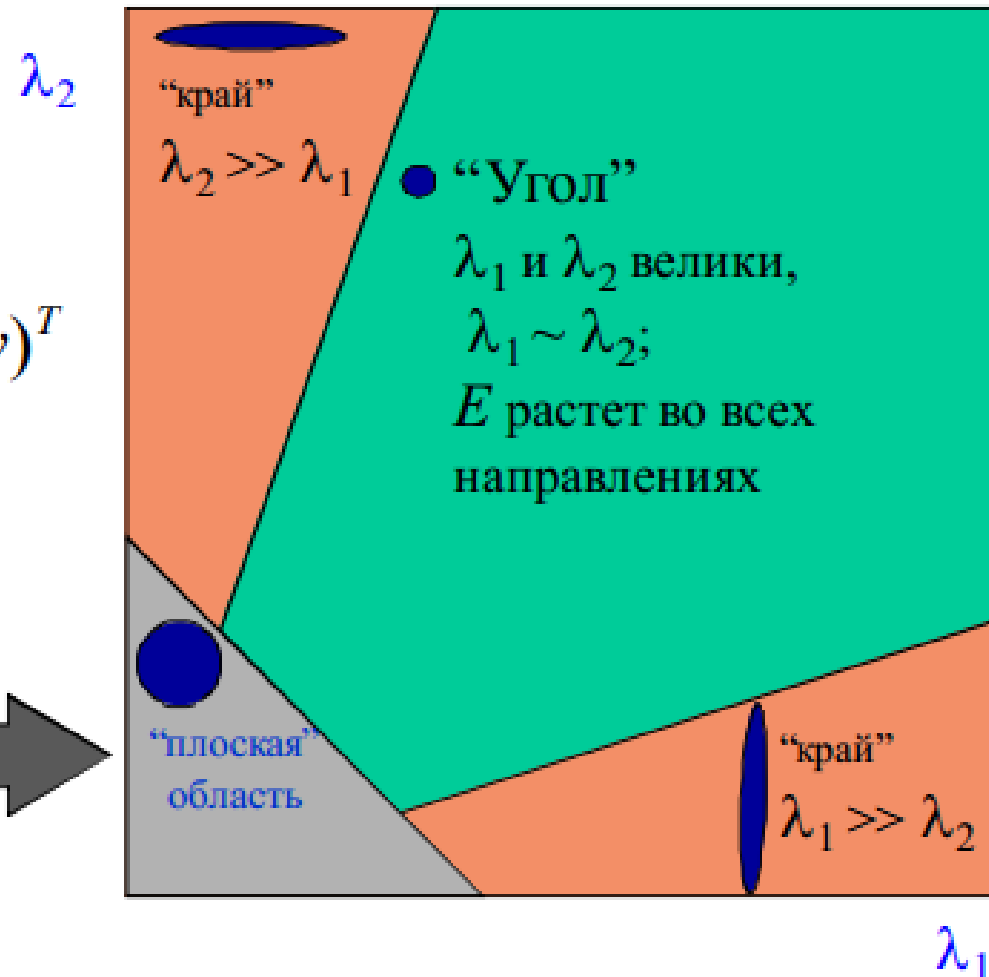
Зависимость E от λ

Классификация точек изображения по собственным значениям матрицы производных M

$$E(u, v) = (u, v)M(u, v)^T$$

$$M = R^{-1} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 \\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} R$$

λ_1 и λ_2 малы;
 E не меняется по
всем направлениям



Функция отклика углов

- Функция отклика угла по Харрису:

$$R = \det M - k (\text{trace } M)^2$$

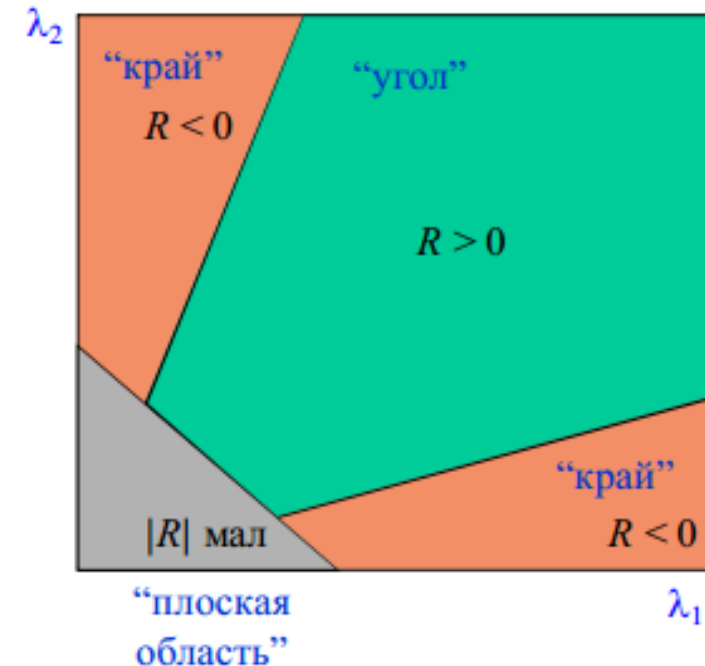
$$\det M = \lambda_1 \lambda_2$$

$$\text{trace } M = \lambda_1 + \lambda_2$$

$$(k = 0.04-0.06)$$

- Функция по Фёрстнеру (Forstner):

$$R = \det M / \text{trace } M$$



Алгоритм детектора Харриса

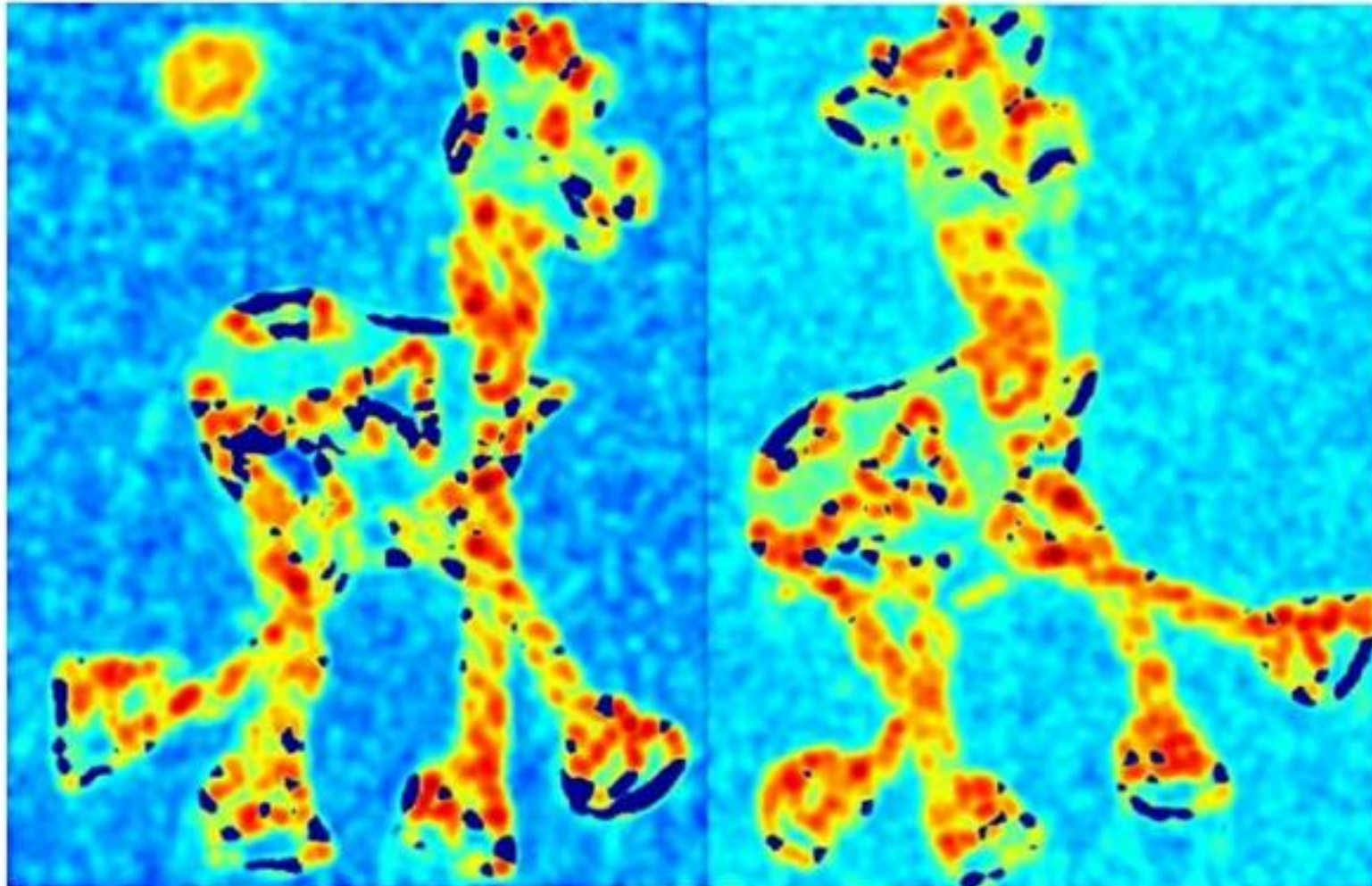
1. Вычислить градиент изображения в каждом пикселе
 - С использованием гауссова сглаживания
2. Вычислить матрицу вторых моментов M по окну вокруг каждого пикселя
3. Вычислить отклик угла R
4. Отсечение по порогу R
5. Найти локальные максимумы функции отклика (non-maximum suppression) по окрестности заданного радиуса
6. Выбор N самых сильных локальных максимумов

Демонстрация по шагам



Демонстрация по шагам

Вычисление отклика угла R



Демонстрация по шагам

Найдём точки с большим откликом $R > \text{порог}$



Демонстрация по шагам



- Как быть с тем, что функция отклика угла больше порога в некоторых областях?
- Как нам выбрать конкретные точки в областях?

Демонстрация по шагам

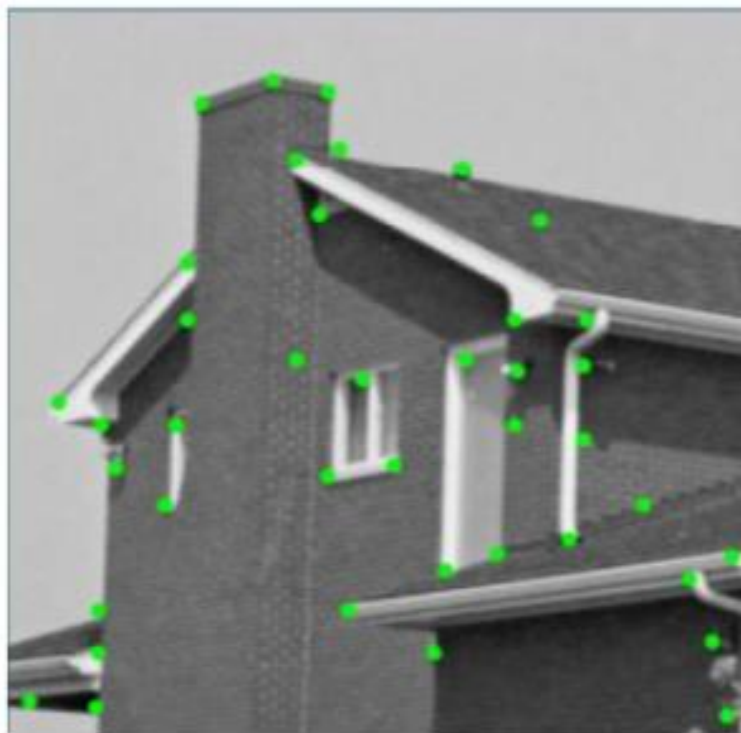
Оставим только точки локальных максимумов R



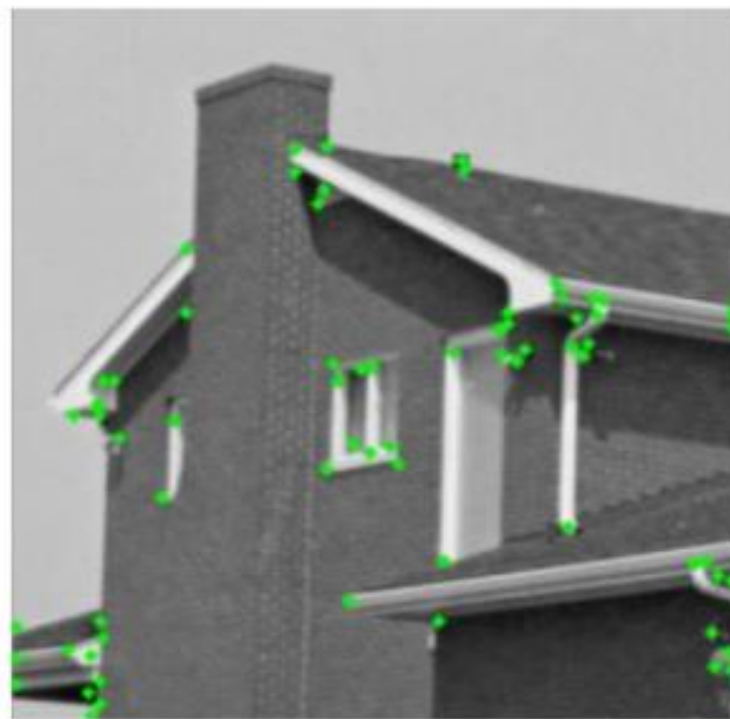
Демонстрация по шагам



Результат работы детектора



детектор Фёрстнера



детектор Харриса

Инвариантность

Что у детектора Харриса с инвариантностью?

- Поворот



- Масштаб



- Аффинное



- Аффинное изменение яркости ($I \rightarrow a I + b$)



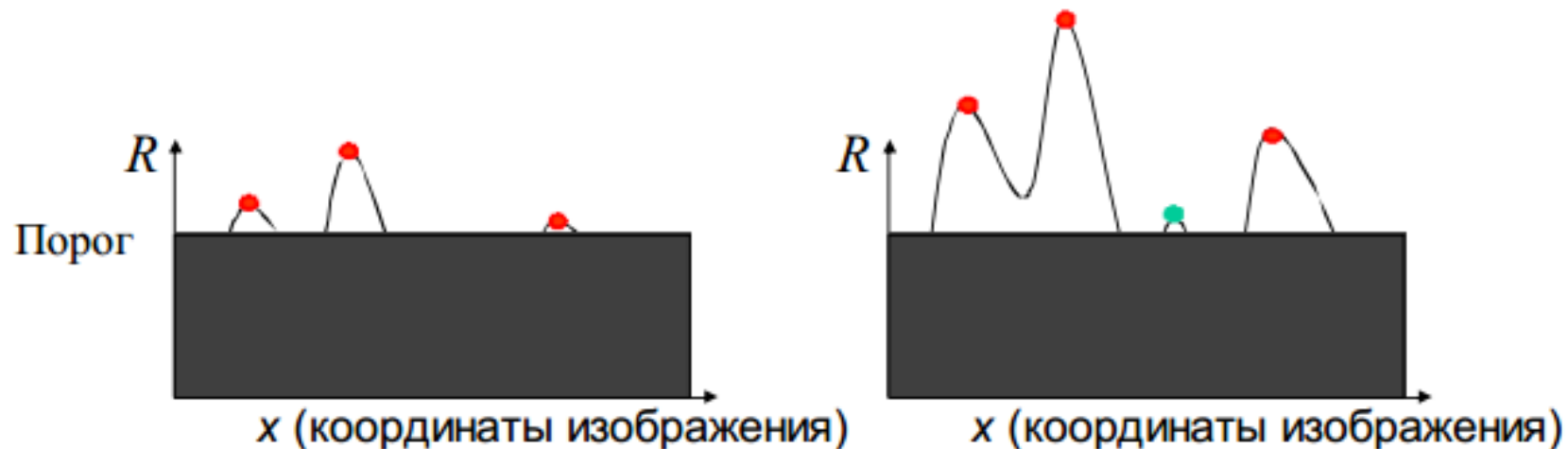
Детекторы Харриса

- Частичная инвариантность к изменению освещенности

✓ Используются только производные

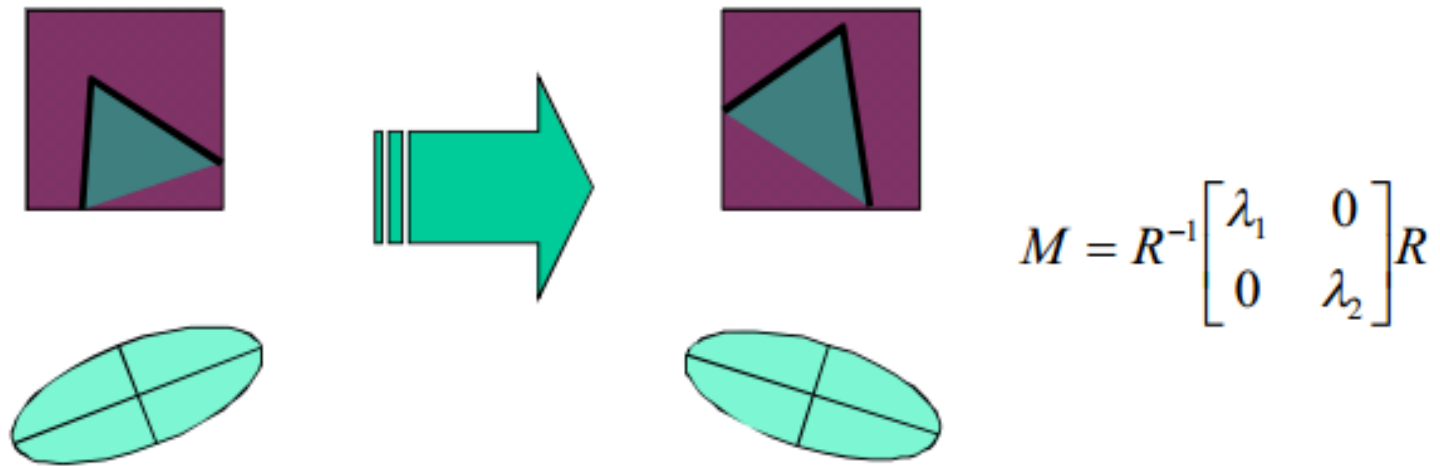
=> инвариантность к сдвигу $I \rightarrow I + b$

✓ Масштабирование: $I \rightarrow a I$



Детектор Харриса

Инвариантность к вращению изображения:

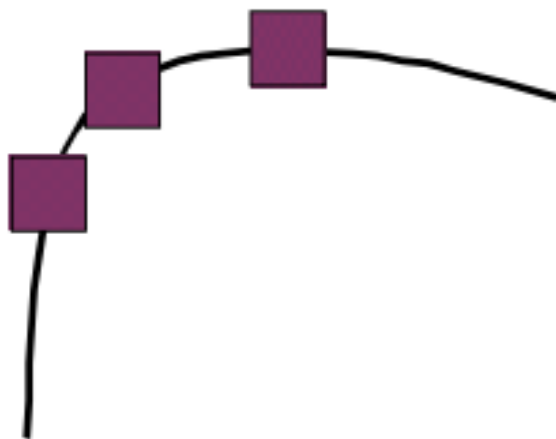


Эллипс вращается, но его форма (собственные значения) остаются неизменными

Отклик угла R инвариантен относительно вращению изображения

Масштабирование

- Угол или нет? - Зависит от масштаба изображения!

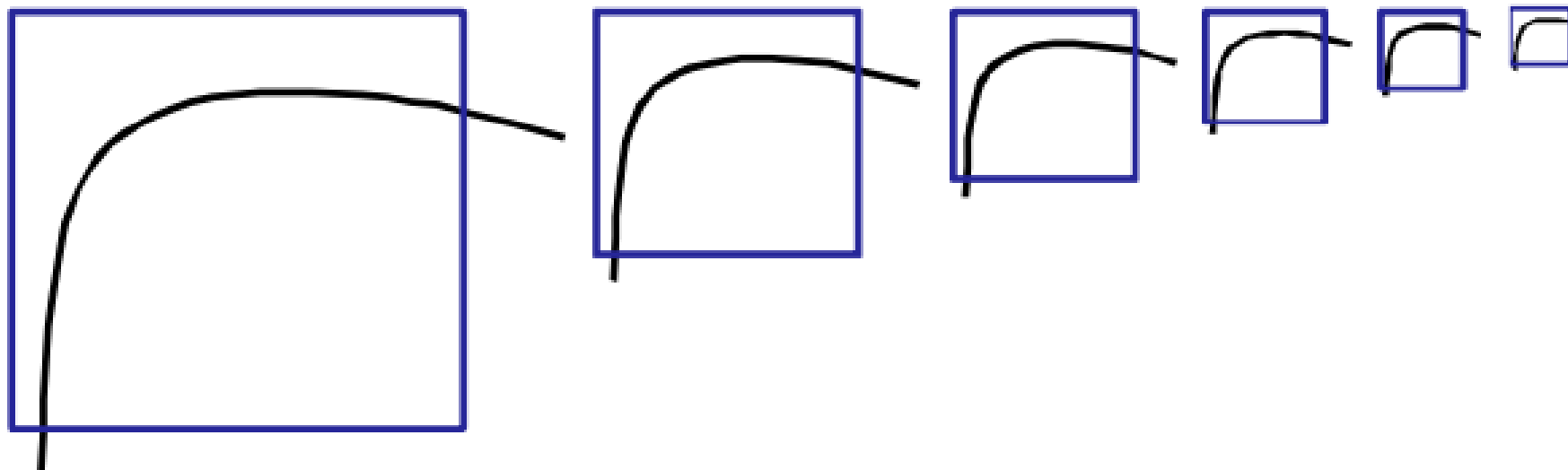


Все эти точки будут
помечены как **края**



Угол !

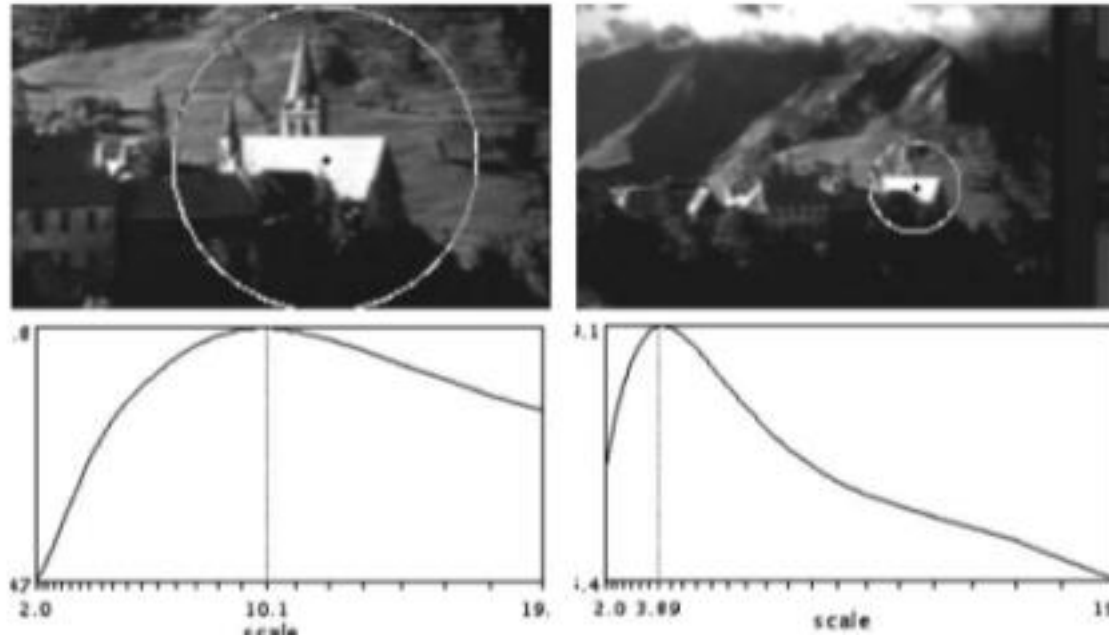
Характерный масштаб



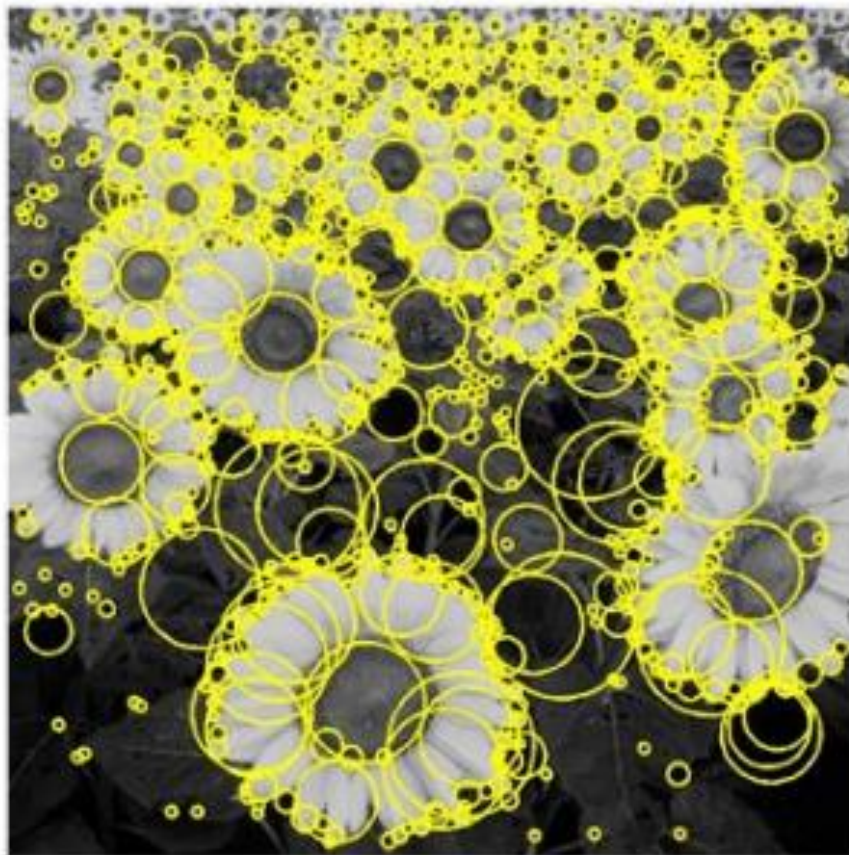
- С какого момента фрагмент считается «углом»?
- Если наш детектор Харриса на нескольких соседних масштабах пометит точку как угол, то как нам быть?

Инвариантность к масштабированию

- Цель: определять размер окрестности особой точки в масштабированных версиях одного и того же изображения
- Требуется метод выбора размера характеристической окрестности



Блобы



«Капля», «Blob» - вначале для особенностей такого типа была разработана теория выбора характерного размера

В следующих сериях...

БЛОБЫ

