

ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

Лекция № 5

Локальные характеристики
изображений

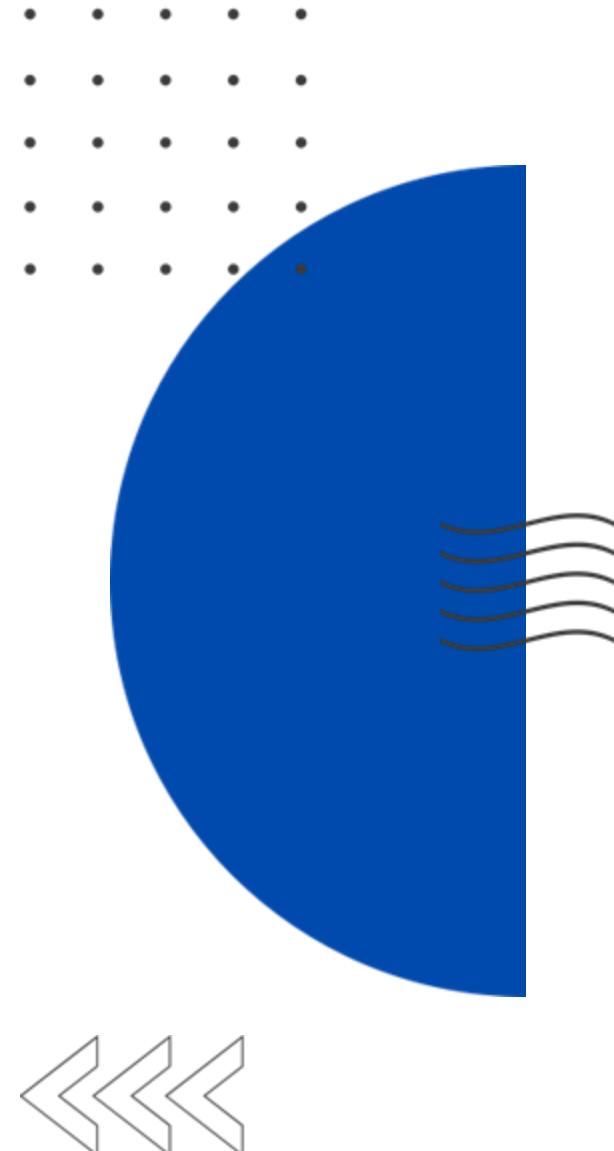


План лекции

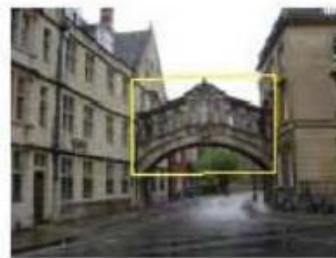
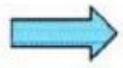
1. Локальные признаки изображений
 2. Детекторы контрольных точек
Моравица
Харриса
Ши-Томаси
Trajkovic
FAST
- 

01

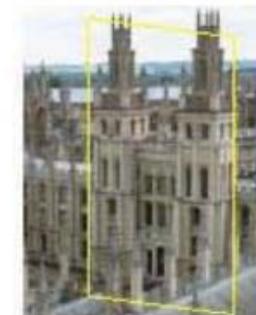
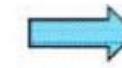
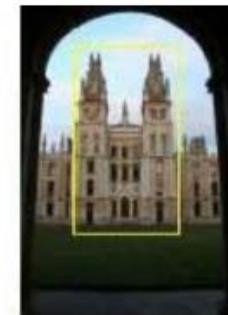
Локальные признаки изображений



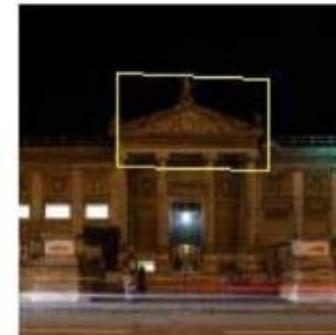
Предпосылки к решению задачи поиска



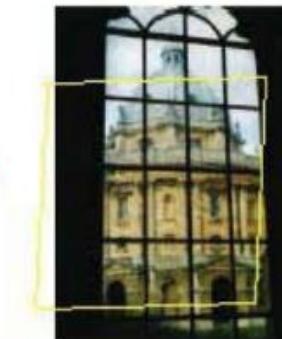
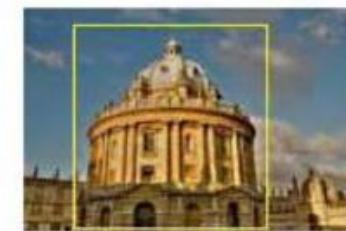
Изменение масштаба



Изменение точки съемки



Изменение освещения



Перекрытие

Предпосылки к решению задачи поиска

Поиск фейков



Сайты, где встречается картинка



В Вологодской области второй день тушат лесной пожар
[Vologda-poisk.ru](#)



В 90 районах Беларусь запрещено посещать леса. К выходным ожидается полный запрет :: Бобруйск - Актуально
[Bobr.by](#)



Беларусь сверху - Страница 1 из 7
[Bashny.net](#)
Беларусь сверху



В 90 районах Беларусь запрещено посещать леса. К выходным ожидается полный запрет :: Бобруйск - Актуально
[Bobr.by](#)
В министерстве лесного хозяйства не исключают, что к выходным ограничения введут по всей стране.

[Доклад Александра Крайнова о поиске картинок в Яндексе](#)

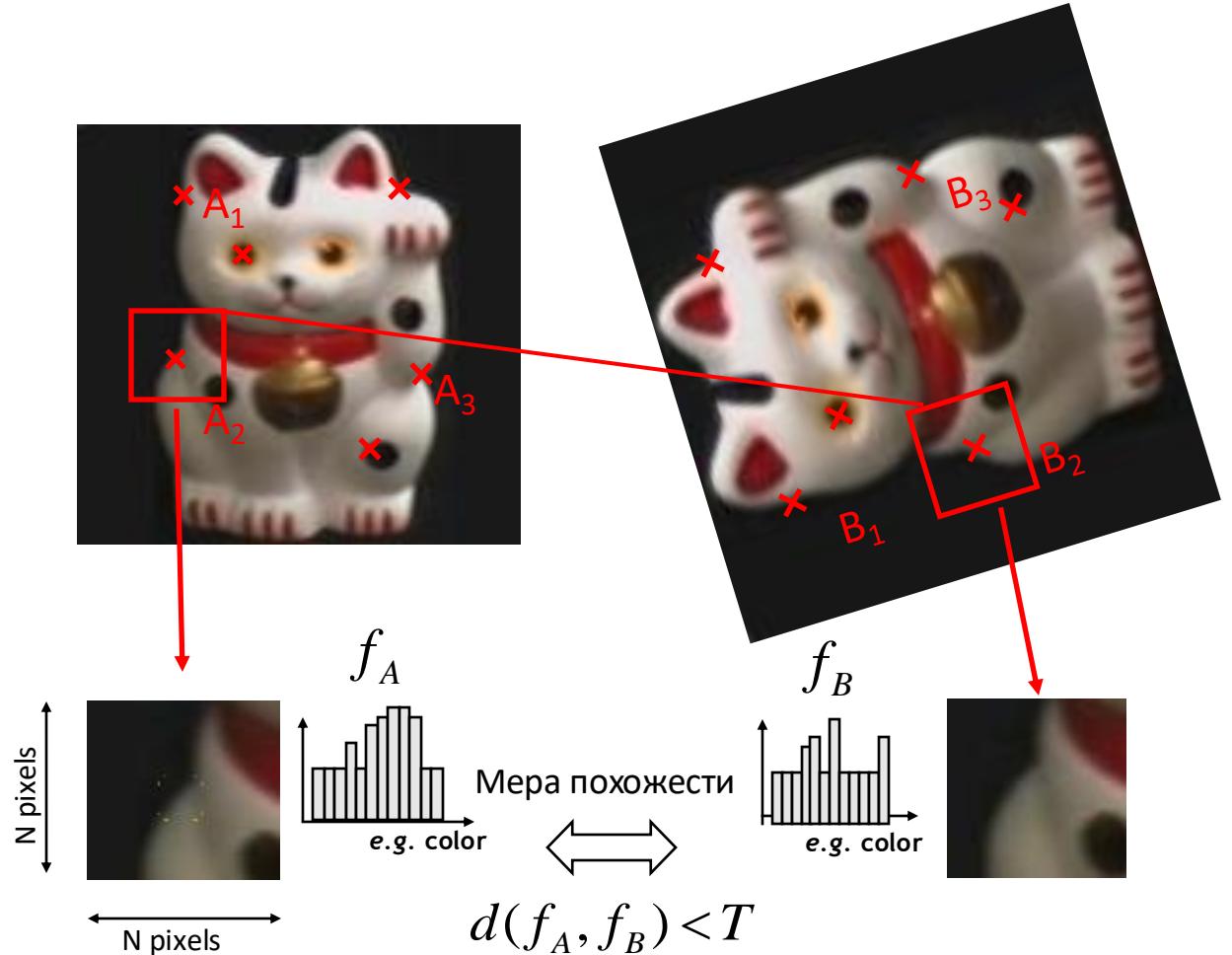
Чего мы хотим от особых точек?

- Уникальность
 - Точка должны быть различима от других примеров
- Инвариантность
 - Точка должна встречаться при разных геометрических или оптических преобразованиях объекта на изображении
- Повторяемость
 - Точка должна повторяться на разных изображениях, если она относится к одному объекту
- Количество
 - Точек должно быть достаточно количество регионов, чтобы покрыть объект
- Быстрота вычислений
 - Вычисление особых точек должно быть сравнительно быстрой операцией

Подход к сравнению изображений

Алгоритм сравнения изображений:

1. Поиск особых точек
2. Выделение окрестностей особых точек
3. Построение вектора признаков для каждой окрестности
4. Сопоставление векторов признаков двух изображений



Локализацией особых точек

Что должны быть обеспечено:

- Повторное обнаружение
- Точная локализация
- Интересное содержание

Введем эмпирическое предположение:

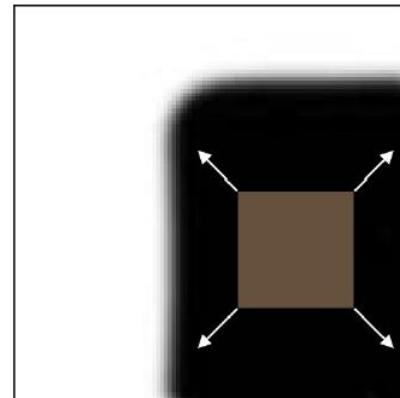
Особая точка – это угловая точка



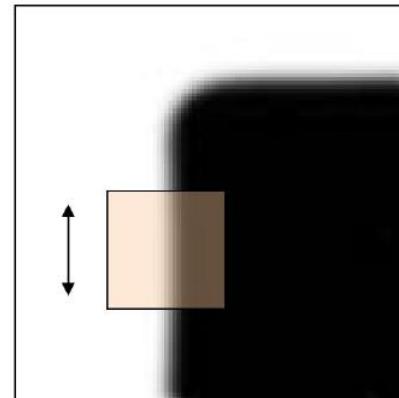
Детектор особых точек

Критерии построения детектора:

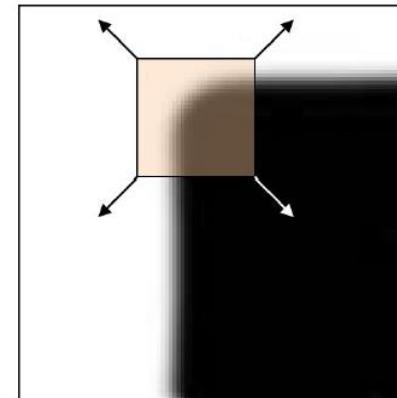
- Мы должны легко распознать точку, глядя в маленькое окно (местность).
 - Смещение окна в любом направлении должно давать большое изменение интенсивности (хорошая локализация)
1. Смещение окна в окрестности угловой точки в любом направлении приводит к существенному изменению набора интенсивностей окна (алгоритм Моравица)
 2. В окрестности угловой точки - два доминирующих направления градиента (алгоритм Харриса)



“монотонная” область:
нет изменений ни в
каком направлении



“край”:
нет изменений по одному
из направлений – вдоль
края



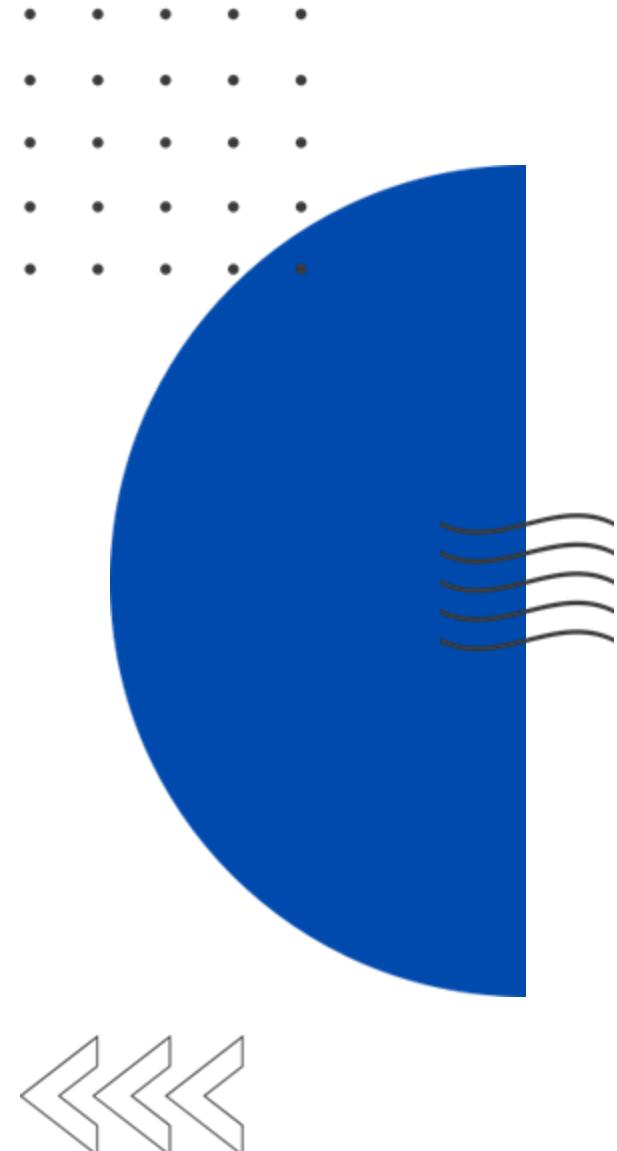
“угол”:
существенные
изменения по всем
направлениям

Структурная схема детектора особых точек

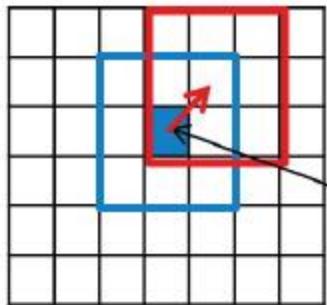


02

Детекторы контрольных точек



Детектор Моравица



(u, v) – направление смещения (всего 8 направлений)

(x, y) – центр окна, размер окна $(2n+1) \times (2n+1)$, $n=1, 2, 4$

Для каждого направления смещения вычисляется изменение интенсивности:

$$S(x, y, u, v) = \sum_{a=x-n, b=y-n}^{a=x+n, b=y+n} (I(a, b) - I(a + u, b + v))^2$$

Строится карта силы угла в каждой точке:

$$C(x, y) = \min_{u, v} \{S(x, y, u, v)\}$$

Отсекаются неугловые точки по порогу (значение силы угла меньше порога)

Отсекаются точки, не являющиеся локальным максимумом (non-maximal suppression)

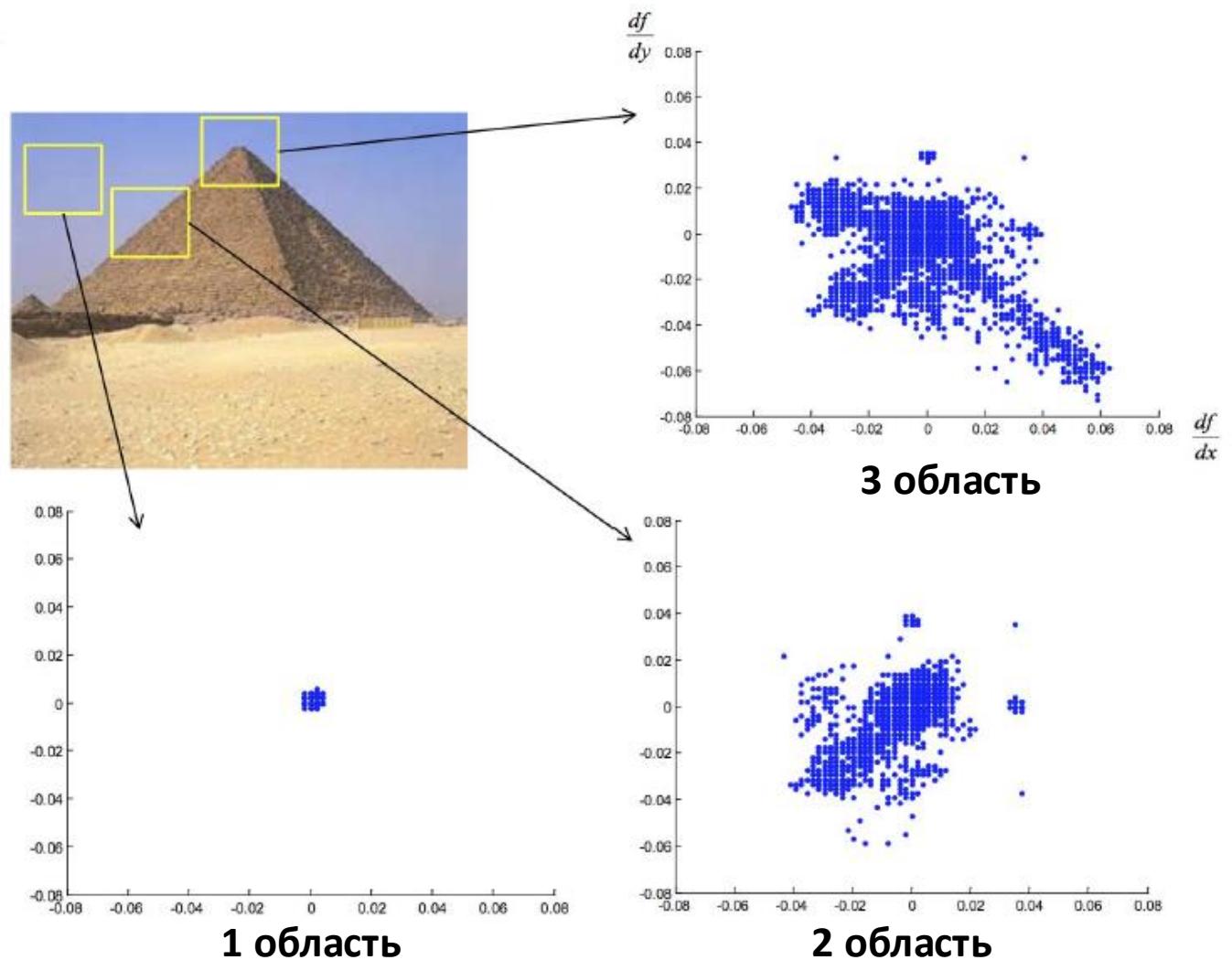
Недостатки детектора Моравица

1. Не является инвариантным к повороту из-за дискретности рассматриваемого множества направлений смещений
2. Выдает высокий отклик вдоль при наличии даже небольшого шума
3. Неточен в оценке локального изменения интенсивности из-за использования квадратной бинарной маски окна

Детектор Харриса

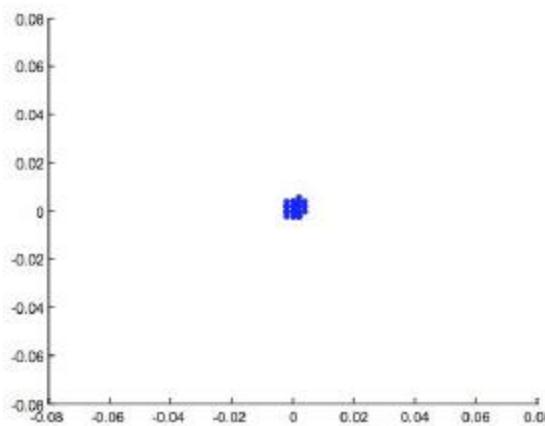
Рассмотрим распределение значений производных на 3 областях изображения:

1. «Фон»
2. «Край»
3. «Угол»

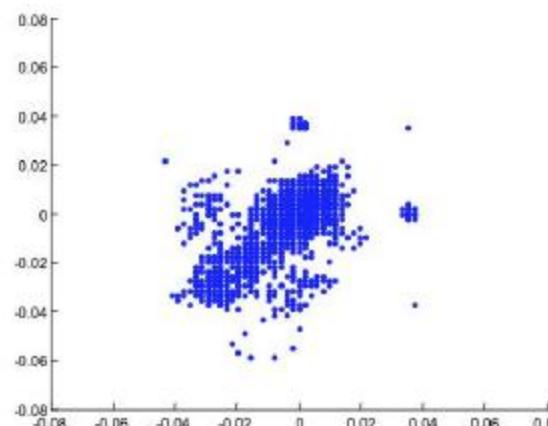


Детектор Харриса

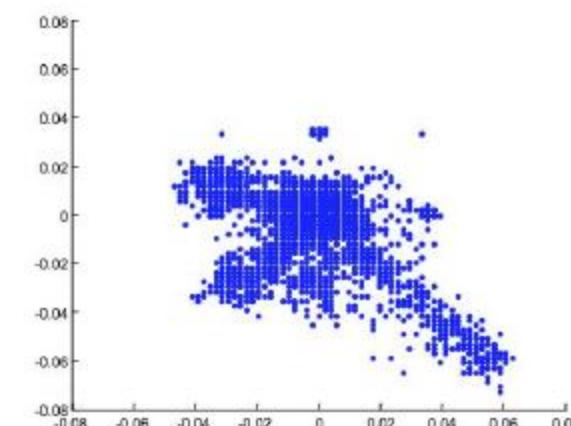
- Для каждого окна смотрим на собственные числа ковариационной матрицы для значений градиента пикселей
- Собственные вектора этой матрицы показывают «основные направления»
- Величина собственных чисел указывает на «степень выраженности» соответствующего направления



Нет «больших» собственных чисел



1 «большое» собственное число



2 «больших» собственных числа

Детектор Харриса

Изменение интенсивности в 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

Яркость
при сдвиге

Яркость

Функция окна $w(x, y) =$



1 в окне, 0 снаружи

или

Гауссиан

Детектор Харриса

Для небольших сдвигов $[U, V]$ можем аппроксимировать (ряд Тейлора):

$$I(u+x, v+y) \approx I(x, y) + I_x(x, y)u + I_y(x, y)v$$

Это приводит к приближению:

$$E(u, v) \approx \sum_{x, y} w(x, y)(I_x(x, y)u + I_y(x, y)v)^2$$

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

где M - матрица 2×2 , состоящая из частных производных от интенсивности:

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

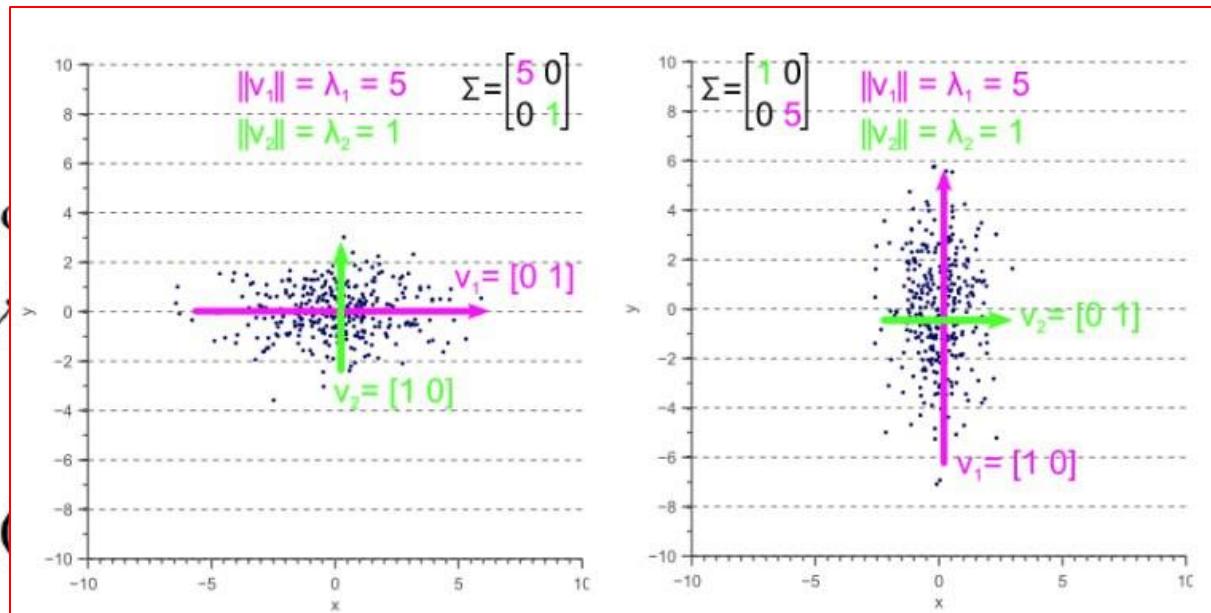
Детектор Харриса

Для небольших сдвигов $[U, V]$ можем аппроксимировать

$$I(u+x, v+y) \approx I(x, y) + I_x(x, y)u + I_y(x, y)v$$

Это приводит к приближению:

$$E(u, v) \approx \sum_{x, y} w(x, y)(I_x(x, y)u + I_y(x, y)v)$$



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

где M - матрица 2×2 , состоящая из частных производных от интенсивности:

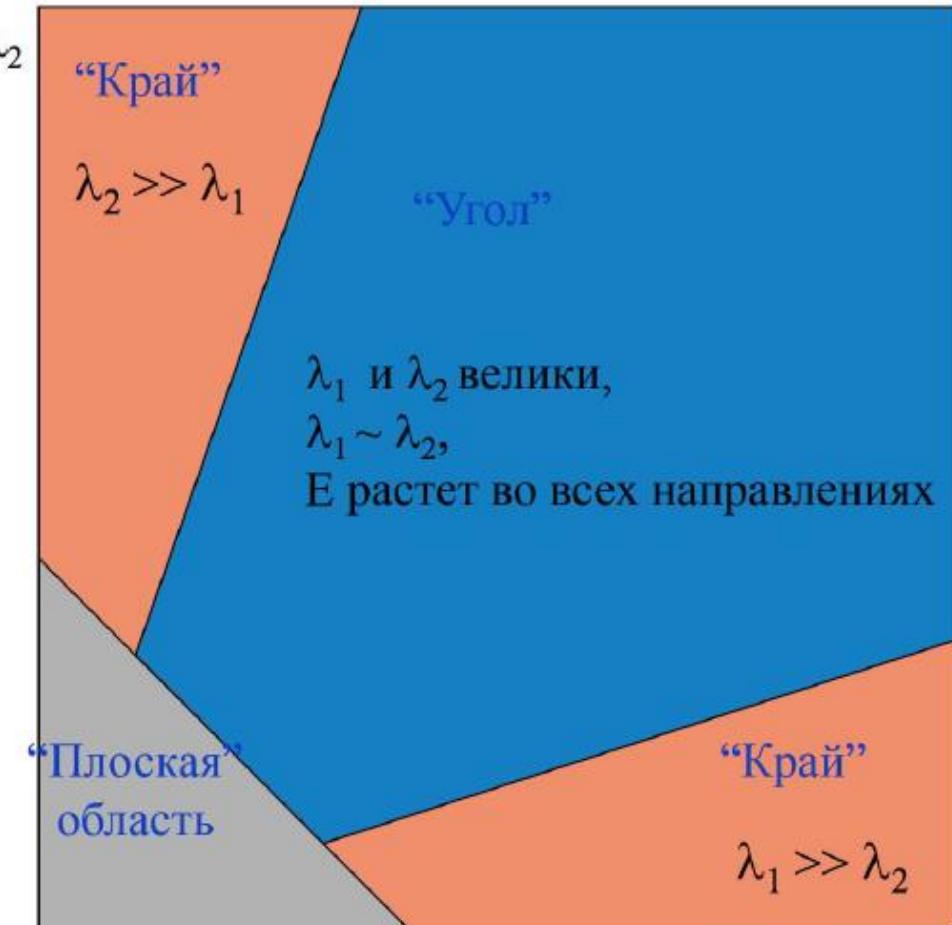
$$M = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

Детектор Харриса

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

λ_1, λ_2 – собственные значения M

λ_1 и λ_2 малы;
 E почти постоянна по
всем направлениям



Детектор Харриса

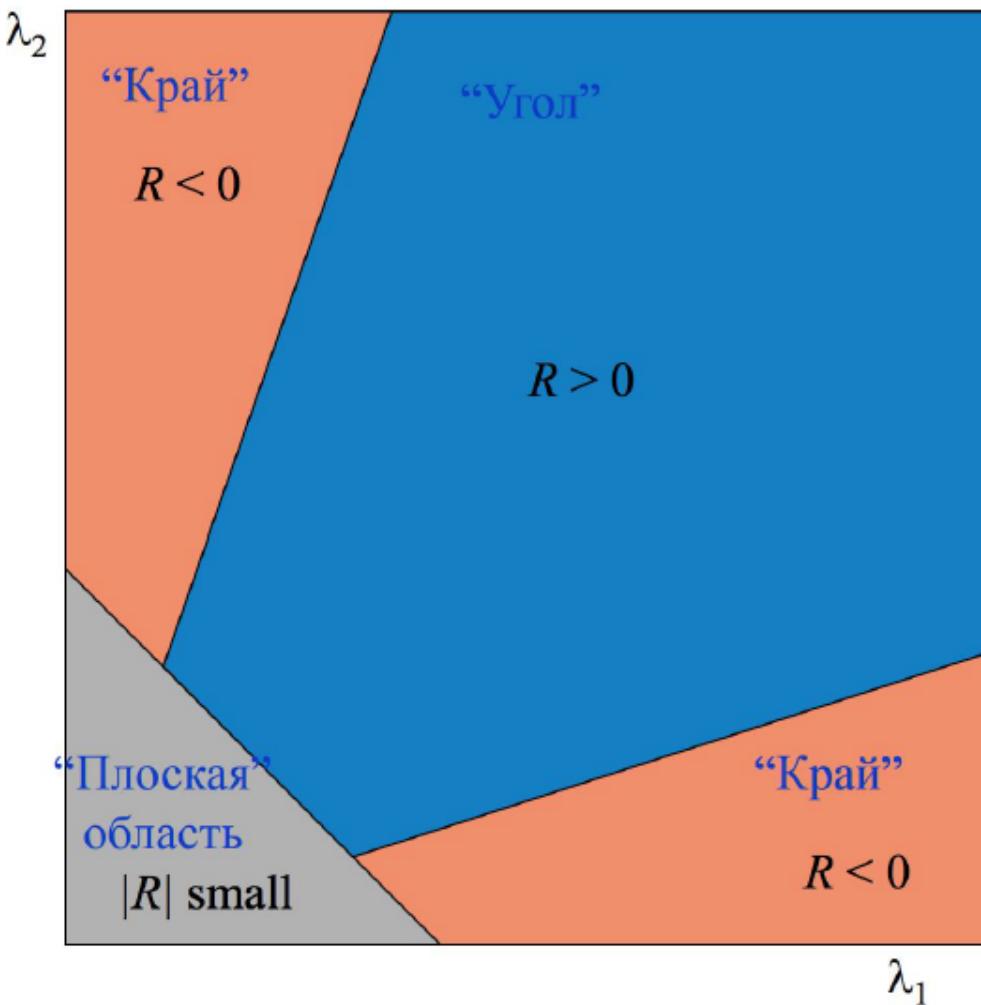
$$R = \det M - k (\operatorname{trace} M)^2$$

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

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

(k – эмпирическая константа,
 $k = 0.04\text{-}0.06$)

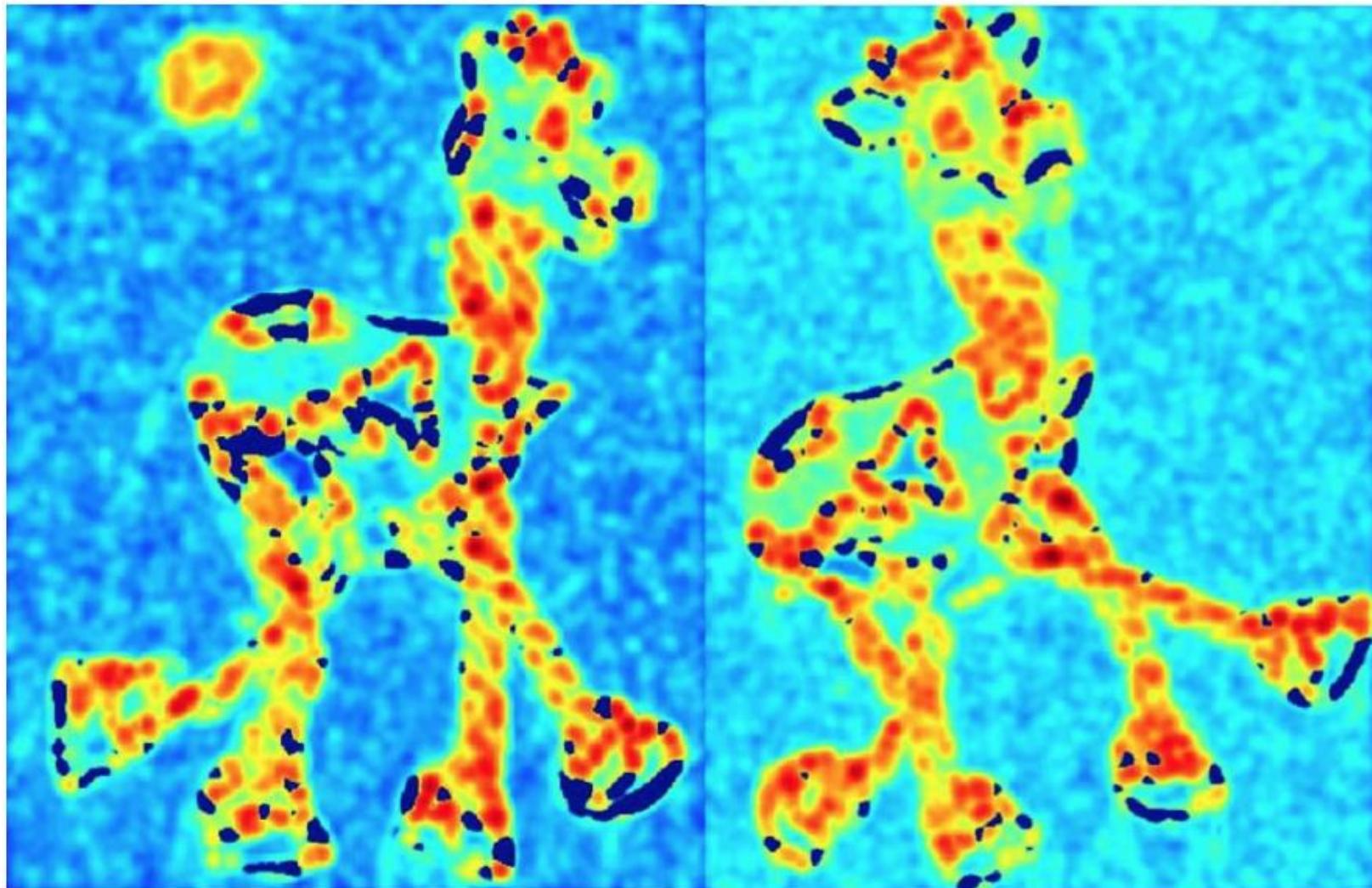
- R зависит только от значений собственных чисел λ_1, λ_2
- R принимает большие значения в угловых точках
- R принимает отрицательные значения, большие по модулю на контуре
- $|R|$ мало в плоском регионе



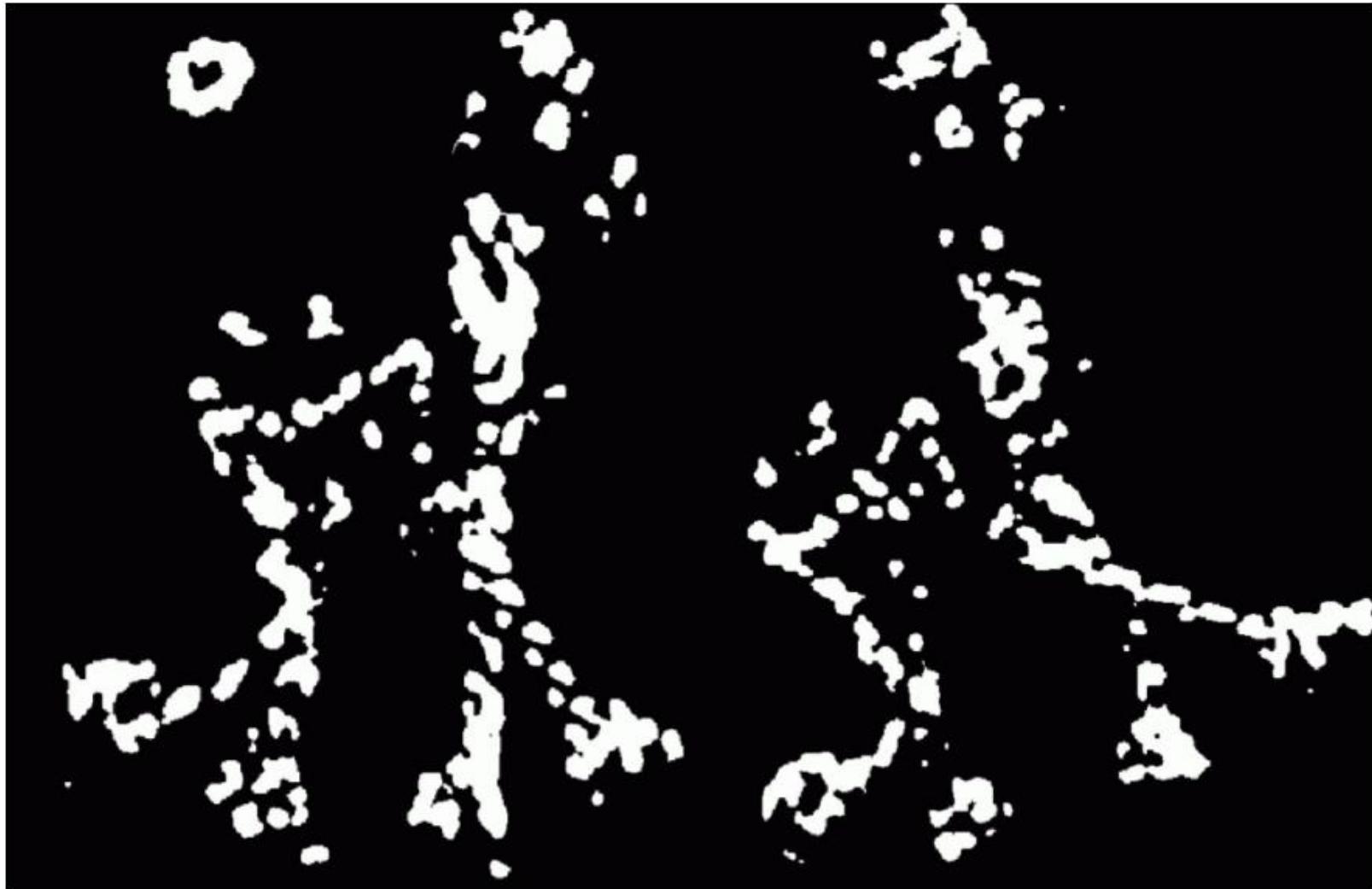
Детектор Харриса: пример



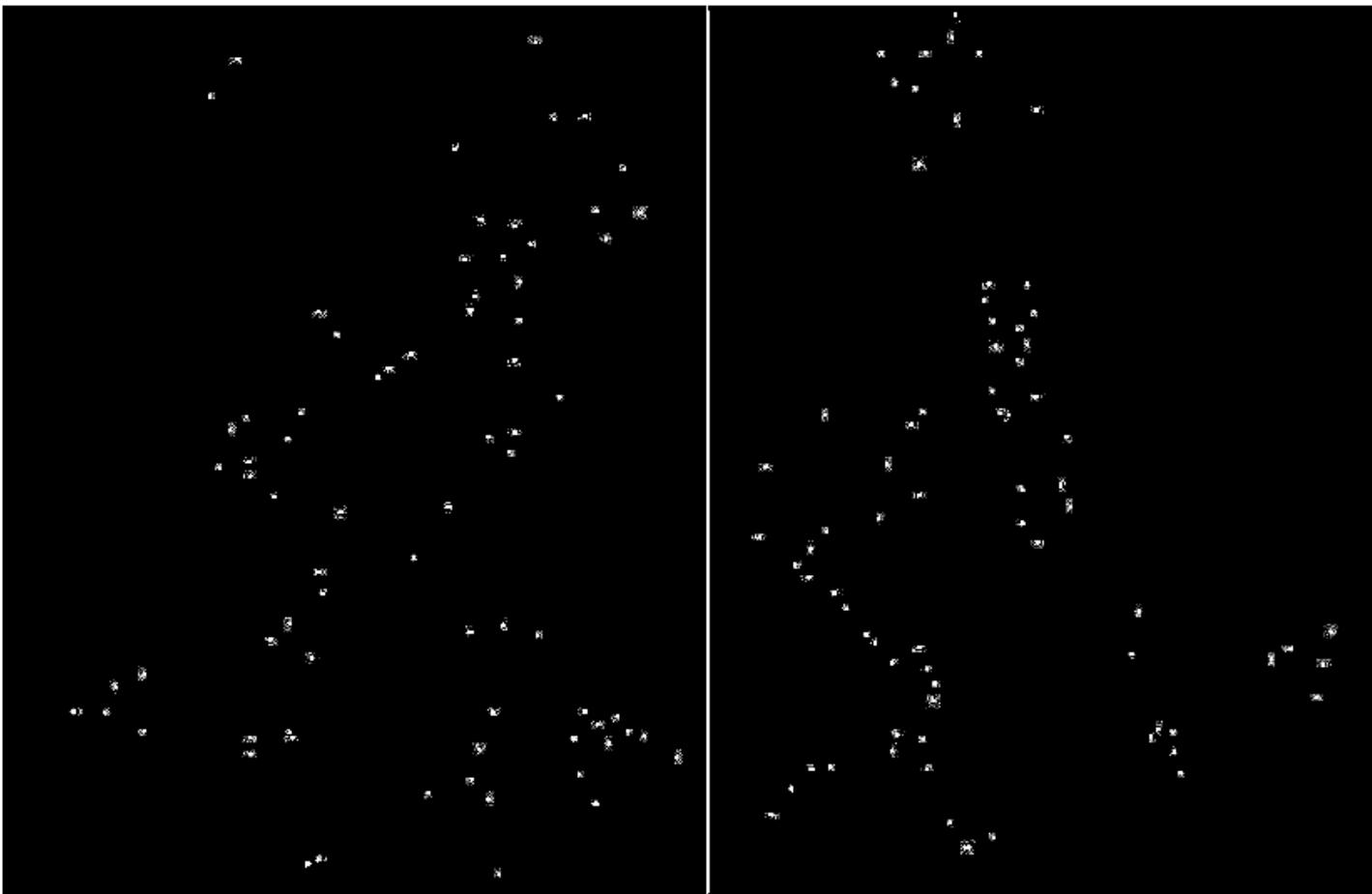
Детектор Харриса: вычисляем R



Детектор Харриса: применяем правило $R > T$



Детектор Харриса: подавление не максимумов (NMS)



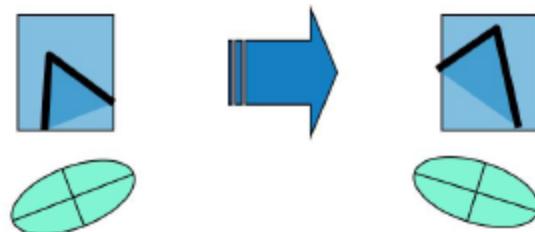
Детектор Харриса: результат применения



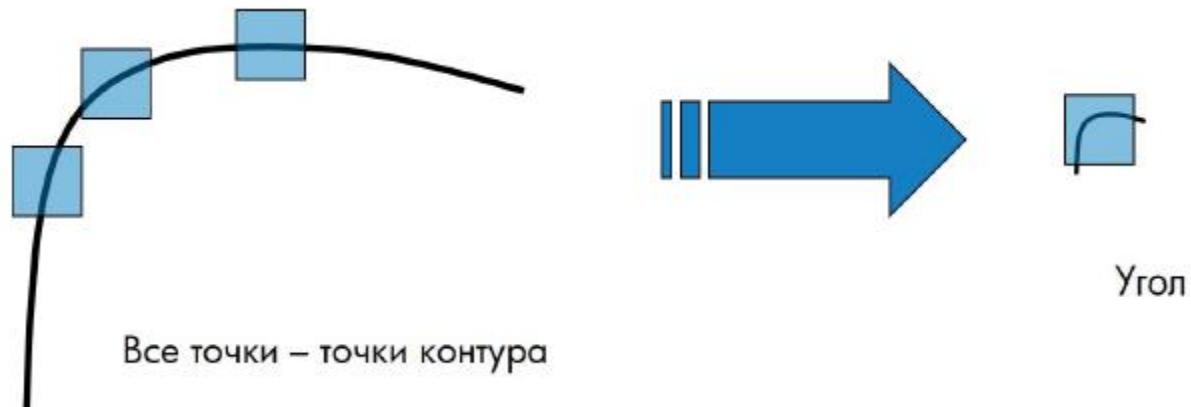
Детектор Харриса

Свойства детектора:

- Инверсность к повороту
- Инвариантность к сдвигу занесений пикселей



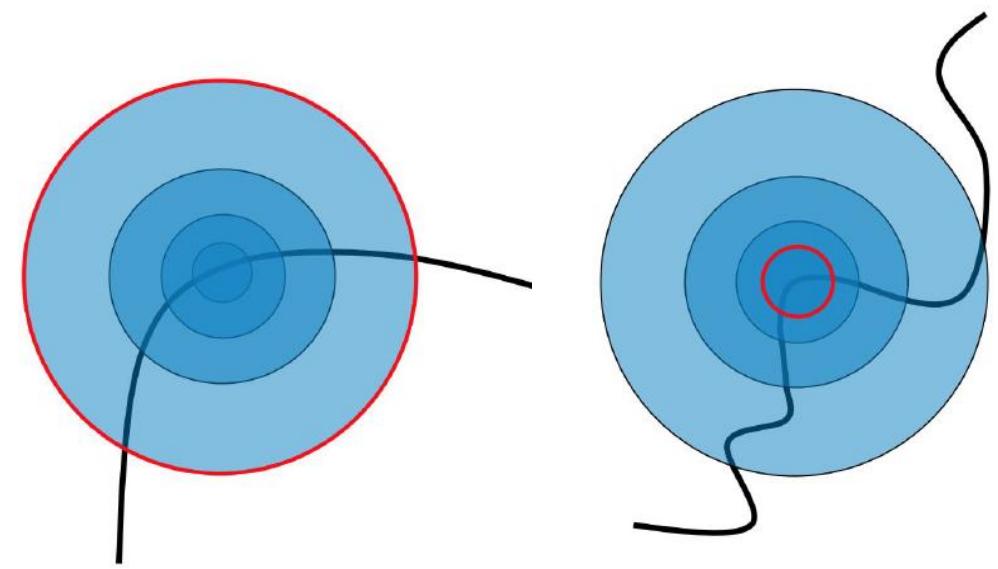
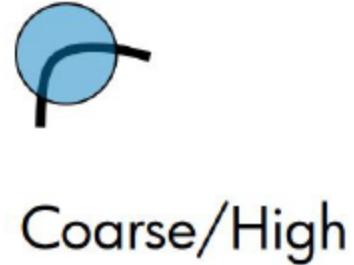
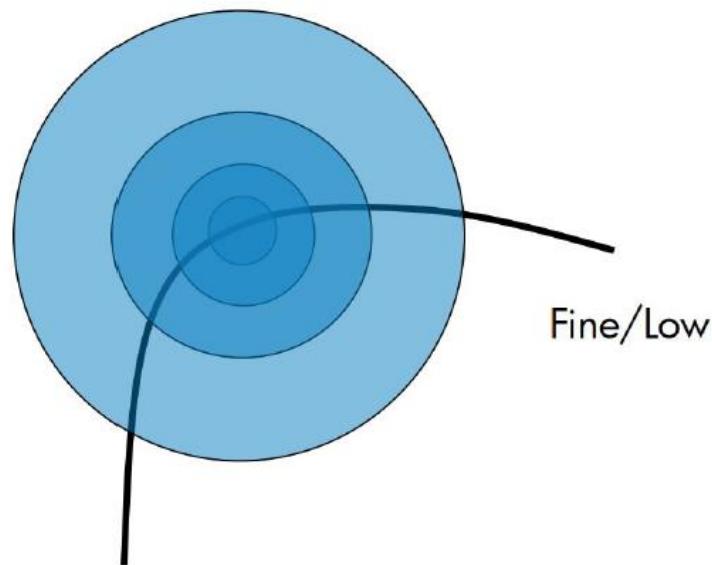
- Не инвариантность к изменению масштаба



Ищем инвариант с масштабом

Рассмотрим фрагменты двух изображений разного размера

Для двух изображений найдутся соответствующие преобразования размеров, при которых фрагменты будут равны

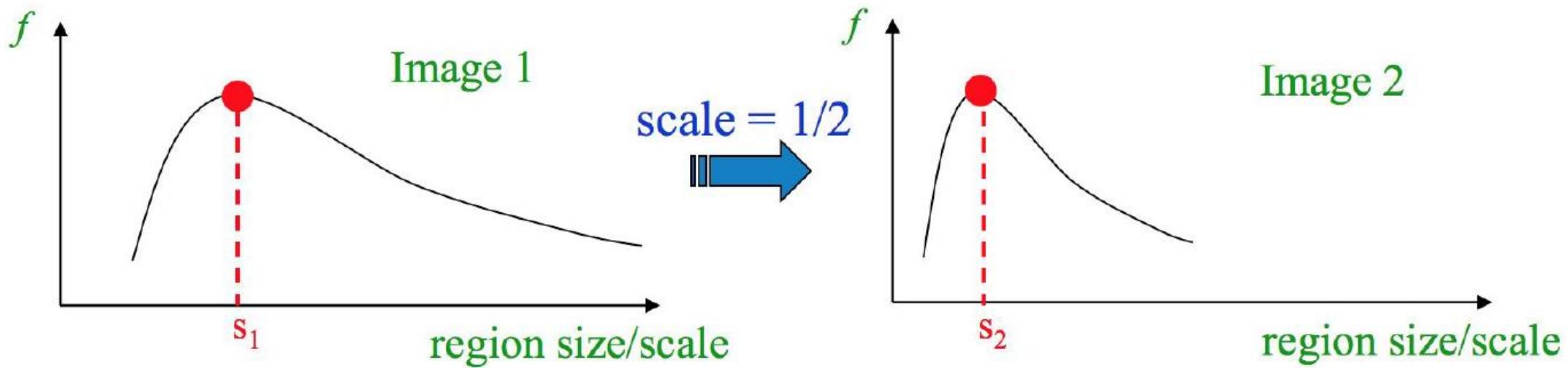


Какой размер области рассматривать, чтобы найти особую точку?

Ищем инвариант с масштабу

Решение:

- Определим такую функцию, которая будет принимать значение на фрагменте изображения инвариантное к масштабу
- Для в каждой точки изображения рассмотрим значение такой функции от размера окрестности, рассматриваемого около точки и найдем ее локальный максимум



Ищем инвариант с масштабом

Лапласиан:

$$L = \sigma^2 (G_{xx}(x, y, \sigma) + G_{yy}(x, y, \sigma))$$

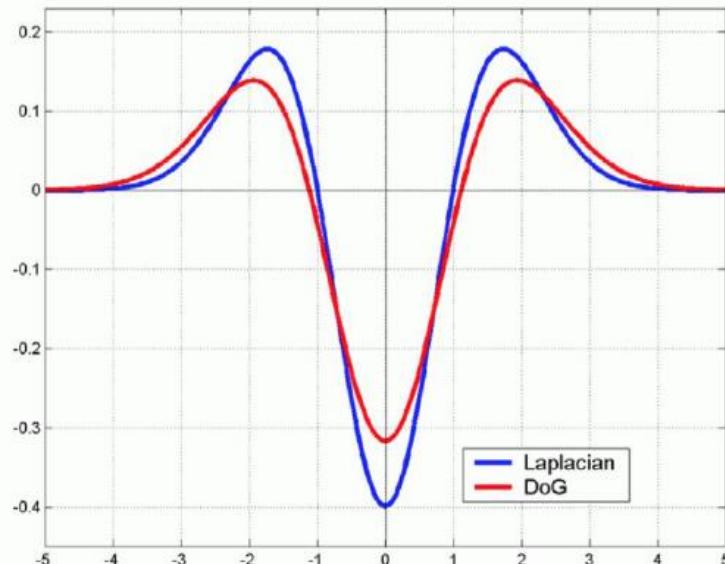
Разность Гауссиан
(приближение Лапласиана):

$$DoG = G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)$$

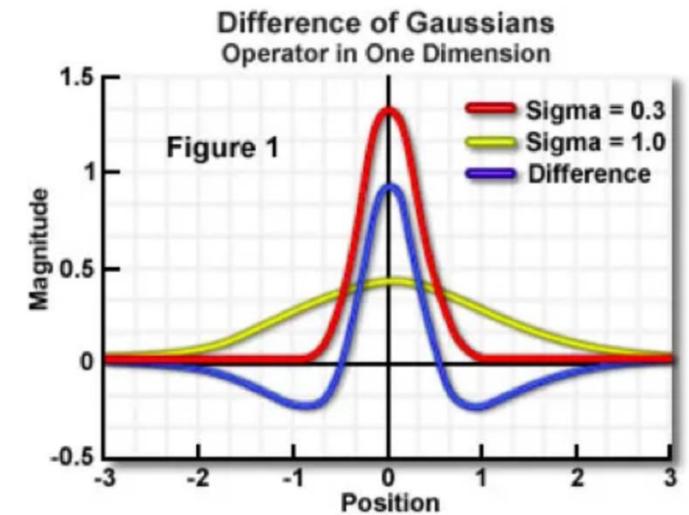
где

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

$$f = \text{Kernel} * \text{Image}$$



Оба ядра инварианты к изменению
масштаба и повороту



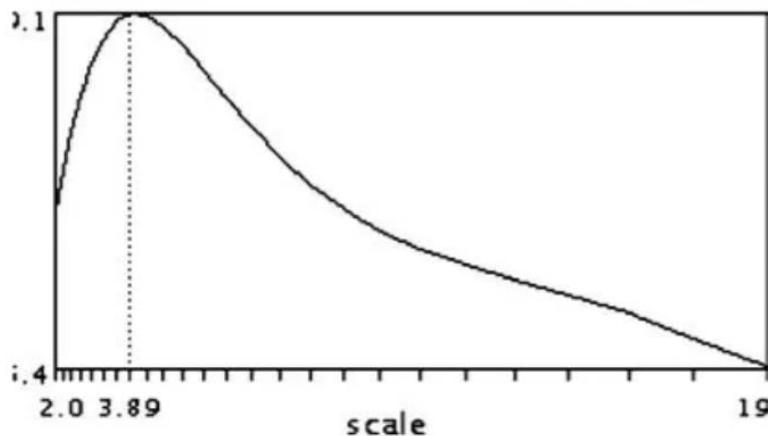
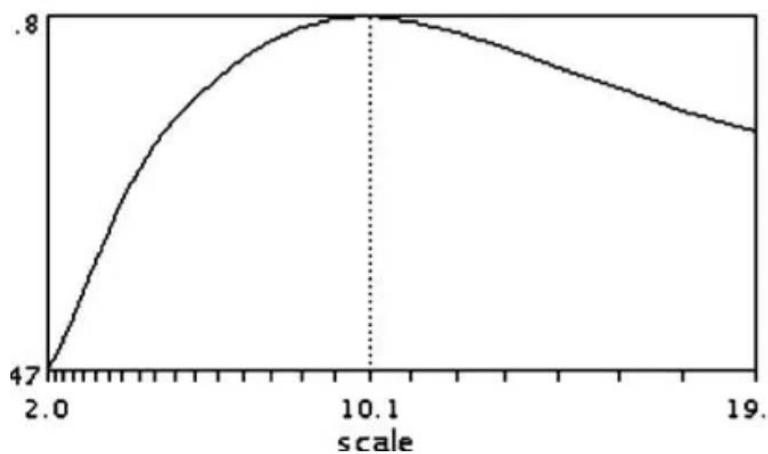
$$I(x) * \frac{d^2G_\sigma(x)}{dx^2}$$

$$\sigma^2 \frac{d^2G_\sigma}{dx^2}(x)$$

$$\sigma \nabla^2 G = \frac{\partial G}{\partial \sigma} \approx \frac{G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)}{k\sigma - \sigma}$$

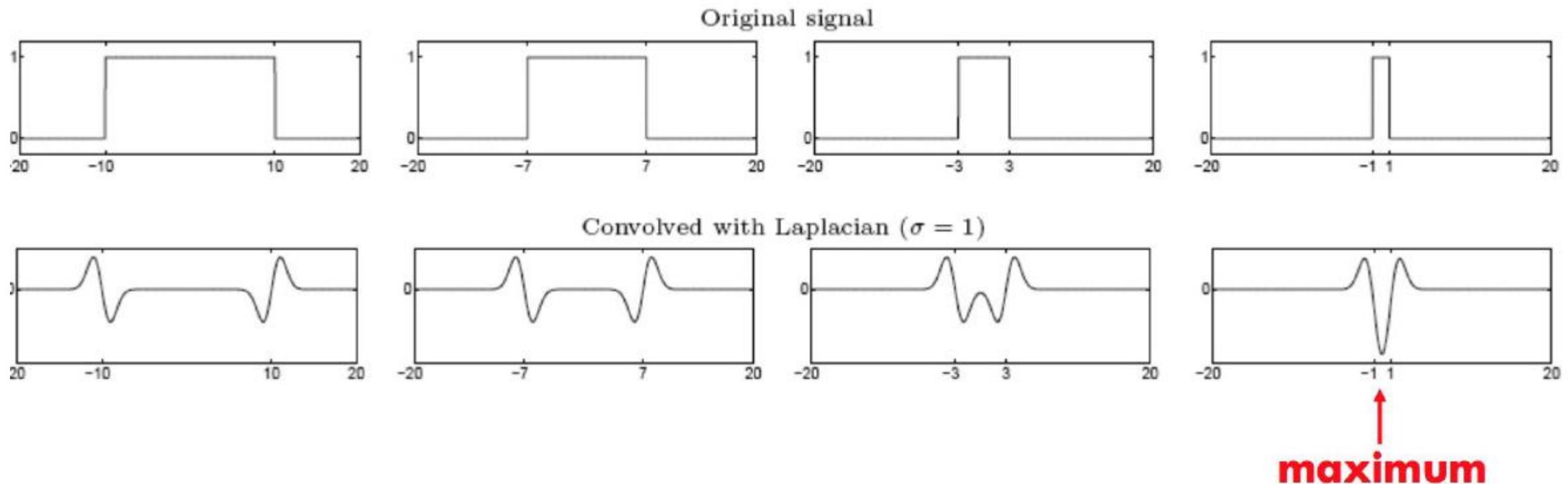
$$G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma) \approx (k - 1)\sigma^2 \nabla^2 G.$$

Ищем инвариант с масштабу

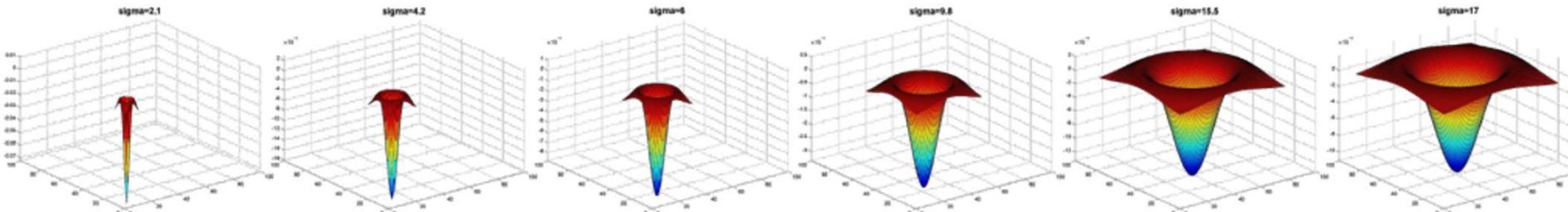


Ищем инвариант с масштабу

Одномерный случай для свертки сигнала с лапласианом:



What happens if you apply different Laplacian filters?

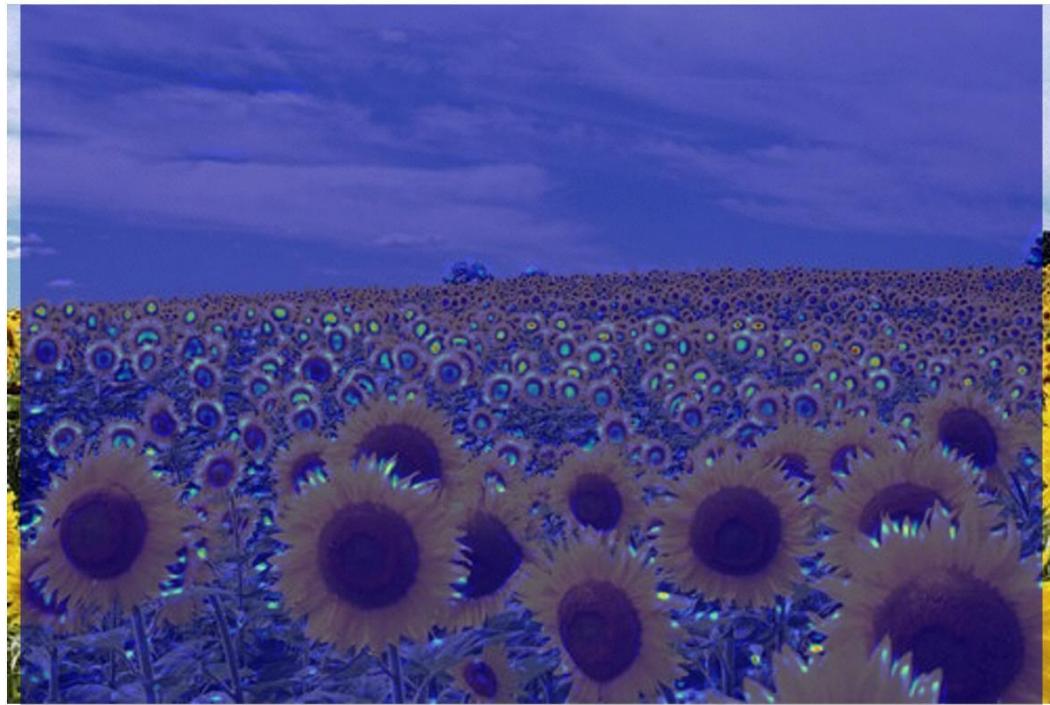
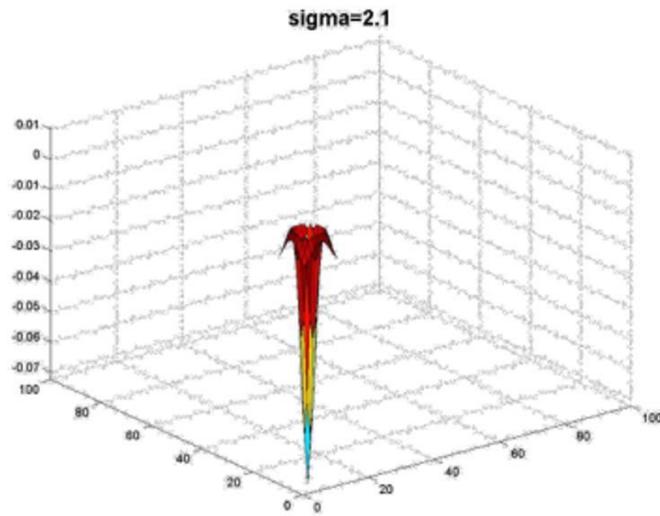


Full size



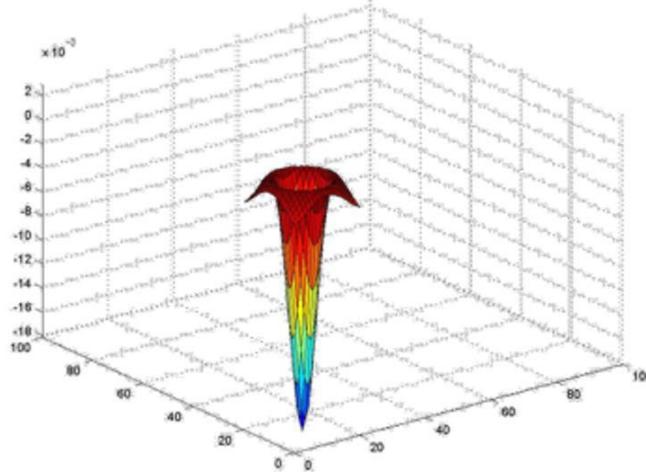
3/4 size

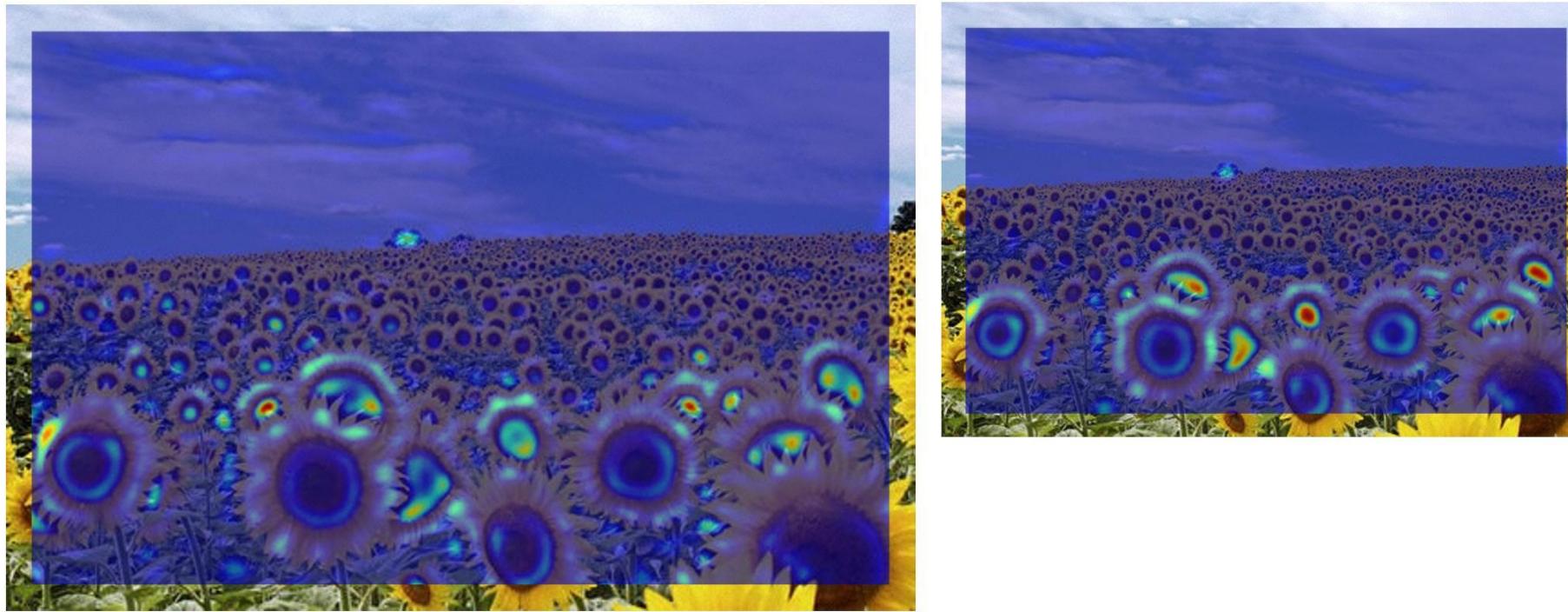
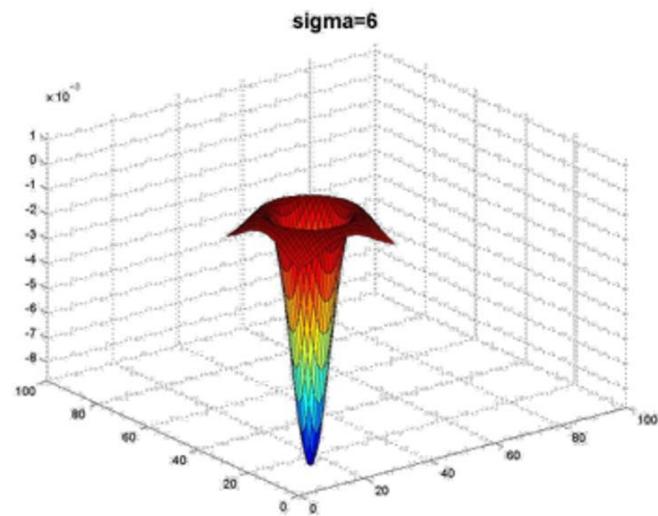


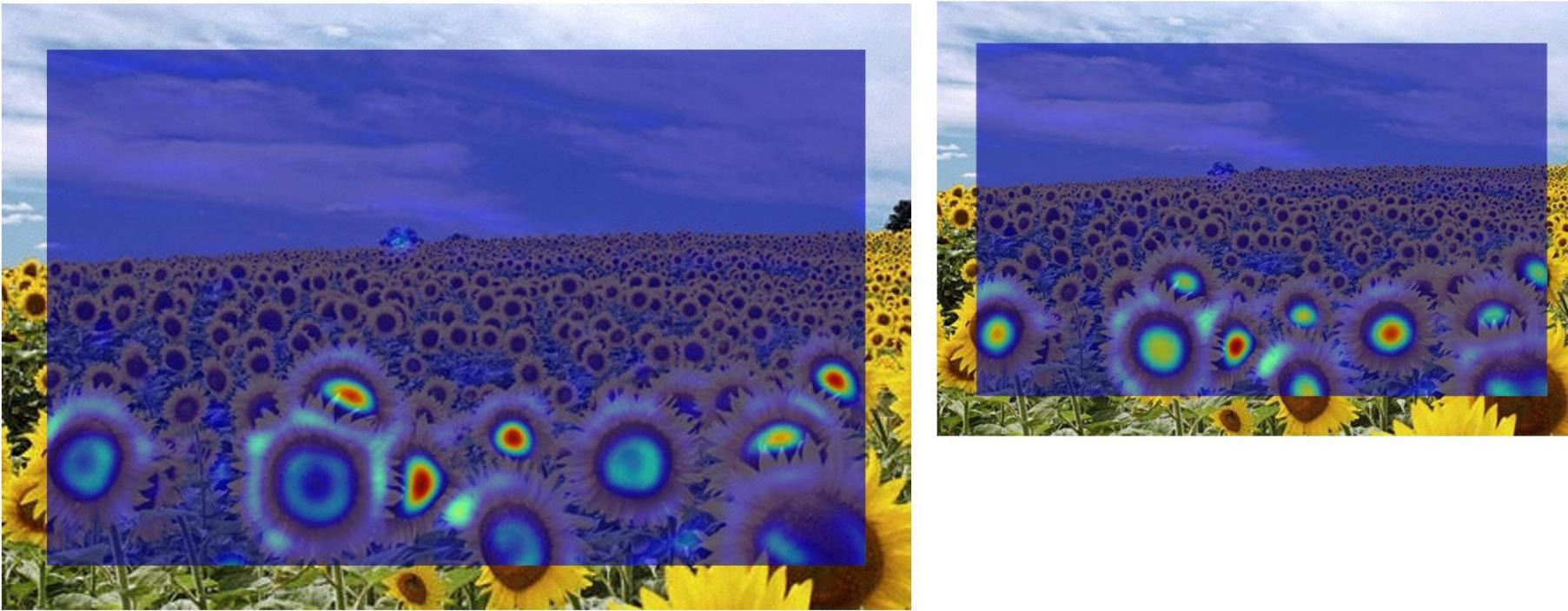
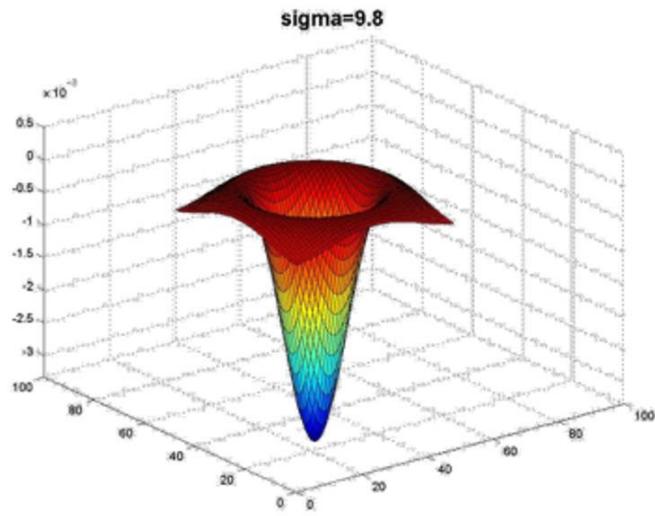


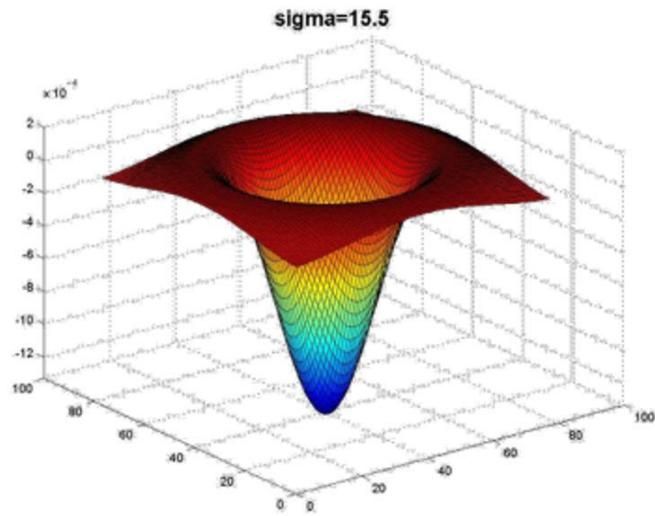
jet color scale
blue: low, red: high

sigma=4.2

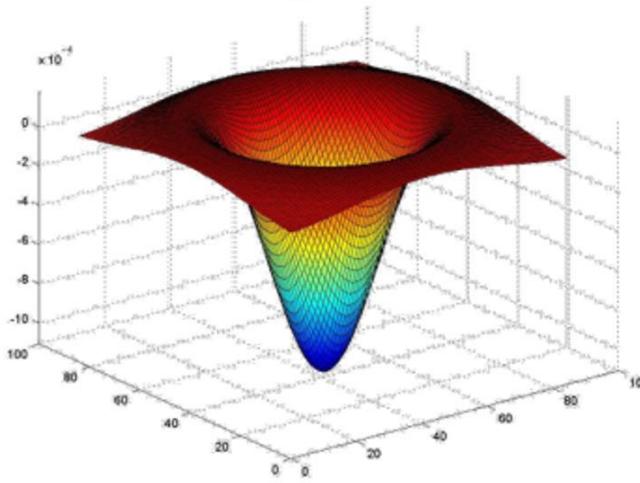








sigma=17



What happened when you applied different Laplacian filters?

Full size

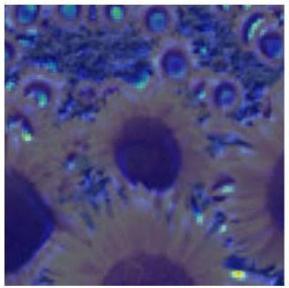


3/4 size

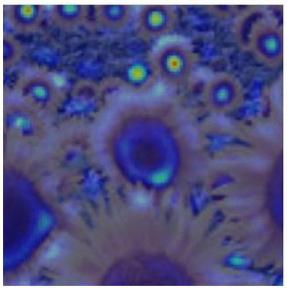


optimal scale

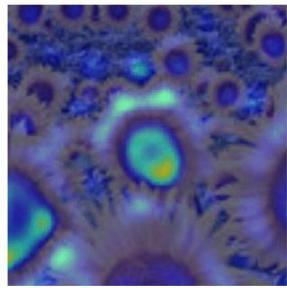
2.1



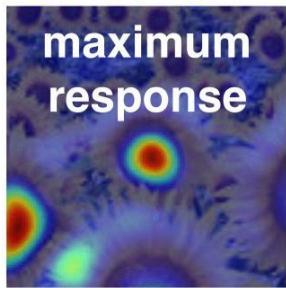
4.2



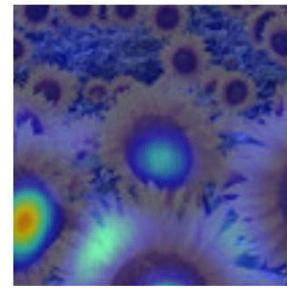
6.0



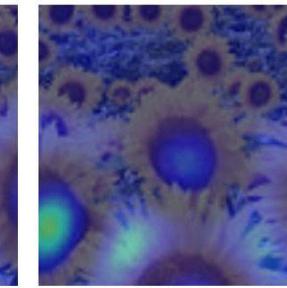
9.8



15.5

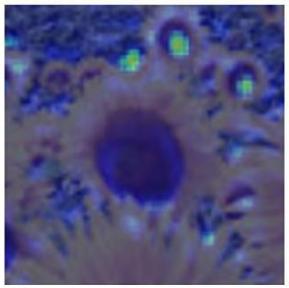


17.0

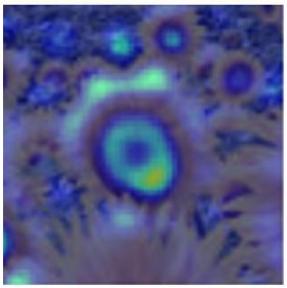


Full size image

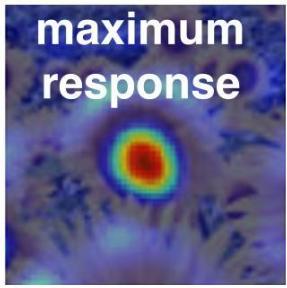
2.1



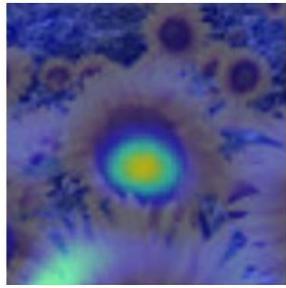
4.2



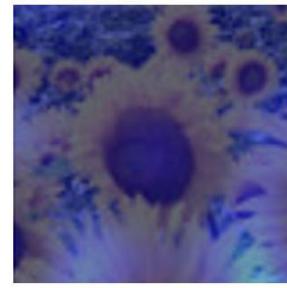
6.0



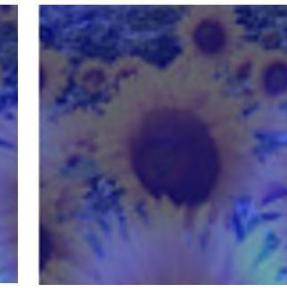
9.8



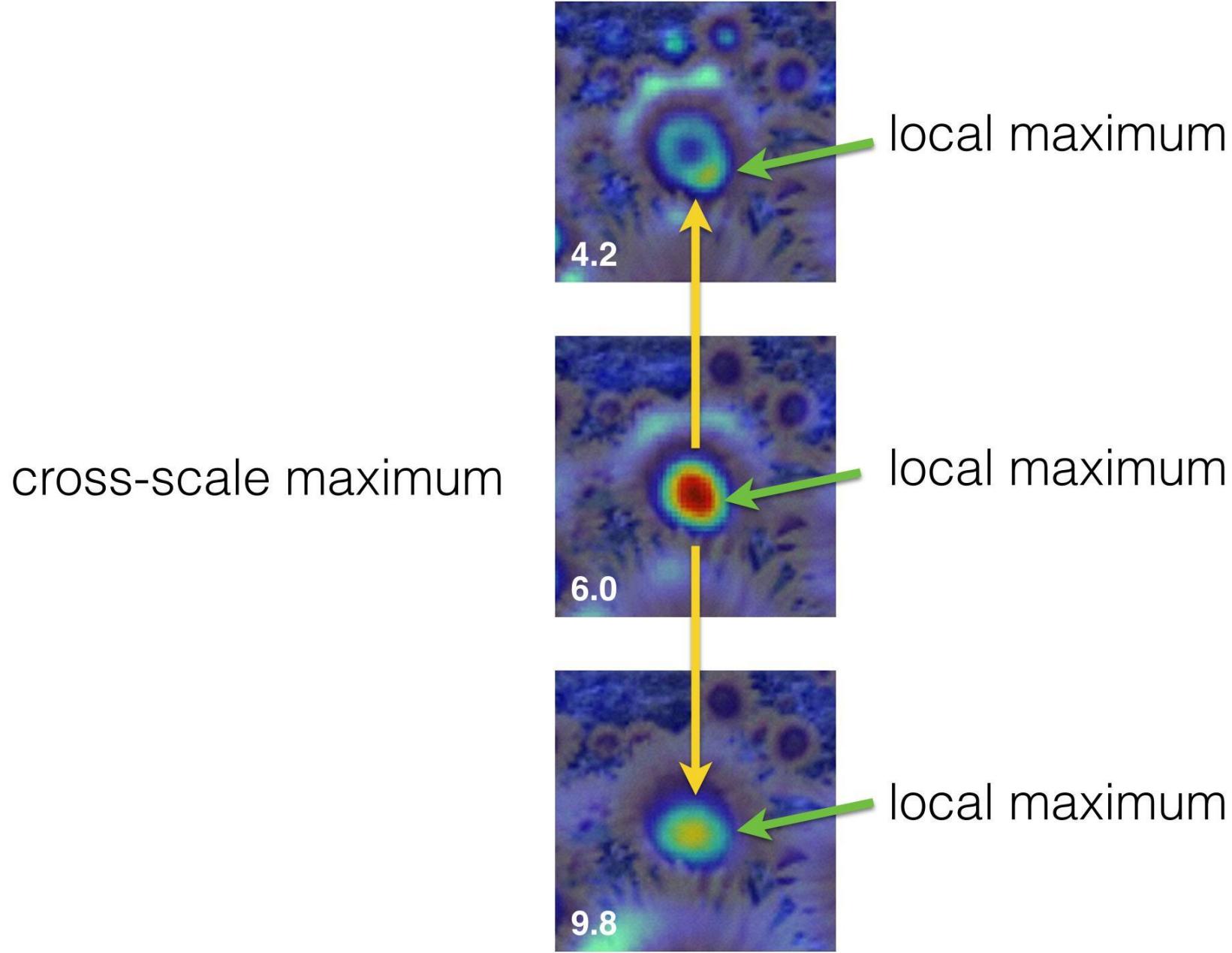
15.5



17.0



3/4 size image



Детектор Trajkovic

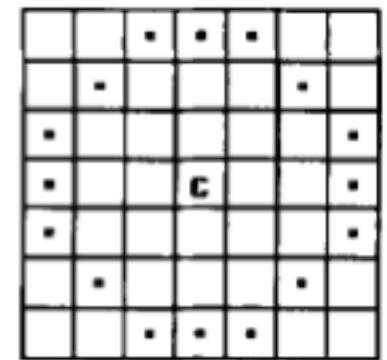
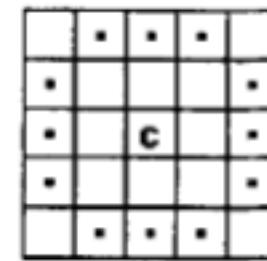
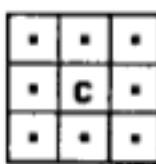
$$R_N = \min_{P, P' \in S_N} ((I_P - I_N)^2 + (I_{P'} - I_N)^2),$$

где N – центральная точка;

P и P' – две противоположные по диаметру точки вокруг точки N ;

S_N – дискретизированная окружность на изображении радиусом 3, 5, 7 пикселей.

Значение будет большим, когда нет направления, в котором центральный пиксель похож на два близлежащих пикселя по диаметру



Детектор FAST

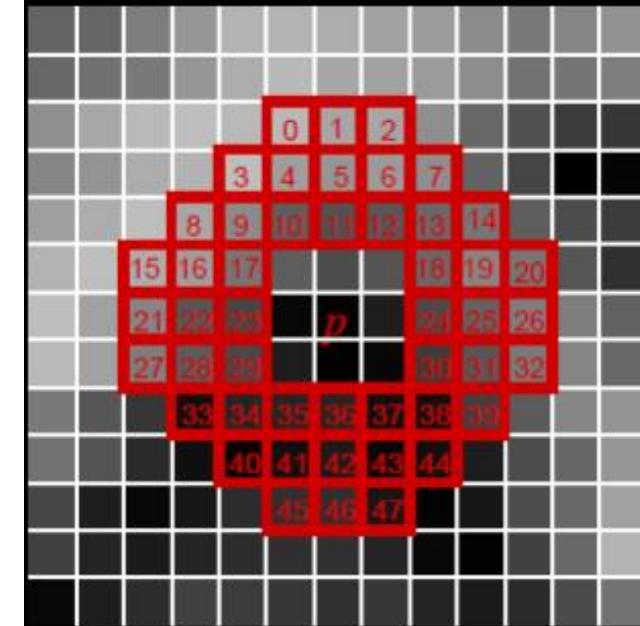
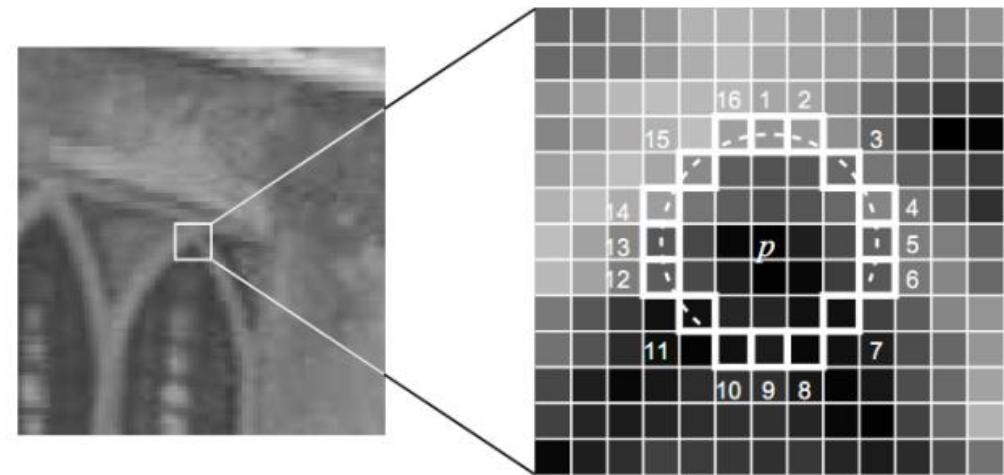
1. Точка является угловой, если для текущей рассматриваемой точки P существуют N смежных пикселей на окружности, интенсивности которых больше I_p+t или интенсивности всех меньше I_p-t , где I_p – интенсивность точки P , t – пороговая величина.
2. Интенсивность в вертикальных и горизонтальных точках на окружности под номерами 1, 5, 9 и 13 с интенсивностью в точке P (для того, чтобы как можно быстрее отсесть ложные кандидаты). Если для 3 из этих точек выполнится условие $I_{p_i} > I_p + t$ или $I_{p_i} < I_p - t$, $i=1,..,4$, то проводится полный тест для всех 16 точек

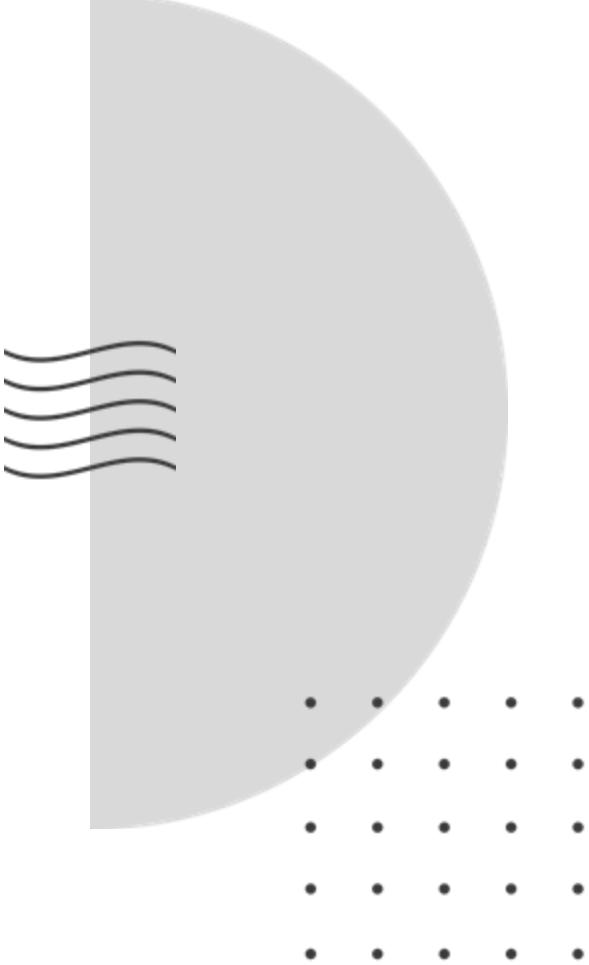
$$cost = (k_R + R^{-2})(k_N + N^{-2})(k_S + S^{-2})$$

R – мера повторяемости;

N – количество обнаруженных особых точек;

S – количество узлов в дереве решений.





Место для ваших
вопросов