

ВВЕДЕНИЕ В КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

Лекция № 5

Локальные характеристики
изображений



План лекции

1. Локальные признаки изображений

2. Детекторы контрольных точек

Моравица

Харриса

Ши-Томаси

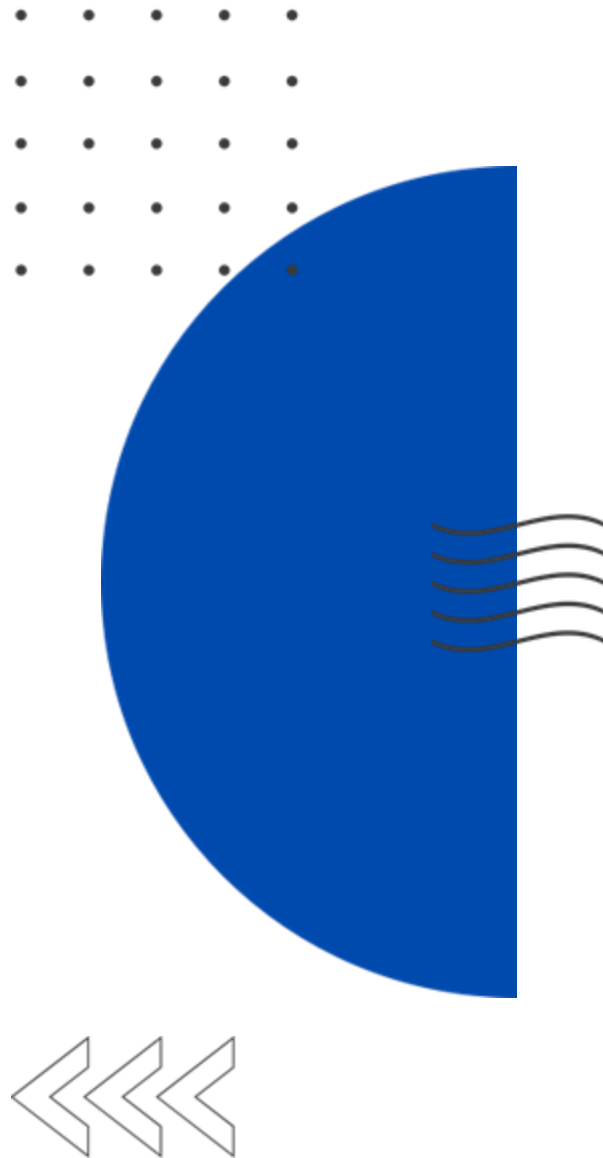
Trajkovic

FASt

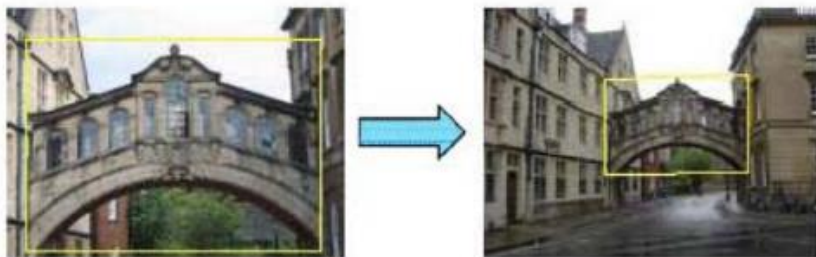


01

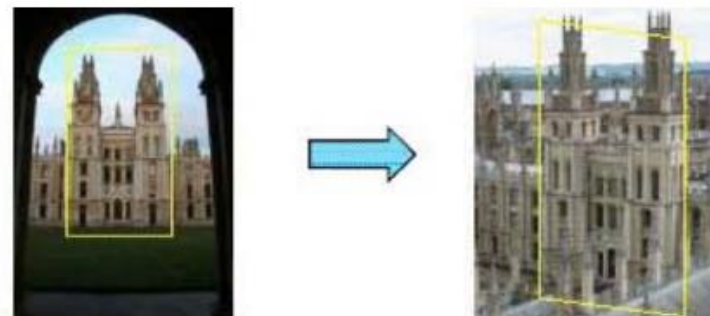
Локальные признаки изображений



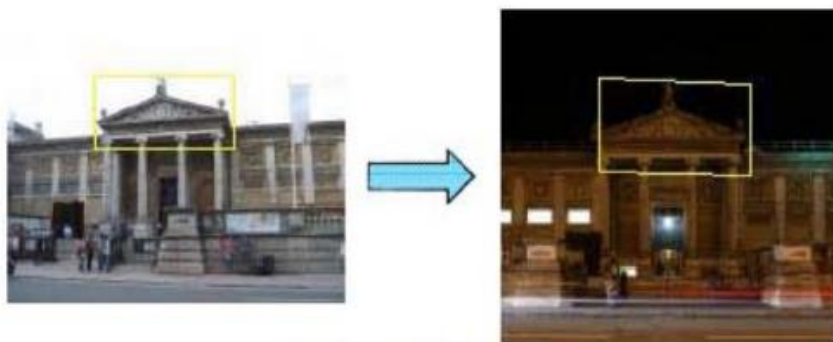
Предпосылки к решению задачи поиска



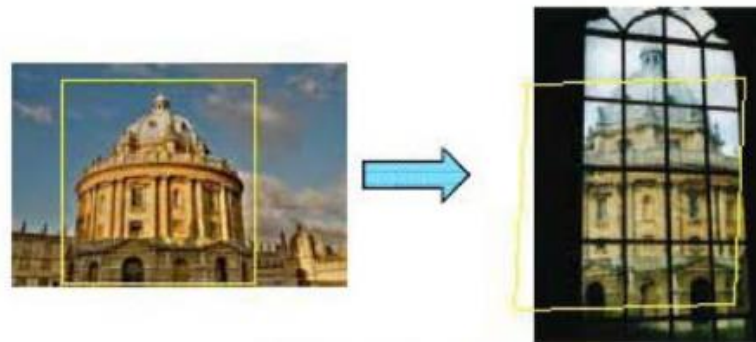
Изменение масштаба



Изменение точки съемки



Изменение освещения



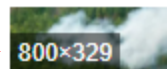
Перекрытие

Предпосылки к решению задачи поиска

Поиск фейков



Сайты, где встречается картинка



В Вологодской области второй день тушат лесной пожар

Vologda-poisk.ru

В Вологодской области второй день тушат лесной пожар



В 90 районах Беларуси запрещено посещать леса. К выходным ожидается полный запрет :: Бобруйск - Актуально

Bobr.by

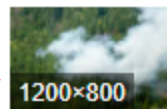
В 90 районах Беларуси запрещено посещать леса.



Беларусь сверху - Страница 1 из 7

Bashny.net

Беларусь сверху



В 90 районах Беларуси 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](#)

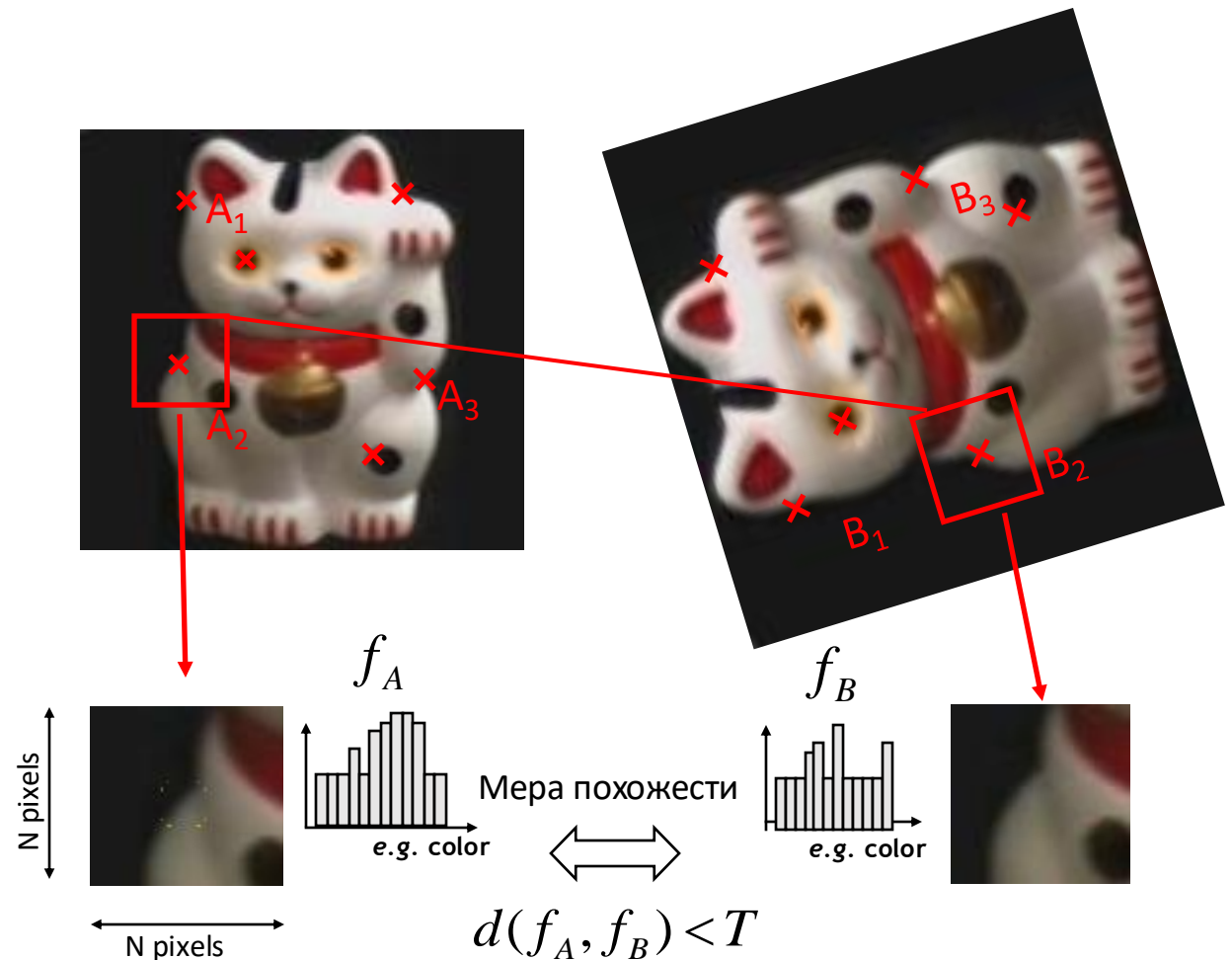
Чего мы хотим от особых точек?

- Уникальность
 - Точка должны быть различима от других примеров
- Инвариантность
 - Точка должна встречаться при разных геометрических или оптических преобразованиях объекта на изображении
- Повторяемость
 - Точка должна повторятся на разных изображениях, если она относится к одному объекту
- Количество
 - Точек должно быть достаточное 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

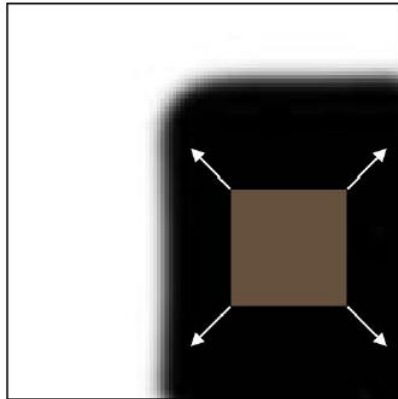


Детектор особых точек

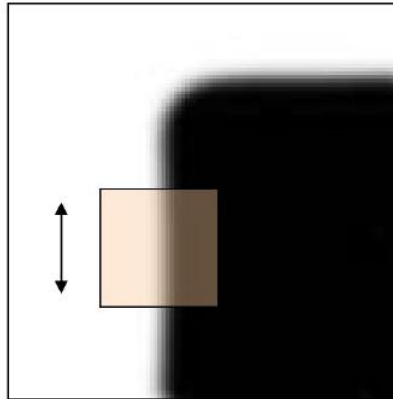
Критерии построения детектора:

- Мы должны легко распознать точку, глядя в маленькое окно (местность).
- Смещение окна в любом направлении должно давать большое изменение интенсивности (хорошая локализация)

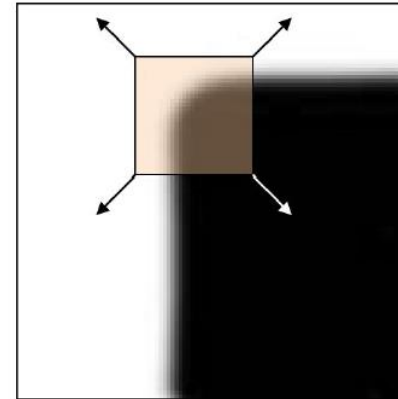
1. Смещение окна в окрестности угловой точки в любом направлении приводит к существенному изменению набора интенсивностей окна (алгоритм Моравица)
2. В окрестности угловой точки - два доминирующих направления градиента (алгоритм Харриса)



“монотонная” область:
нет изменений ни в
каком направлении

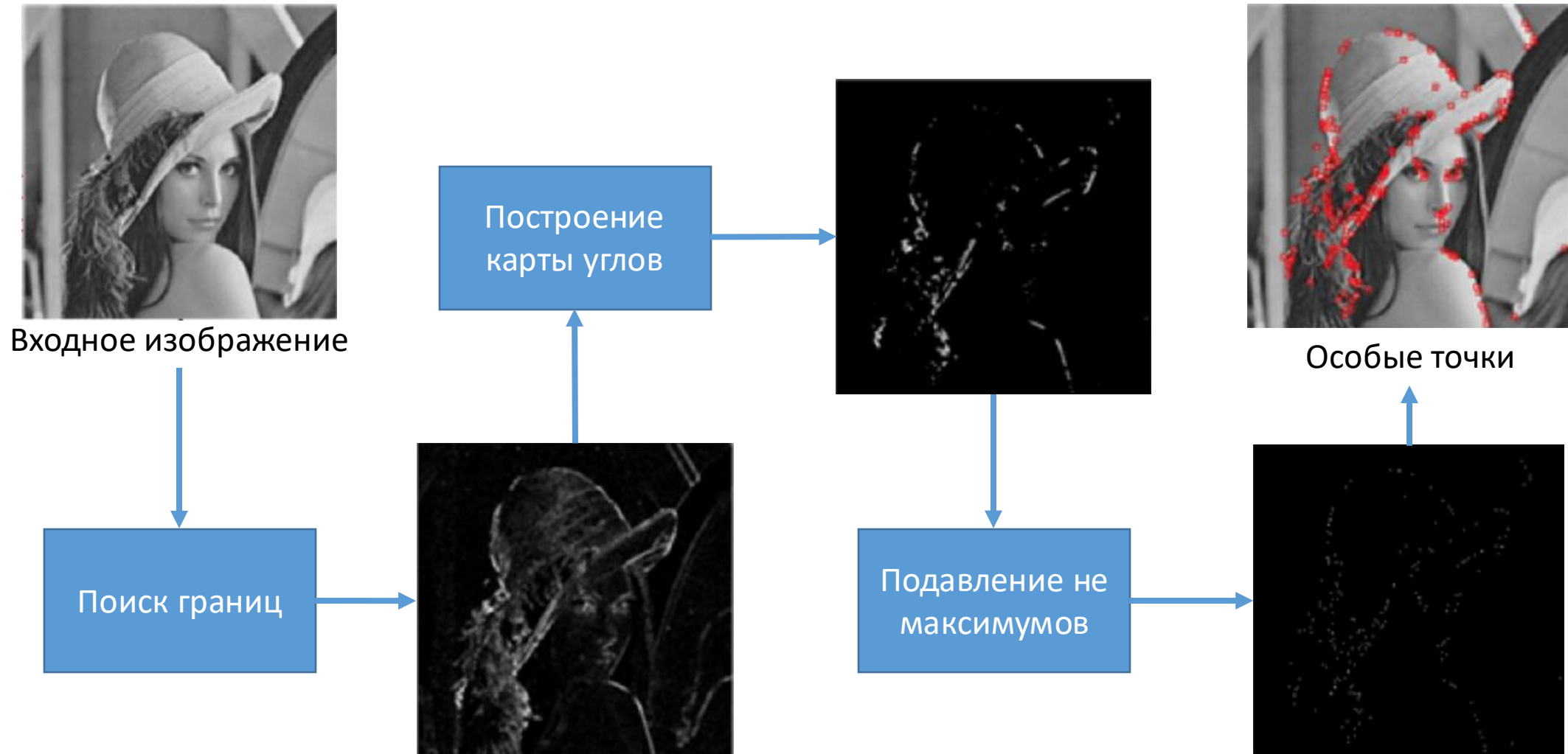


“край”:
нет изменений по одному
из направлений – вдоль
края



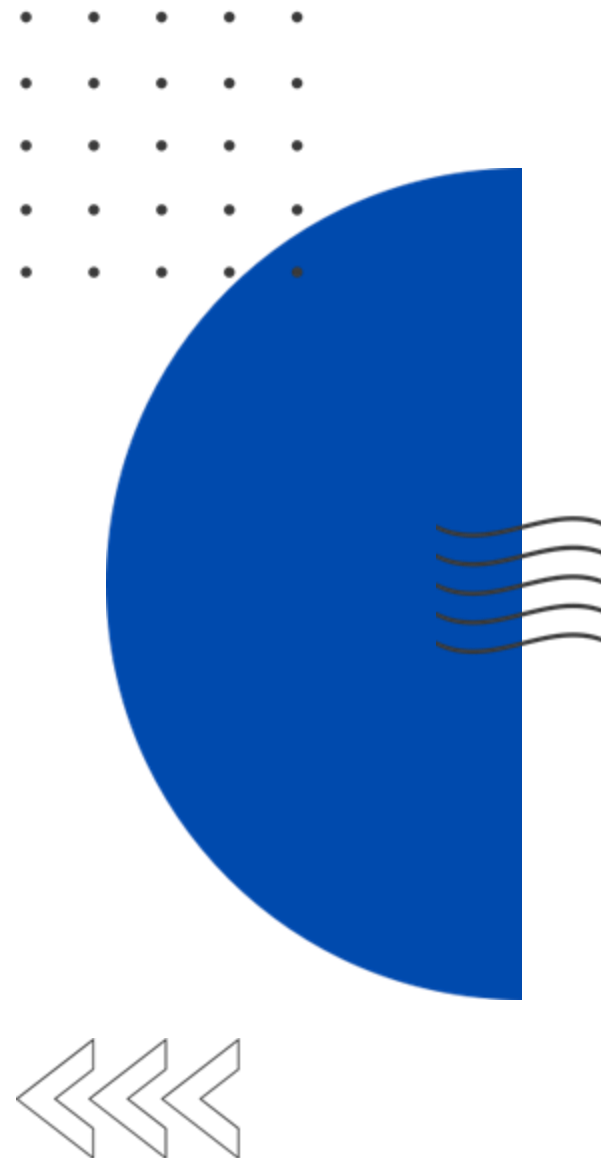
“угол”:
существенные
изменения по всем
направлениям

Структурная схема детектора особых точек

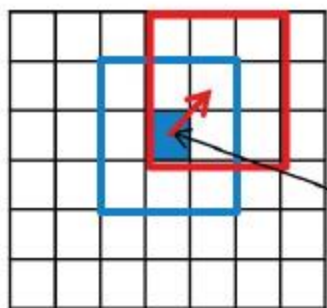


02

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)

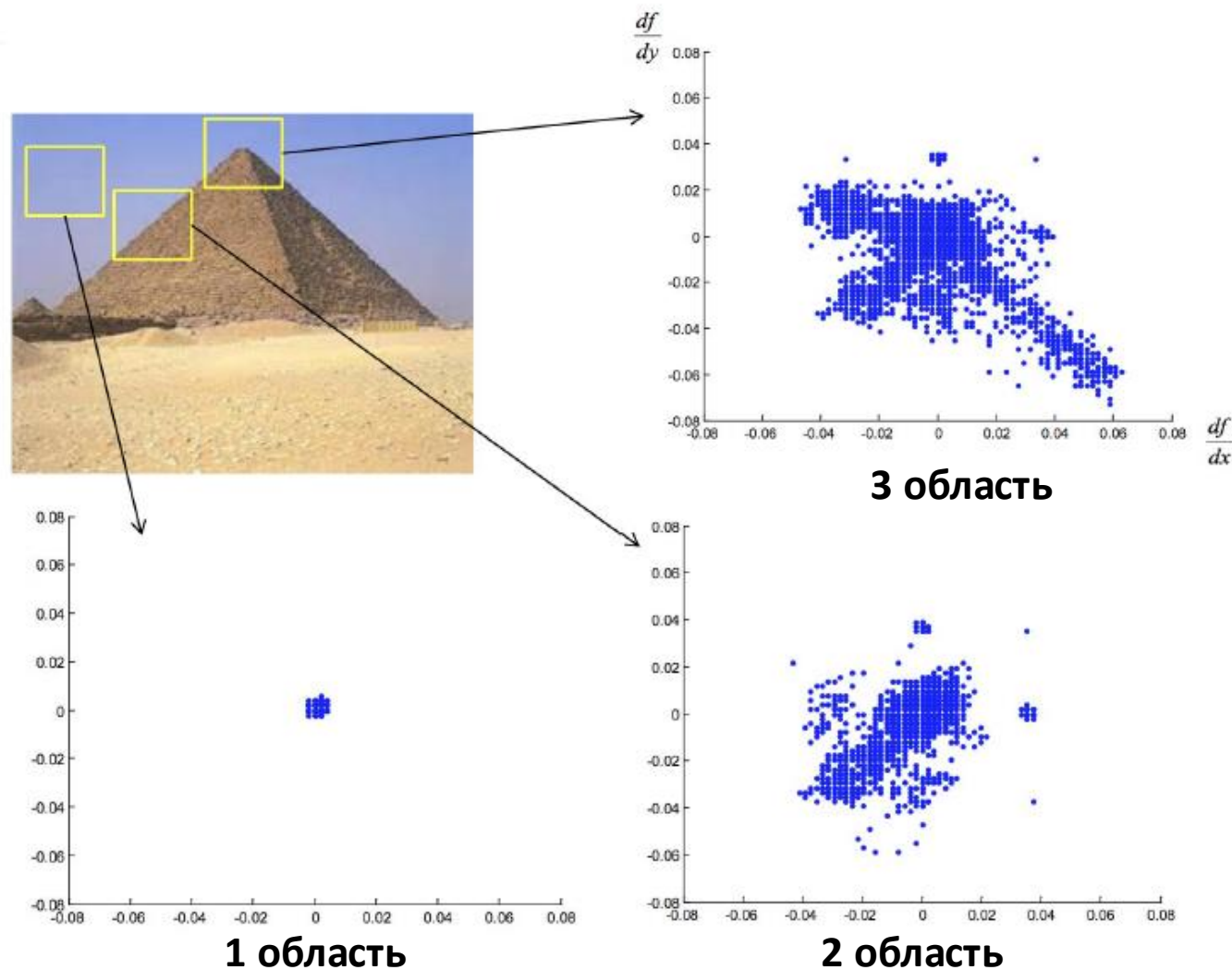
Недостатки детектора Моравица

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

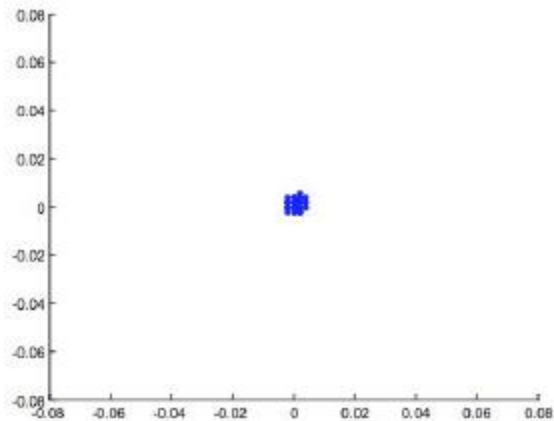
Рассмотрим распределение значений производных на 3 областях изображения:

1. «Фон»
2. «Край»
3. «Угол»

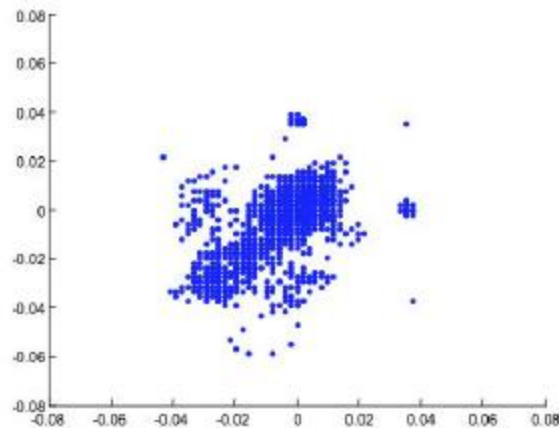


Детектор Харриса

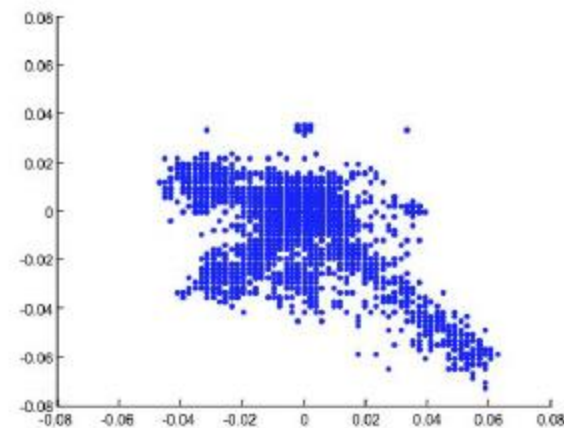
- Для каждого окна смотрим на собственные числа ковариационной матрицы для значений градиента пикселей
- Собственные вектора этой матрицы показывают «основные направления»
- Величина собственных чисел указывает на «степень выраженности» соответствующего направления



Нет «больших» собственных чисел



1 «большое» собственное число



2 «больших» собственных числа

Детектор Харриса

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

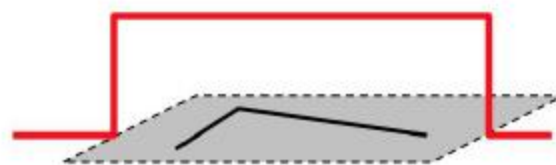
$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2$$

Функция
окна

Яркость
при сдвиге

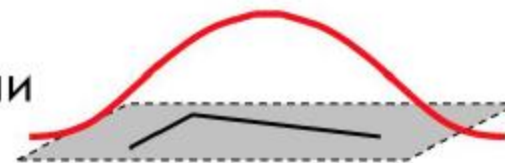
Яркость

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:

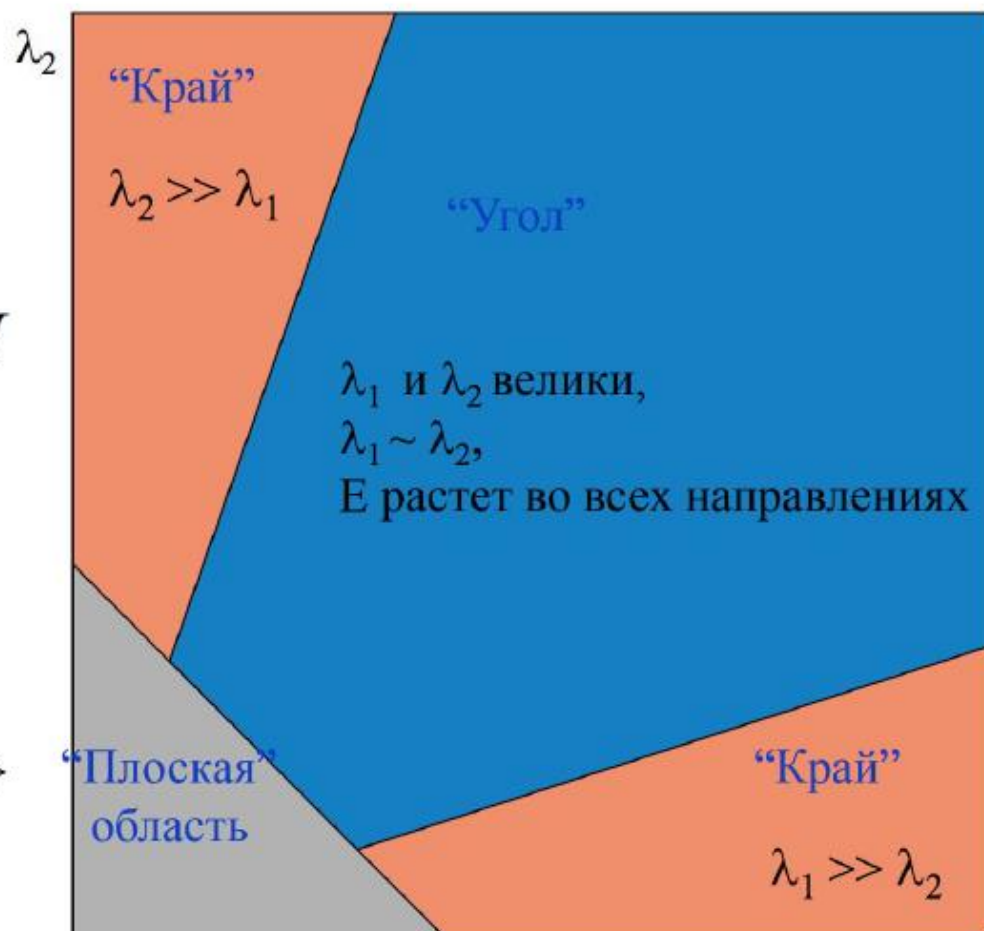
$$M = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$$

Детектор Харриса

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

λ_1, λ_2 – собственные значения M

λ_1 и λ_2 малы;
 E почти постоянна по
всем направлениям



Детектор Харриса

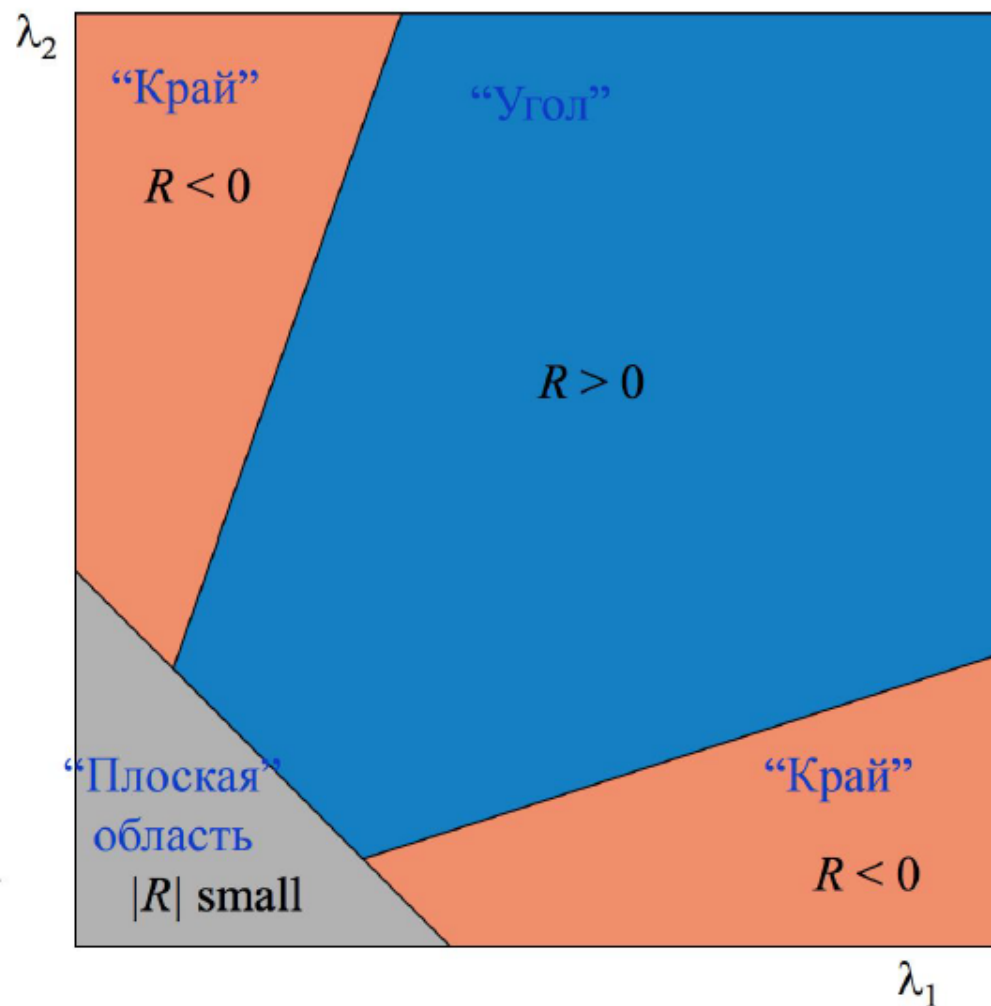
$$R = \det M - k (\text{trace } M)^2$$

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

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

(k – эмпирическая константа,
 $k = 0.04-0.06$)

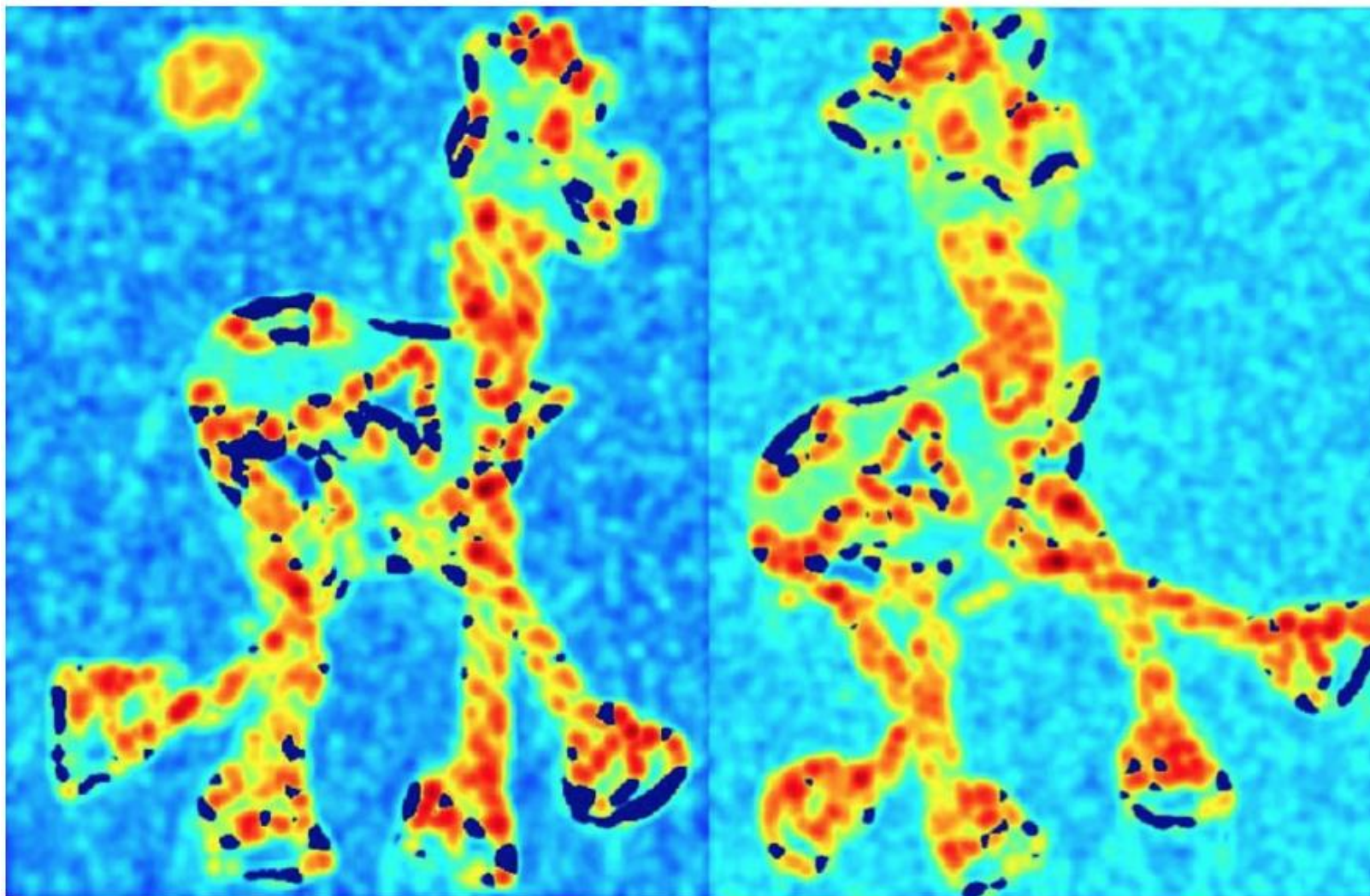
- R зависит только от значений собственных чисел λ_1, λ_2
- R принимает большие значения в угловых точках
- R принимает отрицательные значения, большие по модулю на контуре
- $|R|$ мало в плоском регионе



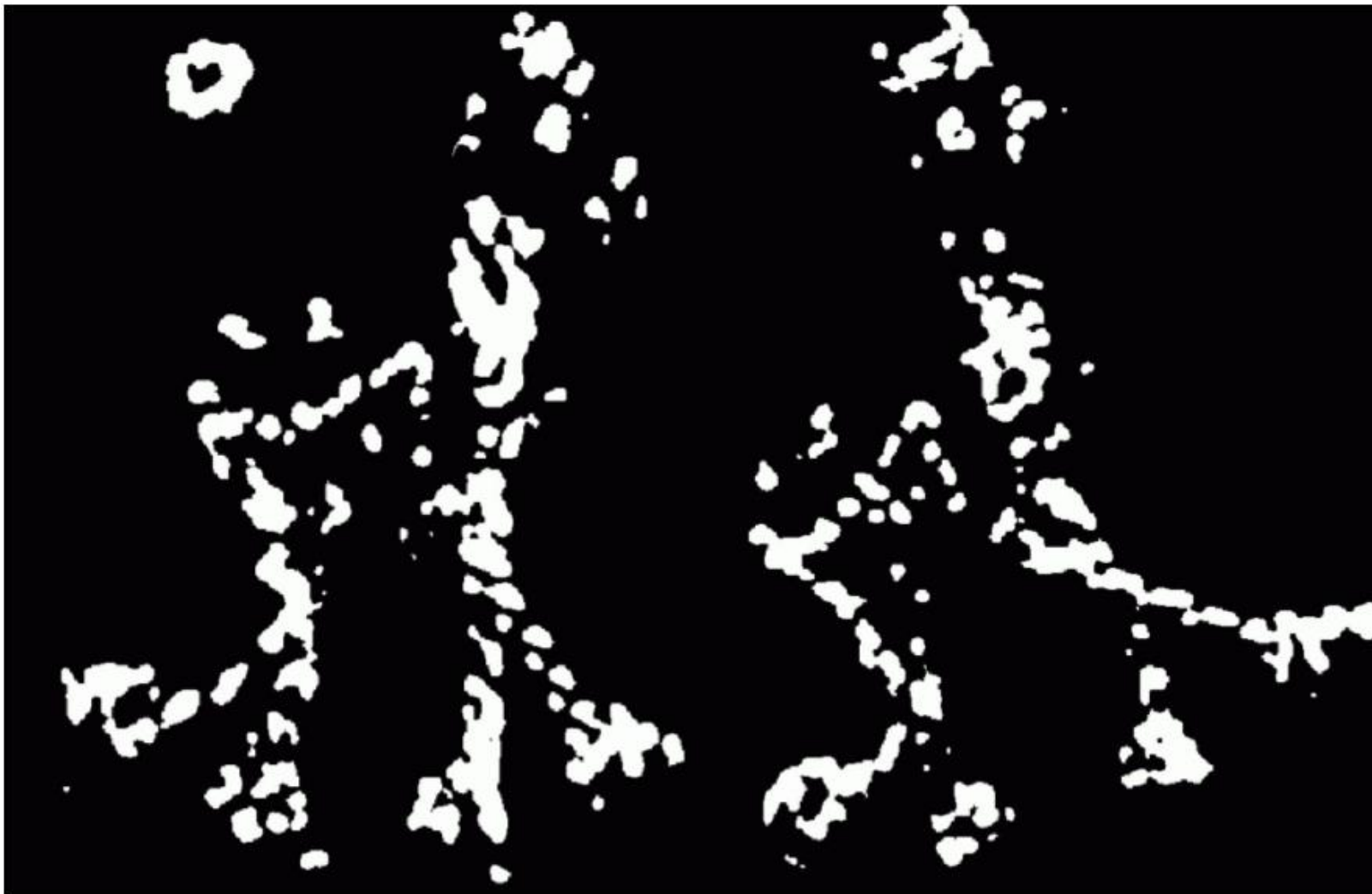
Детектор Харриса: пример



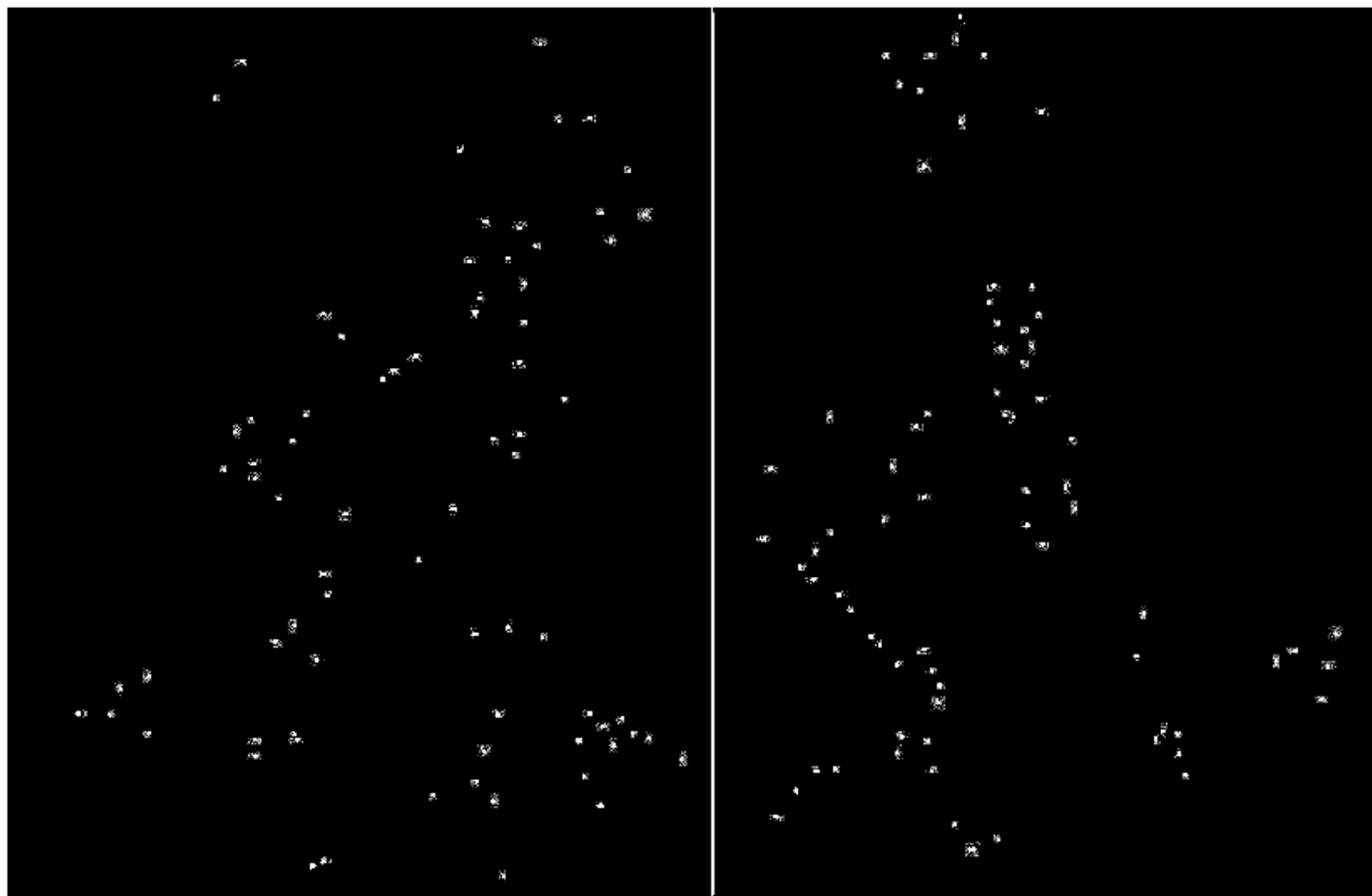
Детектор Харриса: вычисляем R



Детектор Харриса: применяем правило $R > T$



Детектор Харриса: подавление не максимумов (NMS)



Детектор Харриса: результат применения



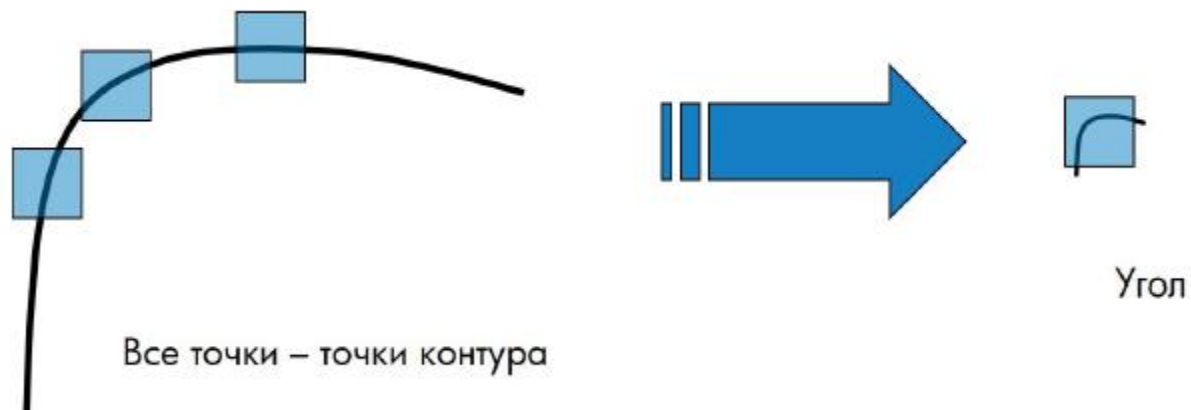
Детектор Харриса

Свойства детектора:

- Инверсность к повороту
- Инвариантность к сдвигу занесений пикселей



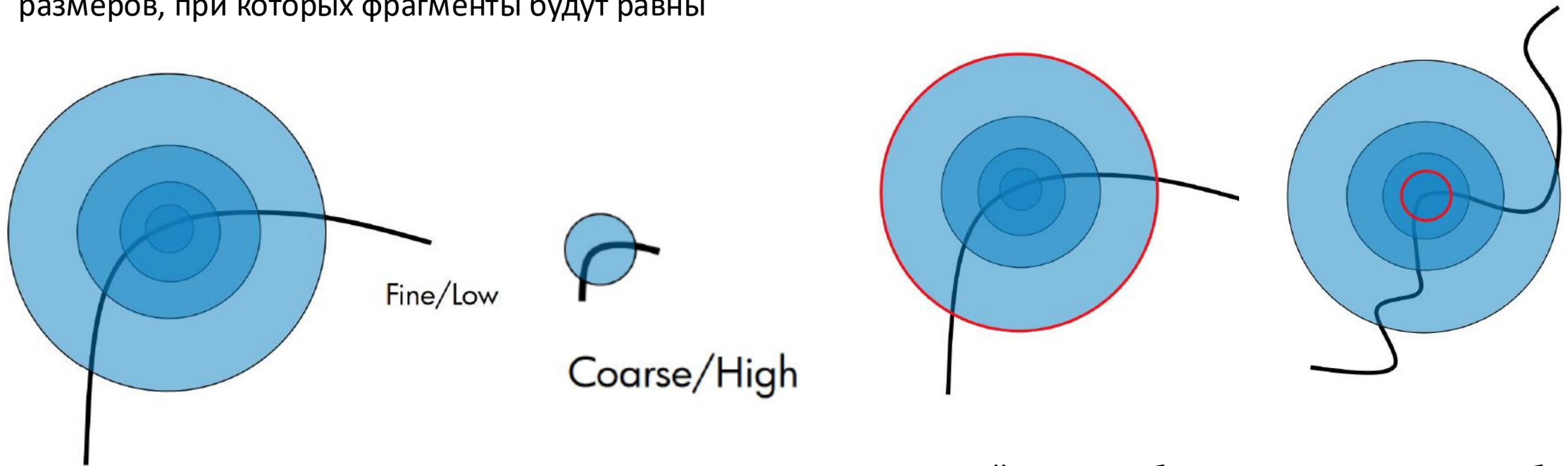
- Не инвариантность к изменению масштаба



Ищем инвариант с масштабу

Рассмотрим фрагменты двух изображений разного размера

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

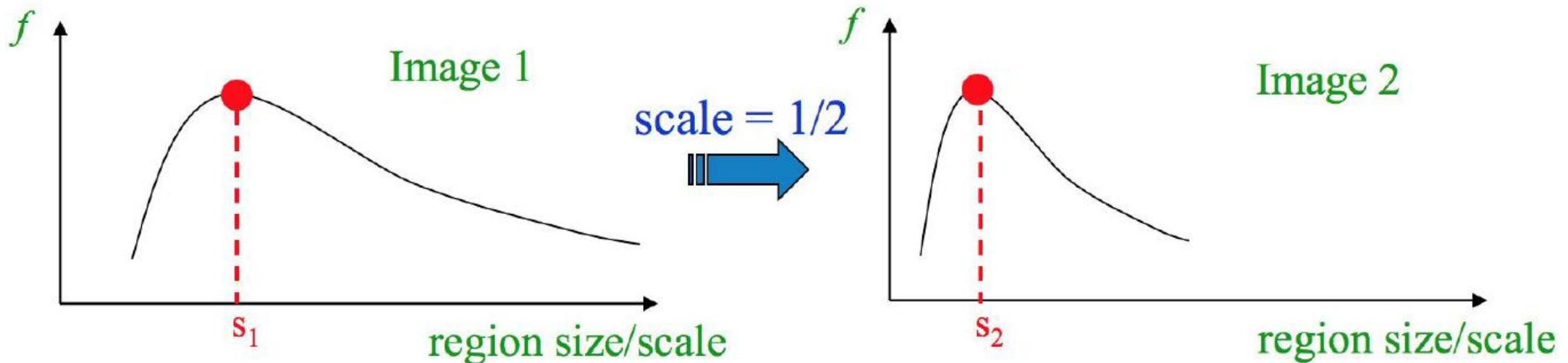


Какой размер области рассматривать, чтобы найти особую точку?

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 масштабу

Лапласиан:

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

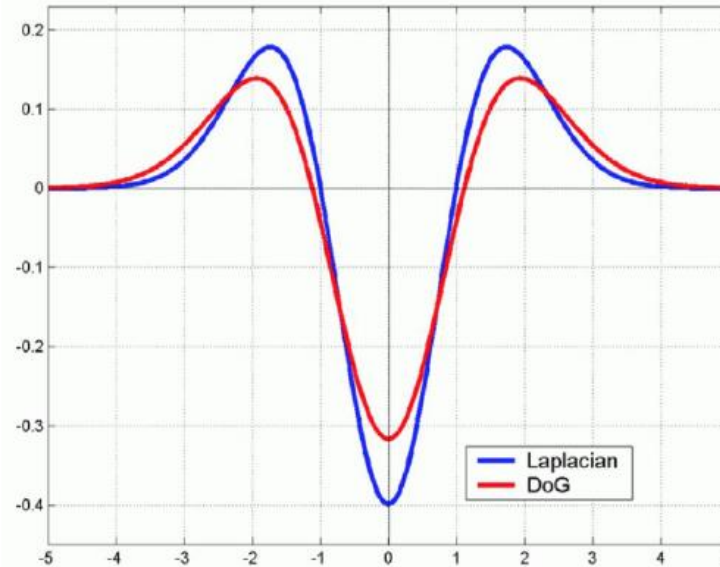
Разность Гауссиан
(приближение Лапласиана):

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

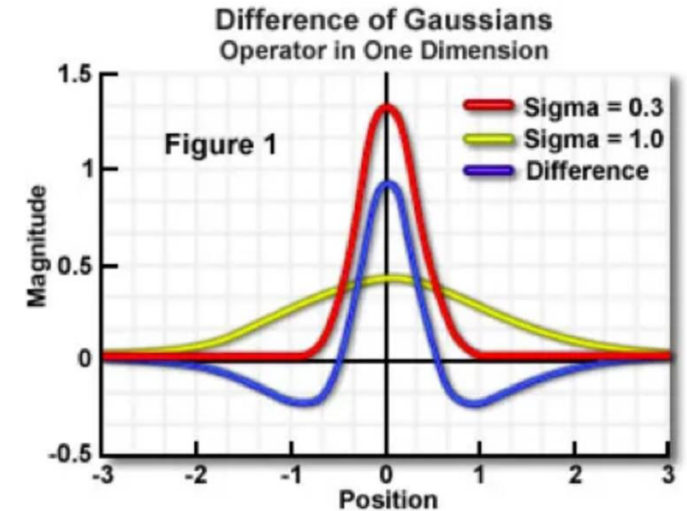
где

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

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



Оба ядра инварианты к изменению масштаба и повороту



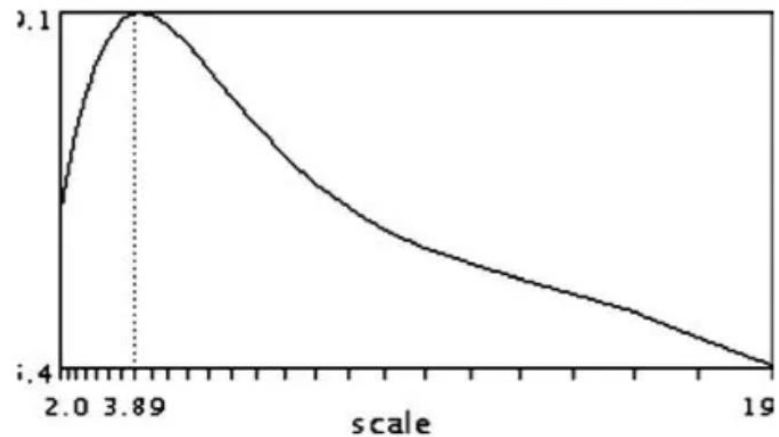
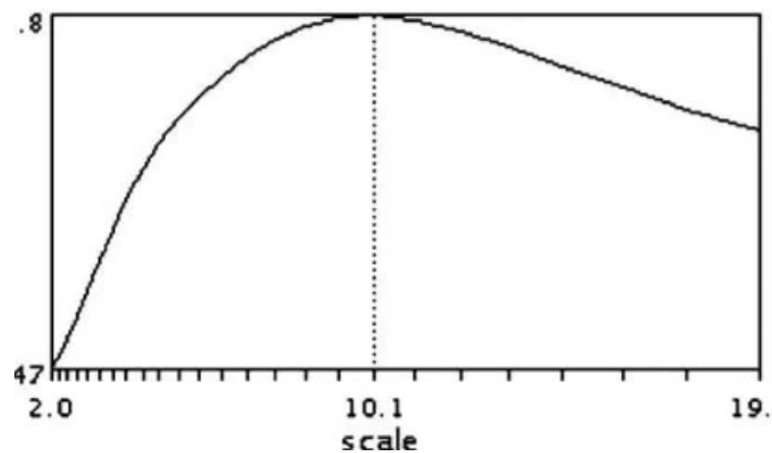
$$I(x) * \frac{d^2 G_\sigma(x)}{dx^2}$$

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

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

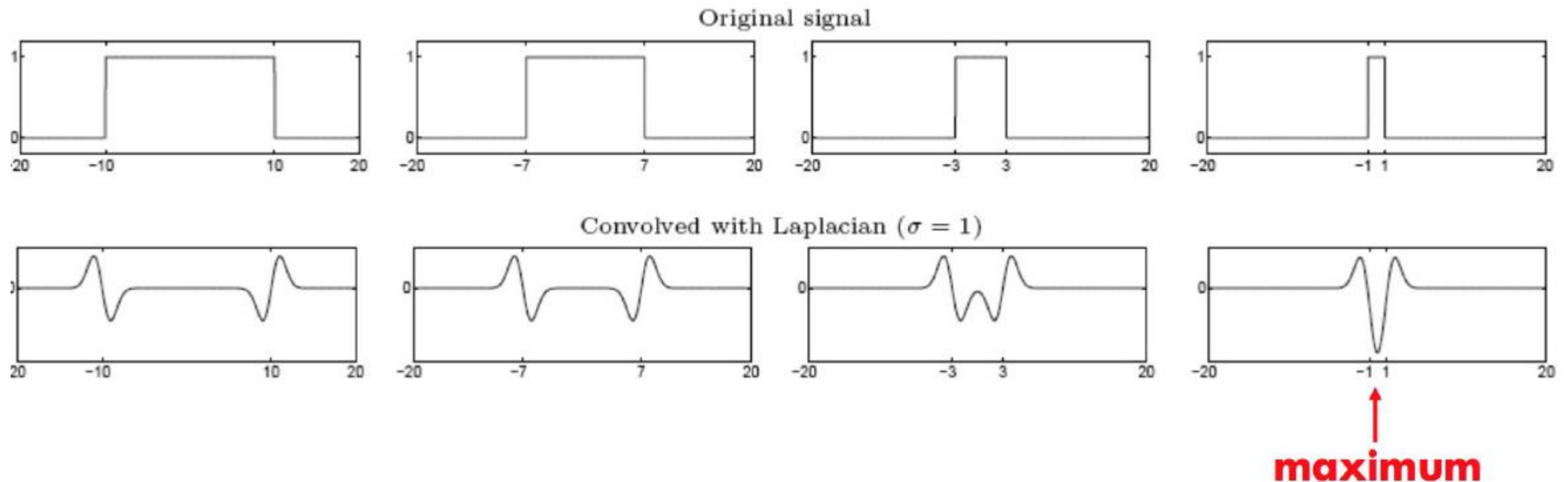
$$G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma) \approx (k - 1)\sigma^2 \nabla^2 G.$$

Ищем инвариант с масштабу

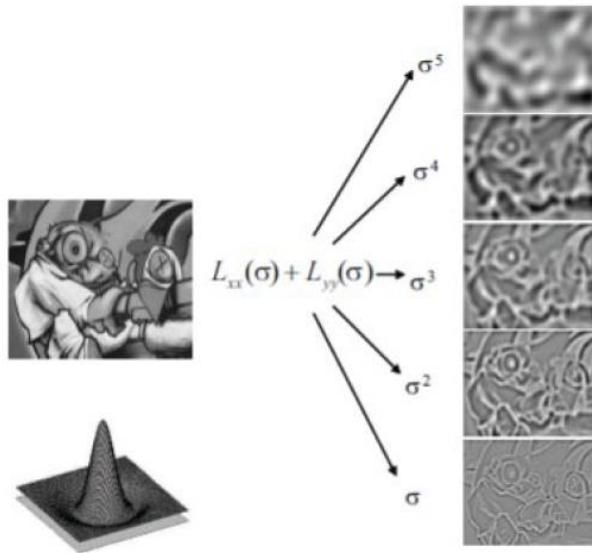


Ищем инвариант с масштабу

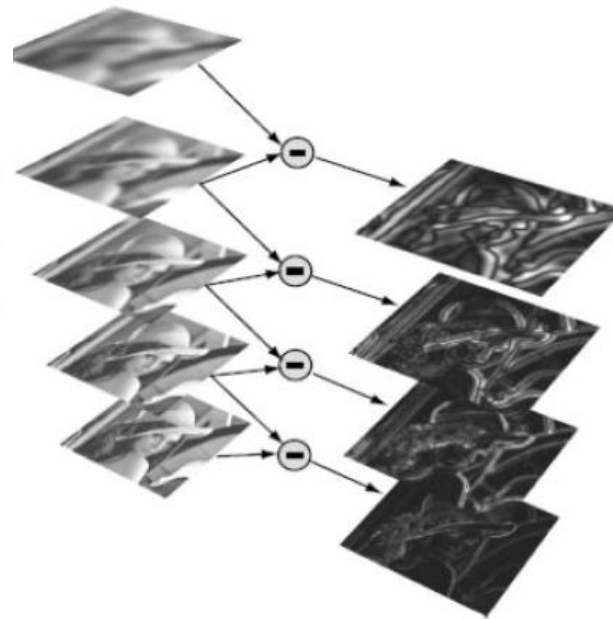
Одномерный случай для свертки сигнала с лапласианом:



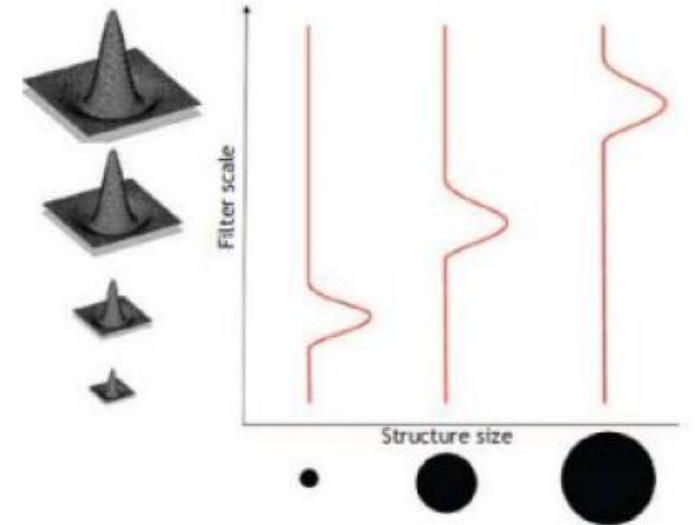
Ищем инвариант с масштабу



Пирамида Лапласа

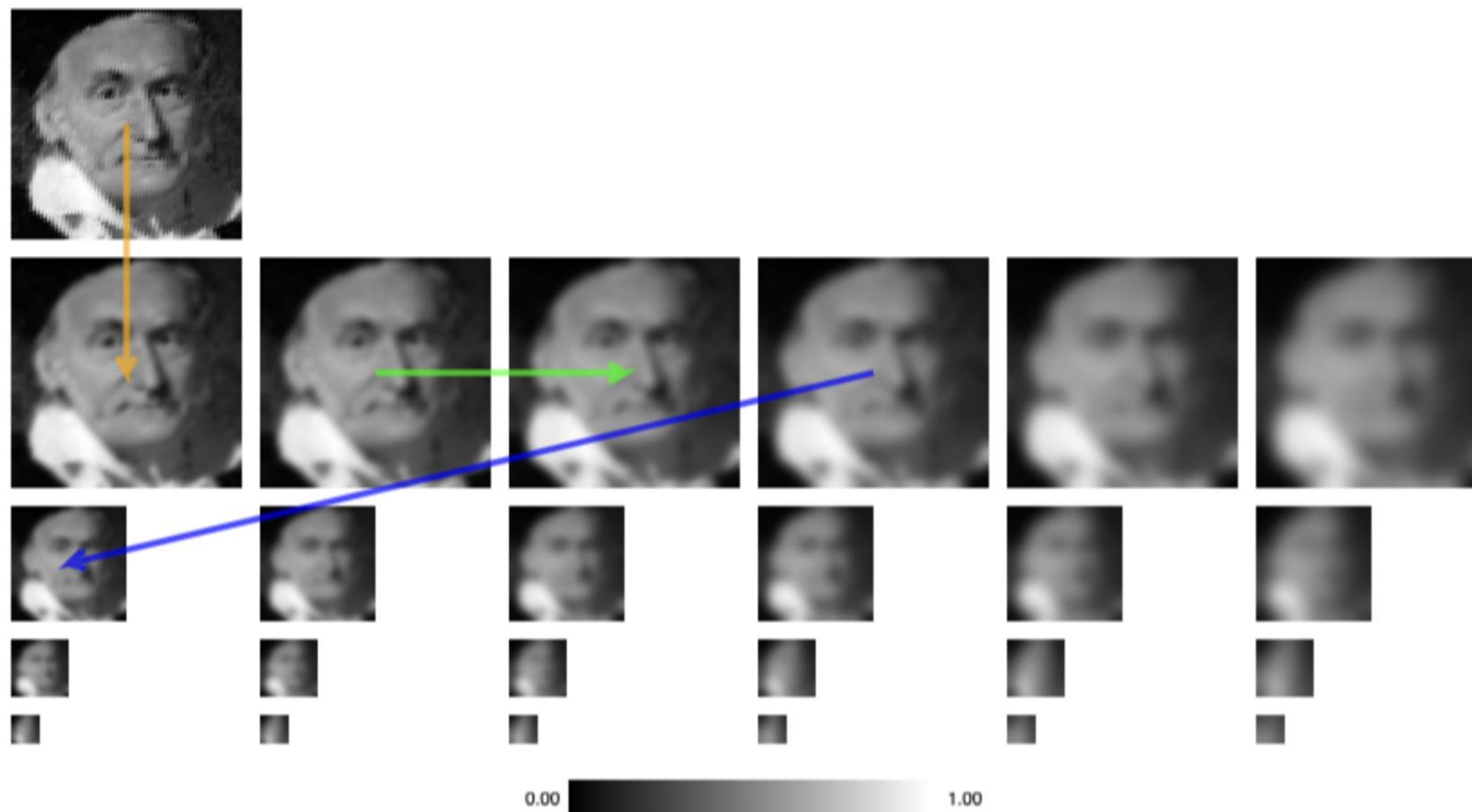


Пирамида Гаусса



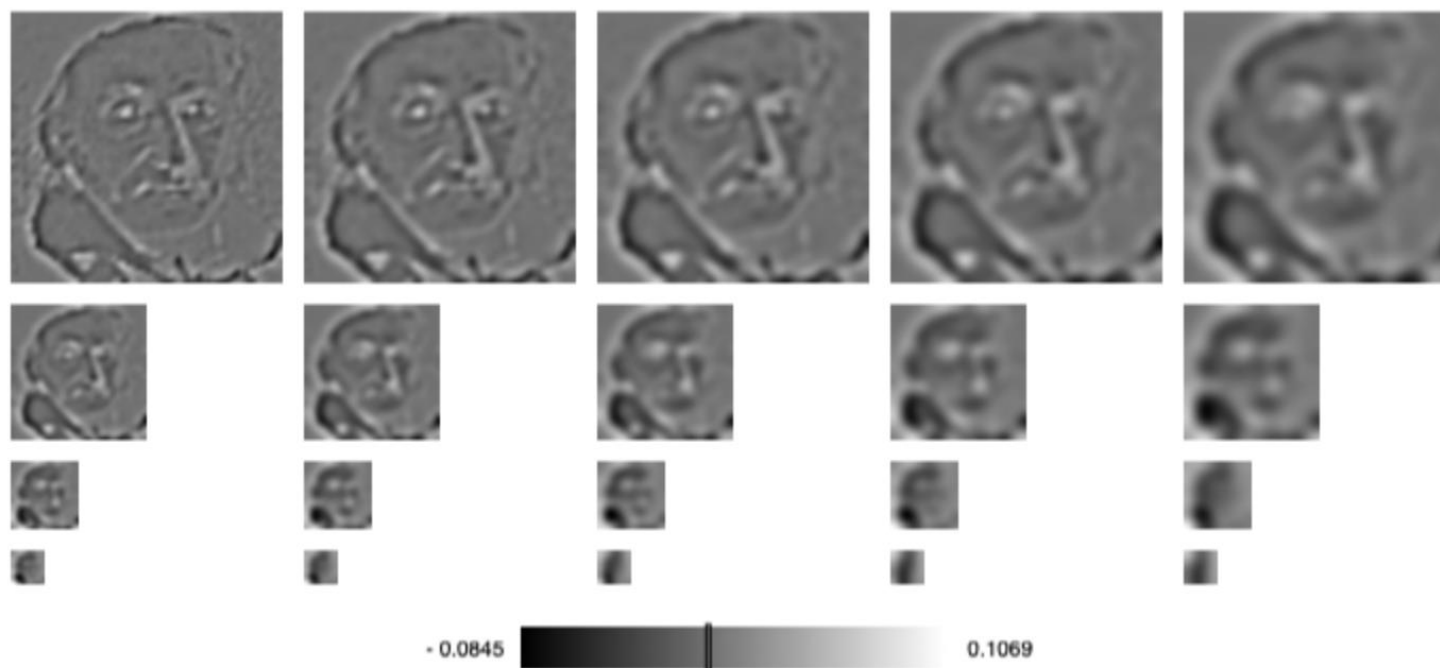
Интерпретация
вариации сигмы

Ищем инвариант с масштабу



Интерпретация
вариации сигмы

Ищем инвариант с масштабу

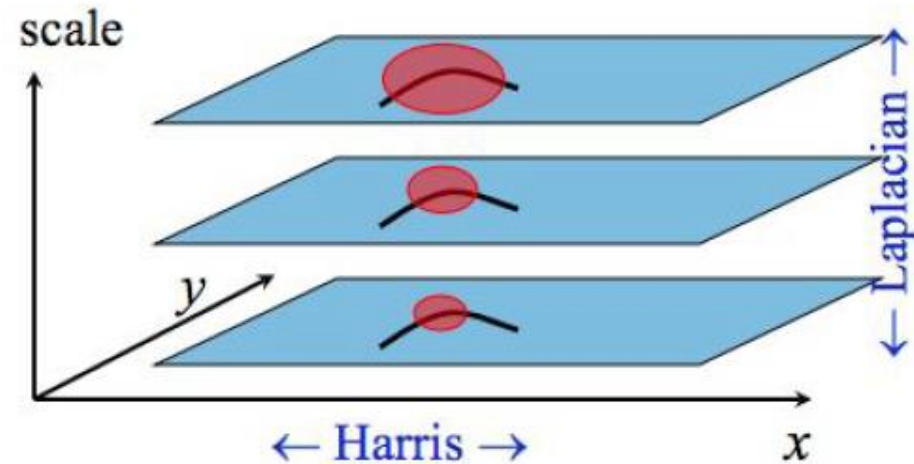


Пирамида Гаусса

Ищем инвариант с масштабу

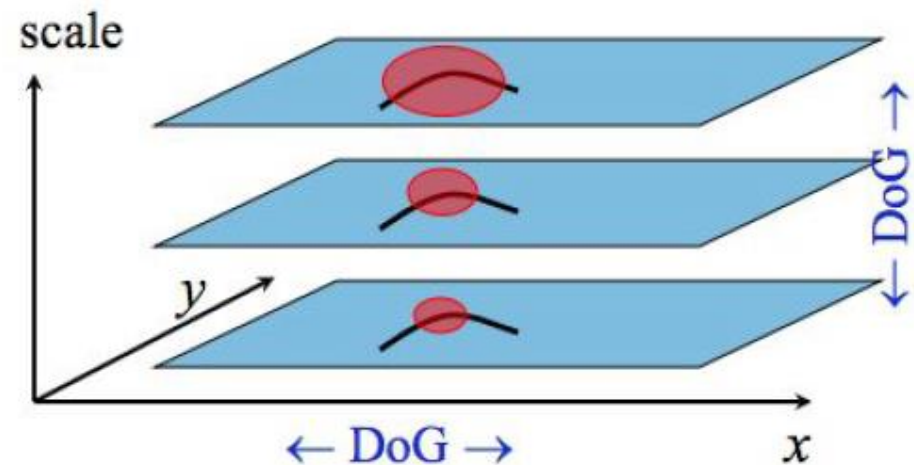
Harris-Laplacian:

- Применяем детектор Харриса
- Поиск локальных максимумов от Лапласиана в пространстве scale



Scale-invariant feature transform (SIFT):

- Поиск локальных максимумов от DoG в пространстве scale



Локализация точек

$$D(x, y, \sigma) = L(x, y, k_i \sigma) - L(x, y, k_j \sigma),$$

$$D(\mathbf{z}_0 + \mathbf{z}) \approx D(\mathbf{z}_0) + \left(\frac{\partial D}{\partial \mathbf{z}} \Big|_{\mathbf{z}_0} \right)^T \mathbf{z} + \frac{1}{2} \mathbf{z}^T \left(\frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{z}^2} \Big|_{\mathbf{z}_0} \right) \mathbf{z}$$

$$\hat{\mathbf{z}} = - \left(\frac{\partial^2 D}{\partial \mathbf{z}^2} \Big|_{\mathbf{z}_0} \right) \left(\frac{\partial D}{\partial \mathbf{z}} \Big|_{\mathbf{z}_0} \right)$$

$$D(\hat{x}, \hat{y}, \hat{\sigma}) = D(\mathbf{z}_0 + \hat{\mathbf{z}}) \approx D(\mathbf{z}_0) + \left(\frac{\partial D}{\partial \mathbf{z}} \Big|_{\mathbf{z}_0} \right)^T \hat{\mathbf{z}}$$

- Reject flats:

$$\square \quad |D(\hat{\mathbf{x}})| < 0.03$$

- Reject edges:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{bmatrix}$$

Let α be the eigenvalue with larger magnitude and β the smaller.

$$\text{Tr}(\mathbf{H}) = D_{xx} + D_{yy} = \alpha + \beta,$$

$$\text{Det}(\mathbf{H}) = D_{xx}D_{yy} - (D_{xy})^2 = \alpha\beta.$$

Let $r = \alpha/\beta$.
So $\alpha = r\beta$

$$\frac{\text{Tr}(\mathbf{H})^2}{\text{Det}(\mathbf{H})} = \frac{(\alpha + \beta)^2}{\alpha\beta} = \frac{(r\beta + \beta)^2}{r\beta^2} = \frac{(r + 1)^2}{r},$$

$$\square \quad r < 10$$

$(r+1)^2/r$ is at a min when the 2 eigenvalues are equal.

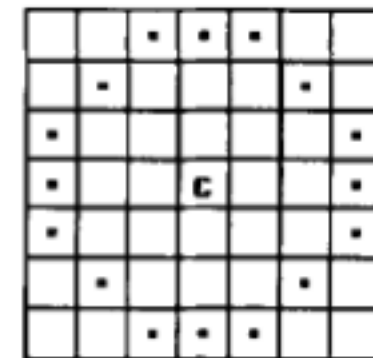
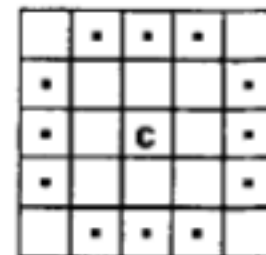
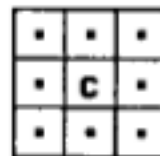
Детектор Trajkovic

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

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

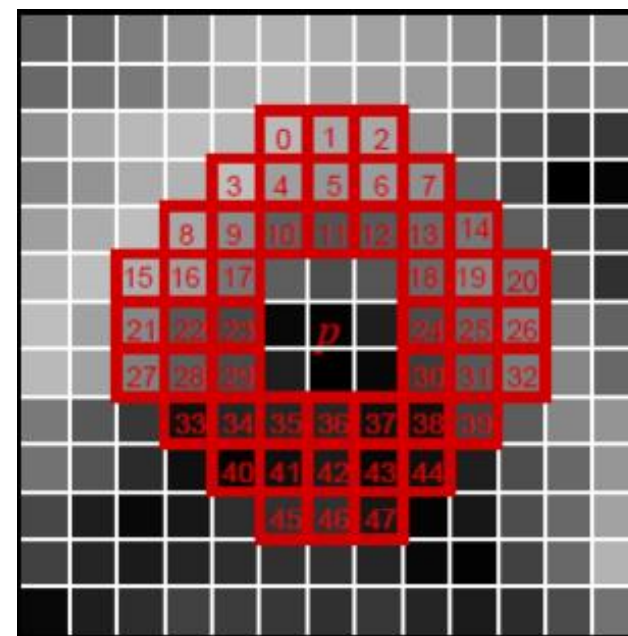
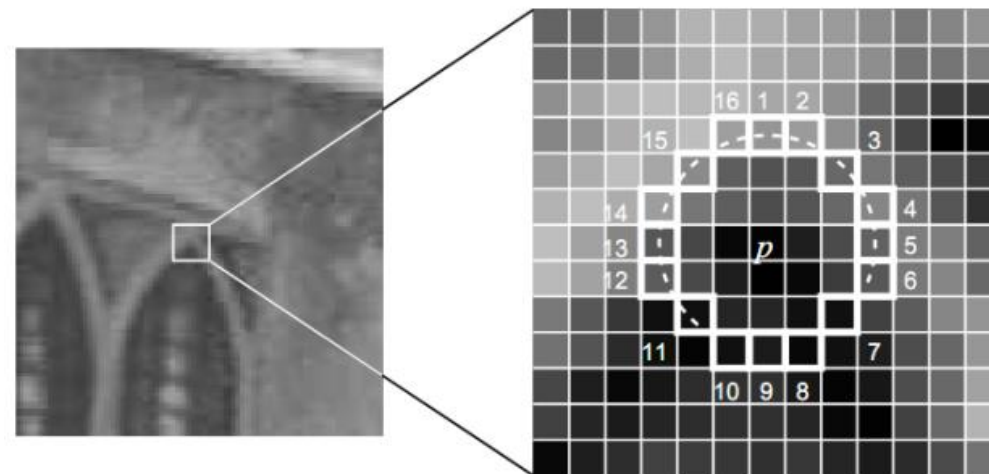
1. Точка является угловой, если для текущей рассматриваемой точки P существуют N смежных пикселей на окружности, интенсивности которых больше $I_P + t$ или интенсивности всех меньше $I_P - t$, где I_P – интенсивность точки P , t – пороговая величина.
2. Интенсивность в вертикальных и горизонтальных точках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

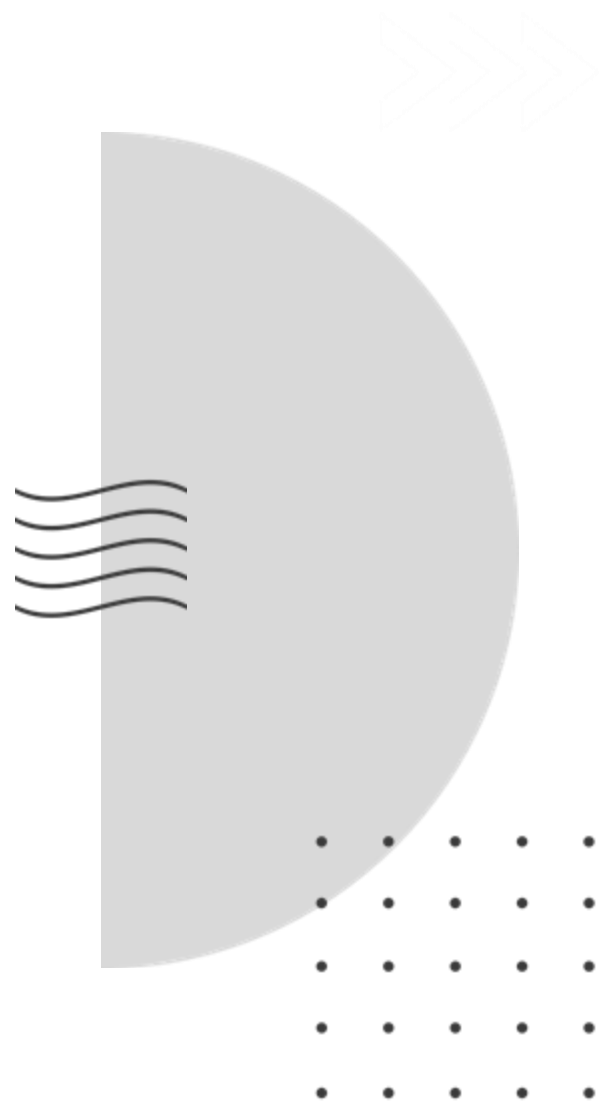
$$cost = (k_R + R^{-2})(k_N + N^{-2})(k_S + S^{-2})$$

R – мера повторяемости;

N – количество обнаруженных особых точек;

S – количество узлов в дереве решений.





Место для ваших
вопросов