



ІІТМО

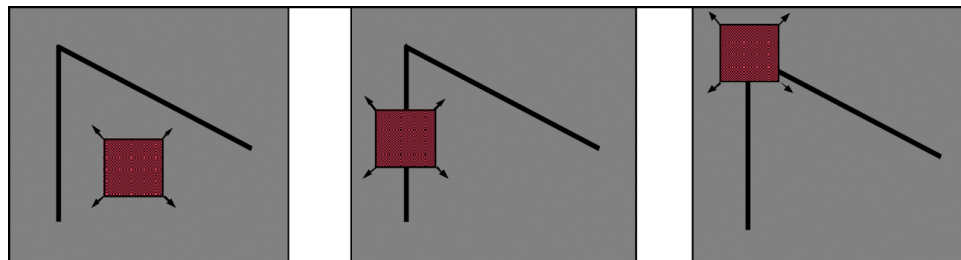
Характеристические точки

Техническое зрение

Характеристические особенности

- **Парадигма Марра:** «иконическое представление» -> «символическое представление».
- **Этапы обработки изображений:**
 - Предобработка изображения;
 - Первичная сегментация изображения;
 - Выделение геометрической структуры;
 - Определение относительной структуры и семантики сцены.
- **Примеры характерных черт:** «точка», «пятно», «прямая линия», «угол».

Основные характерные черты



1. **Положение:** концы отрезка, центр отрезка, вершины многоугольников.
2. **Геометрические:** ориентация, длина, кривизна, площадь, периметр, ширина линий и др.
3. **Радиометрические:** контраст, статистика распределения яркости, знак и величина края и др.
4. **Текстурные:** матрица смежности, показатель однородности, энтропия, статистика градиентов текстуры и др.
5. **Топологические:** связность, соседство, общие точки, пересечение, параллельность, перекрытие, включение.
6. **Цветовые / многозональные:** вектор атрибутов для каждого канала.
7. **Динамические:** атрибуты динамических объектов.
8. **Временные:** функции изменения атрибутов во времени.

1. **Присутствие / плотность**: наличие характерных черт, достаточная их плотность покрытия.
2. **Редкость / уникальность**: редкость характерной черты на изображении, уникальность характерной черты в окрестности.
3. **Инвариантность / устойчивость**: робастность по отношению к искажениям, нечувствительность к шуму.
4. **Локализация**: возможность точной локализации.
5. **Интерпретация**: возможность быстрого распознавания.
6. **Скорость**: время выделения характерных черт из изображения.

Качество определения характерных черт **ІТМО**

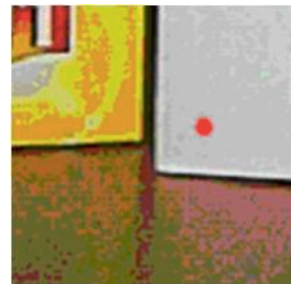
Критерии характерных черт	Качество		
	лучше	→	хуже
Присутствие, плотность	точки	линии	области
Редкость, уникальность	области	линии	точки
Инвариантность	точки	линии	области
Устойчивость к шуму	области	линии	точки
Локализация	точки, особенно углы и центры	линии	области
Интерпретация	соединения, замкнутые контуры и области	концевые точки отрезков, открытые контуры и области	особые точки
Скорость	точки	линии	области
Влияние разрывов	точки	линии	области
Влияние загораживания	области	линии	точки

Характерная точка

- **Локальная (особая) точка** p изображения I – это точка с характерной (особой) окрестностью, т.е. отличающаяся от всех других точек в некоторой окрестности.



Особая точка



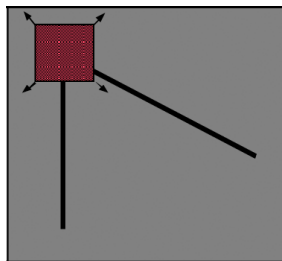
Неособая точка



Пример выделения особых точек

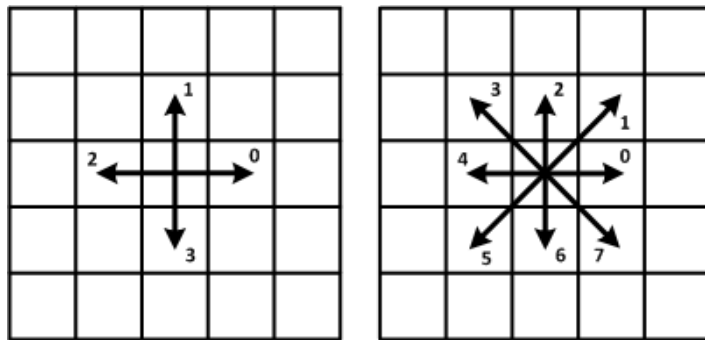
Детекторы углов

- Углы хорошо повторимы и различимы.
- Главное свойство угла – в области вокруг него у градиента изображения два доминирующих направления.



Детектор Моравеца

- **Идея:** измерять изменение интенсивности пикселя $I(x, y)$ сдвигом квадратного окна с центром в (x, y) на один пиксель в каждом из восьми принципиальных направлений:
 - 2 горизонтальных, 2 вертикальных и 4 диагональных.
- **Размер окна:** 3×3 , 5×5 или 9×9 пикселей.



1. Для каждого направления смещения (u, v) вычисляется изменение интенсивности:

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

2. Строится карта вероятности нахождения углов в каждом пикселе посредством вычисления оценочной функции $C(x, y) = \min\{E_{u,v}(x, y)\}$.
3. Отсекаются пиксели в которых значения оценочной функции ниже порогового значения.
4. Удаляются повторяющиеся углы с помощью подавления немаксимумов. Все полученные ненулевые элементы карты соответствуют углам на изображении.

Модифицированный сигма-фильтр

$$h(x, y) = H * f(x, y),$$

где $f(x, y)$ – исходное изображение,

H – оператор выделения признака,

$*$ – операция применения оператора.

- Для каждого пикселя (x, y) рассматривается маска R , размером $N \times N$:

$$m = \frac{1}{N^2} \sum_R h(x, y),$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N^2} \sum_R h^2(x, y) - m^2.$$

- Точка (x, y) **считается особой**, если $h(x, y)$ **не попадает** в интервал, образованный значениями m и σ :

$$m - \alpha\sigma > h(x, y) > m + \alpha\sigma,$$

где α – параметр, определяющий коридор,

m – среднее, σ – СКО значений признака $h(x, y)$

Адаптивный радиус

- Недостаток алгоритмов: концентрация точек в текстурированных областях.



Поиск точек без адаптивного радиуса, слева – 250 точек, справа – 500

Алгоритм адаптивного радиуса

Принцип: для каждой найденной особой точки отбрасываются все соседи в окрестности и проверяется, хватает ли результирующего набора. Точки рассматриваются в порядке убывания качества.

Алгоритм:

- Пройти по всем точкам в порядке качества.
- Для каждой точки отбросить из списка всех соседей в окрестности радиуса r .
- Подсчитать количество оставшихся точек.
- Выбрать такой радиус r , при котором получим нужное количество точек.

Адаптивный радиус



Детектор Харриса

- Пусть вариация яркости изображения в зависимости от сдвига (u, v) оценивается в соответствии формулой:

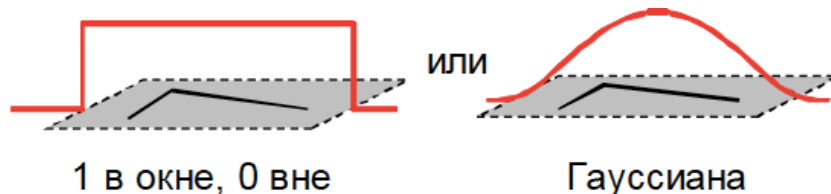
$$E(u, v) = \sum w(x, y) (I(x + u, y + v) - I(x, y))^2,$$

где $I(x, y)$ – яркость в точке (x, y) ,

$w(x, y)$ – функция окна,

$I(x + u, y + v)$ – сдвиг яркости.

- Функция окна $w(x, y)$ может задаваться в дискретном виде или в виде функции Гаусса:



- Раскладывая разность яркостей в квадрате в ряд Тейлора второго порядка в точке (x, y) (билинейная интерполяция) для небольших сдвигов получим следующее приближение:

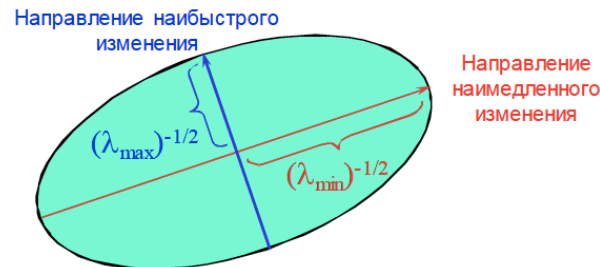
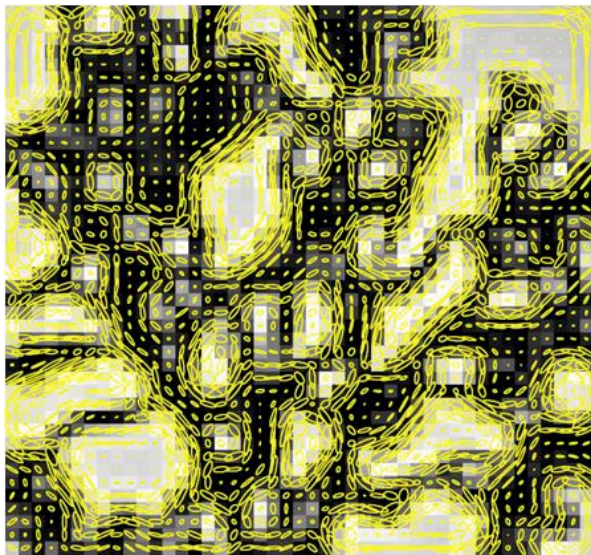
$$E(u, v) \approx [u \quad v] \mathbf{M} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix},$$

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

где \mathbf{M} – матрица, состоящая из взвешенных значений производной функции интенсивности.

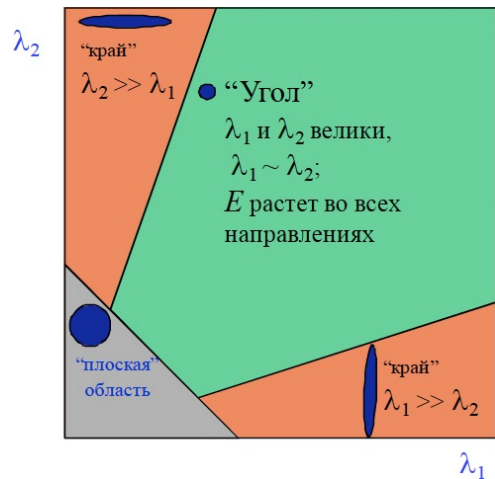
Детектор Харриса

- В геометрической интерпретации матрица \mathbf{M} представляет *эллипсоид* у которого длины осей определены **собственными значениями**, а ориентация определена ортогональной **матрицей собственных векторов**.



Детектор Харриса

- Если одно из собственных значений **существенно больше другого**, то в таком случае мы имеем дело с **краем**.
- Если оба собственных значения **малы**, то мы имеем «**плоскую**» равномерно яркую область.
- Если оба собственных значения **велики и сравнимы друг с другом**, что означает наличие в центре окна **угловой точки**.



Детектор Харриса

- Харрисом была введена мера интенсивности угла:

$$\mathbf{R} = \det \mathbf{M} - k(\text{tr} \mathbf{M})^2,$$

где $\det \mathbf{M} = \lambda_1 \lambda_2$;

$\text{tr} \mathbf{M} = \lambda_1 + \lambda_2$;

k – эмпирически подбираемый параметр со значениями порядка 0,04–0,06.

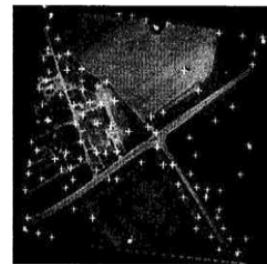
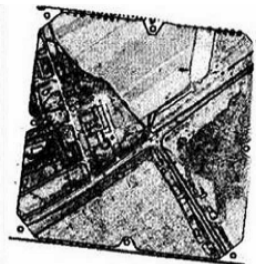
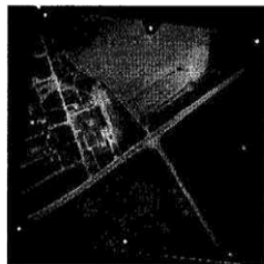
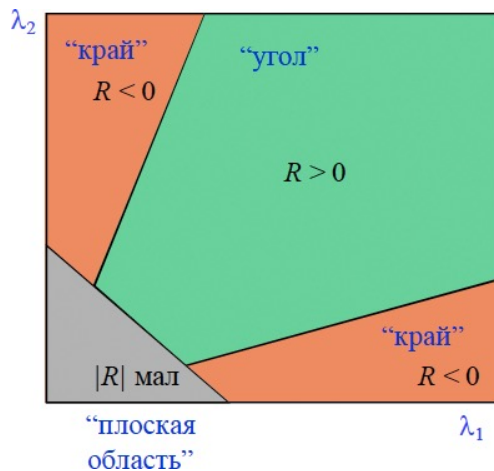
- при $\mathbf{R} > 0$ – «угол»,
- при $\mathbf{R} < 0$ – «край»,
- при $\mathbf{R} = 0$ – «плоская» область.

Алгоритм детектора Харриса

1. **Вычислить градиент** изображения в каждом пикселе.
2. **Вычислить матрицу M** по окну вокруг каждого пикселя.
3. **Вычислить отклик угла R .**
4. **Отсечь слабые углы** по порогу R .
5. **Найти локальные максимумы** функции отклика по окрестности заданного радиуса.
6. **Выбрать N самых сильных** локальных максимумов.

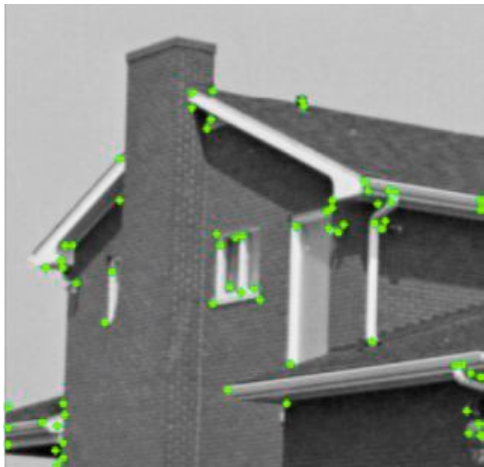
Детектор Фёрстнера

$$R = \frac{\det M}{\text{tr} M}$$

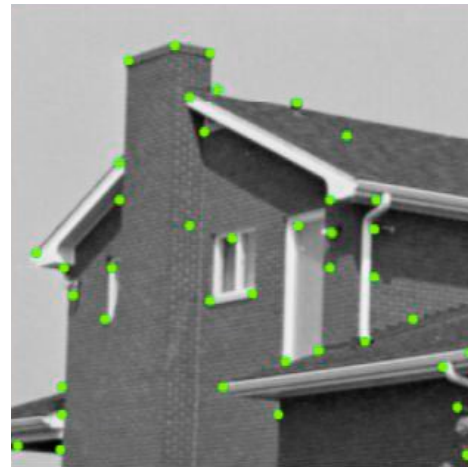


оператором Фёрстнера
(окно 15 x 15: $0.5 < R < 0.75$)

Сравнение детекторов



Детектор Харриса

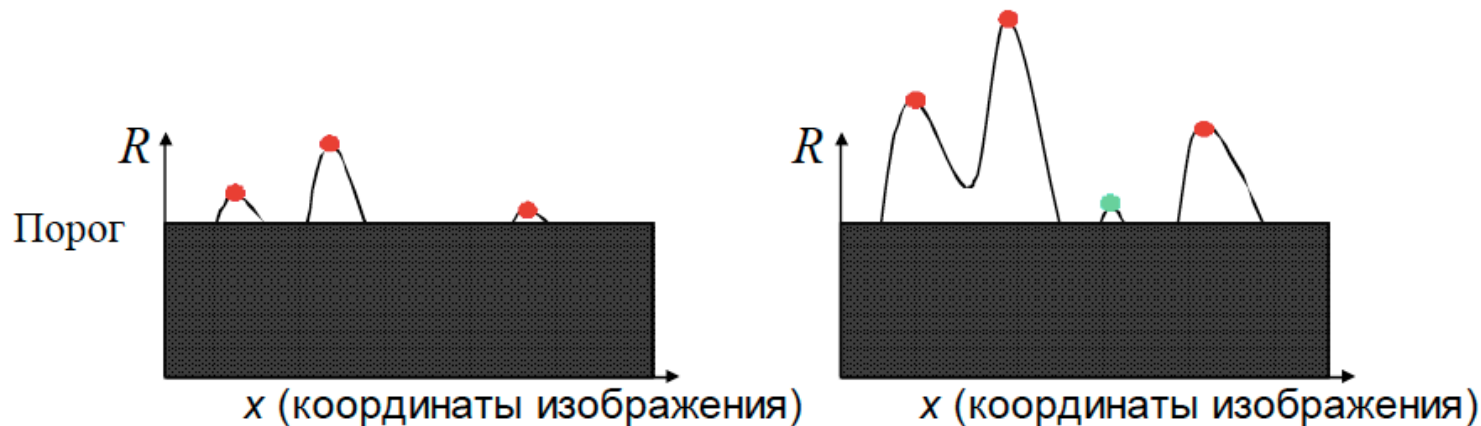


Детектор Фёрстнера

- Если применить геометрическое (аффинное) или фотометрическое (аффинное изменение яркости $I \rightarrow aI + b$) преобразование к изображению, то детектор должен найти тот же самый набор точек.

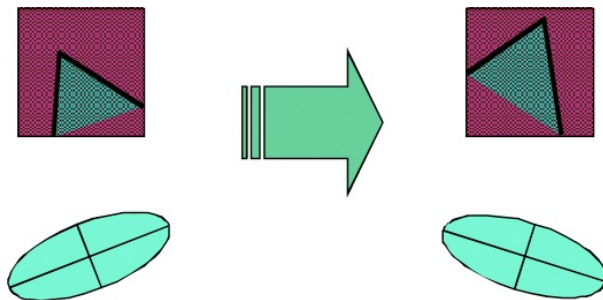
1. Инвариантность к изменению освещенности:

- Инвариантность к сдвигу освещенности ($I \rightarrow I + b$);
- К масштабированию освещенности ($I \rightarrow aI$).

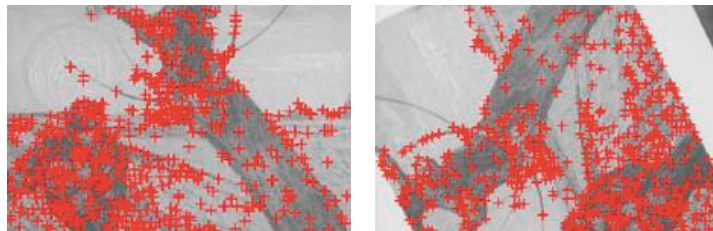


Инвариантность детекторов

2. Инвариантность к вращению:

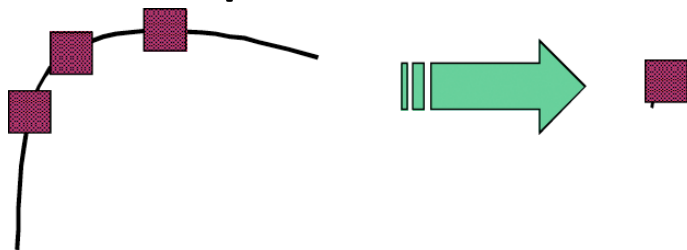


Эллипс вращается, но его форма (собственные значения) остаются неизменными.

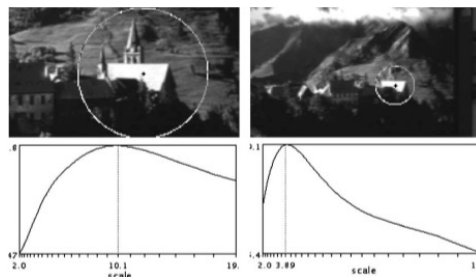


Пример работы детектора Харриса на исходном и повернутом изображениях

3. Инвариантность к масштабированию:



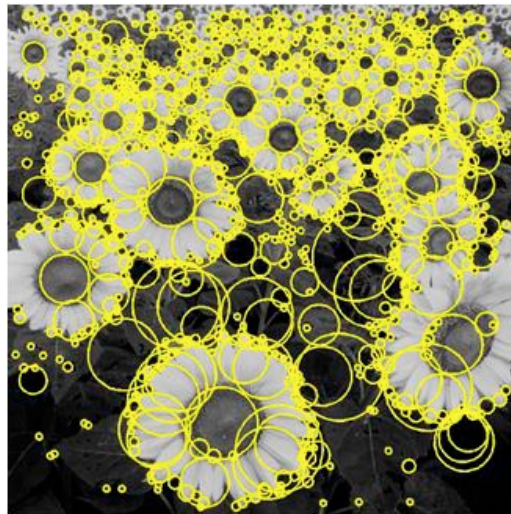
- Слева отмеченные точки будут краями, а справа – углом.
- Необходимо определить размер окрестности особой точки в масштабированных версиях одного и того же изображения.



Различный масштаб окрестностей

Детектор блобов LoG

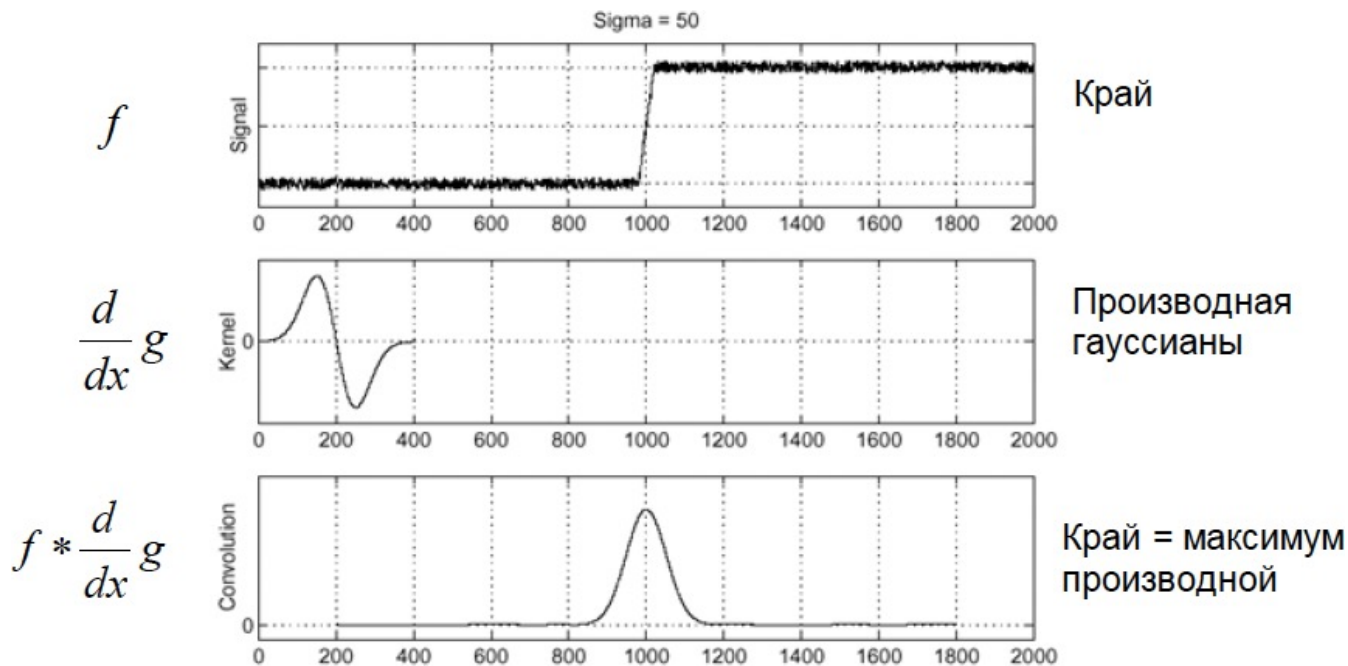
- LoG – Laplacian of Gaussian
- «Блобы» (blob) – это каплевидные окрестности, в центре которых расположены особые точки описываемые 4 параметрами:
 - координаты центра (x,y),
 - масштаб,
 - направление.



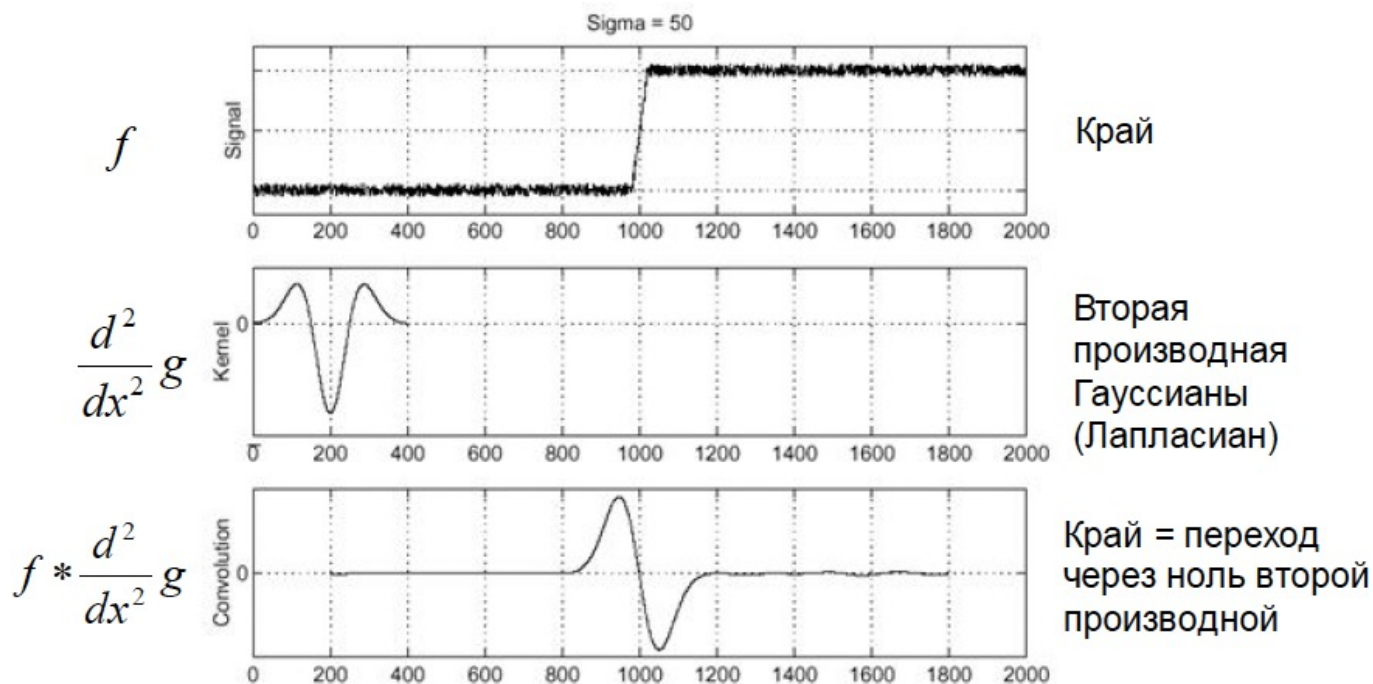
Пример выделения блобов

Детектор блоков LoG

- Гауссиана – это гауссова функция, которой размывают изображение.

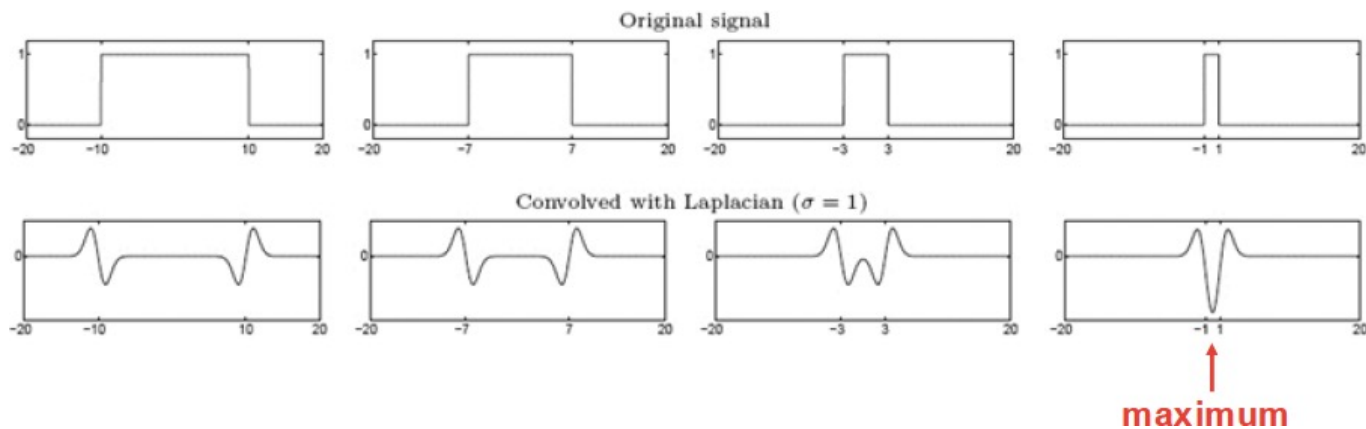


Детектор блоков LoG



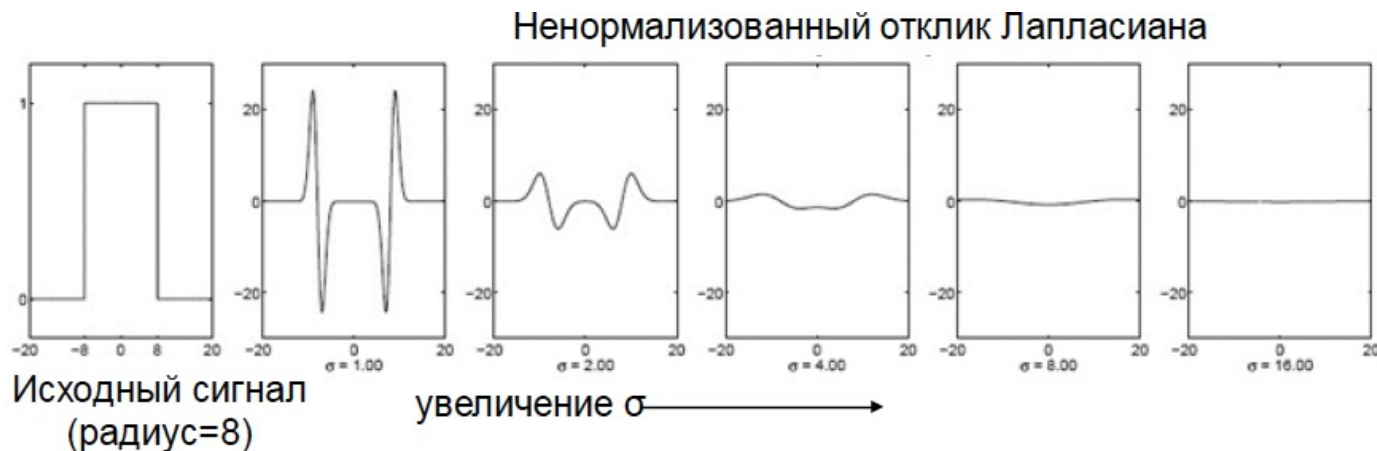
Детектор блоков LoG

- «Край» – это «всплеск» функции,
- «Блок» – это совмещение двух всплесков.
- Величина отклика лапласиана функции Гаусса достигает максимума в центре блока в том случае, если размер лапласиана «соответствует» размеру блока.



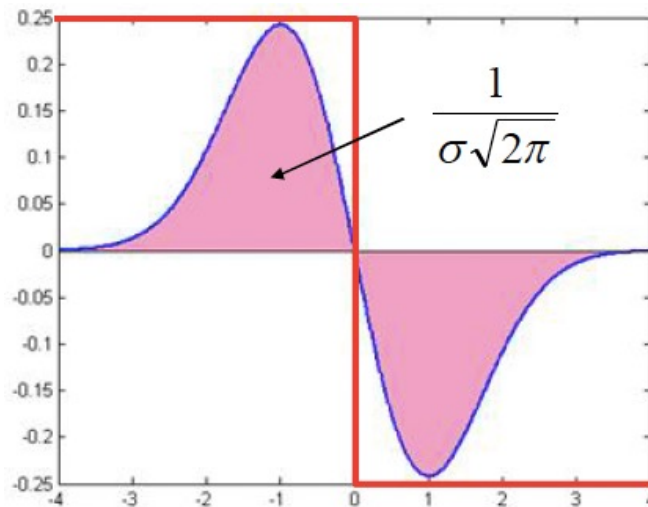
Детектор блоков LoG

- Поиск: характеристического размера блока: свертка с лапласианом в нескольких масштабах и поиск максимального отклика.
- Отклик лапласиана затухает при увеличении масштаба.

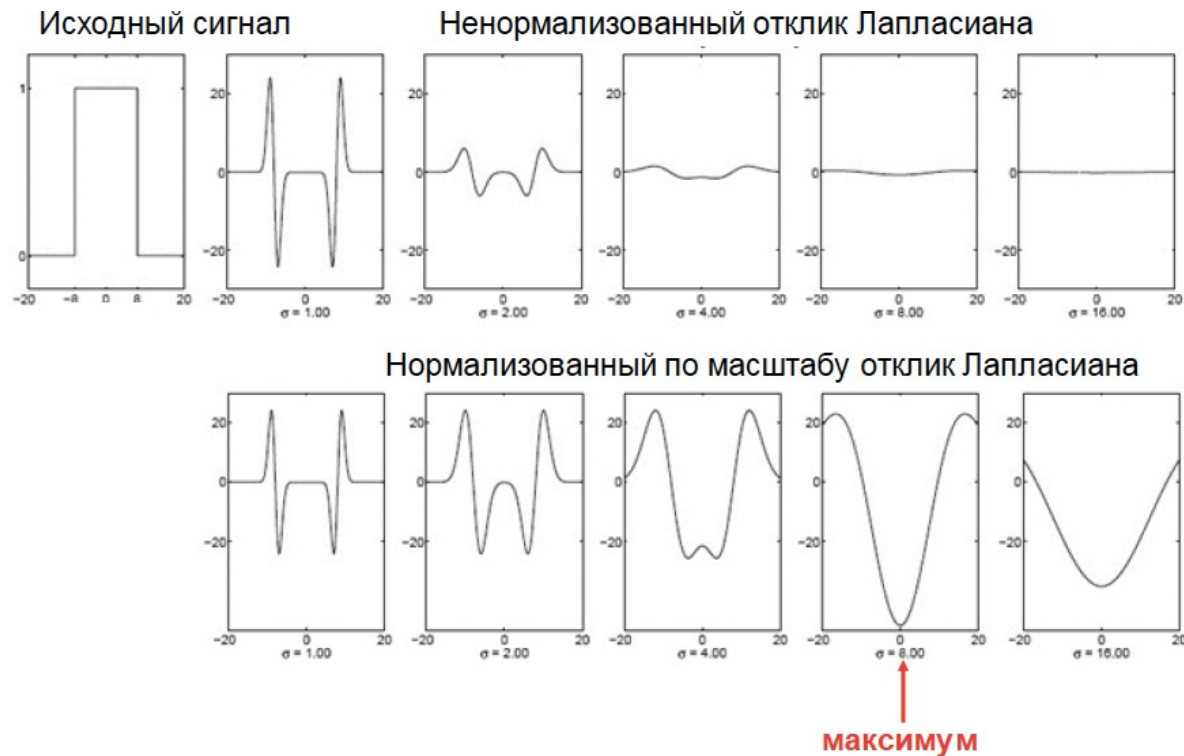


Детектор блоков LoG

- Для достижения инвариантность к масштабу необходимо домножить первую производную на σ , а лапласиан – на σ^2 .



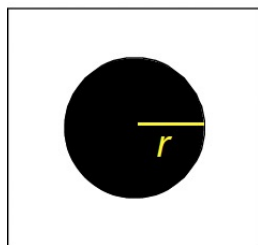
Детектор блоков LoG



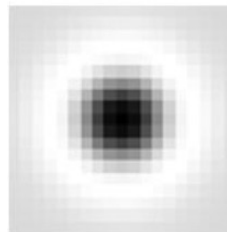
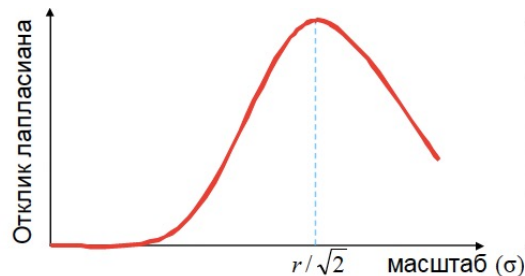
Детектор блоков LoG

$$\nabla^2 g = \sigma^2 \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right)$$
$$L = (x^2 + y^2 - 2\sigma^2) e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$

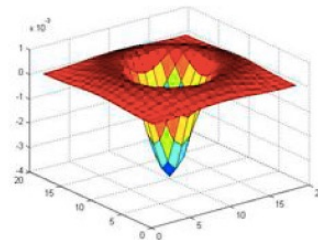
- Для круга радиуса r лапласиан достигает максимума при $\sigma = r\sqrt{2}$:



изображение

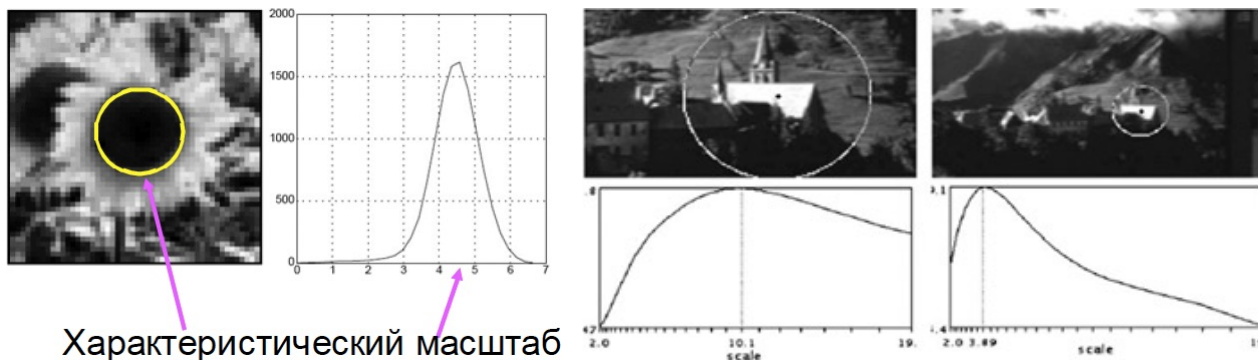


Лапласиан

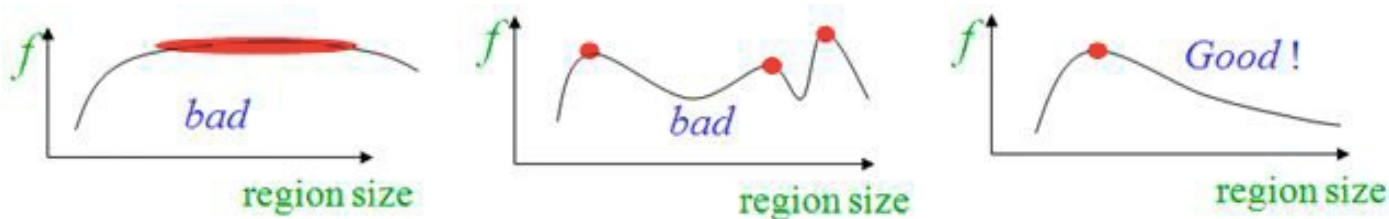


Детектор блоков LoG

- Характеристический размер определяется как масштаб, на котором достигается максимум отклика Лапласиана:

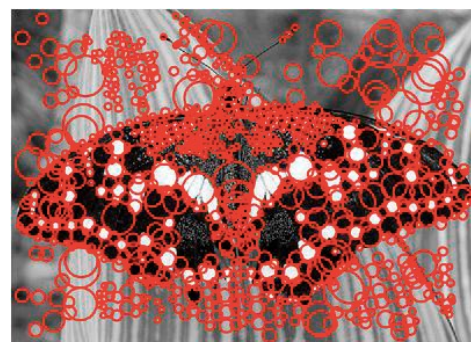
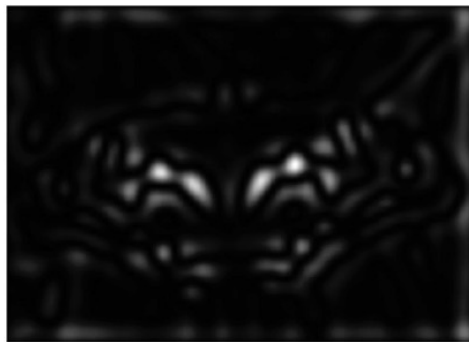
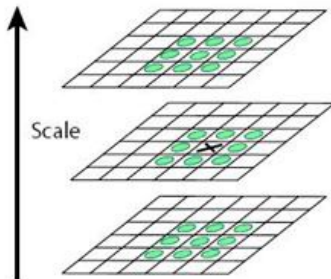


- У «хорошего блока» – один ярко выраженный пик функции:



Детектор блоков LoG

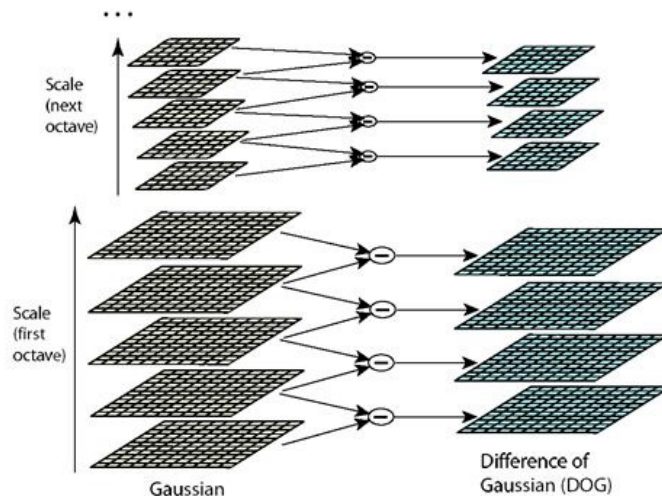
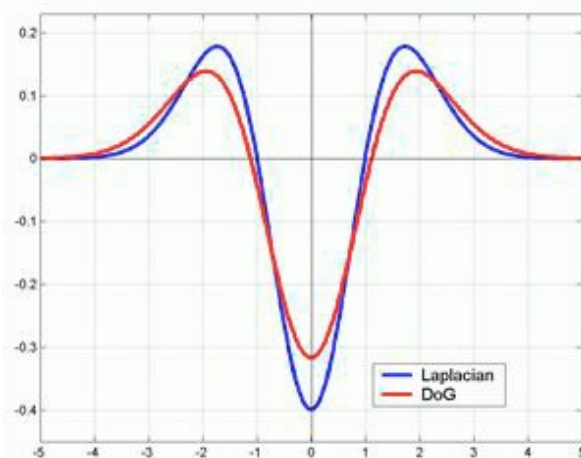
- Многомасштабный детектор блоков: свертка размытого изображения с помощью нормализованного фильтра Лапласа в нескольких масштабах и выбор масштаба с максимальным откликом лапласиана.



Детектор блоков DoG

- DoG – Difference of Gaussian
- Способ приближенного вычисления Лапласиана гауссианы: поиск разницы двух гауссиан с различным масштабом:

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

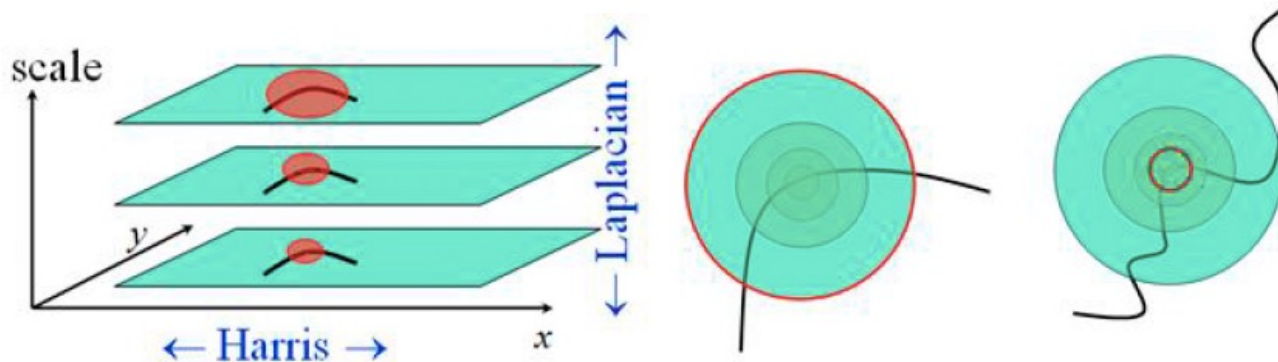


Детектор блобов DoG



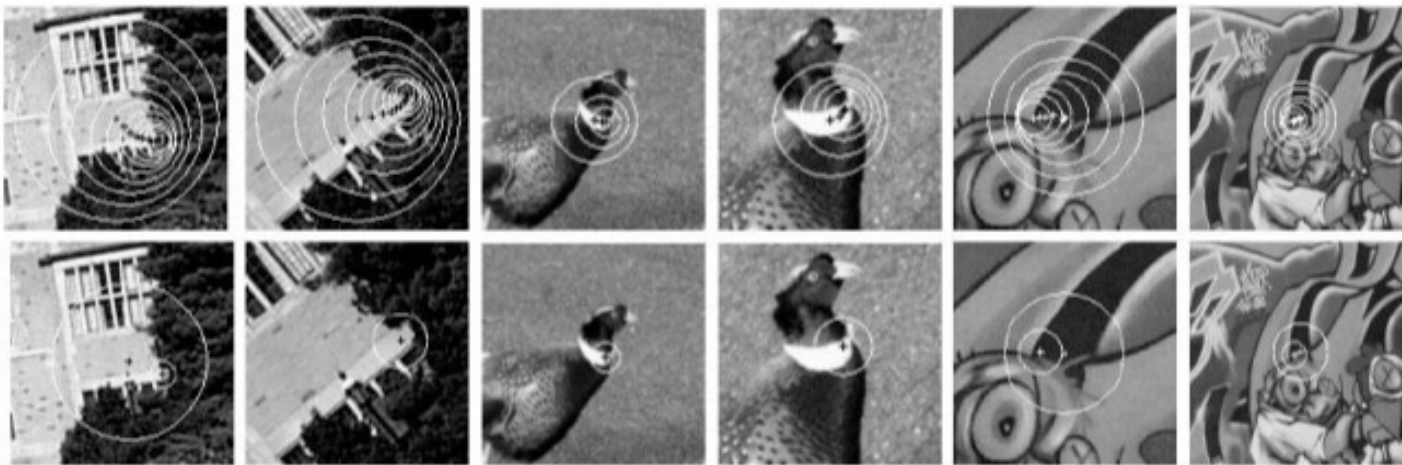
Детектор Харриса-Лапласа

- Выделение углов на изображении с учетом характеристического размера: ищутся точки максимизирующие отклик угла Харриса по изображению и отклик Лапласиана по масштабу.



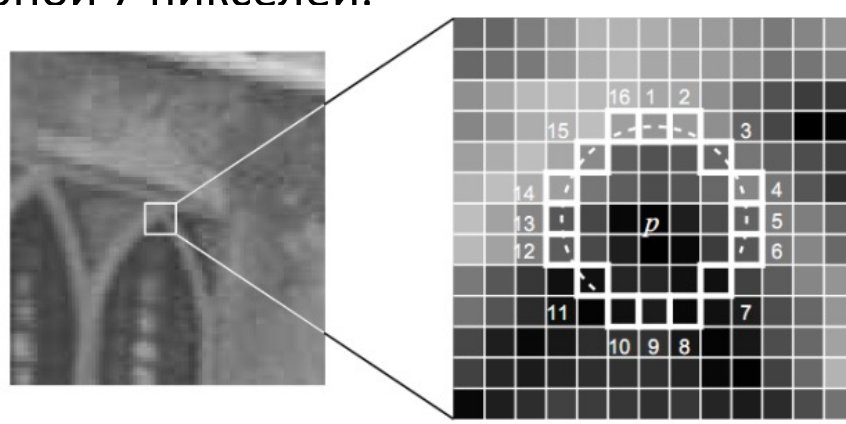
Детектор Харриса-Лапласа

- Harris-Laplace



Детектор FAST

- FAST – Features from Accelerated Test (характерные точки на основе ускоренного тестирования).
- В детекторе для каждого пикселя P изображения рассматривается окружность из 16 пикселей с центром в этой точке, которая вписана в квадрат со стороной 7 пикселей.



Рабочая окрестность пикселя
при использовании FAST детектора

Детектор FAST

- Каждый окрестный пиксель $x \in \{1, 2, \dots, 16\}$ относительно центрального P может находиться в одном из трех состояний:

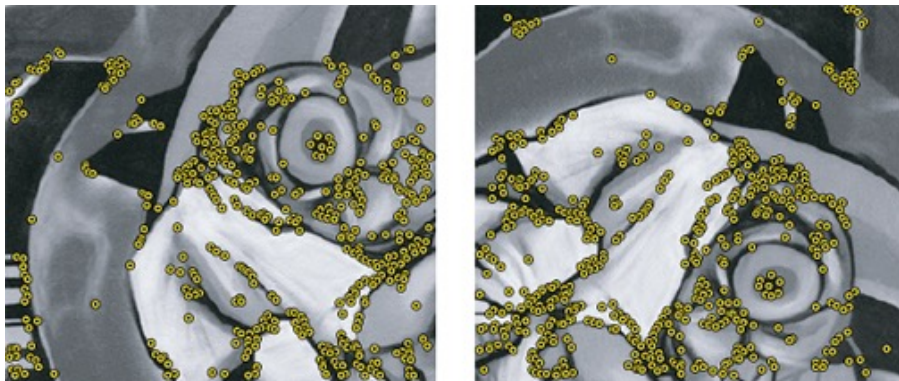
$$S = \begin{cases} d, I_x \leq I_p - t \text{ (темнее)} \\ s, I_p - t < I_x < I_p + t \text{ (похожий)} \\ b, I_p + t \leq I_x \text{ (светлее)} \end{cases}$$

где t – пороговая величина,

I_p – интенсивность точки P .

- Точка является угловой, если для нее существуют N смежных пикселей на окружности, интенсивности которых удовлетворяют условию состояний d или b .
- Необходимо сравнить интенсивность в вертикальных и горизонтальных точках на окружности под номерами 1, 5, 9 и 13 с интенсивностью в точке I_p . Если для **трех** из этих точек выполнится условие состояния s , то проводится полный тест для всех 16 точек.
- Наименьшее значение N , при котором особые точки начинают стабильно обнаруживаться, равно 9.

Детектор FAST



Пример работы детектора FAST

Вопросы?

ITMO *re than a*
UNIVERSITY

s.shavetov@itmo.ru