

КОМП'ЮТЕРНИЙ СИНТЕЗ та ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ

2021 / 2022 навчальний рік

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ

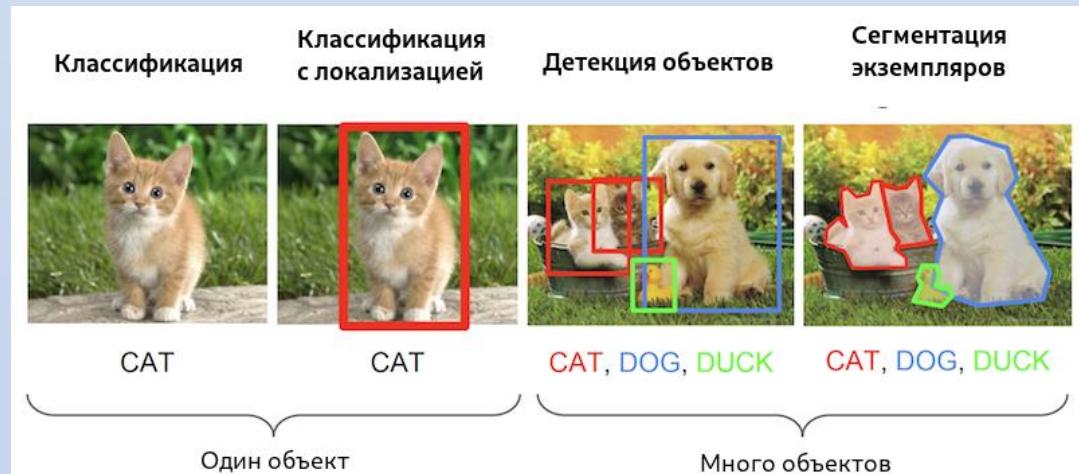
1. Детектор углов Харриса (Harris corner detector)
2. Детектор углов FAST

ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

Задача выделения (нахождения, детектирования) объектов на изображении — определение наличия или отсутствия объекта определённого домена (вида) на изображении, нахождение границ этого объекта в системе координат пикселей исходного изображения.

В зависимости от алгоритма, объект может характеризоваться

- координатами ограничивающей рамки,
- ключевыми точками (точками интереса),
- контуром объекта.



ДЕТЕКТОРЫ

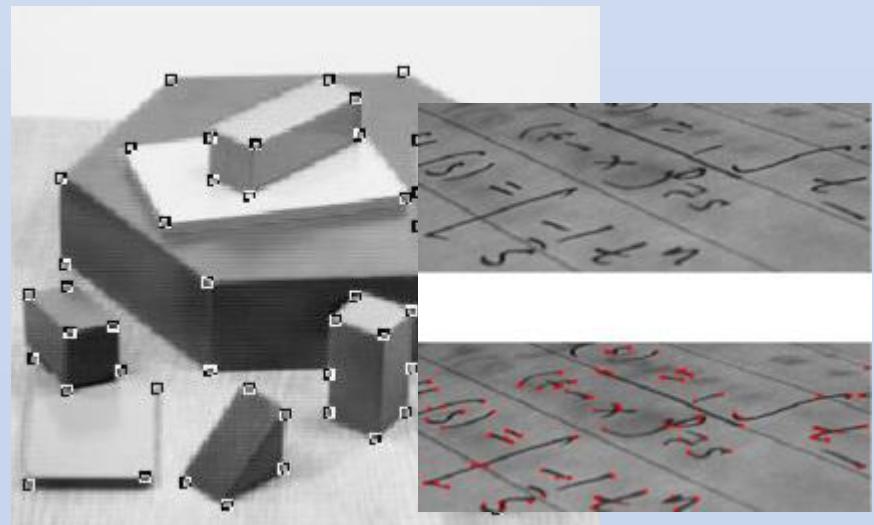
Ключевая точка, особая точка, точечная особенность, точка интереса → point feature, key point, feature :

такая точка m изображения I , окрестность которой $O(m)$ можно отличить от окрестности $O(n)$ любой другой точки n из другой (большой) окрестности $O_2(m)$ той же точки m .

Типично в качестве окрестности $O(m)$ берется прямоугольное окно 5x5 пикселей.

Детектор – метод извлечения ключевых точек. Важно – обеспечивает определение одних и тех же точек при преобразовании изображения.

Каждая ключевая точка должна быть идентифицирована (описана) некоторым дескриптором.



ДЕТЕКТОРЫ

Свойства ключевых точек:

- **Отличимость** (*distinctness*) – должна явно выделяться на фоне и быть уникальной (отличимой) в своей окрестности.
- **Инвариантность** (*invariance*) – определение ключевой точки не должно зависеть от аффинных преобразований изображения.
- **Стабильность** (*stability*) - ключевая точка должна быть устойчива к шумам и ошибкам.
- **Уникальность** (*uniqueness*) – ключевая точка должна обладать глобальной уникальностью для улучшения различимости повторяющихся паттернов.
- **Интерпретируемость** (*interpretability*) – ключевые точки должны определяться так, чтобы их можно было использовать для анализа соответствий и выявления интерпретируемой информации из изображения.

ДЕТЕКТОРЫ

Типы ключевых точек:

- **Углы** (*corners*) – точки, которые формируются из двух или более граней. Границы обычно определяют границу между различными объектами и / или частями одного и того же объекта.
- **Края** (*ridges, edges*) – множество точек на изображении, которые имеют высокую величину градиента изменения яркости.
- **Пятна, капли** (*blob*) - область изображения, в которой некоторые свойства являются постоянными или приблизительно постоянными (все точки пятна можно считать в некотором смысле похожими друг на друга).

ДЕТЕКТОРЫ УГЛОВ

Основные недостатки детектора Моравица:
отсутствие инвариантности к преобразованию поворота и
возникновение ошибок детектирования при наличии
большого количества диагональных ребер.

**Оператор Харриса, оператор Плессея, детектор Харриса и
Стефанса (1988)**

Строится на базе детектора Моравица.

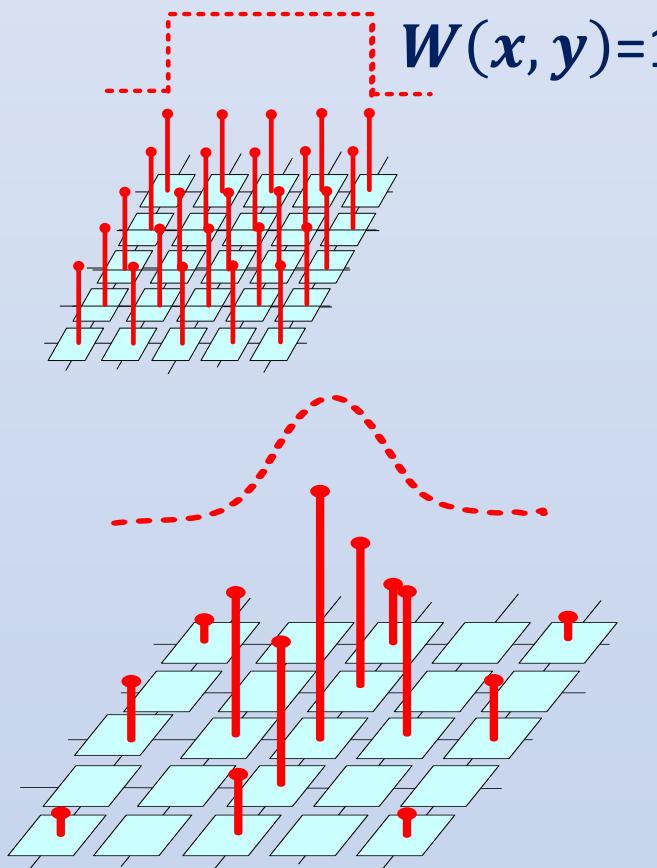
НО рассматриваются производные яркости изображения
для исследования изменений яркости по множеству
направлений.

ДЕТЕКТОР ХАРРИСА

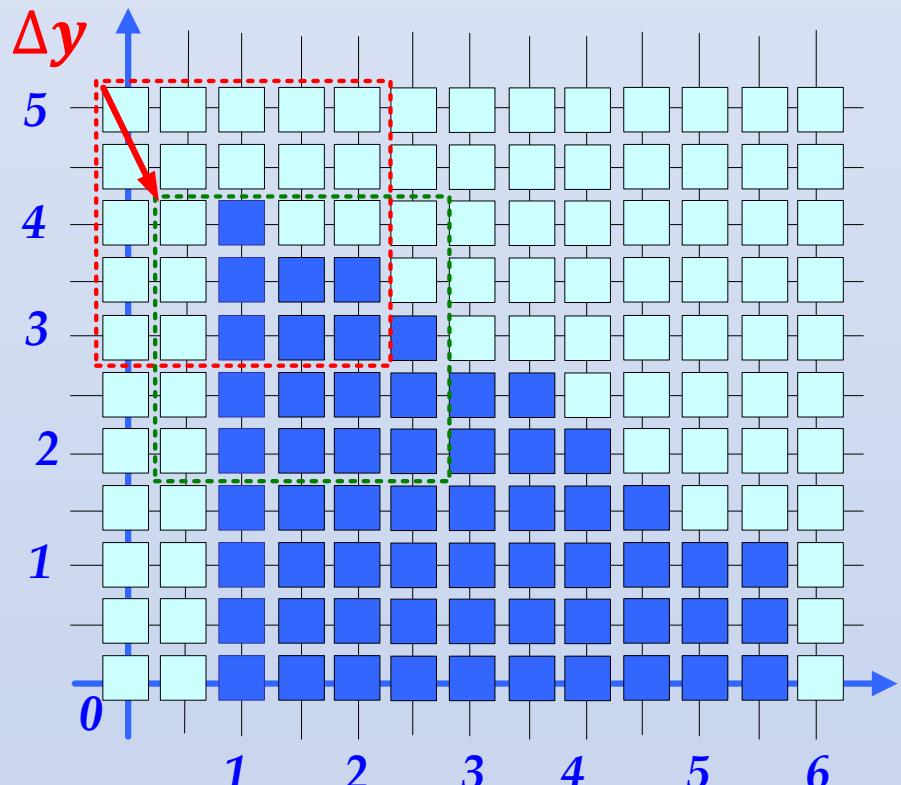
Формально. Изображение $I(x, y)$.

Задана весовая функция, типичный размер 5x5, бинарная или Гаусса.

• Harris



$$W(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$



ДЕТЕКТОР ХАРРИСА

Пусть $(\Delta x, \Delta y)$ - смещение.

• Harris

SSD для смещенного окна:

$$f(\Delta x, \Delta y) =$$

$$\sum_{\forall (x_k, y_k) \in W} (I(x_k, y_k) - I(x_k + \Delta x, y_k + \Delta y))^2.$$

Используя разложение в ряд Тейлора

$$I(x_k + \Delta x, y_k + \Delta y)$$

можно представить как

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

Здесь

$$I_x(x, y) = \left. \frac{\partial I}{\partial x} \right|_{(x,y)} ; I_y(x, y) = \left. \frac{\partial I}{\partial y} \right|_{(x,y)}$$

ДЕТЕКТОР ХАРРИСА

Тогда

$$f(\Delta x, \Delta y) \approx \sum_{\forall (x_k, y_k) \in W} (I_x(x, y)\Delta x + I_y(x, y)\Delta y)^2.$$

Выражение можно представить в матричной форме

$$f(\Delta x, \Delta y) \approx [\Delta x \quad \Delta y] * M * \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}$$

Где M – автокорреляционная матрица (структурный тензор), описывающий поведение градиента в окрестности точки (x, y) :

$$M = \begin{bmatrix} \sum_{\forall (x_k, y_k) \in W} I_x^2 & \sum_{\forall (x_k, y_k) \in W} I_x I_y \\ \sum_{\forall (x_k, y_k) \in W} I_x I_y & \sum_{\forall (x_k, y_k) \in W} I_y^2 \end{bmatrix}$$

ДЕТЕКТОР ХАРРИСА

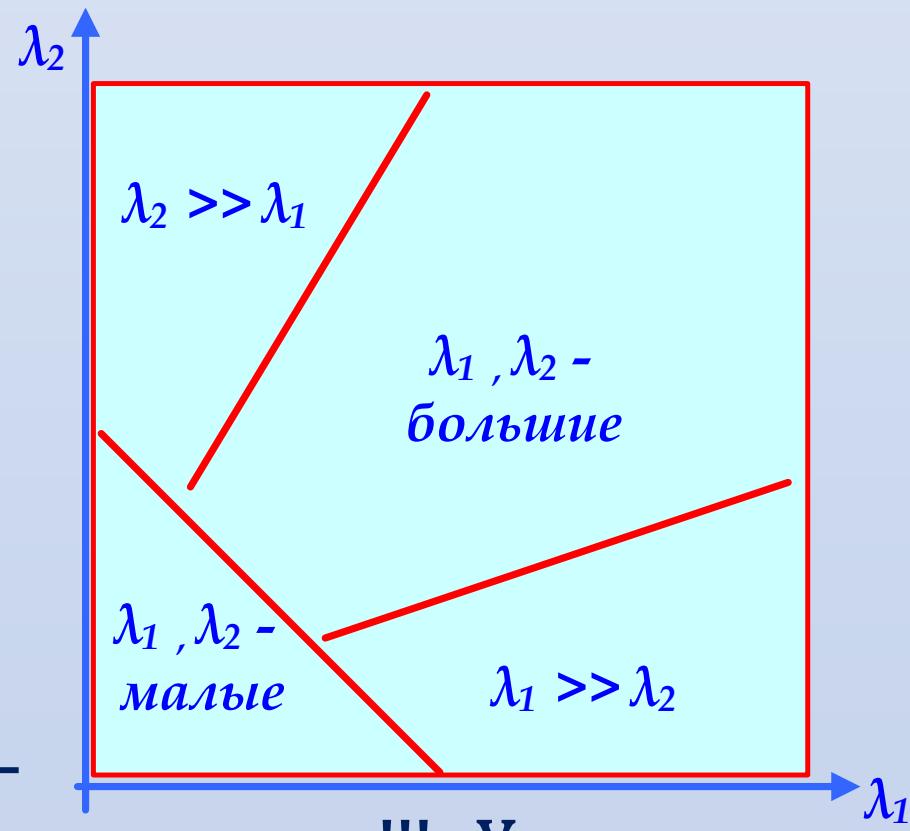
Анализ собственных чисел M позволяет классифицировать поведение градиента яркости.

1. $\lambda_1 \approx \lambda_2 \approx 0$ - градиент яркости не имеет преобладающего направления. «Плоская область» - пиксель не точка интереса.

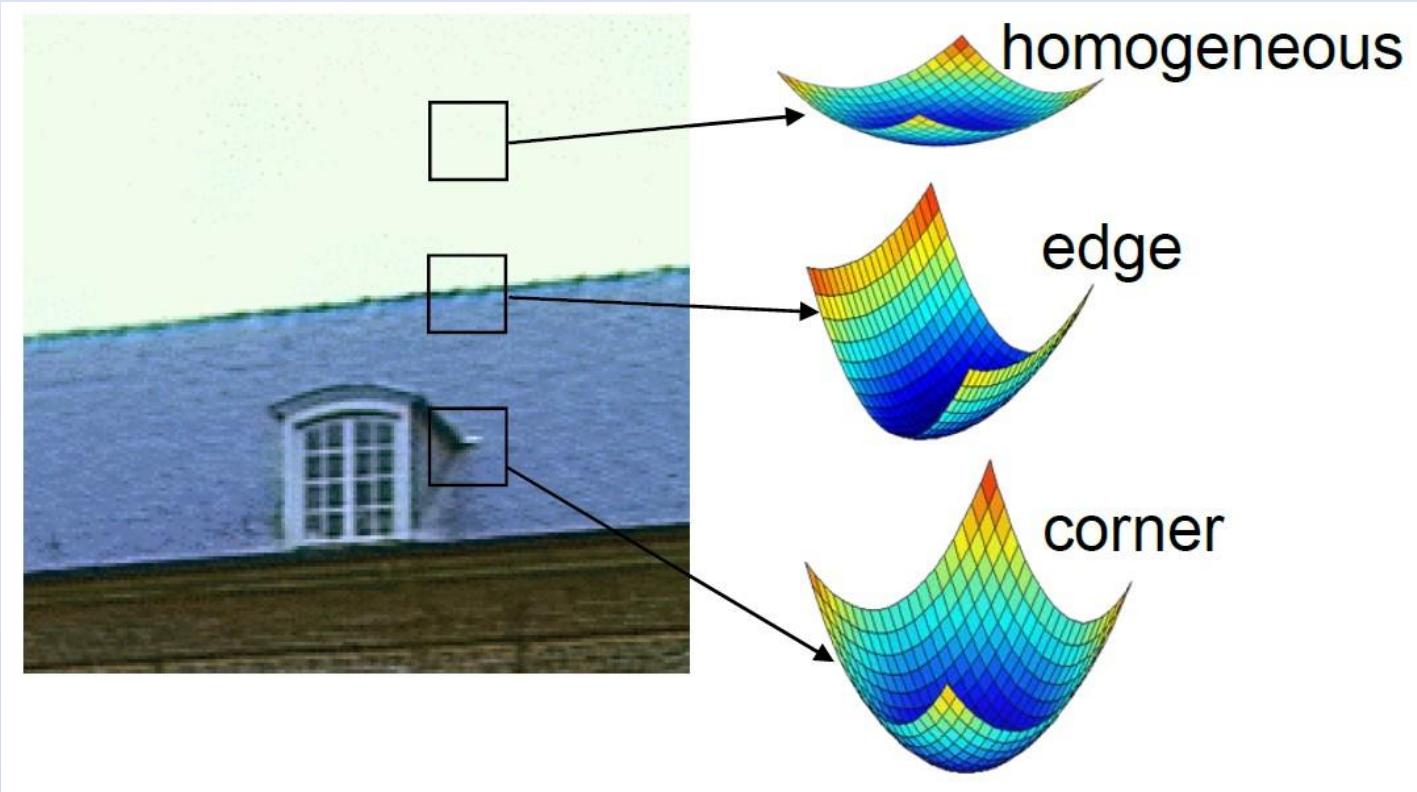
2. $\lambda_1 \gg \lambda_2 \approx 0$ -
градиент ориентирован
по горизонтали : «Край»

3. $\lambda_2 \gg \lambda_1 \approx 0$ -
градиент ориентирован
по вертикали : «Край»

4. λ_1, λ_2 - большие
положительные значения –
градиент растет во всех направлениях : !!! «Угол»



ДЕТЕКТОР ХАРИСА



Расчет собственных чисел трудоемок, авторы предложили меру отклика («ответ Харриса»):

$$R = \lambda_1 \lambda_2 - k(\lambda_1 + \lambda_2)^2 = \det(M) - k(\text{tr}(M))^2$$

k - эмпирическая константа, $k \in [0.04; 0.06]$,

$\text{tr}(M)$ - след матрицы M ,

ДЕТЕКТОР ХАРРИСА. АЛГОРИТМ

1. Для каждого пикселя (i, j) вычисляются компоненты градиента $I_x(i, j), I_y(i, j)$. Например, используя оператор Собеля.
2. Для каждого пикселя вычисляются $I_x^2, I_y^2, I_x * I_y$.
3. Усреднение I_x^2, I_y^2, I_x, I_y с помощью фильтра Гаусса (или линейного)
4. Вычисляется $R(i, j)$ - «ответ Харриса» для каждого пикселя
5. Отбираются пиксели у которых $R(i, j)$ больше некоторого порогового значения T . Т.о. отбираются точки интереса с сильным «ответом».

У Моравица назывались с «достаточной» силой.

ДЕТЕКТОР ХАРРИСА

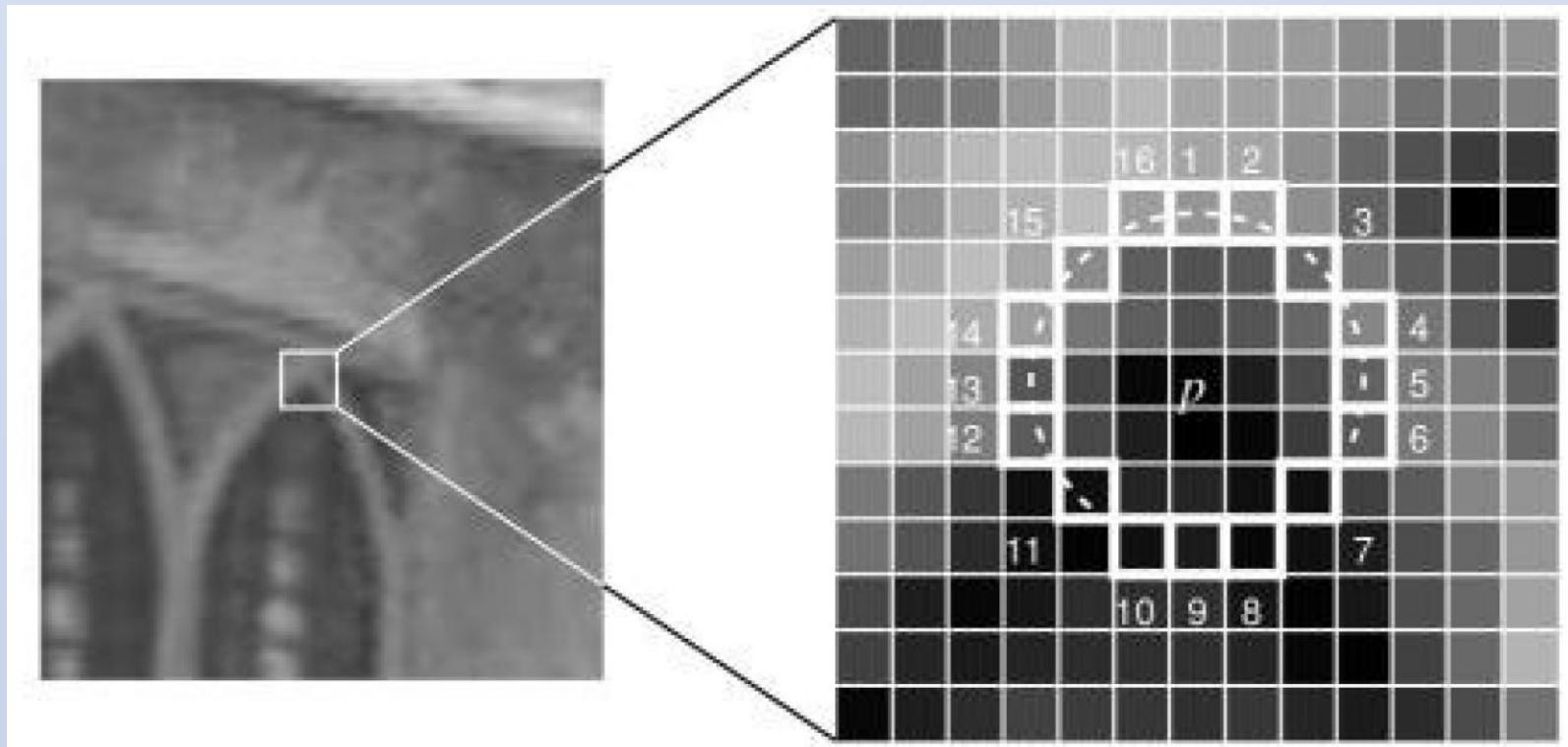
Детектор Харриса обладает свойством анизотропии вдоль горизонтального и вертикального направлений, т.к. автокорреляционная матрица содержит первые производные только вдоль указанных направлений.

По сравнению со Моравец детектор Харриса инвариантен относительно поворота, количество ошибок детектирования углов не велико за счет введения свертки с Гауссовыми весовыми коэффициентами.

С другой стороны детектор Харриса требует большого количества вычислений за счет необходимости построения сверток с Гауссовым ядром. Восприимчив к шумам.

ДЕТЕКТОР FAST

1. Выбирается пиксель p [координаты (i, j)], для которой решается – угол ? Яркость пикселя $I_p(i, j)$.
2. Выбирается значение порога t .
3. Исследуется «окружность» из 16 пикселей для исследуемого p



ДЕТЕКТОР FAST

4. Пиксель p считается углом, если среди 16-ти пикселей окружности существует **n** пикселей, каждый из которых ярче, чем $I_{(i,j)} + t$, или **n** пикселей, каждый из которых темнее, чем $I_{(i,j)} - t$.

! **n** обычно выбирается равным 12. Эксперименты показали, что наименьшее значение **n**, при котором точки начинают стабильно обнаруживаться, равно 9.

Начинают с 4-х точек (1, 5, 9, 13). Если условие выполняется хотя бы для трех, проверяются остальные 12. Иначе – следующий пиксель.

Развитие – алгоритм FAST-ER (используется обучаемый классификатор на базе деревьев решений)

ДЕТЕКТОРЫ УГЛОВ

Библиотека **SciPy**. Имеет модуль
Multidimensional image processing (scipy.ndimage).

Функции:

- **Gaussian** – фильтр Гаусса.
- **Prewitt** – вычисляет производную вдоль заданной оси.
- **Sobel** – вычисляет производную вдоль заданной оси.
- **Generic_Laplace** – вычисляет вторую производную вдоль заданной оси.
- **Generic_Filter** – обобщенный фильтр с произвольным ядром.

Здесь же: все морфологические преобразования над полутоновыми и бинарными изображениями.

ДЕТЕКТОРЫ УГЛОВ

Библиотека **OpenCV**. Имеет модуль
Image processing (opencv.imgproc).

Функции:

- **cornerEigenValsAndVecs()**
- **cornerHarris()**
- **fast.detect()**
- **cornerSubPix()**
- *И другие*

https://docs.opencv.org/master/dd/d1a/group__imgproc__feature.html#gac1fc3598018010880e370e2f709b4345

Рекомендована ЛІТЕРАТУРА

- **Harris Corner Detector.**

https://en.wikipedia.org/wiki/Harris_Corner_Detector

Рекомендована література

- **Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В.** Методи обробки зображень та комп'ютерний зір: навчальний посібник. - Д.: Ліра, 2016 — 148 с.
- **Красильников Н.Н.** Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений: учеб.пособие.- СПб.: БХВ-Петербург, 2011.- 608 с.: ил.
- **Гонсалес Р.С., Вудс Р.Э.** Цифровая обработка изображений. - М. : Техносфера, 2005. -1070 с.
- **Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю. и др.** Обработка и анализ зображений в задачах машинного зрения.-М.: Физматкнига, 2010.-672 с.

Рекомендована література

- **Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В.** Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. - 384 с.
- **Творошенко І.С.** Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» / І.С. Творошенко : І. С. Творошенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 75 с.
- Методи комп'ютерної обробки зображень: Учебное пособие для ВУЗов/ Под ред.: **Сойфер В.А..** - 2-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2003. - 780 с.
- **Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю.** Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

Додаткова ЛІТЕРАТУРА

- Грузман И.С., Киричук В.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах. — Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. – 352 с.: ил.
- Solomon C., Breckon T. Fundamentals of Digital Image Processing. – Willey-Blackwell, 2011 - 344 р.
- Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1986. – 400 с.
- Яншин В. В., Калинин Г. А. Обработка изображений на языке Си для IBM PC: Алгоритмы и программы. — М.: Мир, 1994. — 240 с.

Інформаційні ресурси

- Комп'ютерна обробка зображень. Конспект лекцій. http://aco.ifmo.ru/el_books/image_processing/
- Цифрова обробка зображень [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. С. Лазебний, П. В. Попович. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,41 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 73 с. – <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21035>
- <https://www.youtube.com/watch?v=CZ99Q0DQq3Y>
- <https://www.youtube.com/watch?v=FKTLW8GAdu4>

The END
Modulo 4. Lec 10