

Контурный анализ

Поиск краев

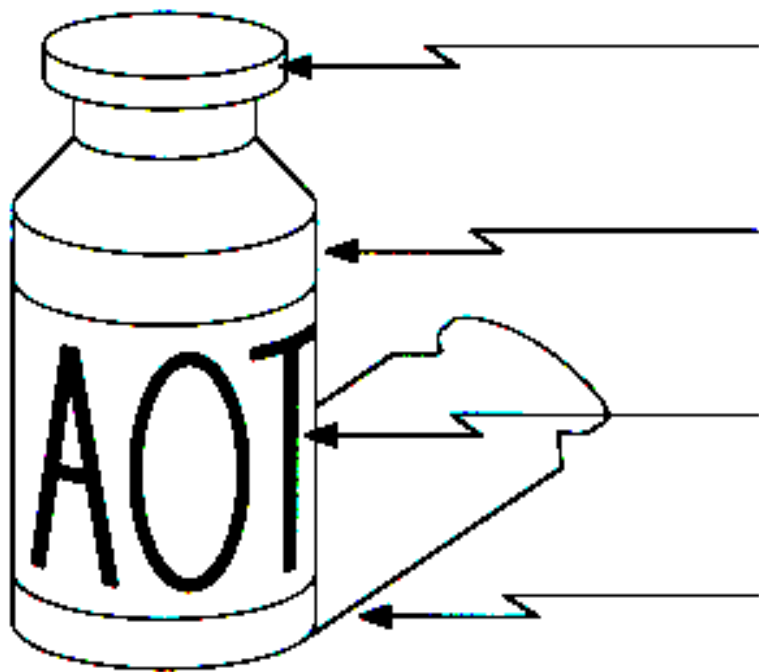
Какая информация в изображении является значимой, а какая нет?

- Интуитивно понятно, что основная информация в картинке содержится как раз в границах (краях)
- **Задача:** Выделить не все контуры, а только резкие изменения (разрывы) изображения
- **Идеал:** рисунок художника



Откуда берутся границы

Существует множество причин формирования границ на изображении



Резкое изменение нормали поверхности

Резкое изменение глубины

Резкое изменение цвета поверхности

Резкое изменение освещенности
(мнимый контур)

Описание «края»

- Край – это точка резкого изменения значений функции интенсивности изображения

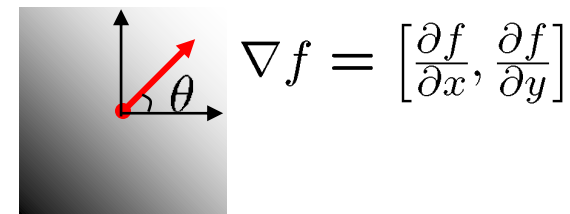
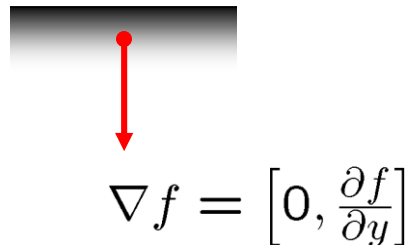
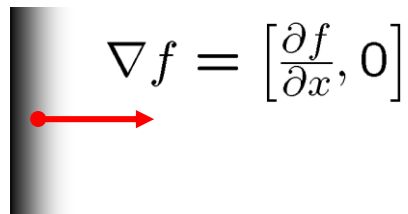


Края соответствуют
экстремумам производной

Градиент изображения

- Градиент изображения:

$$\nabla f = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]$$



Градиент направлен в сторону наибольшего изменения интенсивности

Направления градиента задается как: $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x} \right)$

Сила края задается величиной (нормой) градиента:

$$\|\nabla f\| = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$$

Дифференцирование и свёртка

- Для функции 2х переменных, $f(x,y)$:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left(\frac{f(x + \varepsilon, y) - f(x, y)}{\varepsilon} \right)$$

- Разностная производная:

$$\frac{\partial f}{\partial x} \approx \frac{f(x_{n+1}, y) - f(x_n, y)}{\Delta x}$$

- Линейная и инвариантная к переносу, поэтому м.б. Результатом свертки

- Свёртка!

-1	1
----	---

Вычисление градиента

Семейство методов основано на приближенном вычислении градиента, анализе его направления и абсолютной величины.

Свертка по функциям:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Робертса

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Превитт

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Собеля

Фильтры Собеля позволяют получить более устойчивые к шуму градиенты

Примеры карты силы краев

Примеры:



Робертса



Превитт



Собеля

Вычисление краев

По оси Y



Превитт

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Результат сложения

По оси X



Выделение краев



Исходное изображение



Карта силы краев

Что можно здесь улучшить?

- Сделать края тоньше
- Добавить информацию о связности

Разработка детектора краев

- Критерии качества детектора:
 - **Надежность:** оптимальный детектор должен редко ошибаться (ложные края и пропущенные края)
 - **Точная локализация:** найденный край должен быть как можно ближе к истинному краю
 - **Единственный отклик на одну границу:** детектор должен выдавать одну точку для одной точки истинного края, т.е. локальных максимум вокруг края должно быть как можно меньше
 - **Связанность:** хотим знать, какие пиксели принадлежат одной линии края

В 1986 году Джоном Кэнни (англ. John F. Canny) был разработан детектор границ Кэнни, который использует многоступенчатый алгоритм для обнаружения широкого спектра границ в изображениях.

детектор границ Канни до сих пор является одним из лучших детекторов. Кроме особенных частных случаев трудно найти детектор, который бы работал существенно лучше, чем детектор Канни.

Детектор Canny (1986)

Алгоритм состоит из пяти отдельных шагов:

[Подробнее](#)

- **Сглаживание.** Размытие изображения для удаления шума.
- **Поиск градиентов.** Границы отмечаются там, где градиент изображения приобретает максимальное значение.
- **Подавление не-максимумов.** Только локальные максимумы отмечаются как границы.
- **Двойная пороговая фильтрация.** Потенциальные границы определяются пороговыми значениями.
- **Трассировка области неоднозначности.** Итоговые границы определяются путём подавления всех краёв, не связанных с определенными (сильными) границами.

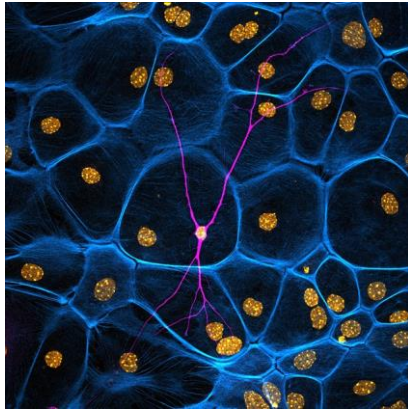
Перед применением детектора, преобразуем изображение в оттенки серого, чтобы уменьшить вычислительные затраты.

Отличие от рассмотренных методов

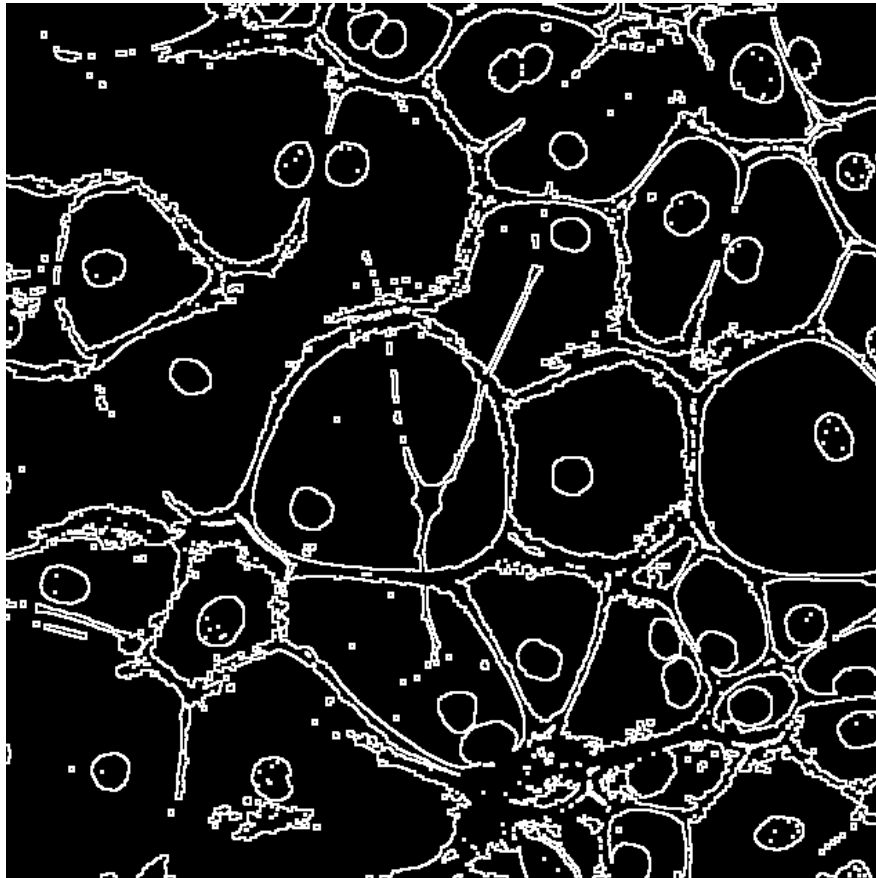
- Утоньшение полос в несколько пикселей до одного пикселя
- Связывание краев и обрезание по порогу



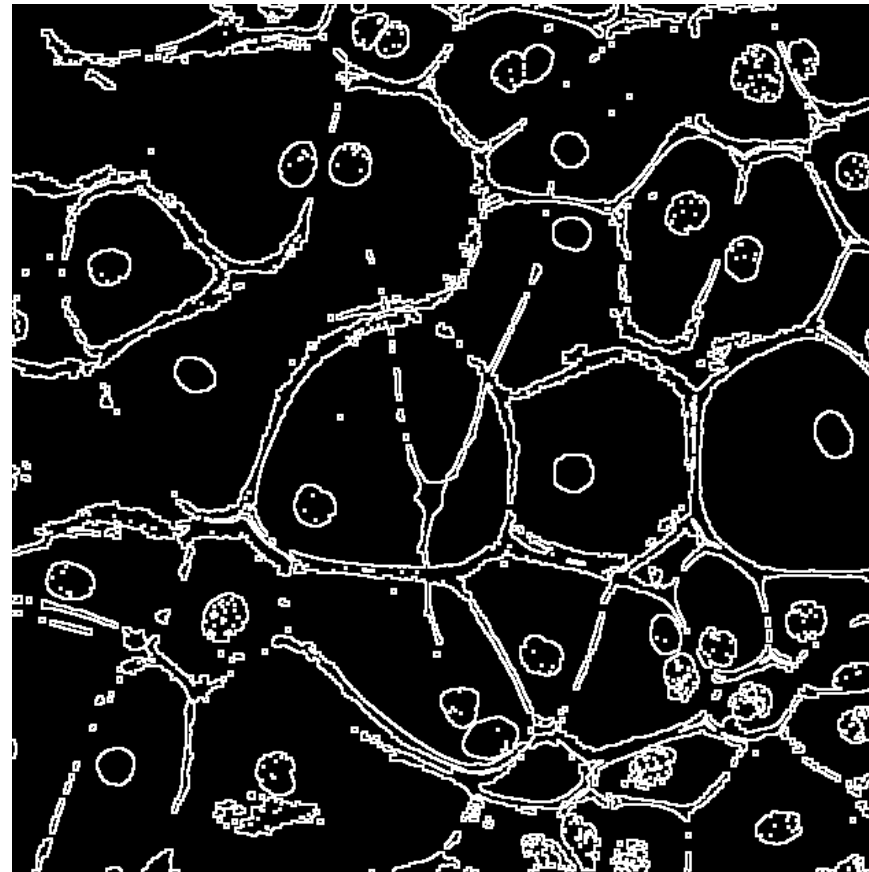
Пример влияния **предобработки** на конечный результат



Контуры после
простой
бинаризации



Контуры после
адаптивной
бинаризации



Как еще
можно
улучшить
результат?

Рассмотренные ранее **методы выделения границ** можно использовать для нахождения пикселей, расположенных на границе между различными участками изображения, но они ничего не говорят о границах как самостоятельных сущностях.

Контур – это список точек, представляющий кривую в изображении. Существует много способов представить кривую, все зависит от обстоятельств. В OpenCV контуры представляются STL-вектором `vector<>`, каждый элемент которого содержит информацию об одной точке на кривой. Например, в цепочке Фримена каждая точка представлена «шагом» в направлении от предыдущей точки.

1-1-1-2-3-3-4-4-4-4-5-5-6-6-6-7-0-0-0-0

Таким образом, зная описание контура, можно производить различные вычисления: например, найти длину контура, площадь фигуры и т.д.

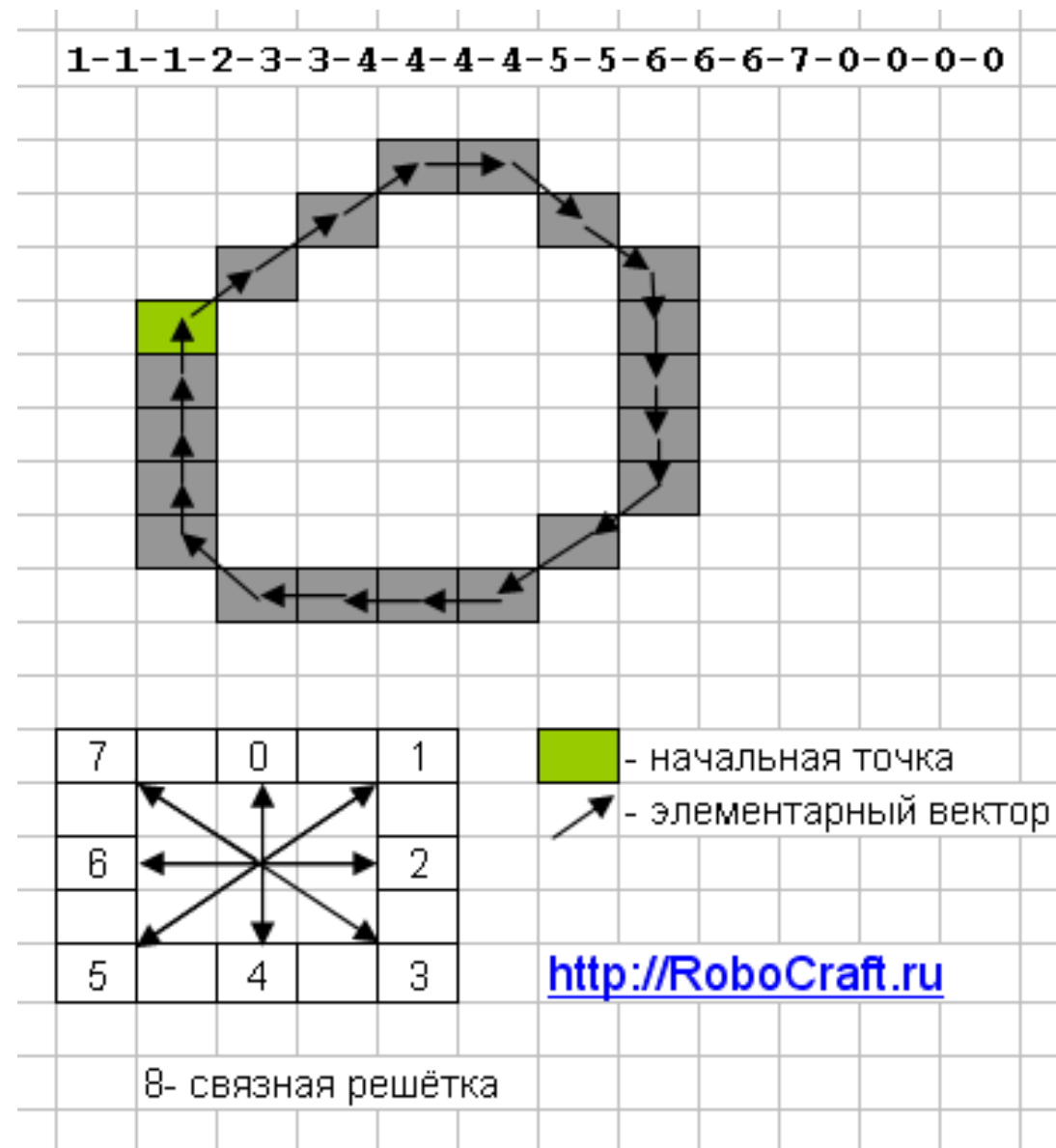
Контурный анализ является совокупностью методов выделения, описания и анализа контуров с целью получения информации об изображении.

Детекторы границ позволят обнаружить границы, которые затем желательно записать в виде вектора для последующей работы. Один из вариантов:

Цепные коды применяются для представления границы в виде последовательности отрезков прямых линий определённой длины и направления. В основе этого представления лежит 4- или 8- связная решётка. Длина каждого отрезка определяется разрешением решётки, а направления задаются выбранным кодом.

<http://robocraft.ru/blog/computervision/640.html>
<https://robotclass.ru/tutorials/opencv-python-find-contours/>

Цепной код Фримена (Фридмана) (Freeman Chain Code)



Нахождение контуров и операции с ними

◆ findContours() [1/2]

```
void cv::findContours ( InputOutputArray image,  
                        OutputArrayOfArrays contours,  
                        OutputArray hierarchy,  
                        int mode,  
                        int method,  
                        Point offset = Point()  
                      )
```

Для поиска контуров используется функция **FindContours()**

image — подготовленное для анализа изображение, 8-битное одноканальное изображение. .

contours — обнаруженные контуры. Каждый контур хранится как вектор точек

hierarchy — информация о топологии контуров, подробнее см. далее.

mode — режим получения контуров

```
CV_RETR_EXTERNAL 0 // найти только крайние внешние контуры  
CV_RETR_LIST      1 // найти все контуры и разместить их списком  
CV_RETR_CCOMP     2 // найти все контуры и разместить их в виде 2-уровневой иерархии  
CV_RETR_TREE      3 // найти все контуры и разместить их в иерархии вложенных контуров
```

method — метод аппроксимации контура — подробнее см. далее

offset — необязательное смещение точек контура.

hierarchy — информация о топологии контуров. Каждый элемент иерархии представляет собой сборку из четырех индексов, которая соответствует контуру[i]:

иерархия[i][0] — индекс следующего контура на текущем слое;

иерархия[i][1] — индекс предыдущего контура на текущем слое:

иерархия[i][2] — индекс первого контура на вложенном слое;

иерархия[i][3] — индекс родительского контура.

Иерархия отношений между контурами **hierarchy**, для каждого контура contours[i] в hierarchy[i][0], hierarchy[i][1], hierarchy[i][2], hierarchy[i][3] хранятся индексы следующего и предыдущего контуров того же уровня иерархии, индексы первого дочернего и родительского контуров соответственно.

Пример работы с контурами различных уровней по ссылке
<https://robotclass.ru/tutorials/opencv-python-find-contours/>

Метод аппроксимации контура

Это третий аргумент `cv2.findContours` функции. Что он означает?

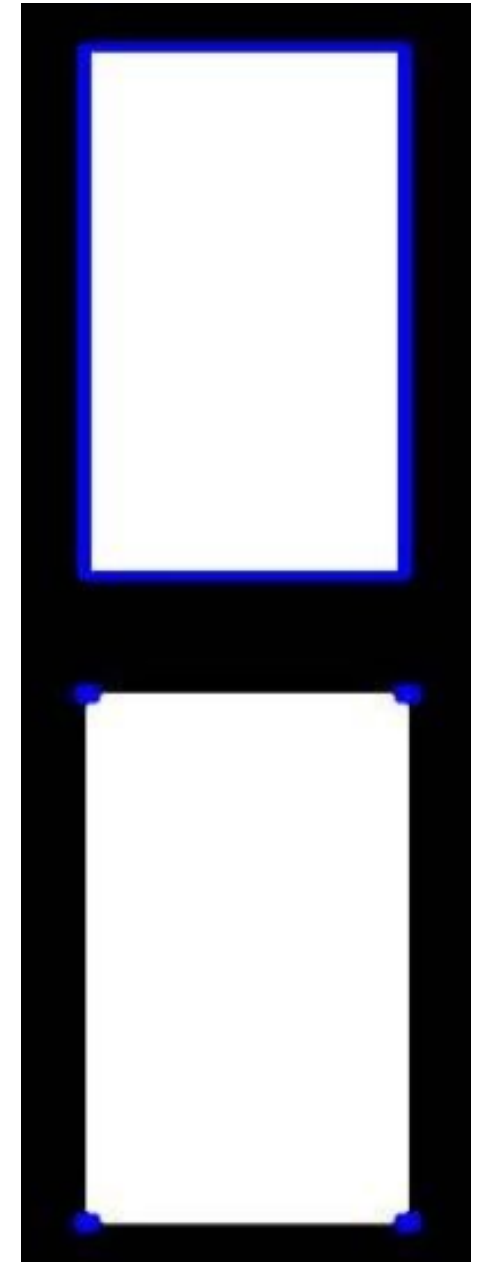
Контур хранит координаты (x,y) границы фигуры. Но хранит ли он все координаты? Это определяется данным методом аппроксимации контура.

Если в качестве этого параметра выбрать **`cv2.CHAIN_APPROX_NONE`**, все граничные точки будут сохранены. Но на самом деле нужны ли нам все точки? Например, нужны ли все точки, чтобы представить прямую линию? Нет, нужны только две конечные точки этой линии.

Метод **`cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE`** аппроксимирует контур. Он удаляет все лишние точки и сжимает контур, тем самым экономя память.

На рисунке изображен прямоугольник. На первом изображении показаны точки, которые получены с `cv2.CHAIN_APPROX_NONE` (734 точки), а на втором — точки, которые получены методом `cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE` (всего 4 точки).

https://opencv24-python-tutorials.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_contours/py_contours_begin/py_contours_begin.html#contours-getting-started



- Площадь контура задается функцией **cv2.contourArea()**
- Длина задается функцией **cv2.arcLength()**
- Контурная аппроксимация приближает форму контура к другой форме с меньшим количеством вершин в зависимости от указанной нами точности **epsilon**.

```
epsilon = 0.1*cv2.arcLength(cnt,True)  
approx = cv2.approxPolyDP(cnt,epsilon,True)
```

Below, in second image, green line shows the approximated curve for `epsilon = 10% of arc length`. Third image shows the same for `epsilon = 1% of the arc length`. Third argument specifies whether curve is closed or not.

epsilon=10%

epsilon=1%



Нахождение контуров и операции с ними

Последовательность действий при распознавании объектов методом контурного анализа:

1. предварительная обработка изображения (сглаживание, фильтрация помех, увеличение контраста);
2. бинаризация изображения;
3. операции математической морфологии;
- 4. выделение контуров объектов;**
5. первичная фильтрация контуров (по периметру, площади и т.п.);
6. перебор всех найденных контуров и поиск шаблона, максимально похожего на данный контур (или же сортировка контуров по какому-либо признаку, например, площади).

Моменты контуров

Моменты изображения помогают рассчитать некоторые функции, такие как центр масс объекта, площадь объекта и т. Д.

Момент — это суммарная характеристика контура, рассчитанная суммированием всех пикселей контура

Моменты бывают центральные, нормализованные и инвариантные

Интересен Ну-момент контура (линейная комбинация центральных моментов)

Его свойства:

- инвариантен к повороту,
- инвариантен к изменению масштаба,
- инвариантен к отражению.

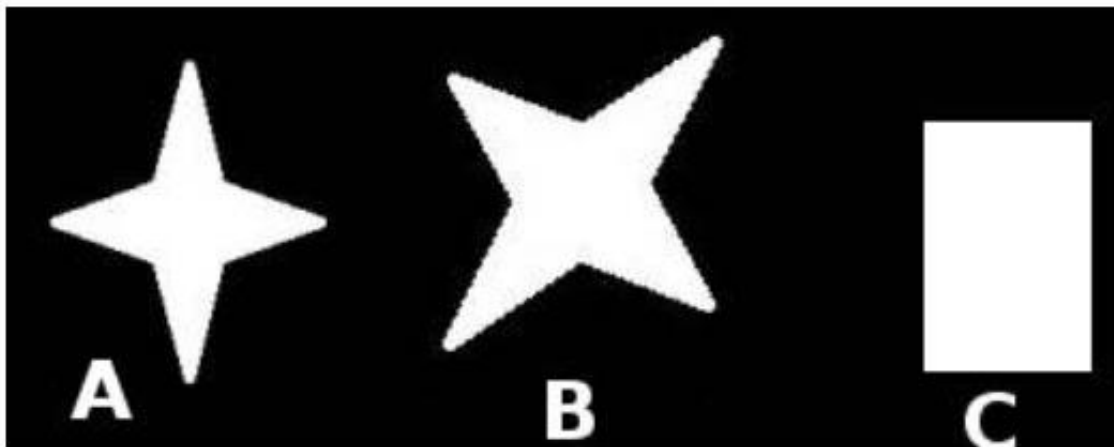
Функция **cv2.moments()** предоставляет словарь всех рассчитанных значений моментов:

```
contours,hierarchy = cv2.findContours(thresh, 1, 2)
cnt = contours[0]
M = cv2.moments(cnt)
print M
```

Сопоставление фигур

В OpenCV есть функция [cv.matchShapes\(\)](#), которая позволяет сравнивать две фигуры или два контура и возвращает метрику, показывающую сходство. Чем ниже результат, тем лучше совпадение. Он рассчитывается на основе значений **hu-момента**. В документации описаны различные методы измерения.

cv.matchShapes(contour1, contour2, method, parameter) ->retval



- Сопоставление изображения A с самим собой = 0,0
- Сопоставление изображения A с изображением B = 0,001946
- Сопоставление изображения A с изображением C = 0,326911

Как можно заметить даже поворот изображения не сильно влияет на это сравнение.

Ограничивающий прямоугольник

Существует два типа ограничивающих прямоугольников.

- **Прямой ограничивающий прямоугольник** (*зеленый на рисунке*)

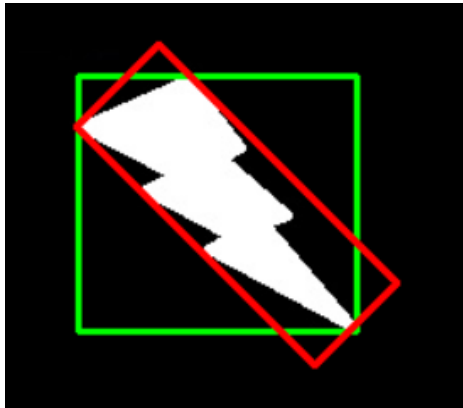
Это прямой прямоугольник, он не учитывает вращение объекта. Таким образом, площадь ограничивающего прямоугольника не будет минимальной. Его находит функция **cv2.boundingRect()** .

- **Повернутый прямоугольник** (*красный на рисунке*)

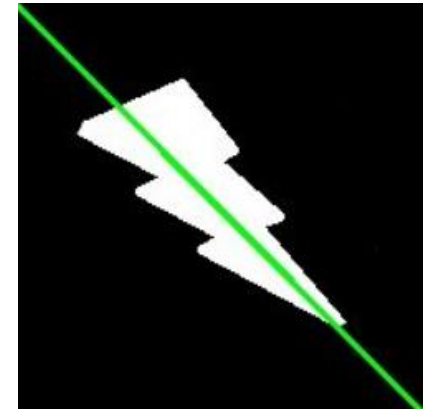
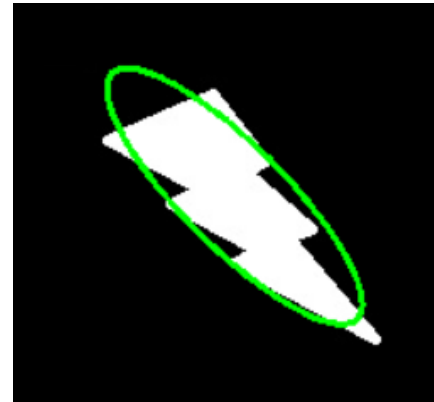
Здесь ограничивающий прямоугольник нарисован с минимальной площадью, поэтому он также учитывает вращение. Используется функция **cv2.minAreaRect()** .

Минимальный ограничивающий круг

Находим описанную окружность объекта с помощью функции **cv2.minEnclosingCircle()** . Это круг, который полностью покрывает объект с минимальной площадью.



ещё



Экстремальные точки — это самая верхняя, самая нижняя, самая правая и самая левая точки объекта.



```
leftmost = tuple(cnt[cnt[:, :, 0].argmin()][0])  
rightmost = tuple(cnt[cnt[:, :, 0].argmax()][0])  
topmost = tuple(cnt[cnt[:, :, 1].argmin()][0])  
bottommost = tuple(cnt[cnt[:, :, 1].argmax()][0])
```




Контур, найденные на одноканальном изображении



Контур, найденные на бинарном изображении

Задача: подсчитать количество предметов ?

Здесь функция вернула множество внутренних контуров и если задача состоит в подсчете предметов по контурам, то эти внутренние контуры приведут к неверному результату. Эту задачу можно решить различными способами. Например, можно в параметре ***method*** указать ***RETR_EXTERNAL*** (возвращает только внешние контуры) или перед поиском контуров преобразовать изображение в бинарное, чтобы исключить влияние теней или текстуры предметов.

Если в рассмотренном выше коде в качестве входного изображения функции ***findContours()*** использовать бинарное изображение, то результат будет гораздо лучше

https://www.pyimagesearch.com/2014/08/25/4-point-opencv-getperspective-transform-example/?_ga=2.81015831.1637974644.1638339468-1528956013.1637982400

```

# find the contours in the edged image, keeping only the
# largest ones, and initialize the screen contour
cnts = cv2.findContours(edged.copy(), cv2.RETR_LIST, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cnts = imutils.grab_contours(cnts)
cnts = sorted(cnts, key = cv2.contourArea, reverse = True)[:5]

# loop over the contours
for c in cnts:
    # approximate the contour
    peri = cv2.arcLength(c, True)
    approx = cv2.approxPolyDP(c, 0.02 * peri, True)

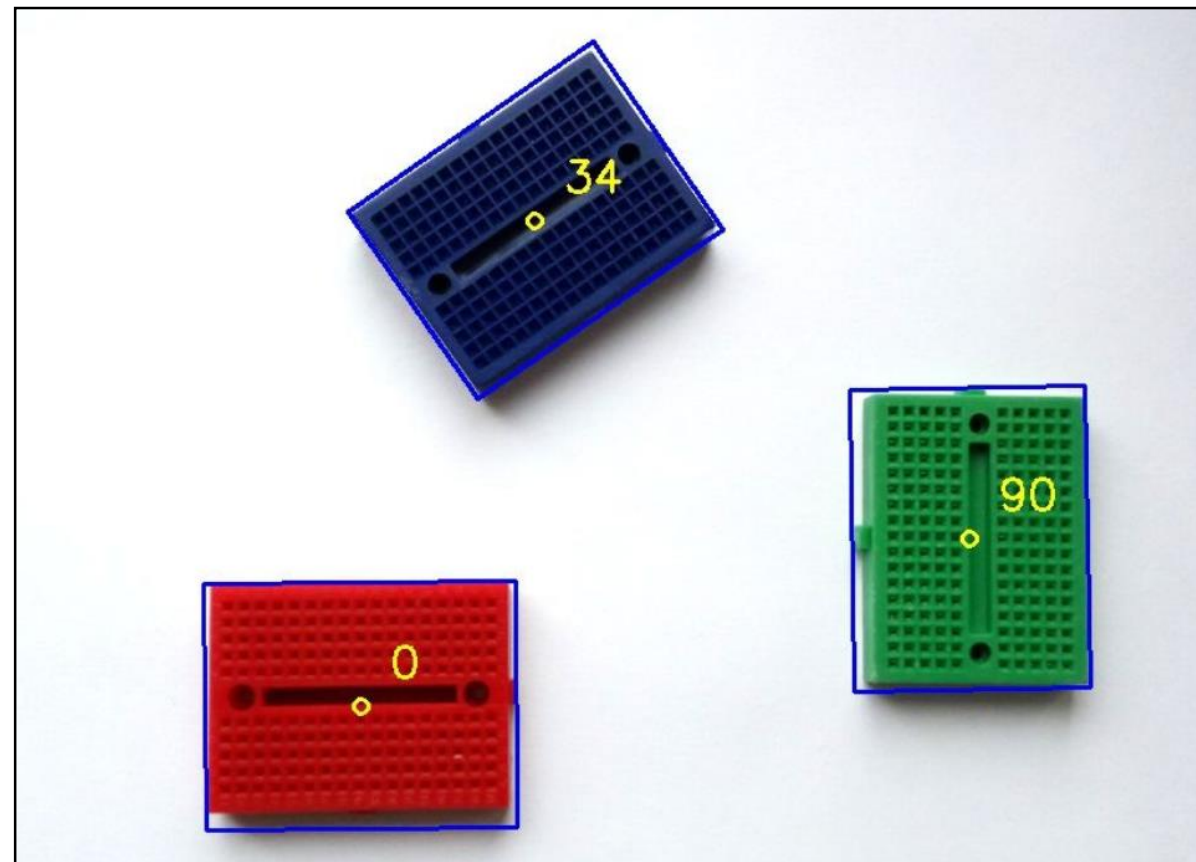
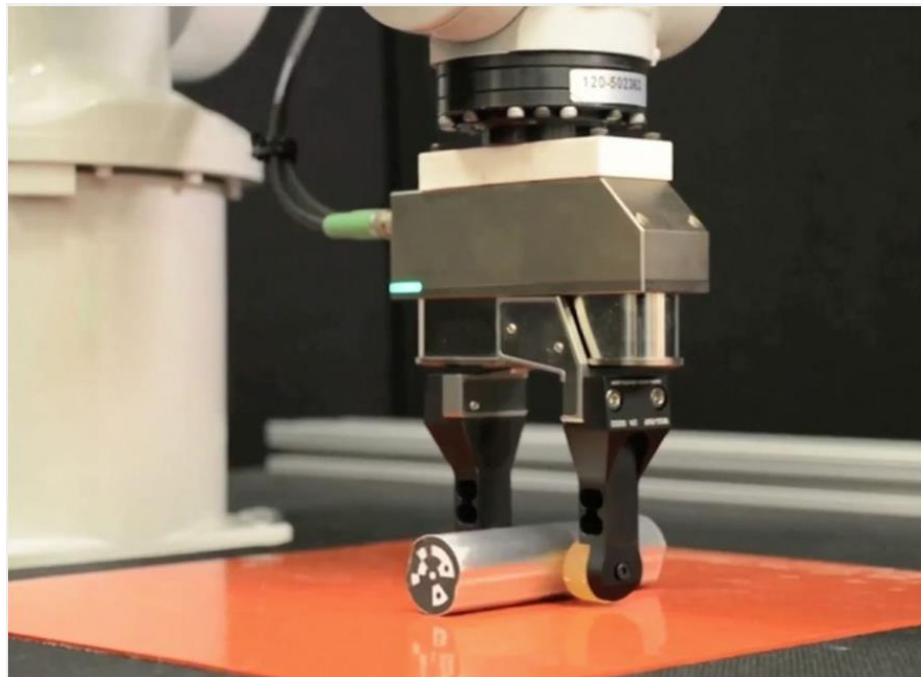
    # if our approximated contour has four points, then we
    # can assume that we have found our screen
    if len(approx) == 4:
        screenCnt = approx
        break

```

Ищем контур листа



пример применения контурного анализа для поиска прямоугольников
определения их наклона относительно горизонта (для роботов)



`minAreaRect()` Функция вычисляет и возвращает ограничивающий прямоугольник минимальной площади (возможно, повернутый) для указанного набора точек.

<https://robotclass.ru/tutorials/opencv-detect-rectangle-angle/>

Контурный анализ — это метод описания, хранения, распознавания, сравнения и поиска графических объектов по их контурам.



Переход к рассмотрению только контуров объектов позволяет уйти от пространства изображения – к пространству контуров, что **существенно снижает сложность алгоритмов и вычислений**.



Ограничения на область применения контурного анализа:

- ✓ объект может не иметь чёткой границы, или может быть зашумлён помехами, что приводит к невозможности выделения контура;
- ✓ перекрытие объектов или их группировка приводит к тому, что контур выделяется неправильно и не соответствует границе объекта.

Вывод:

- контурный анализ простой и быстрый;
- контурный анализ хорошо работает при чётко выраженном объекте на контрастном фоне и отсутствии помех;
- контурный анализ имеет довольно **слабую устойчивость к помехам**.

Проблема

При автоматизированном анализе цифровых изображений часто возникает проблема идентификации простых фигур, таких как прямые, круги или эллипсы. из-за зашумлённости изображения, либо из-за несовершенства алгоритма обнаружения границ, могут появиться «потерянные» точки на кривой, также как и небольшие отклонения от идеальной формы прямой, круга или эллипса.

По этим причинам часто довольно сложно приписать найденные границы соответствующим прямым, кругам и эллипсам в изображении.

Решение - применение преобразования Хафа

Преобразование Хафа

Преобразование Хафа (Hough Transform) — это метод для поиска линий, кругов и других простых форм на изображении.

Преобразование Хафа основывается на представлении искомого объекта в виде **параметрического уравнения**. Параметры этого уравнения представляют фазовое пространство (пространство Хафа).

Берётся двоичное изображение (например, результат работы детектора границ Кенни). Перебираются все точки границ и делается предположение, что точка принадлежит линии искомого объекта — т.о. для каждой точки изображения рассчитывается нужное уравнение и получаются необходимые параметры, которые сохраняются в пространстве Хафа.

Финальным шагом является обход пространства Хафа и выбор максимальных значений, за которые «проголосовало» больше всего пикселей картинки, что и даёт нам параметры для уравнений искомого объекта.

В основе теории преобразования Хафа лежит утверждение, что любая точка двоичного изображения может быть частью некоторого набора возможных линий.

формула линии:

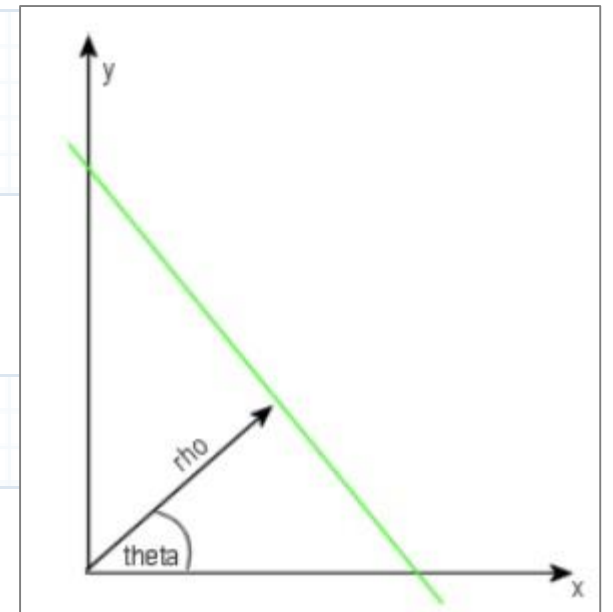
```
y = a*x+b          // в декартовых координатах  
p = x*cos(f)+y*sin(f)  // в полярных координатах
```

Прямую на плоскости можно представить:

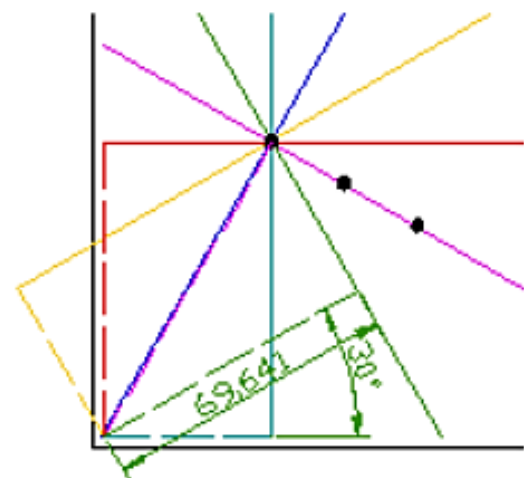
$$x \cdot \cos(f) + y \cdot \sin(f) = R$$

, где

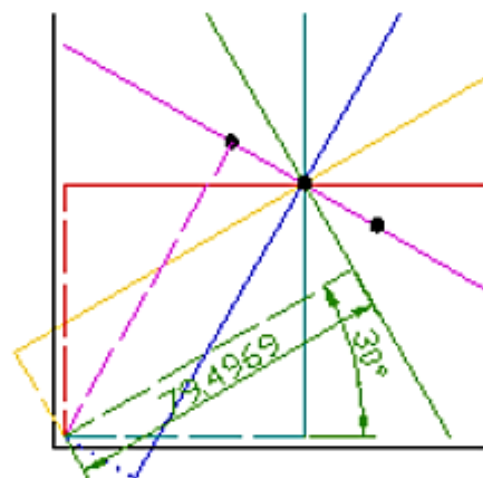
R — длина перпендикуляра опущенного на прямую из начала координат,
 f — угол между перпендикуляром к прямой и осью OX .



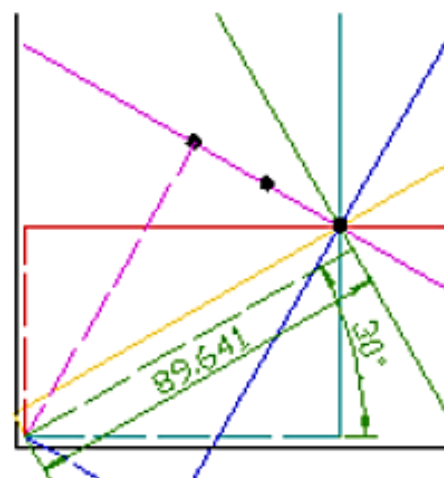
Рассмотрим исходное тестовое изображение из трех черных точек. Проверим, расположены ли точки на прямой линии.



Angle	Dist.
0	40
30	69.6
60	81.2
90	70
120	40.6
150	0.4



Angle	Dist.
0	57.1
30	79.5
60	80.5
90	60
120	23.4
150	-19.5



Angle	Dist.
0	74.6
30	89.6
60	80.6
90	50
120	6.0
150	-39.6

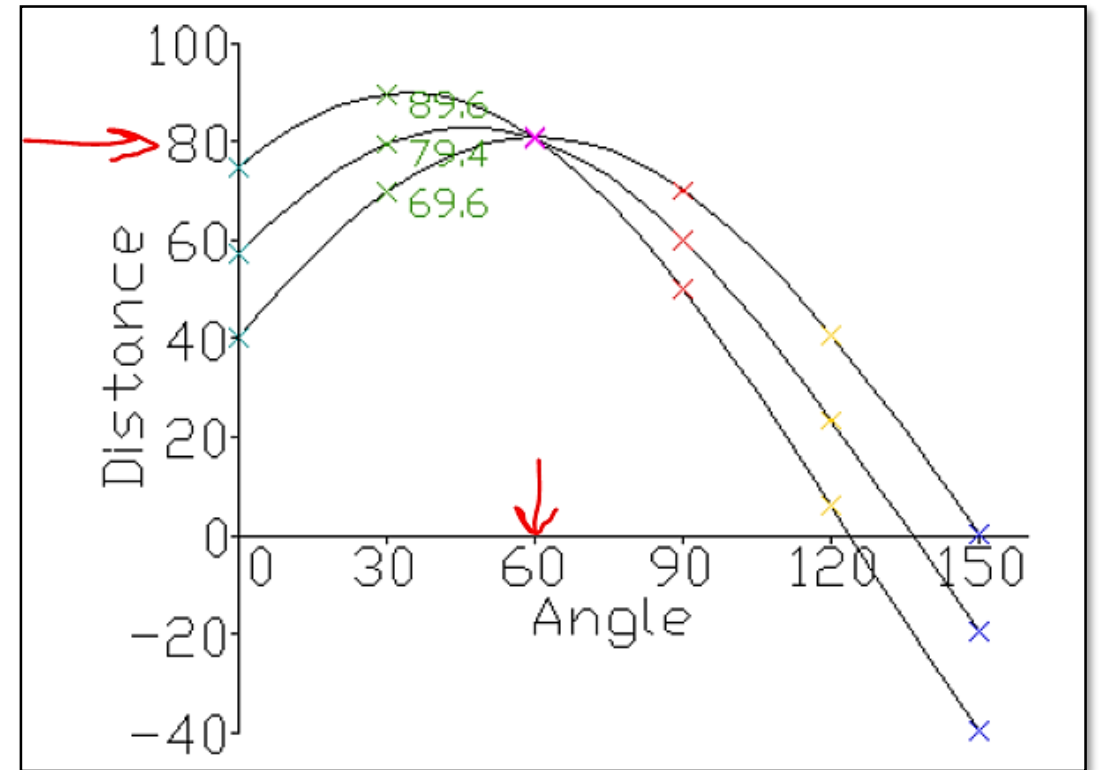
- Через каждую точку проведено (для наглядности) только по шесть прямых, имеющих разный угол.
- К каждой прямой из начала координат построен перпендикуляр.
- Для всех прямых длина соответствующего перпендикуляра и его угол с осью абсцисс сведены в таблицу.
- Данные таблицы являются результатом преобразования Хафа и могут служить основой для графического представления в "пространстве Хафа".

Прямую на плоскости можно представить:

$$x \cdot \cos(f) + y \cdot \sin(f) = R$$

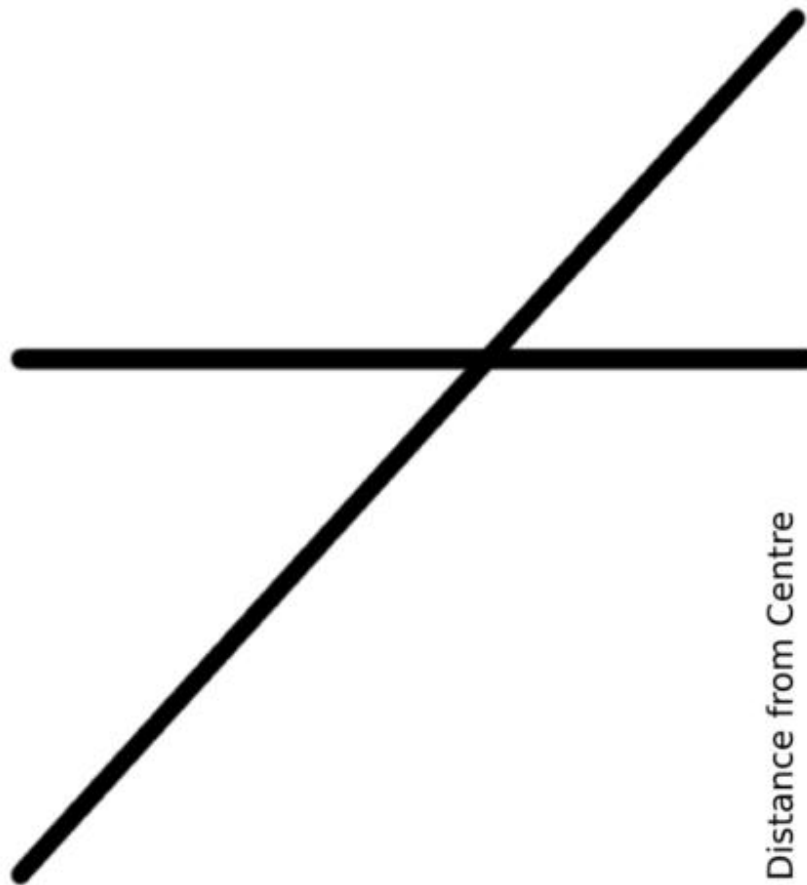
Через каждую точку (x, y) изображения можно провести несколько прямых с разными R и f , то есть каждой точке (x, y) изображения соответствует набор точек в фазовом пространстве (R, f) , образующий синусоиду.

Координаты точки пересечения синусоид определяют параметры прямой, общей для проверяемых точек на исходном изображении.



Отображение в пространстве Хафа двух прямых

Input Image



Rendering of Transform Results



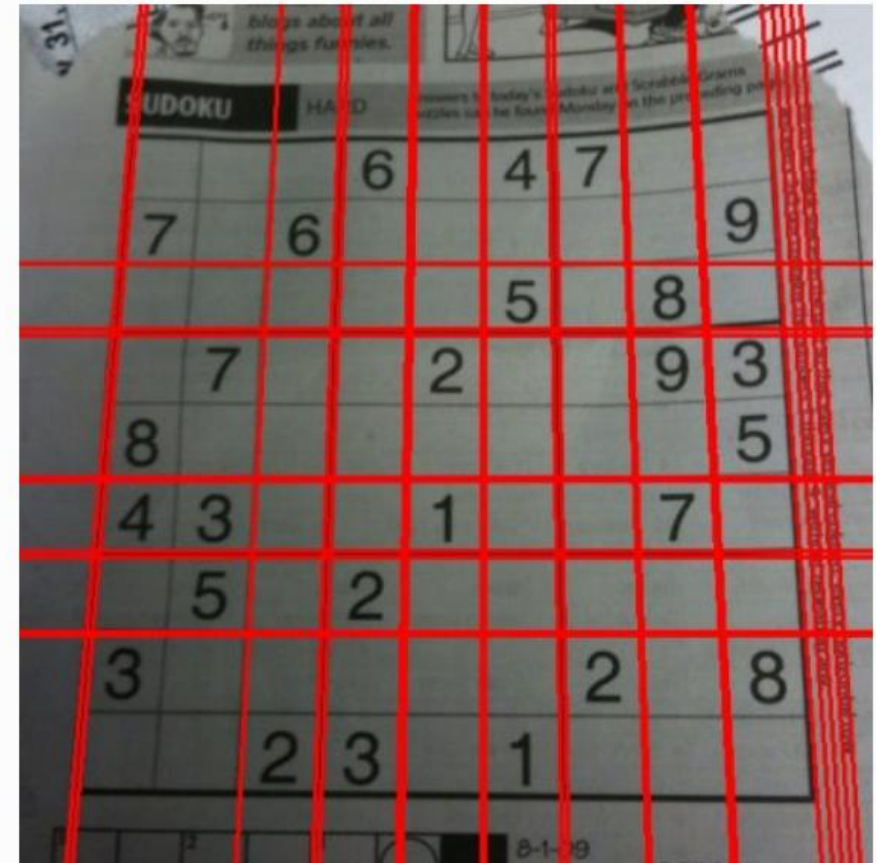
https://opencv24-python-tutorials.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_imgproc/py_houghlines/py_houghlines.html

```
img = cv2.imread('dave.jpg')
gray = cv2.cvtColor(img,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
edges = cv2.Canny(gray,50,150,apertureSize = 3)

lines = cv2.HoughLines(edges,1,np.pi/180,200)
for rho,theta in lines[0]:
    a = np.cos(theta)
    b = np.sin(theta)
    x0 = a*rho
    y0 = b*rho
    x1 = int(x0 + 1000*(-b))
    y1 = int(y0 + 1000*(a))
    x2 = int(x0 - 1000*(-b))
    y2 = int(y0 - 1000*(a))

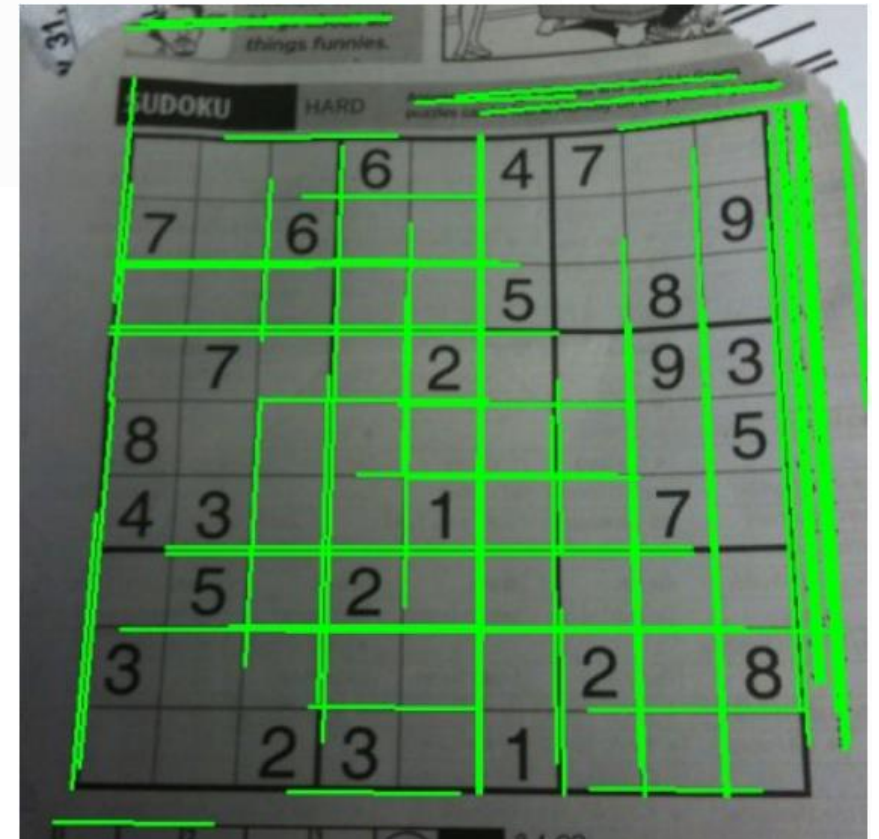
    cv2.line(img,(x1,y1),(x2,y2),(0,0,255),2)

cv2.imwrite('houghlines3.jpg',img)
```



```
img = cv2.imread('dave.jpg')
gray = cv2.cvtColor(img,cv2.COLOR_BGR2GRAY)
edges = cv2.Canny(gray,50,150,apertureSize = 3)
minLineLength = 100
maxLineGap = 10
lines = cv2.HoughLinesP(edges,1,np.pi/180,100,minLineLength,maxLineGap)
for x1,y1,x2,y2 in lines[0]:
    cv2.line(img,(x1,y1),(x2,y2),(0,255,0),2)

cv2.imwrite('houghlines5.jpg',img)
```



```
img = cv2.imread('opencv_logo.png',0)
img = cv2.medianBlur(img,5)
cimg = cv2.cvtColor(img,cv2.COLOR_GRAY2BGR)

circles = cv2.HoughCircles(img,cv2.HOUGH_GRADIENT,1,20,
                           param1=50,param2=30,minRadius=0,maxRadius=0)

circles = np.uint16(np.around(circles))
for i in circles[0,:]:
    # draw the outer circle
    cv2.circle(cimg,(i[0],i[1]),i[2],(0,255,0),2)
    # draw the center of the circle
    cv2.circle(cimg,(i[0],i[1]),2,(0,0,255),3)

cv2.imshow('detected circles',cimg)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```



Пачка 1

Вид торца

Вид сбоку



	Измер. эк.	Вычисл. эк.
Длина бревна (см)	600	581
Высота пачки (см)	250	198
Ширина пачки (см)	230	245
Коэффициент заполнения (%)	52	67

РАСЧИТАТЬ

СОХРАНИТЬ В БД

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Объем штабеля (м³) 19.58

Измеренная длина бревна (см) 600

Порода Берёза
Сортимент Балансы

Вычисленная длина бревна (см) 581

Ширина штабеля (см) 245

Максимальная высота штабеля (см) 224

Средний диаметр бревна (см) 18

Количество бревен в штабеле 46

Задача: подсчитать количество



Threshold = 170

Threshold = 250

Что можно сделать еще?

