

初级特征提取

- 边缘检测

可实现图像中亮度变化明显的点进行检测（二值）

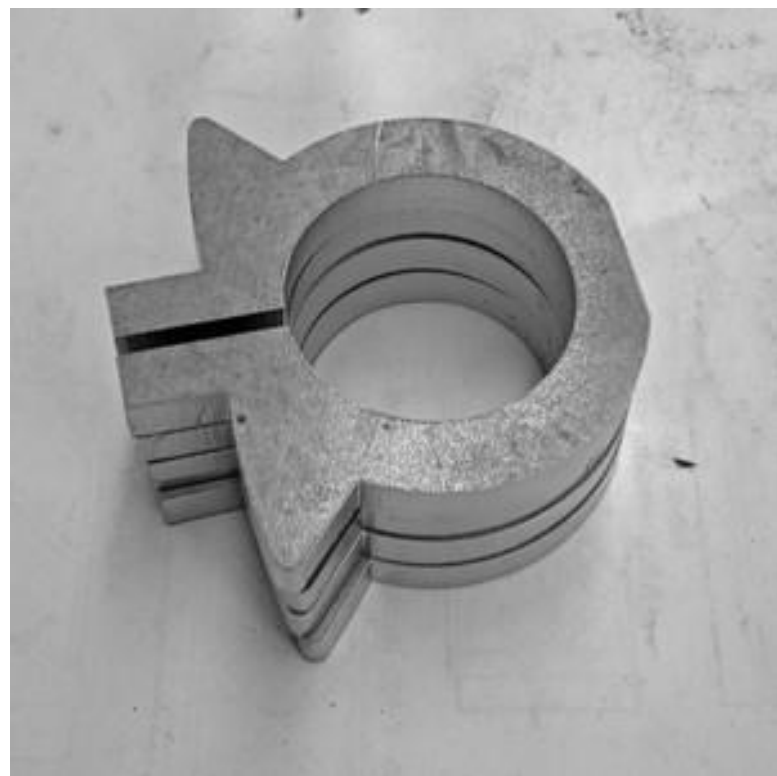
- 图像理解

如何让计算机理解（检测和识别）图像中的内容

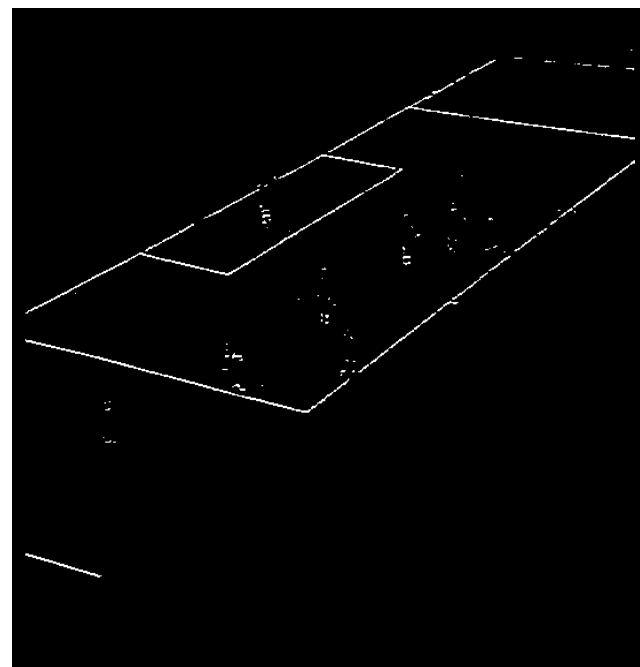
- 初级特征提取

基本几何形状（直线，平行线，矩阵，圆等）

初级特征提取



初级特征提取

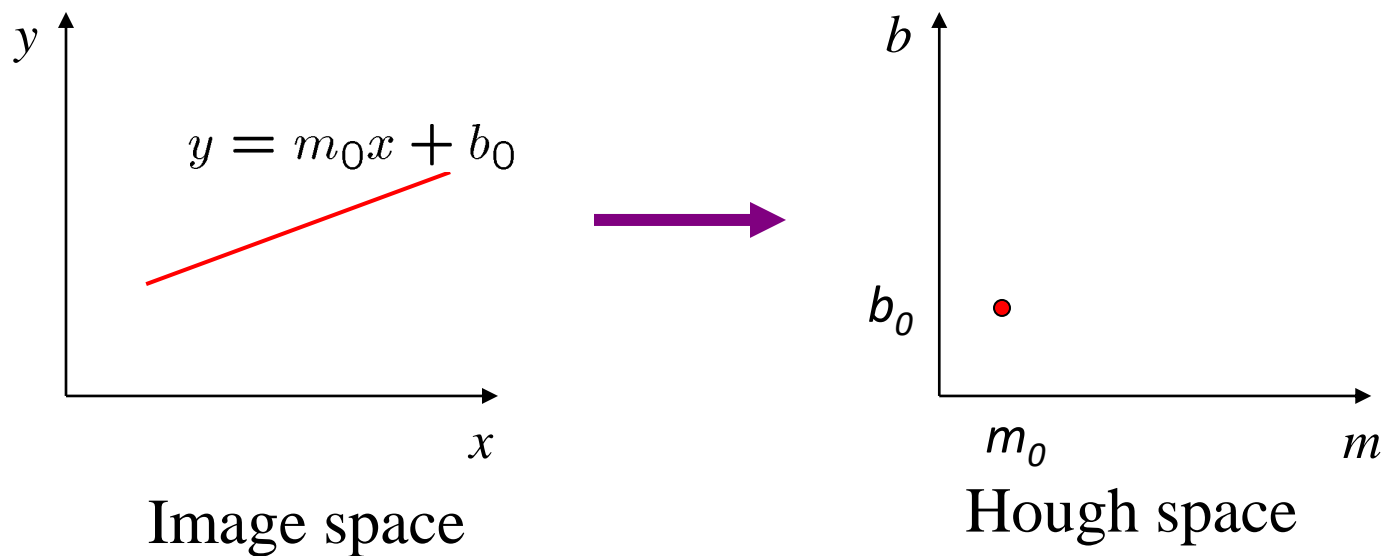


Hough变换

应用背景：已知目标区域由直线、曲线、圆等形状构成。目标检测问题转化为对直线、曲线、圆的检测问题。

Hough变换：将图像由图像空间变换为参数空间

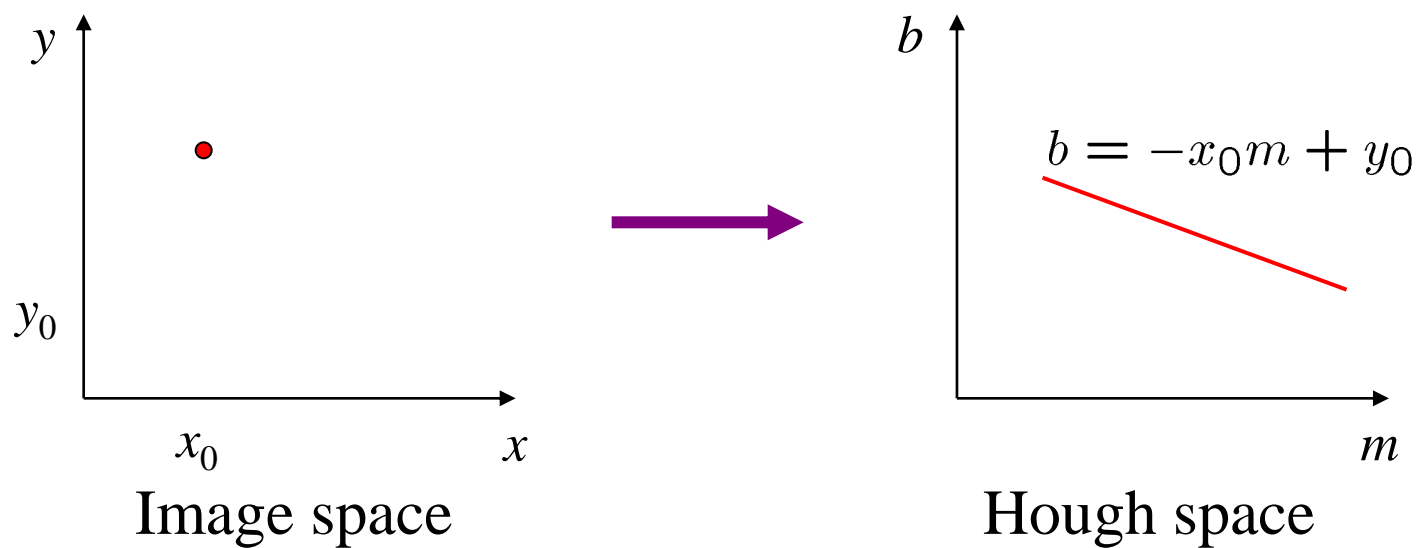
Hough变换



图像空间中的一条线对应Hough空间中的一个点

Hough变换

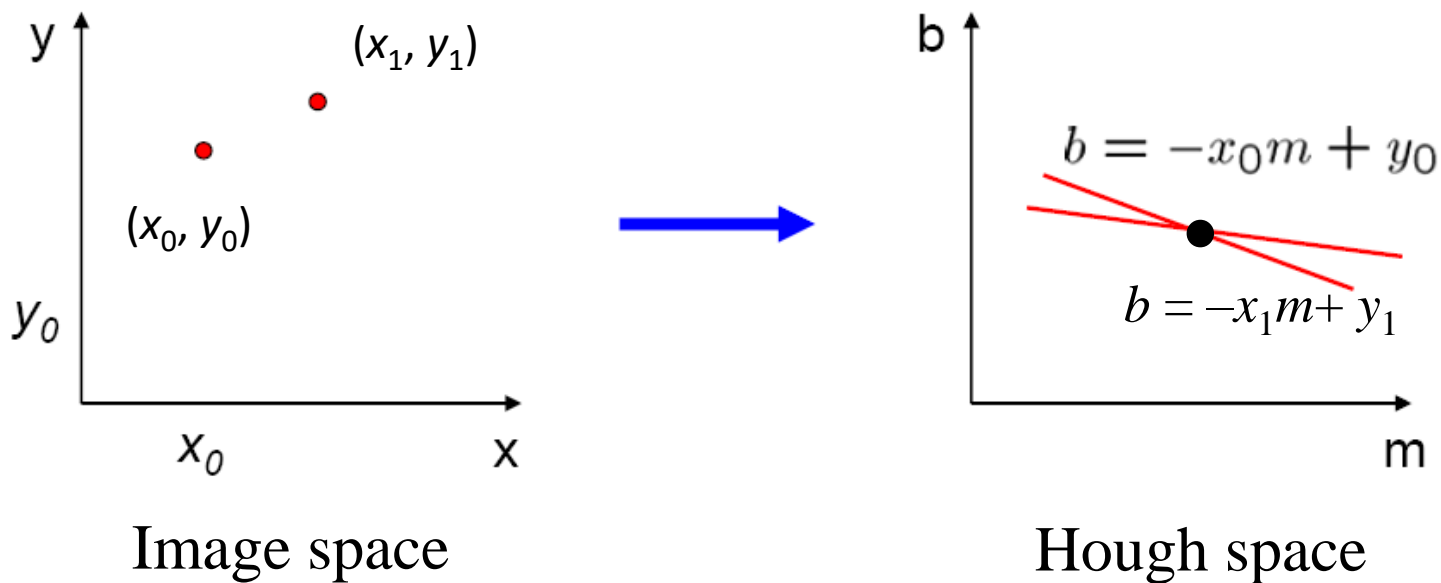
图像空间中的点 (x_0, y_0) 能映射为Hough空间中的什么？



$b = -x_0m + y_0$, 是Hough空间中的一条线

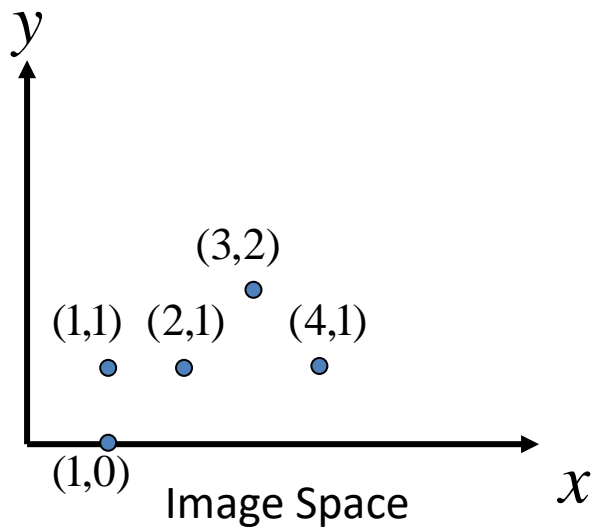
Hough变换

在Hough空间中，过点 (x_0, y_0) 和点 (x_1, y_1) 的直线如何表示？



Hough空间中**两条线的交点**用来表示过点 (x_0, y_0)
和点 (x_1, y_1) 的直线

Hough变换



$$\because y_i = mx_i + b \Rightarrow b = -x_i m + y_i$$

$$(1,0) \rightarrow b = -m$$

$$(1,1) \rightarrow b = -m + 1$$

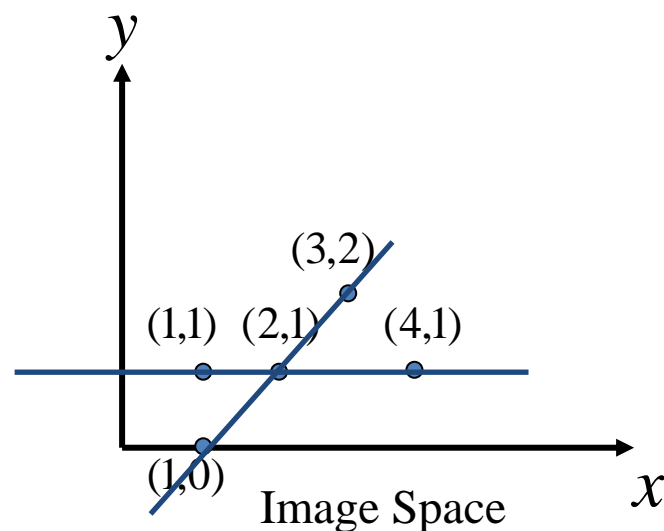
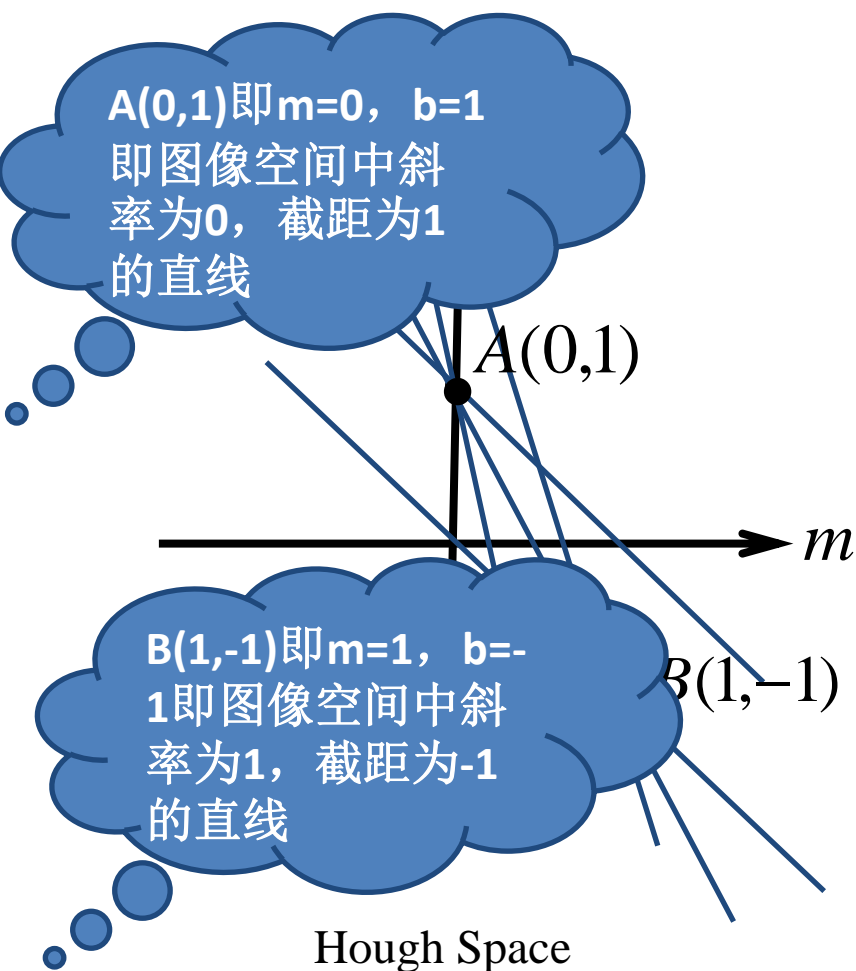
$$(2,1) \rightarrow b = -2m + 1$$

$$(4,1) \rightarrow b = -4m + 1$$

$$(3,2) \rightarrow b = -3m + 2$$

Hough变换

在Hough空间中找某些点，通过这些点的**线数最多**。如左图所示的**A**点和**B**点，分别有三条线通过这两点。



Hough变换

问题：Hough变换的这种实现方式 ($y=mx+b$) 不能表示垂直线，因为垂直线的斜率为无穷大。

$$m = \infty$$

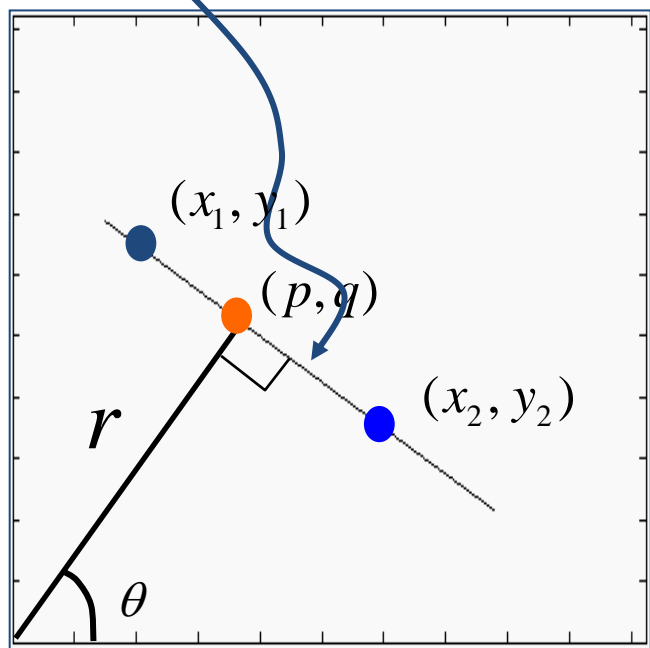
$$b = ?$$



能否用别的直线的参数化方式呢？

Hough变换

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$



极坐标

$$(p, q) = (r \cos \theta, r \sin \theta)$$

\Rightarrow 垂线的斜率为 $\tan \theta = \sin \theta / \cos \theta$

$$\Rightarrow \text{原直线的斜率为} -\frac{1}{\tan \theta} = \frac{-\cos \theta}{\sin \theta} \quad (1)$$

设直线上的任意点为 (x, y) , 则斜率为:

$$\frac{y - p}{x - q} = \frac{y - r \sin \theta}{x - r \cos \theta} \quad (2)$$

根据 (1) (2) 可得:

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$

$$\therefore r = x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta$$

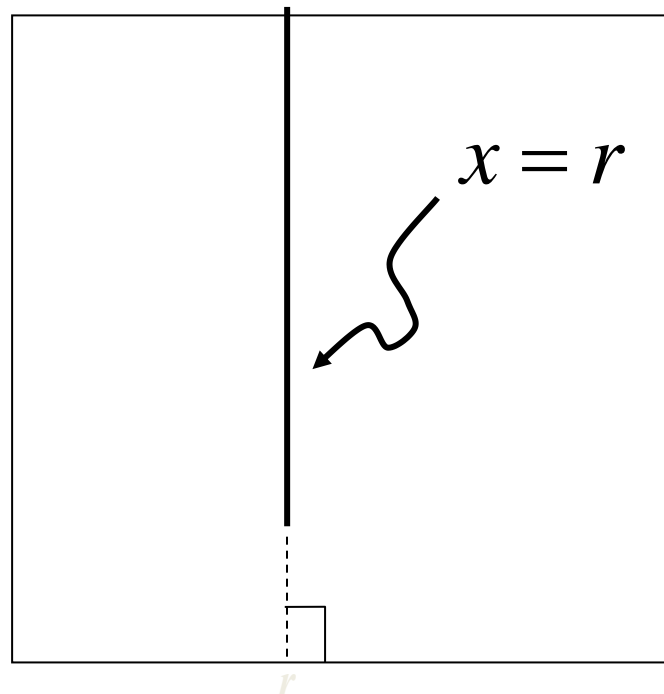
$$r = x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta$$

Hough变换

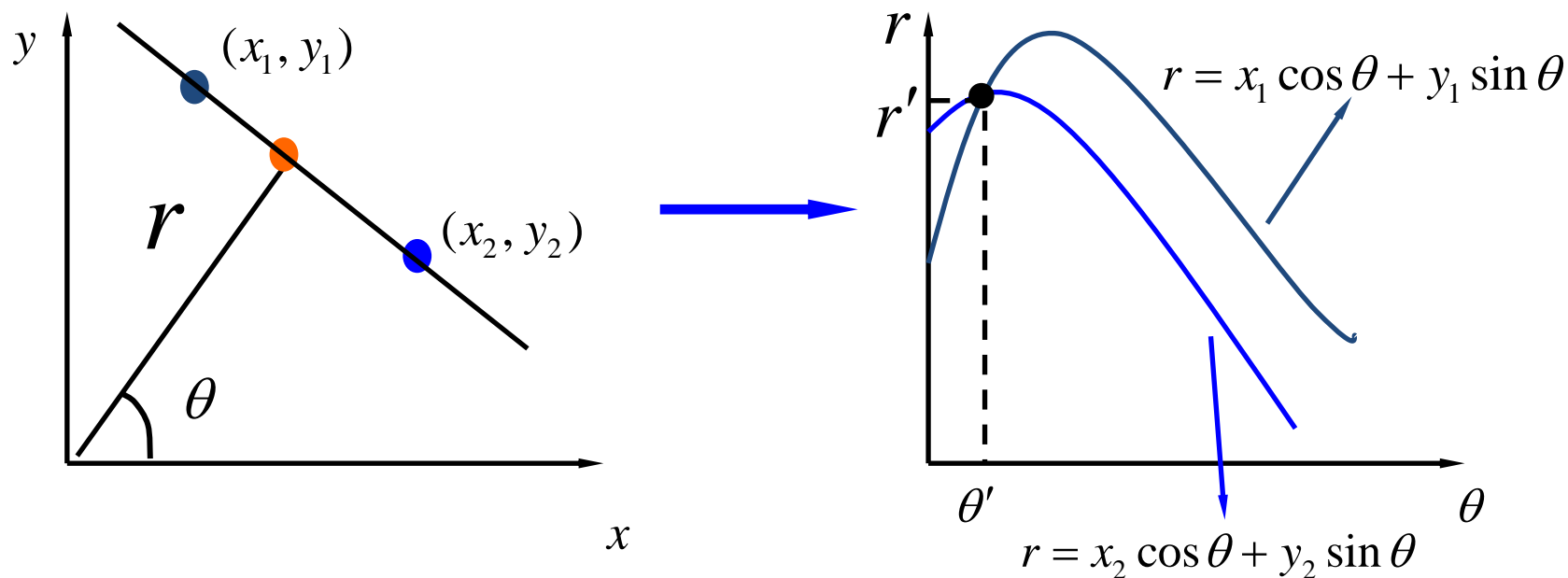
对于垂线，用极坐标表示有

$$x = r \cos 0 + r \sin 0$$

$$\Rightarrow x = r$$



Hough变换



- 这样经过Hough变换，图像空间中的每个点 (x, y) 就被映射为一个 (r, θ) 空间中的**正弦曲线**。
- 而图像空间中共线的点所对应的 (r, θ) 空间中正弦曲线相交于一点 (r', θ') 。

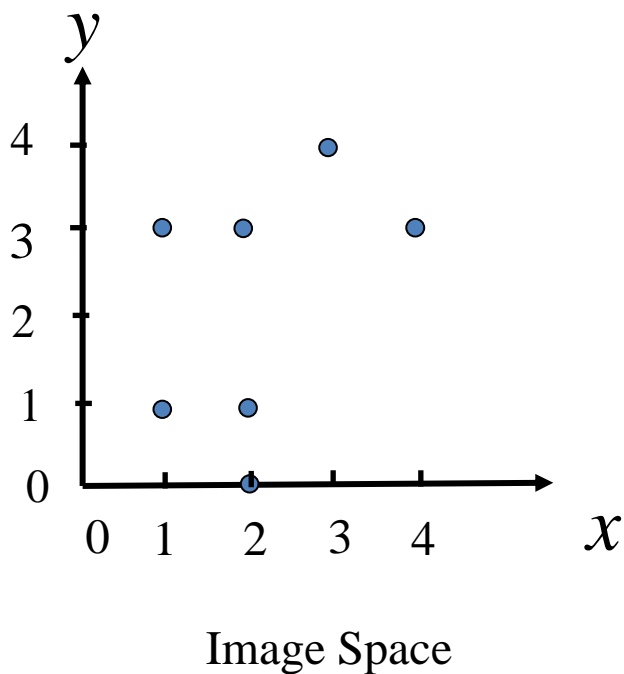
Hough变换

把在图像空间中检测直线的问题转化为在极坐标参数空间中找通过点 (r, θ) 的**最多正弦曲线数**的问题。



如何检测参数空间中这样的点？

Hough变换



步骤:

1. 离散化 θ

$\theta = -45, 0, 45, 90$ 度

Hough变换

2. 按点的坐标 (x,y) 和每个角度 θ 求 r

$$r = x \cos \theta + y \sin \theta$$

(x, y)	-45°	0°	45°	90°
(2,0)	1.4	2	1.4	0
(1,1)	0	1	1.4	1
(2,1)	0.7	2	2.1	1
(1,3)	-1.4	1	2.8	3
(2,3)	-0.7	2	3.5	3
(4,3)	0.7	4	4.9	3
(3,4)	-0.7	3	4.9	4

Hough变换

3. 统计 (r, θ) 出现的次数

	-1.4	-0.7	0	0.7	1	1.4	2	2.1	2.8	3	3.5	4	4.9
-45°	1	2	1	2		1							
0°					2		3			1		1	
45°						2		1	1		1		2
90°			1		2					3		2	

- 最大次数3出现 $(r, \theta) = (2, 0^\circ)$ 和 $(r, \theta) = (3, 90^\circ)$
- 则相对应的图像空间中的线分别为：

$$2 = x \cos 0 + y \sin 0 \quad \text{即 } x = 2$$

$$3 = x \cos 90 + y \sin 90 \quad \text{即 } y = 3$$

Hough变换

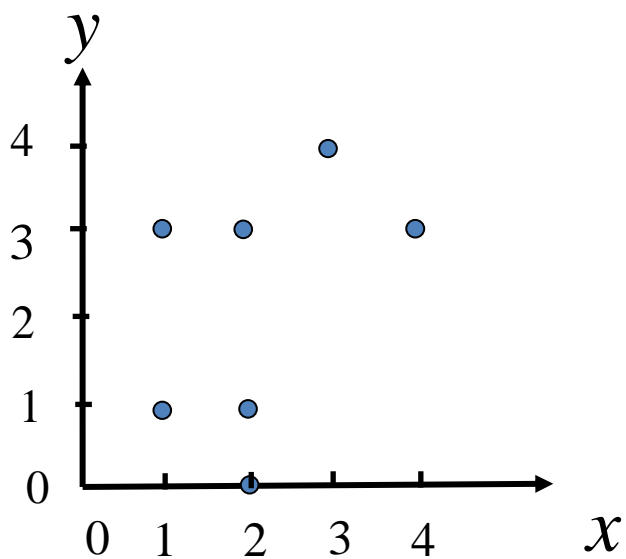
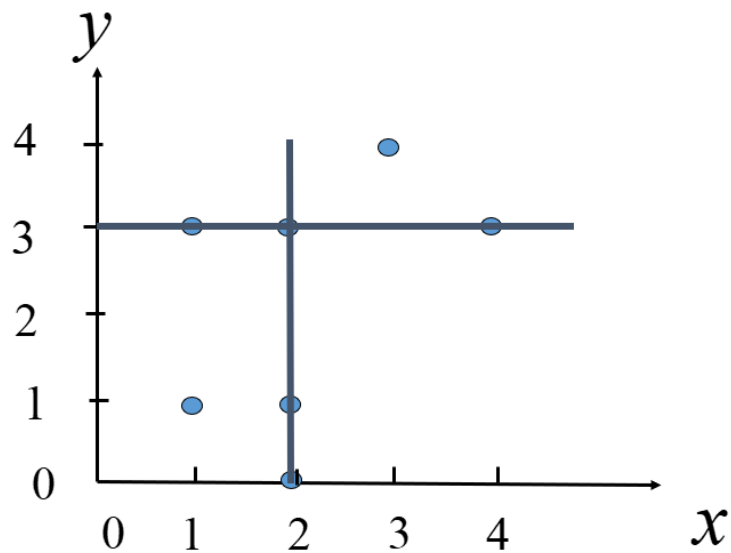


Image Space



Hough变换

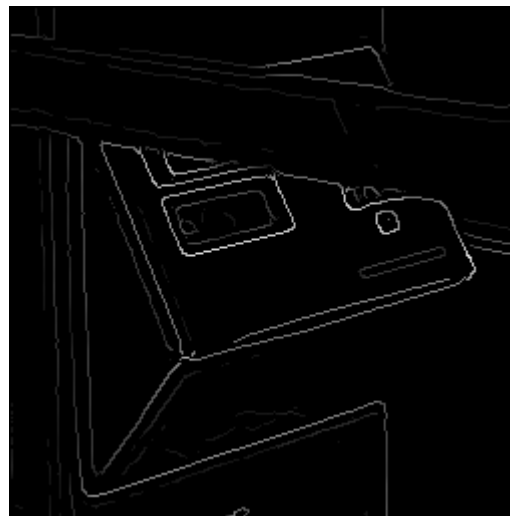
Hough直线检测步骤

- 构建（参数空间）变换域累加器数组，并将其初始化为0；
- 读入一幅二值化图像，遍历图像像素点；
- 对每一个像素点，进行霍夫变换，按照 r 和 θ 的值在变换域累加器数组中的相应位置上加1；
- 遍历累加器数组，寻找局部极大值。

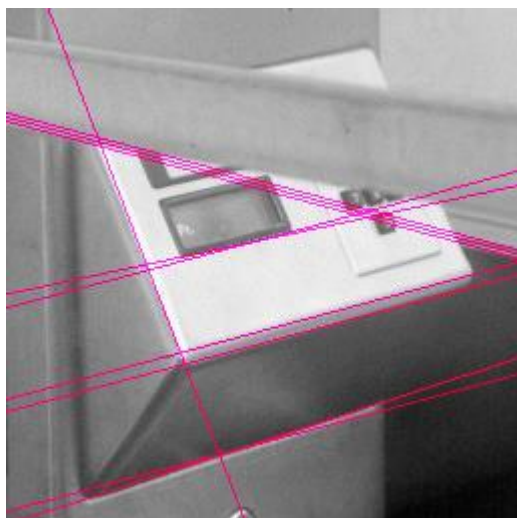
Hough变换



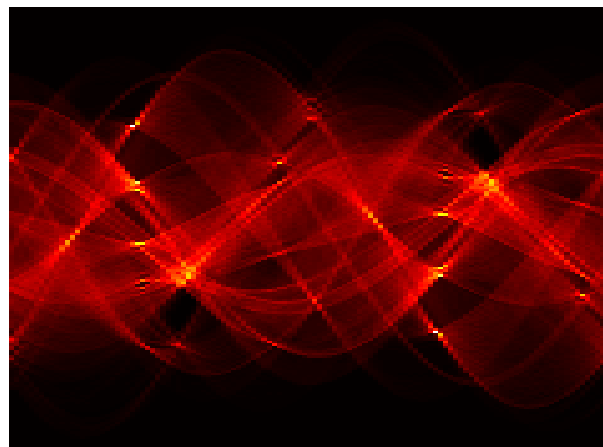
原始图像



边缘检测图像



检测到的直线



参数空间

Hough变换

Hough变换直线检测总结

根据直角坐标系和极坐标系变换域之间的关系，霍夫变换具有如下主要性质：

- 直角坐标系中的一点对应于极坐标中的一条正弦曲线
- 变换域极坐标系中一点对应于直角坐标系中的一条直线
- 直角坐标系一条直线上的 N 个点对应于极坐标系中共点的 N 条曲线。

Hough变换

Hough变换圆检测原理

设图像空间中一个半径为 r ，圆心坐标 (x_0, y_0) 为的圆

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = r^2$$

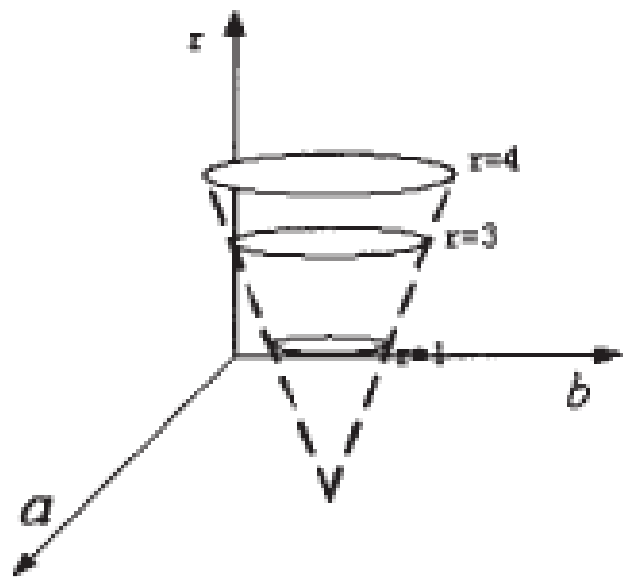
在参数空间中，圆可以表示为

$$\begin{cases} x_0 = x - r \cos \theta \\ y_0 = y - r \sin \theta \end{cases}$$

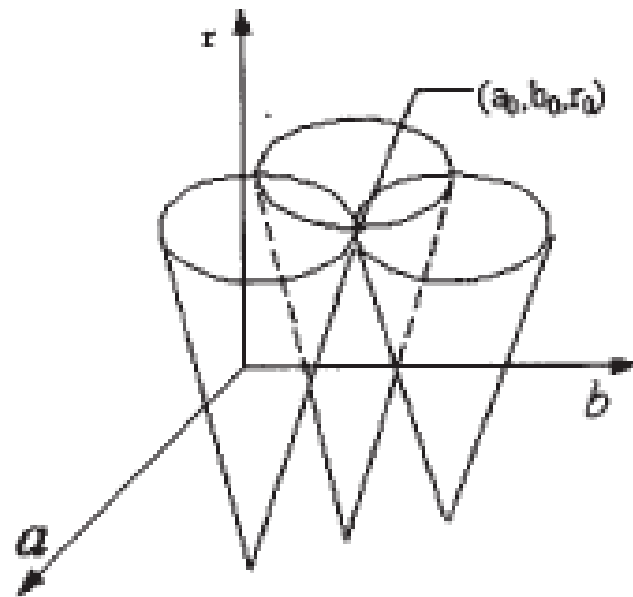
在参数坐标系中，可以发现只需要三个参数 (x_0, y_0, r) 便可以确定一个圆。

因而该参数点表示所有过点 (x, y) 的圆。

Hough变换



图像空间中的点对应参数空间中的**直立圆锥**

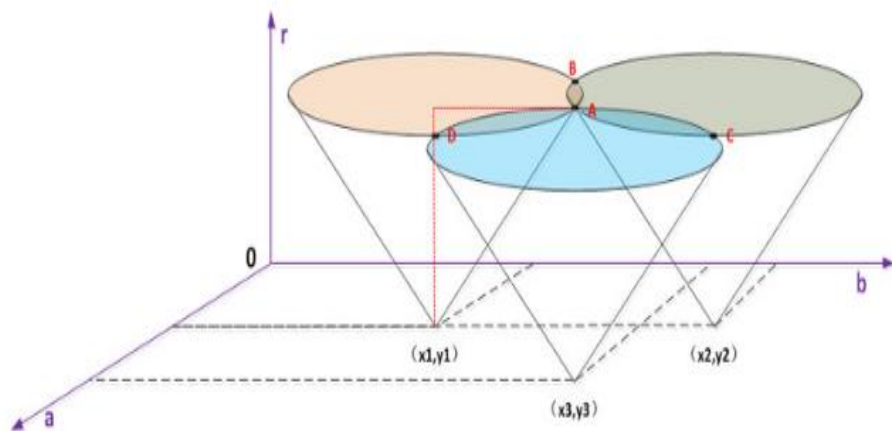


图像空间中圆上的点在参数空间中的表示

图像空间中圆上的点映射到参数空间中的一族圆锥的交点正好对应于圆的**圆心坐标**和**圆的半径**。

Hough变换

三点确定一个圆，经过三点的圆如图所示。



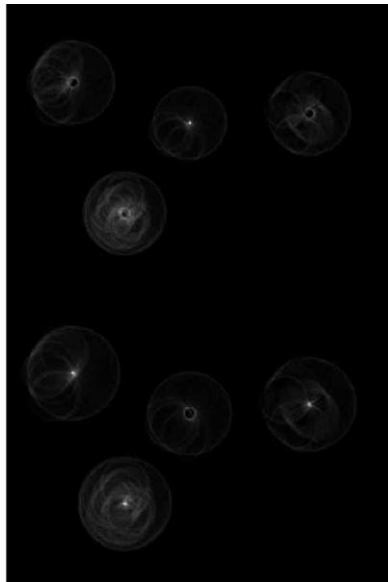
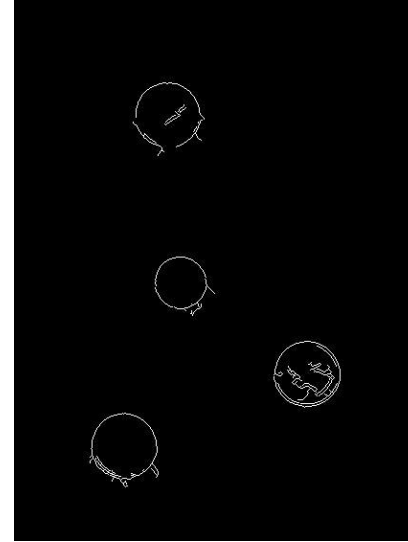
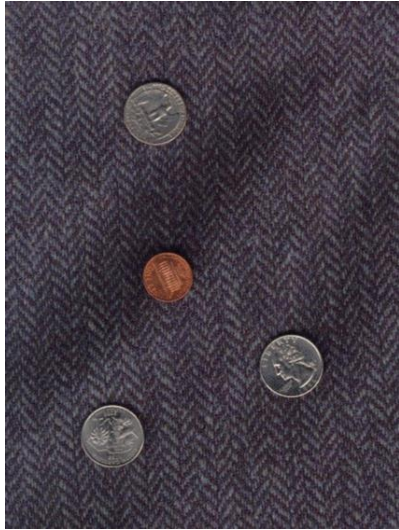
在参数空间中的交点就代表了图像空间中的某个圆

Hough变换

Hough圆检测步骤

- 基于以上原理对参数空间适当量化，得到一个三维的累加器阵列，阵列中的每一个立方小格对应的参数离散值。
- 对图像空间所存在的圆进行边缘检测，将每个边缘点映射到 abr 三维空间，同时将对应立方小格的累加器累加。
- 当对全部边缘点变换完成后，查找所有累加器的最大值，其对应坐标就是图像空间中圆的圆心和半径。

Hough变换



Hough变换

思考题

- 如何检测平行线？
- 如何检测三角形，四边型？
- 给定一目标的曲线形状，可用什么方法检测？