

# 数字图像处理

## 7. 霍夫变换

李竹

杭州电子科技大学

电子信息学院

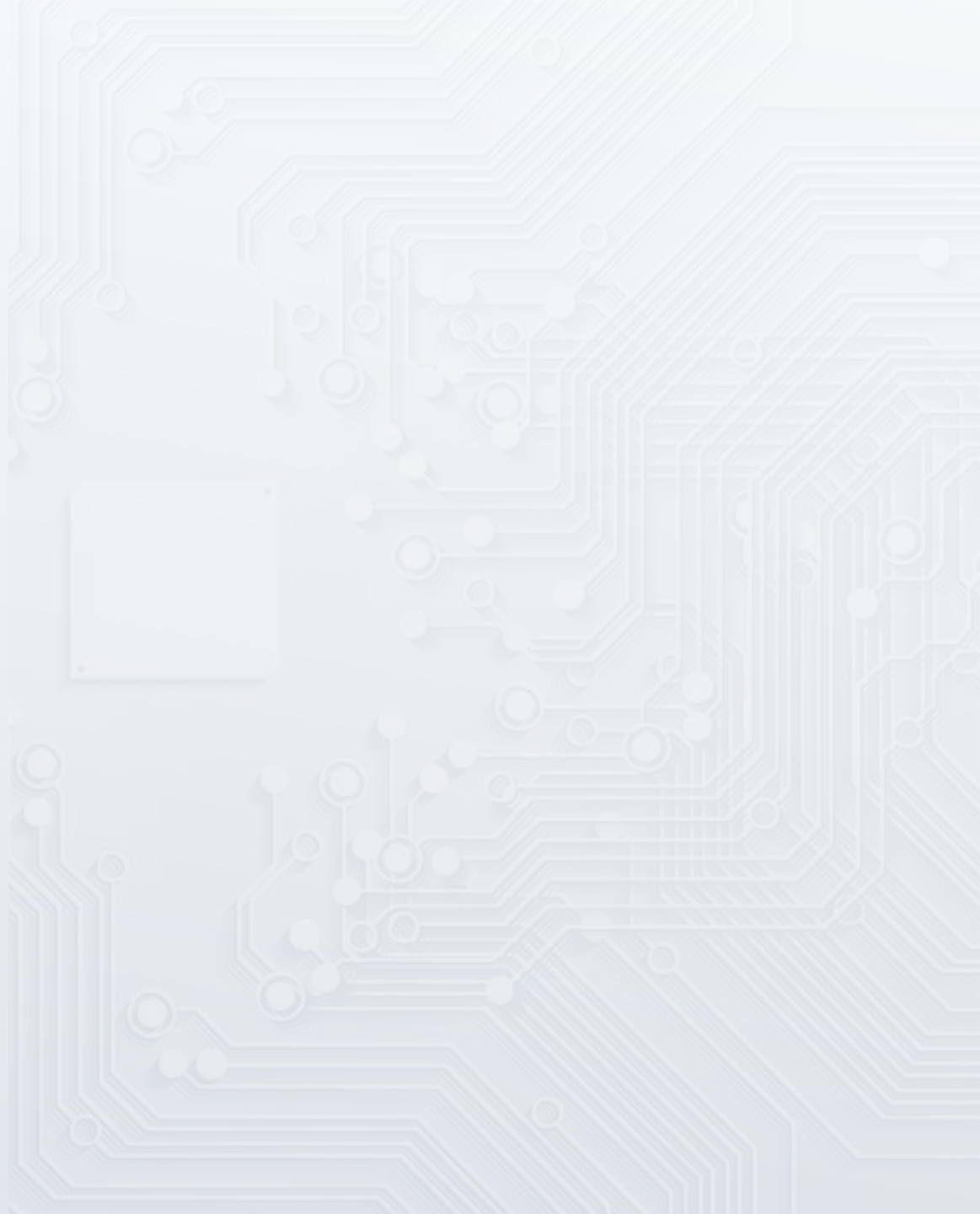


# 本章概要

---

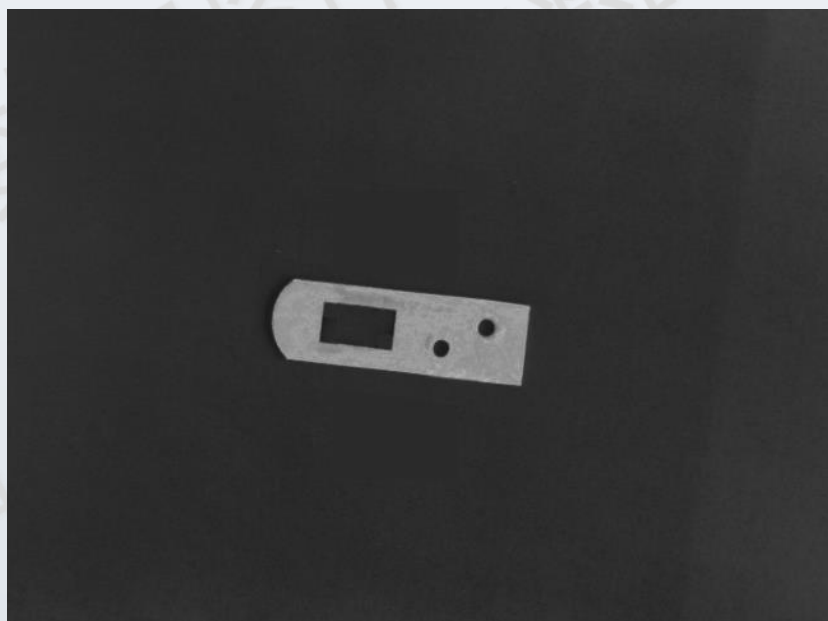
1. 霍夫变换
2. Blob分析

数字图像处理  
课程资料  
杭州电子科技大学  
李竹



# 直线检测问题

很多应用场景下，不光需要知道代表边缘的像素，还需要进一步获得直线方程。如下图，需要测量零件的宽度是否符合要求，



测量零件尺寸

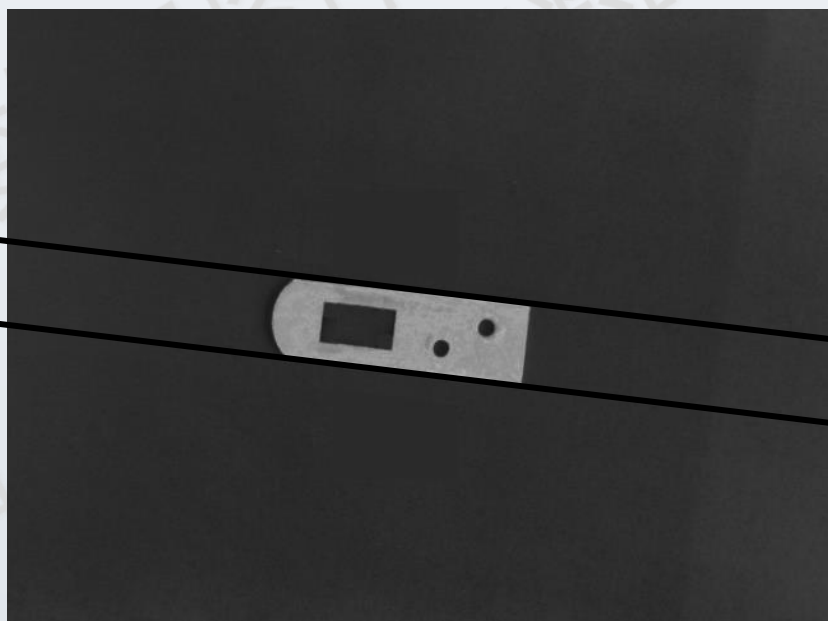


消失点检测

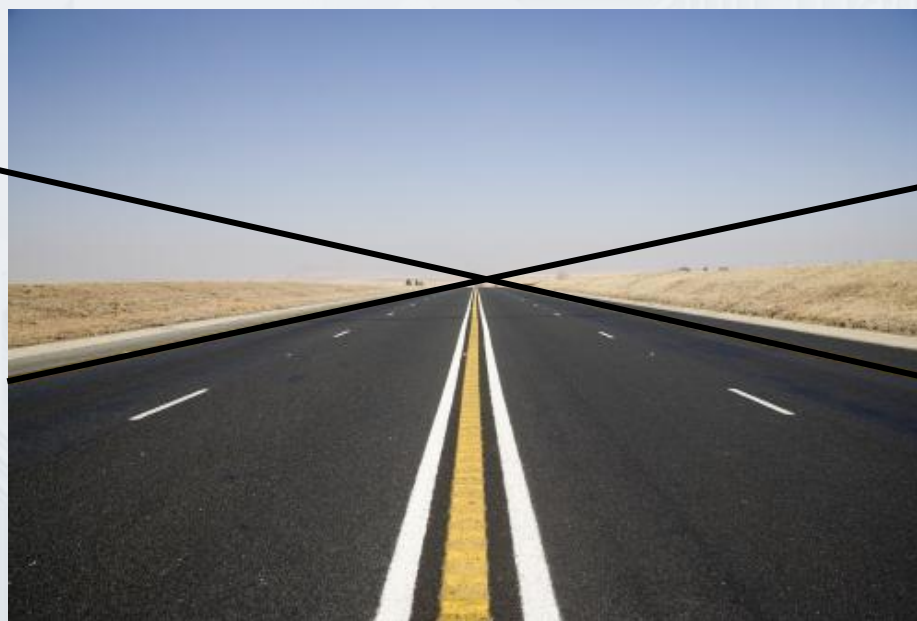


# 直线检测问题

很多应用场景下，不光需要知道代表边缘的像素，还需要进一步获得直线方程。如下图，需要测量零件的宽度是否符合要求，



测量零件尺寸



消失点检测

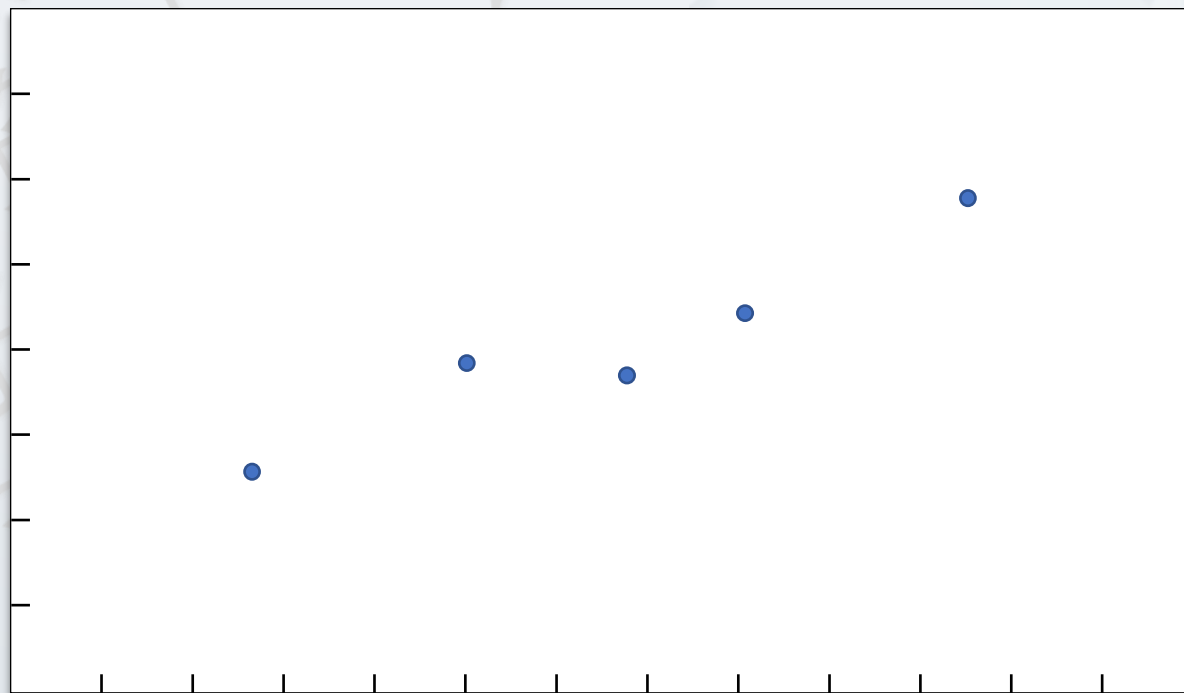
# 直线检测问题

获得边缘点，通过最小二乘法拟合直线。如下图，当我们获得了如下的边缘点后，如何进而将边缘点所在的直线计算得到。



# 直线检测问题

获得边缘点，通过最小二乘法拟合直线。如下图，当我们获得了如下的边缘点后，如何进而将边缘点所在的直线计算得到。

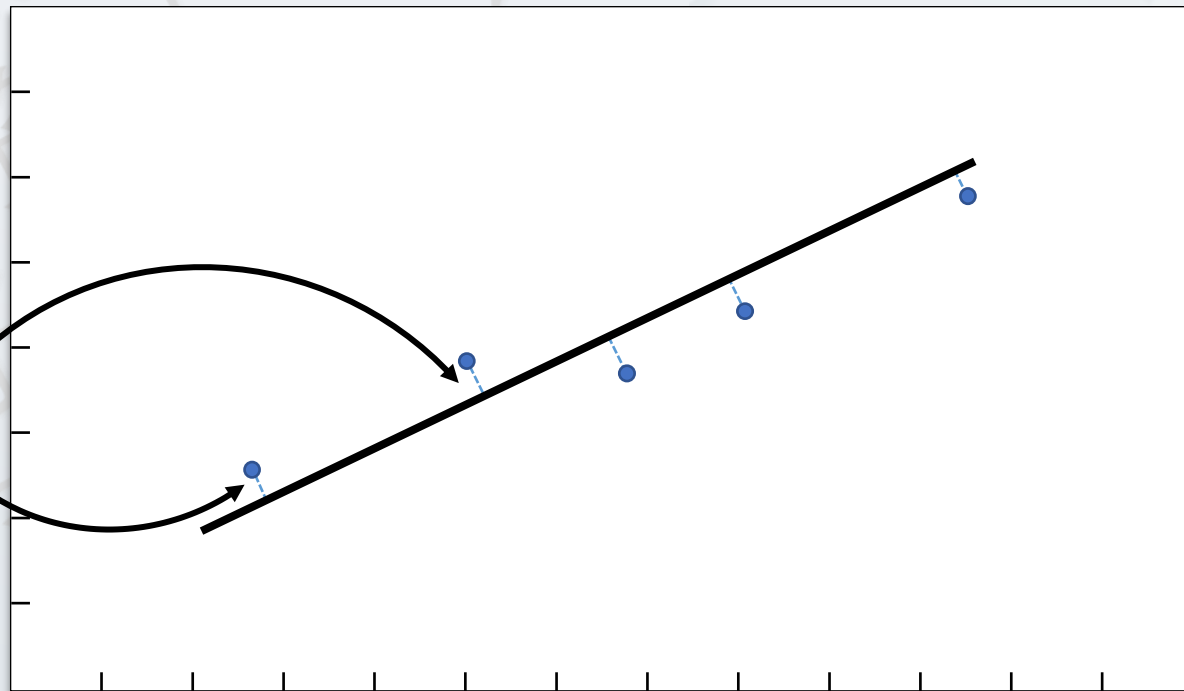




# 直线检测问题

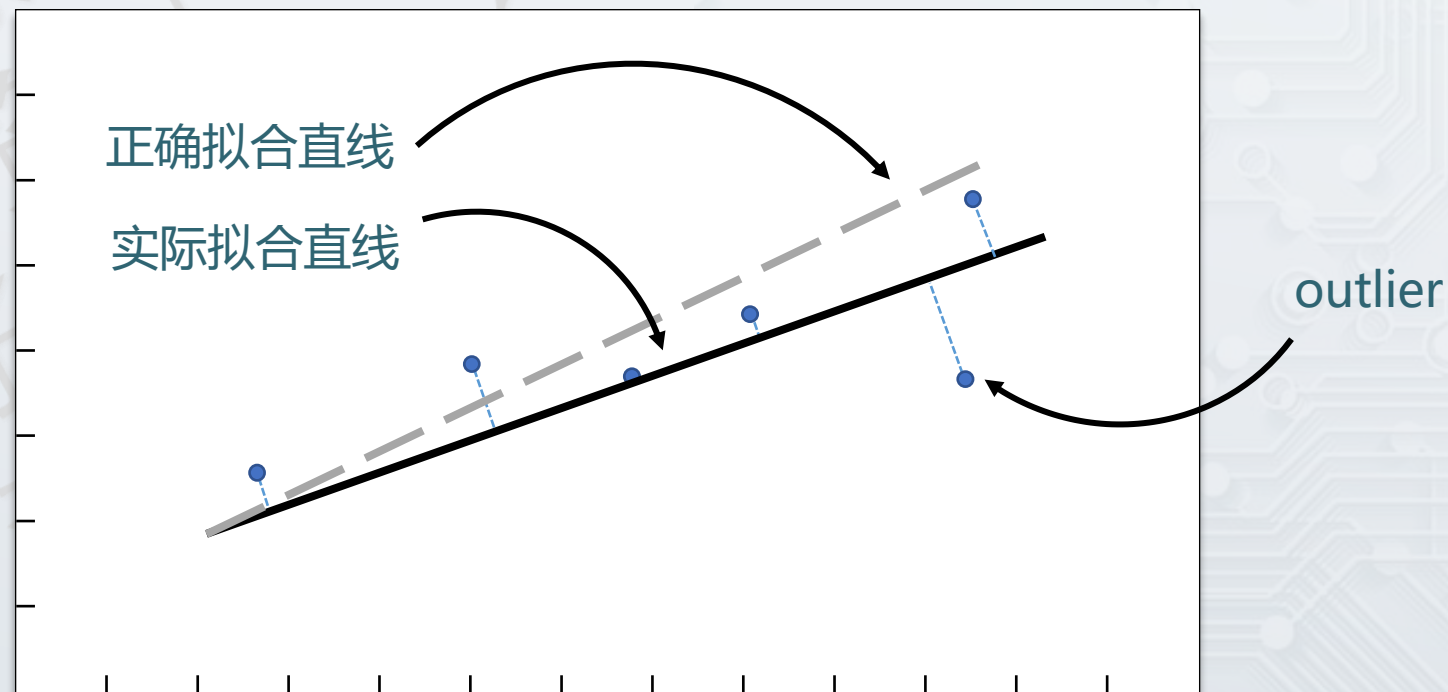
获得边缘点，通过最小二乘法拟合直线，即该直线使所有采样点到直线的距离之和最小。

样本点误差，实际为  
到直线的投影距离



# 直线检测问题

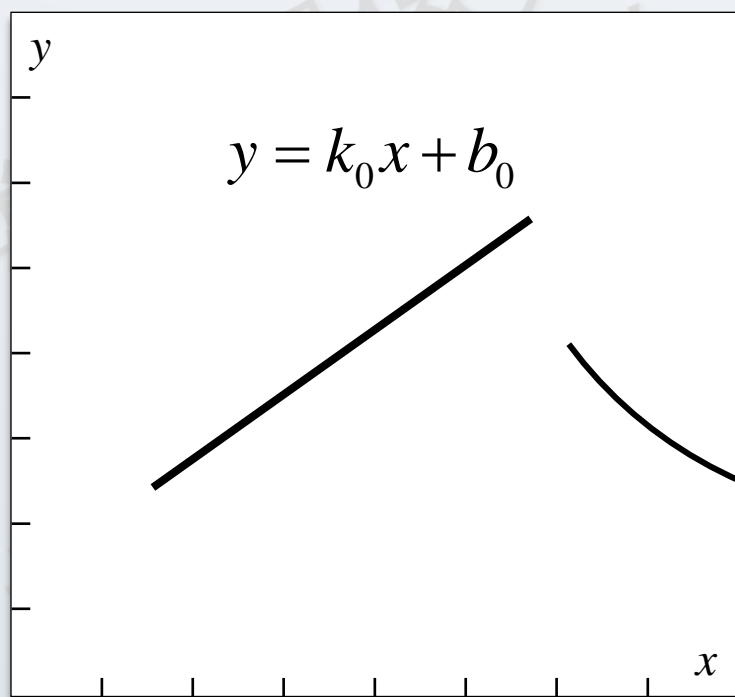
当出现离群采样点 (outlier) 时, 会导致拟合线出现较大的偏差。Demo





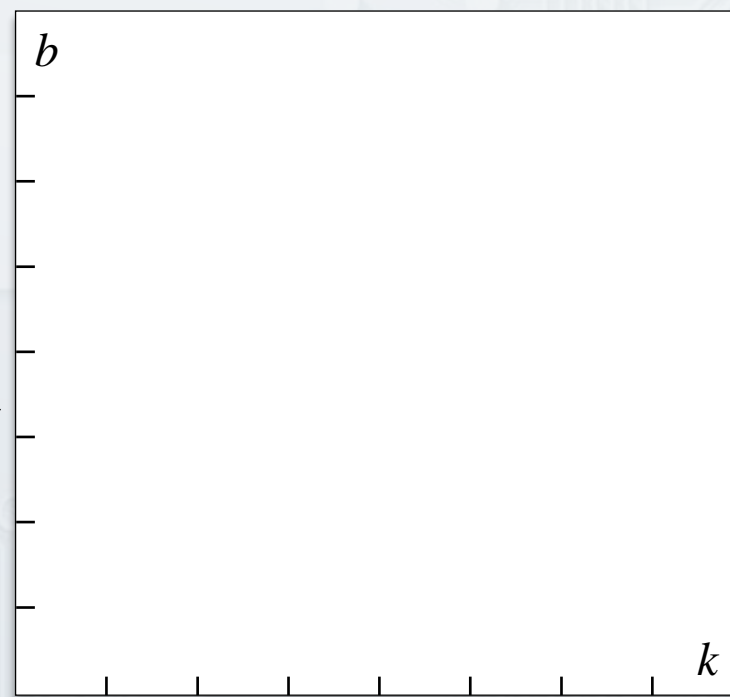
# 霍夫变换

霍夫变换，在参数空间(parameter space)中执行投票来决定参数。假设直线方程为 $y=kx+b$ ，其直线参数为 $k$ 和 $b$ 。构建由 $k$ ， $b$ 组成的参数空间。即霍夫空间。



图像空间

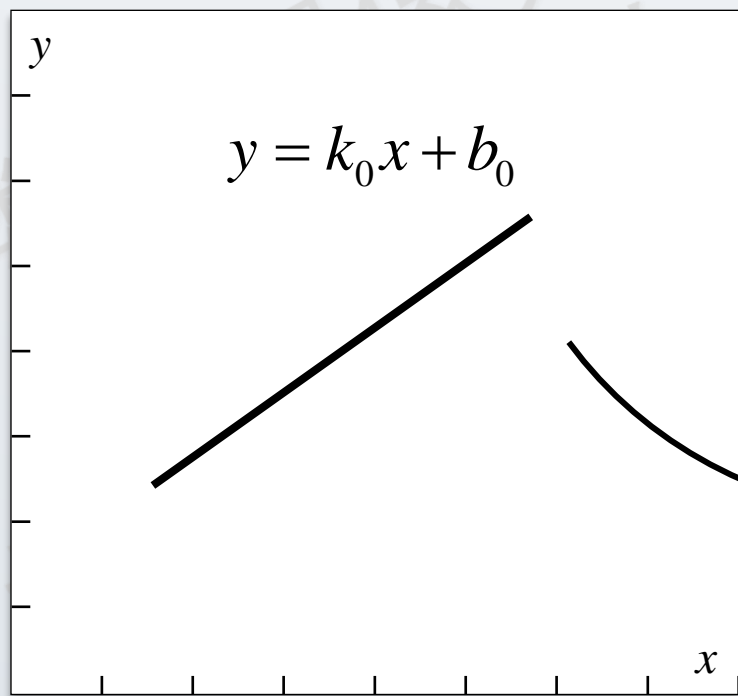
图像空间中的一条直线，在参数空间中则为？？？



霍夫空间

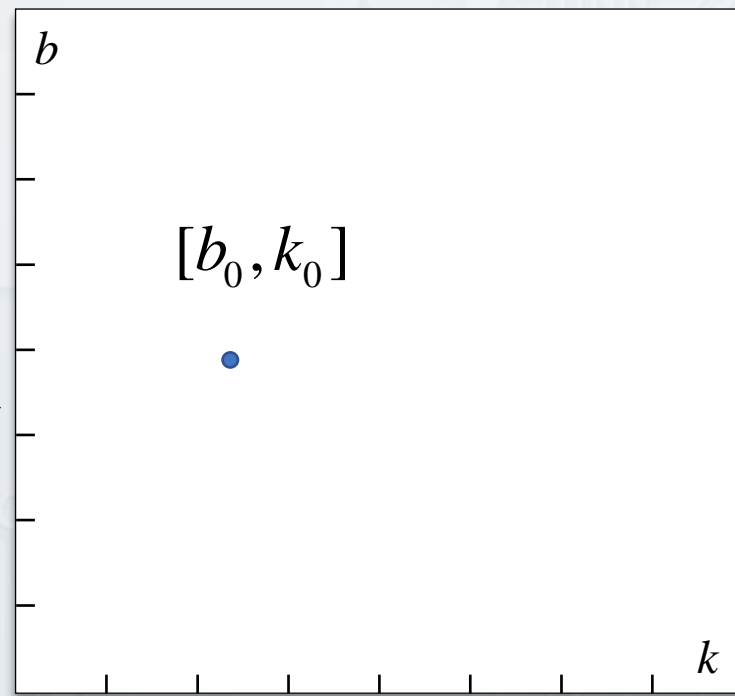
# 霍夫变换

霍夫变换，在参数空间(parameter space)中执行投票来决定参数。假设直线方程为 $y=kx+b$ ，其直线参数为 $k$ 和 $b$ 。构建由 $k$ ， $b$ 组成的参数空间，即霍夫空间。



图像空间

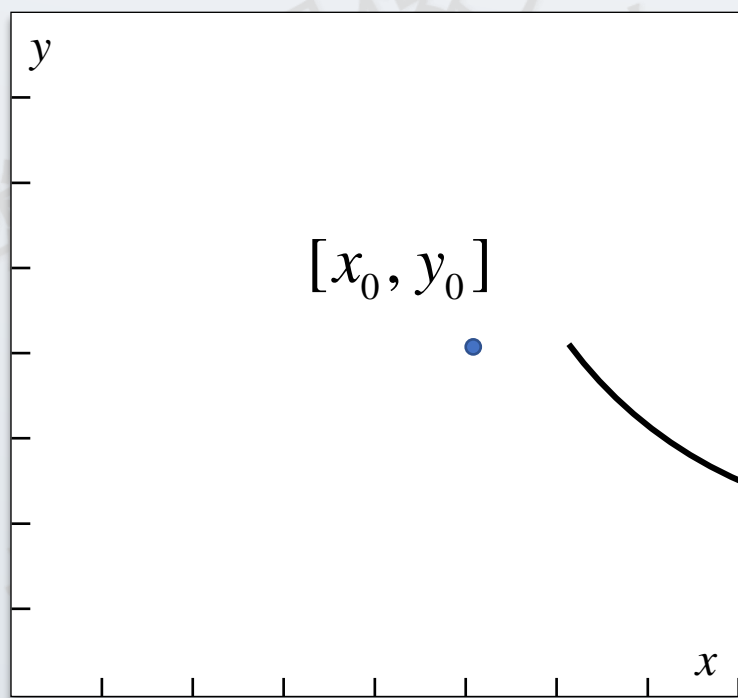
图像空间中的一条直线，在参数空间中则为一个点。



霍夫空间

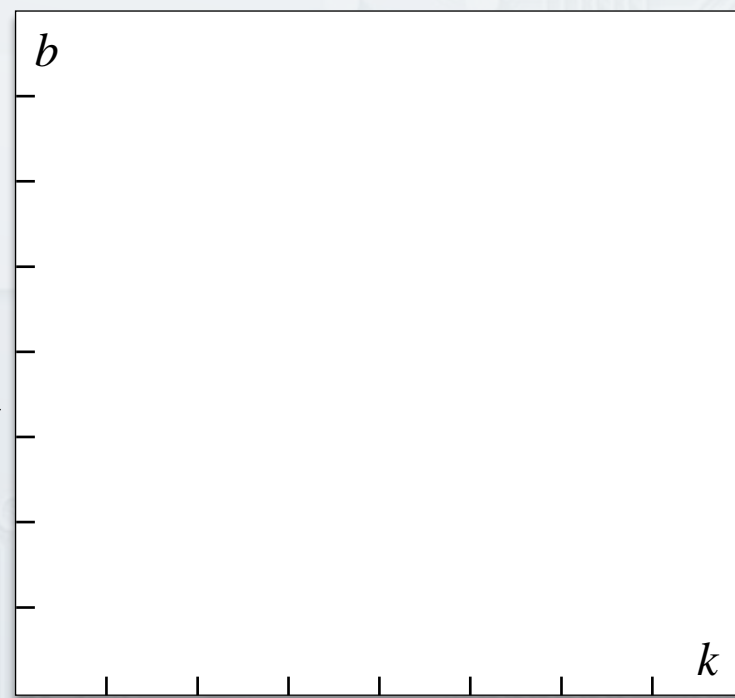
# 霍夫变换

霍夫变换，在参数空间(parameter space)中执行投票来决定参数。假设直线方程为 $y=kx+b$ ，其直线参数为 $k$ 和 $b$ 。构建由 $k$ ， $b$ 组成的参数空间，即霍夫空间。



图像空间

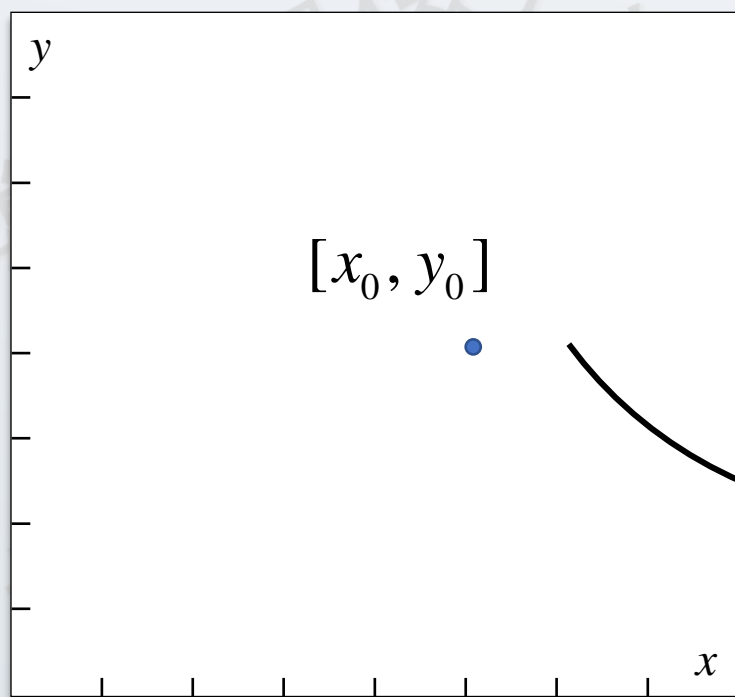
图像空间中的一  
点，在参数空间  
中则为？？？



霍夫空间

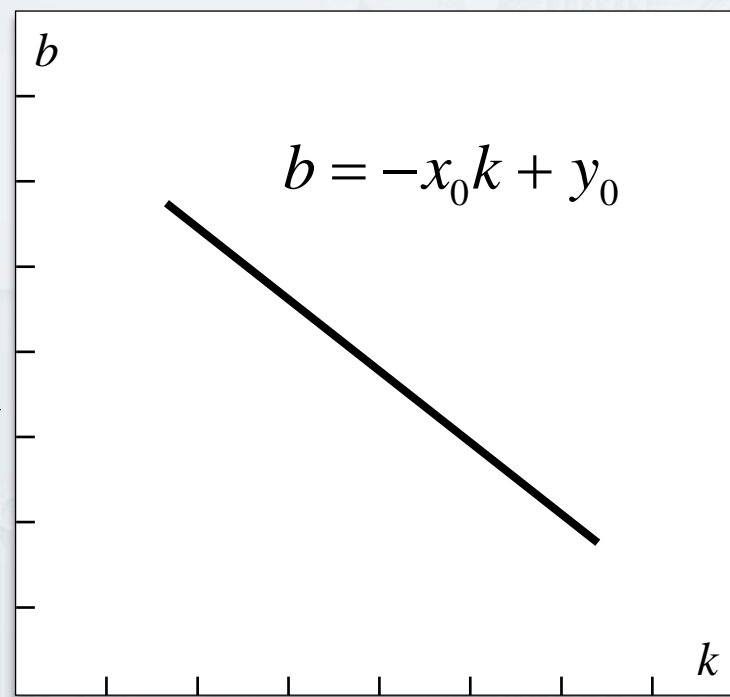
# 霍夫变换

霍夫变换，在参数空间(parameter space)中执行投票来决定参数。假设直线方程为 $y=kx+b$ ，其直线参数为 $k$ 和 $b$ 。构建由 $k$ ， $b$ 组成的参数空间，即霍夫空间。



图像空间

图像空间中的一点，在参数空间中则为一条直线

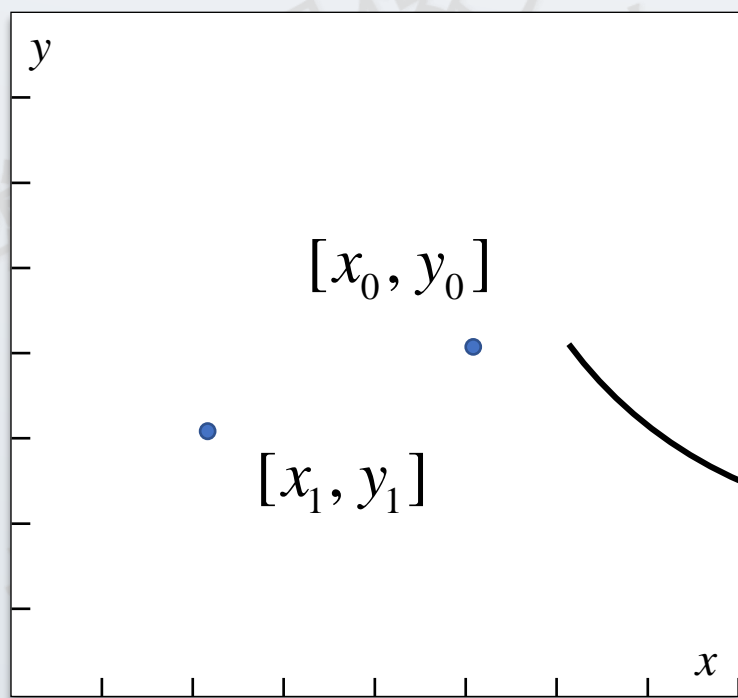


霍夫空间

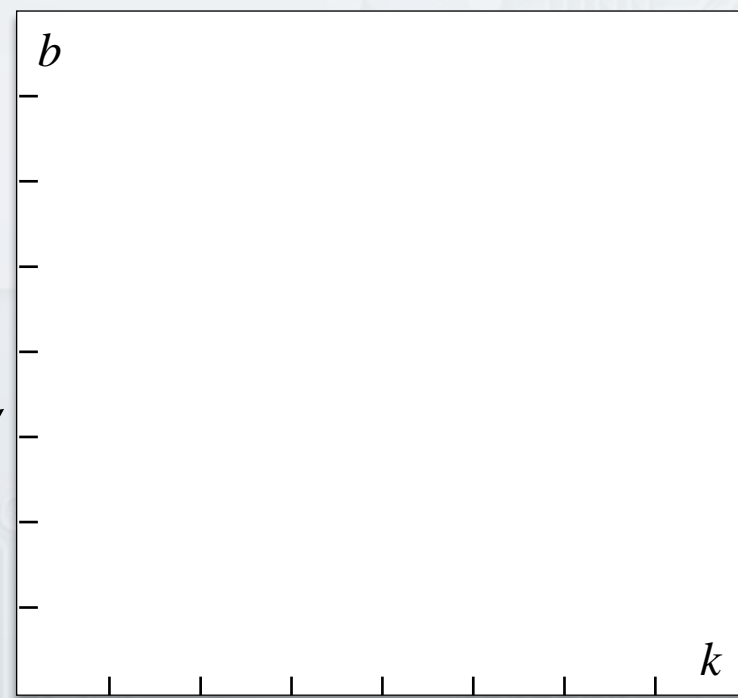


# 霍夫变换

假设图像空间中，一条直线经过点 $[x_0, y_0]$ 和点 $[x_1, y_1]$ ，则在霍夫空间中表现为？



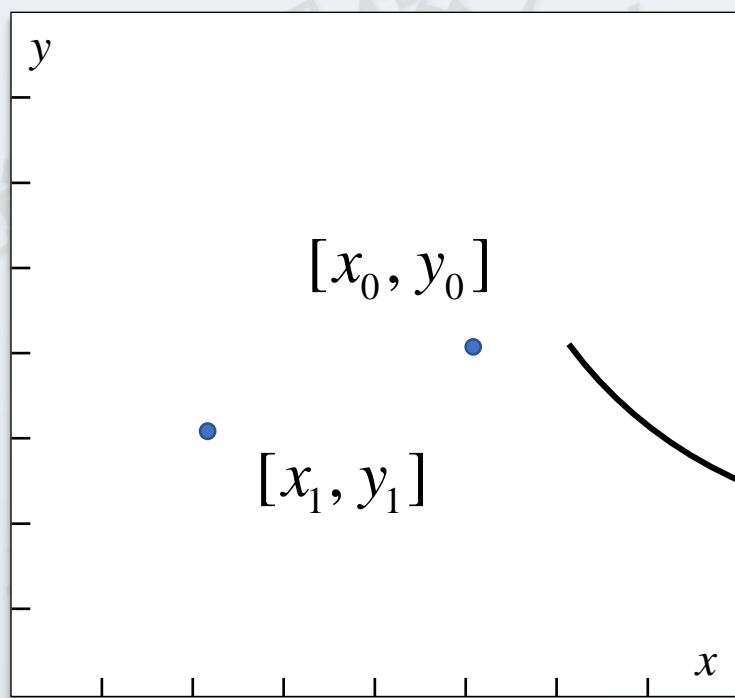
图像空间



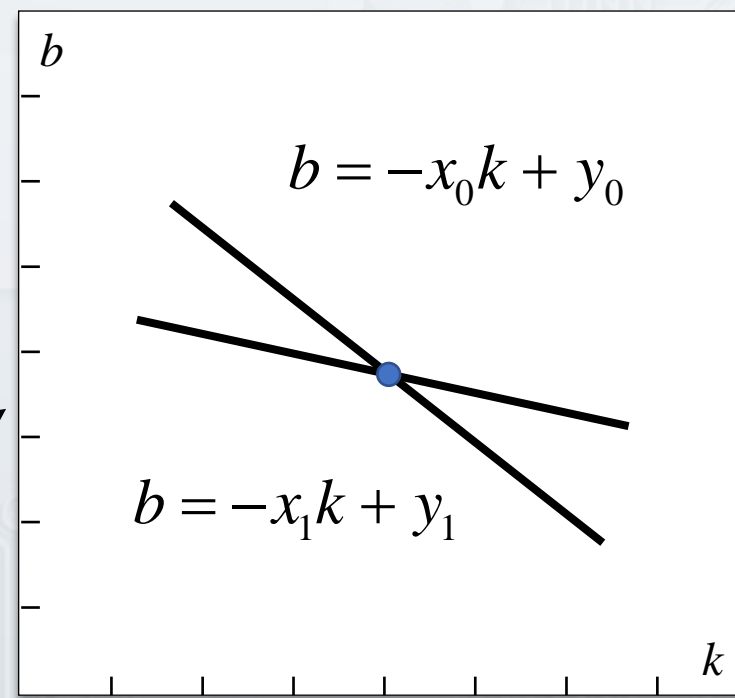
霍夫空间

# 霍夫变换

假设图像空间中，一条直线经过点 $[x_0, y_0]$ 和点 $[x_1, y_1]$ ，则在霍夫空间中表现为？



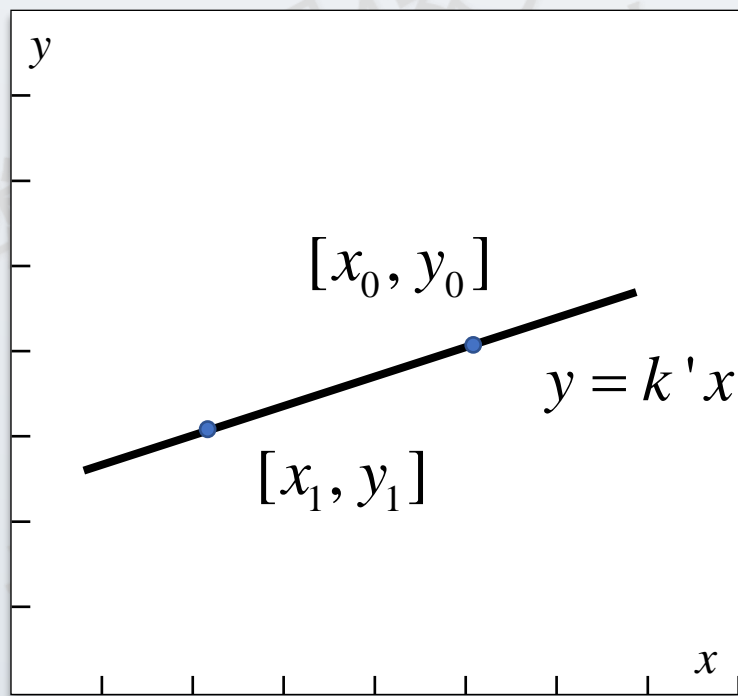
图像空间



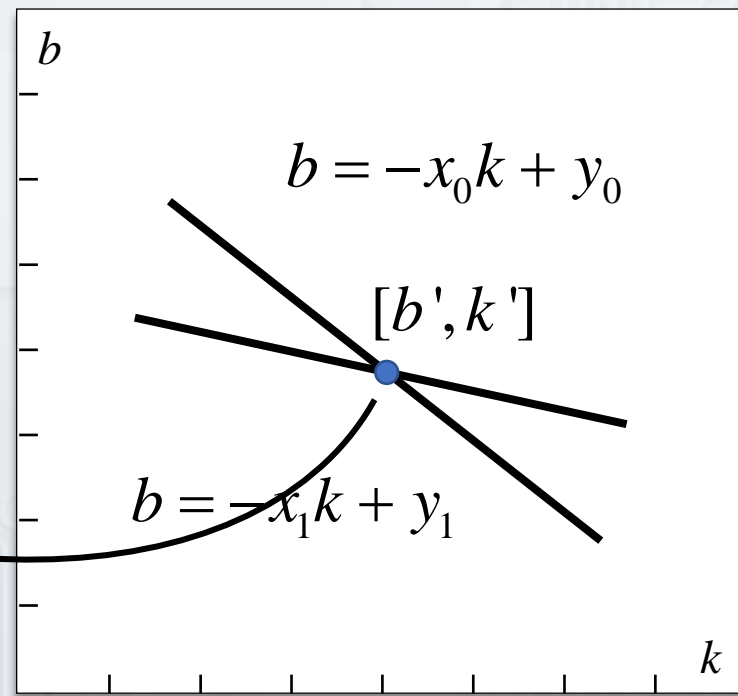
霍夫空间

# 霍夫变换

假设图像空间中，一条直线经过点 $[x_0, y_0]$ 和点 $[x_1, y_1]$ ，则在霍夫空间中表现为？



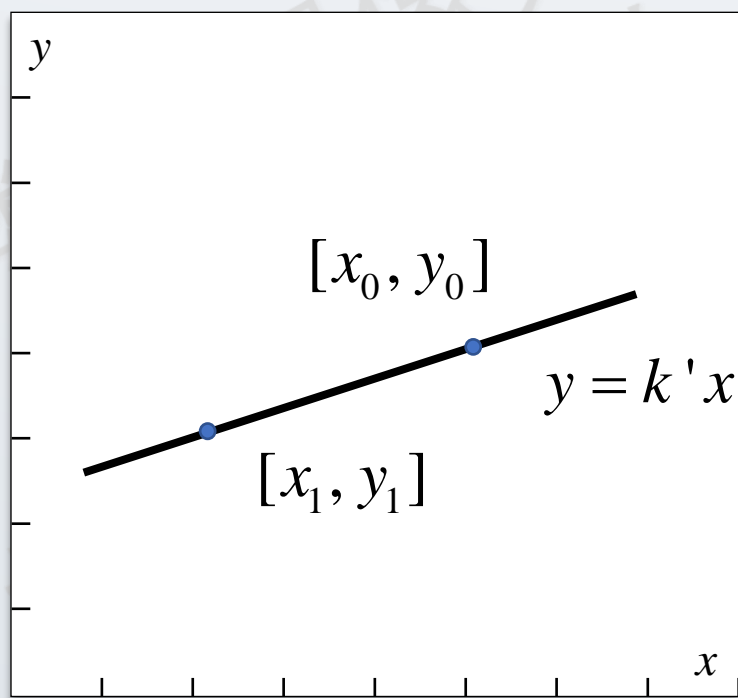
图像空间



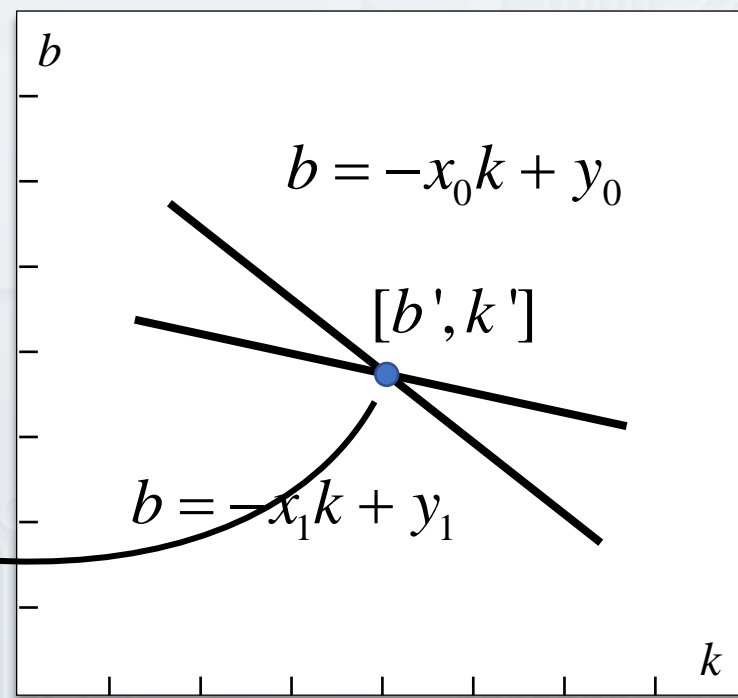
霍夫空间

# 霍夫变换

两点决定一条直线，即点  $[x_0, y_0]$  和点  $[x_1, y_1]$  可计算得到  $b'$  和  $k'$ ，因此在霍夫空间中，点  $[x_0, y_0]$  和点  $[x_1, y_1]$  分别代表的两点直线必然过点  $[b', k']$ 。



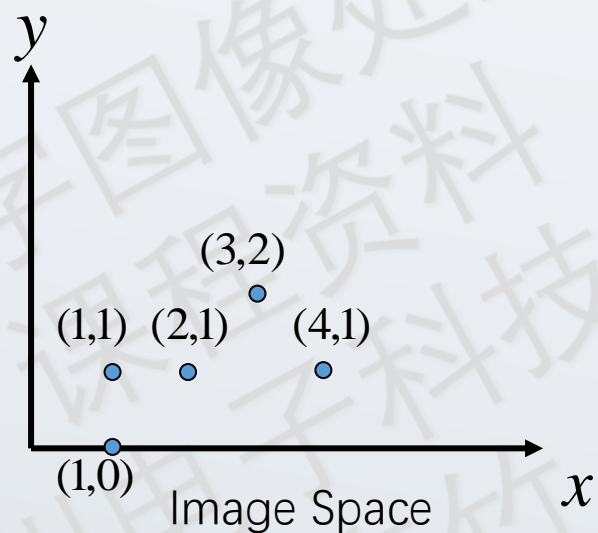
图像空间



霍夫空间



# 霍夫变换



$$\because y = kx + b \Rightarrow b = -xk + y$$

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

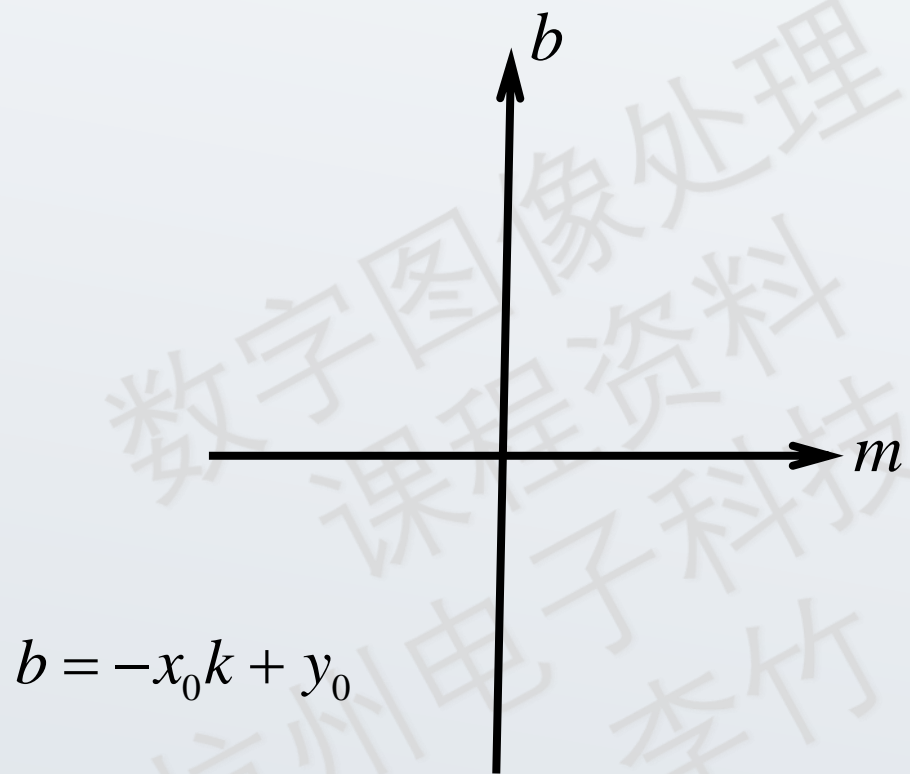
$$(1,1) \rightarrow b = -m + 1$$

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

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

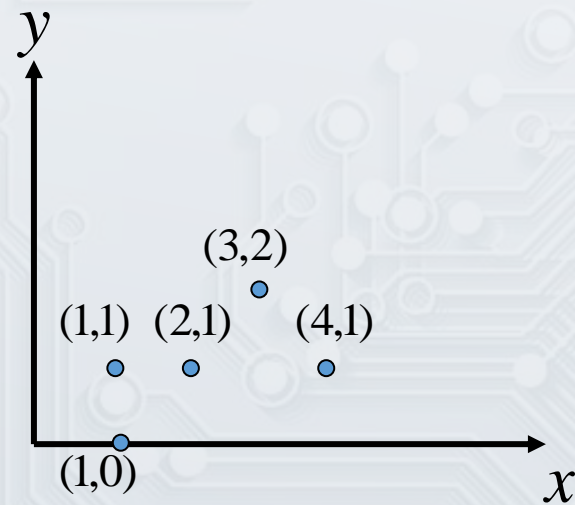
$$(3,2) \rightarrow b = -3m + 2$$

# 霍夫变换



霍夫空间

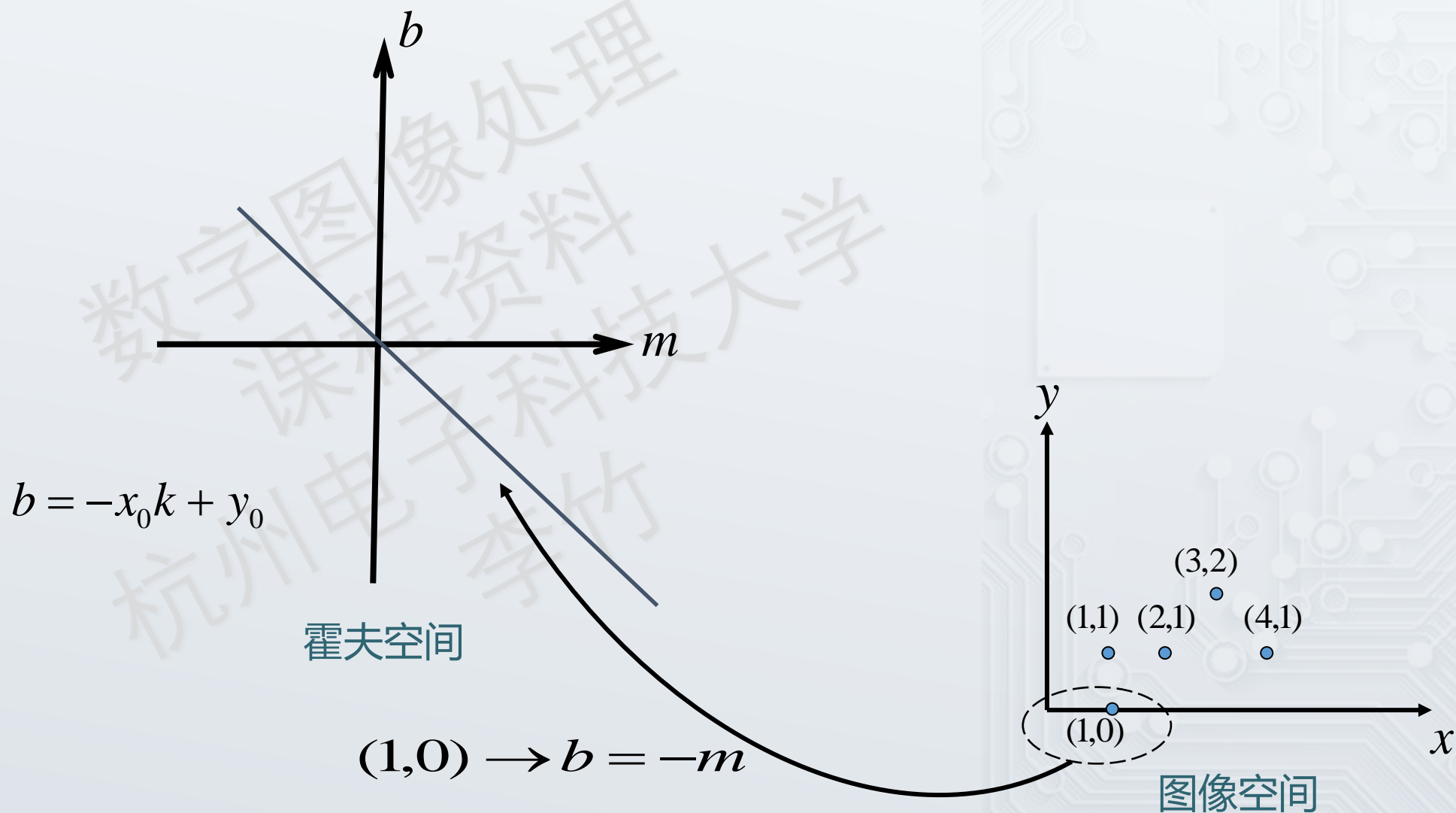
- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。



图像空间

# 霍夫变换

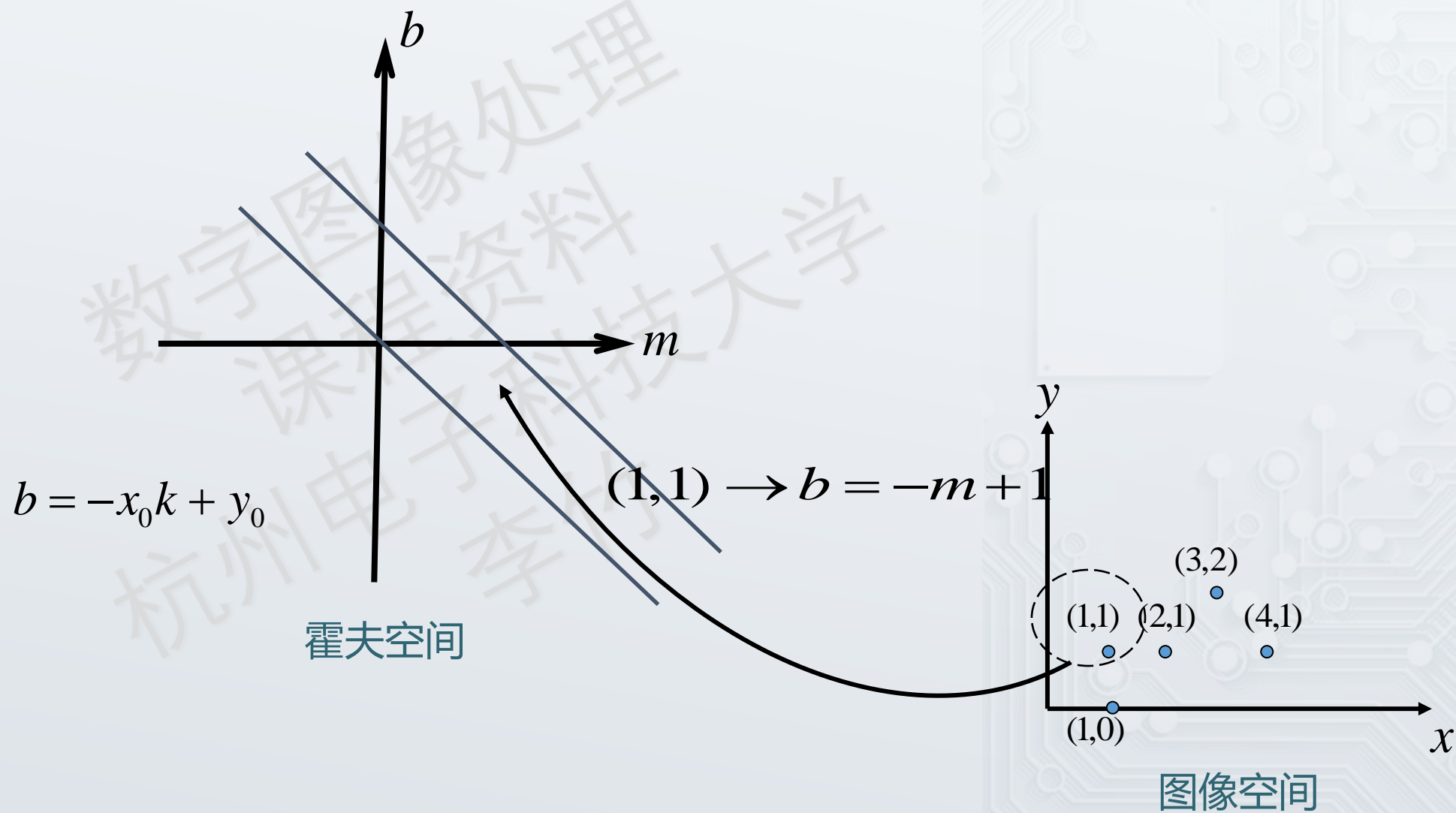
- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。





# 霍夫变换

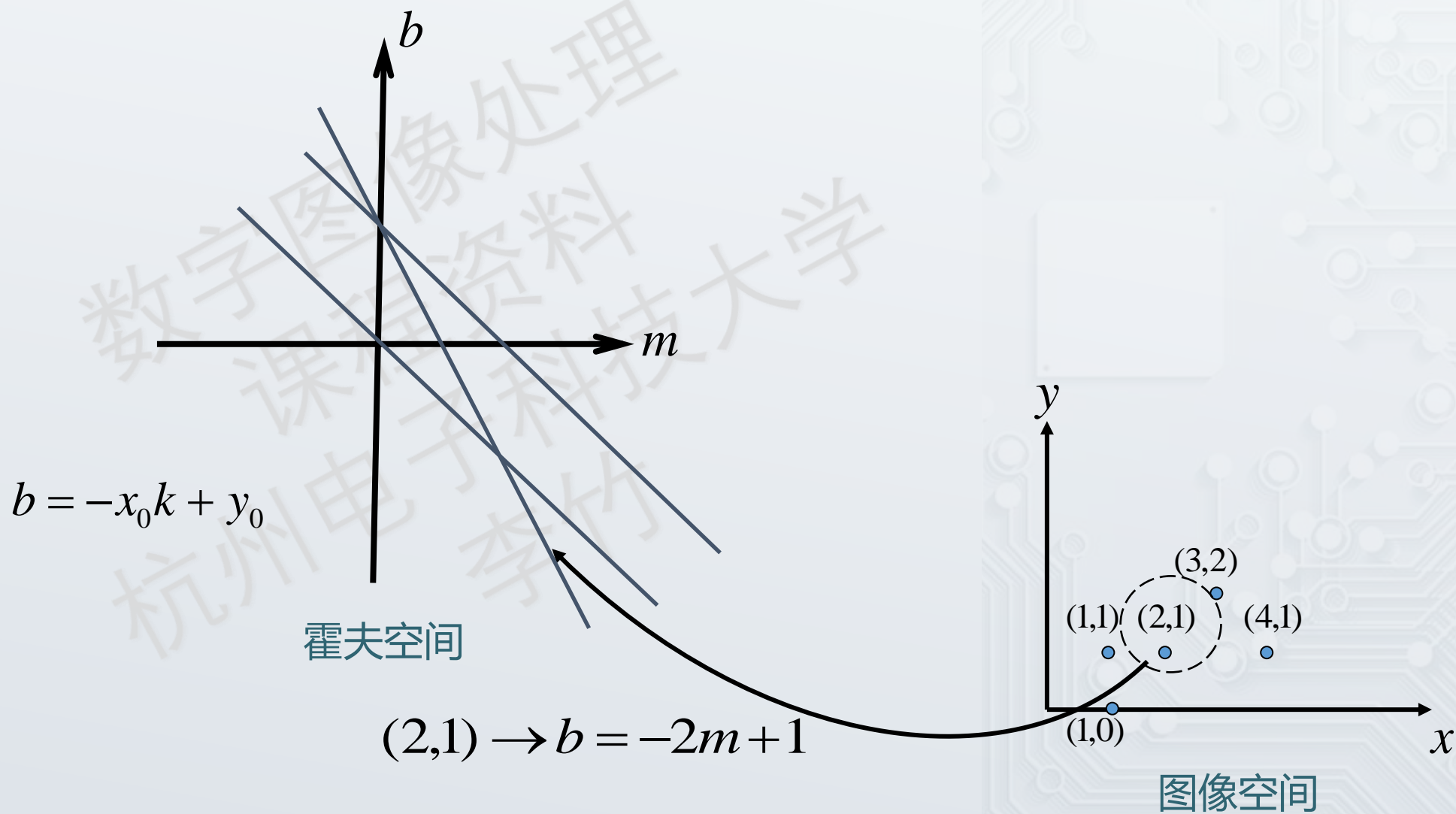
- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。





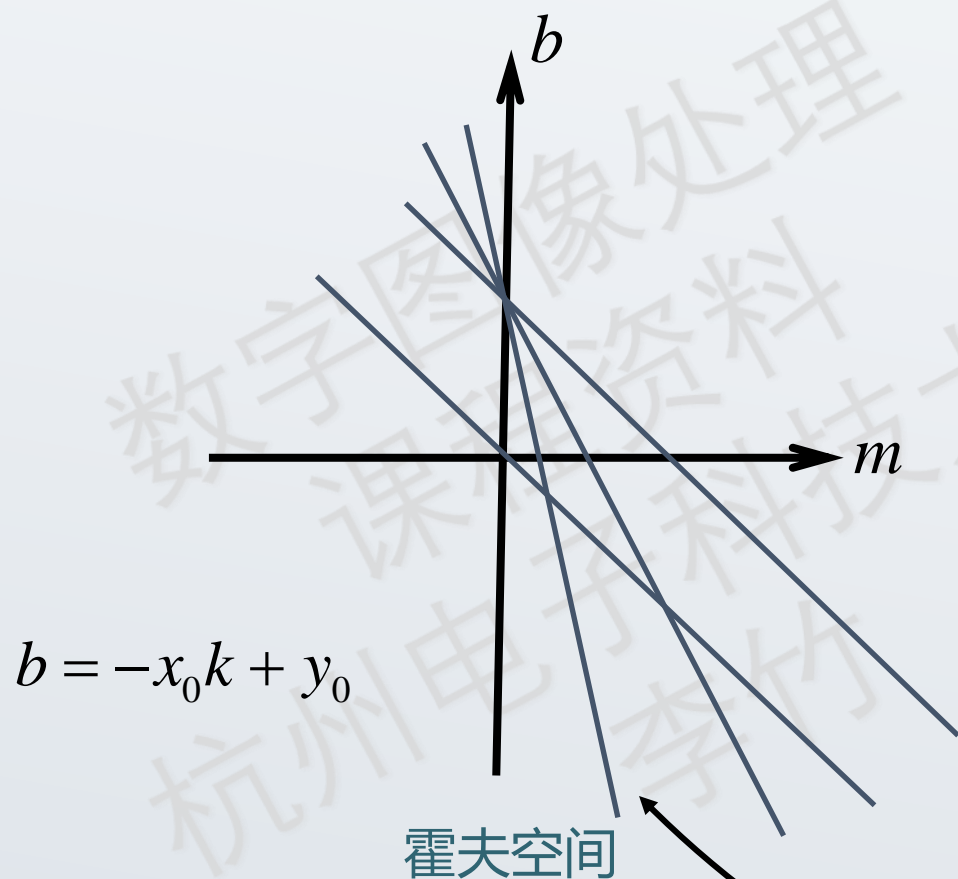
# 霍夫变换

- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。



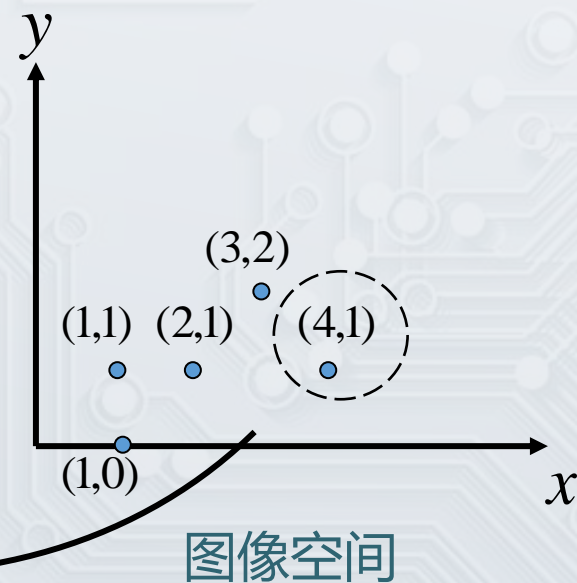
# 霍夫变换

- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。



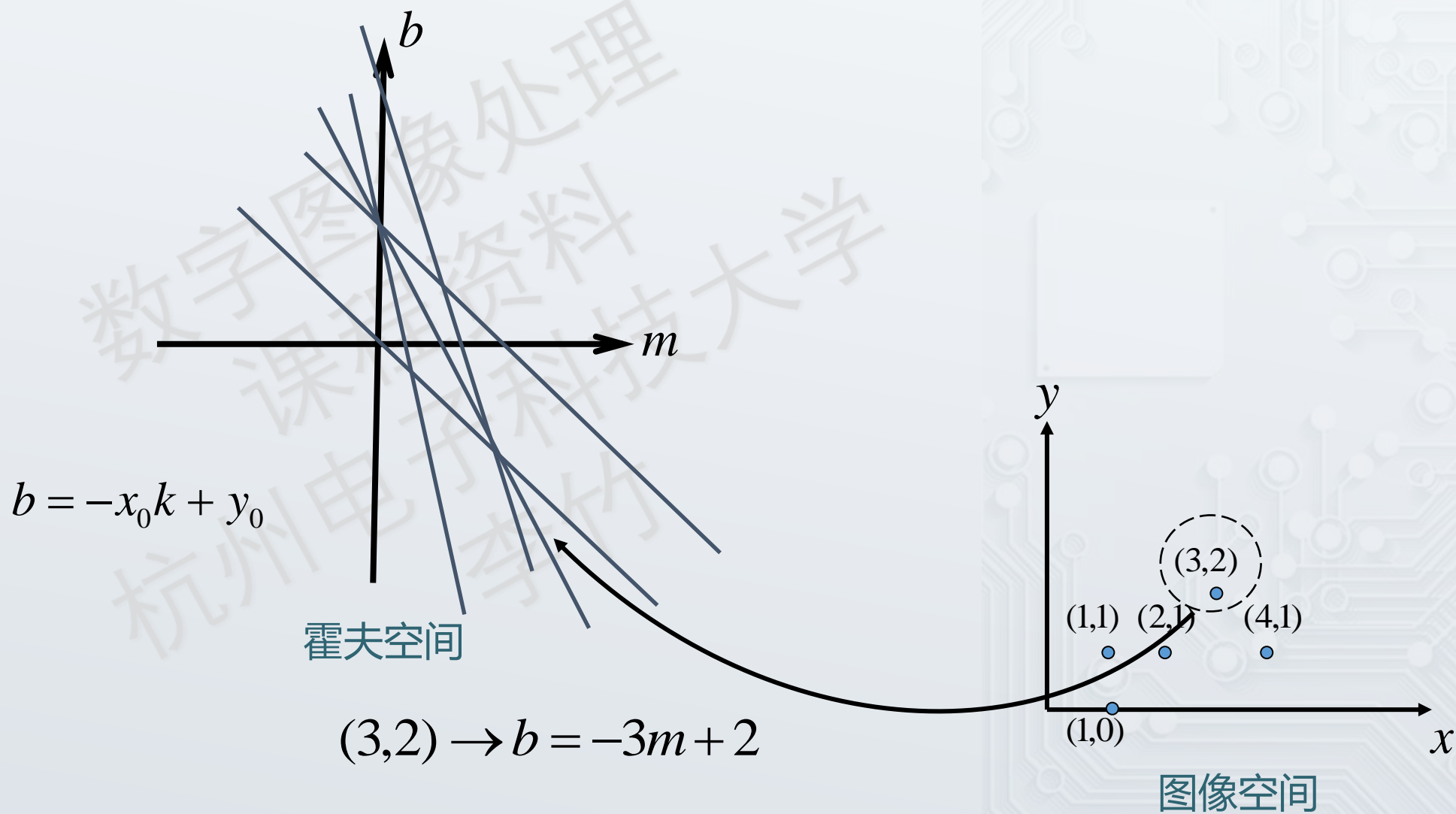
$$b = -x_0 k + y_0$$

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



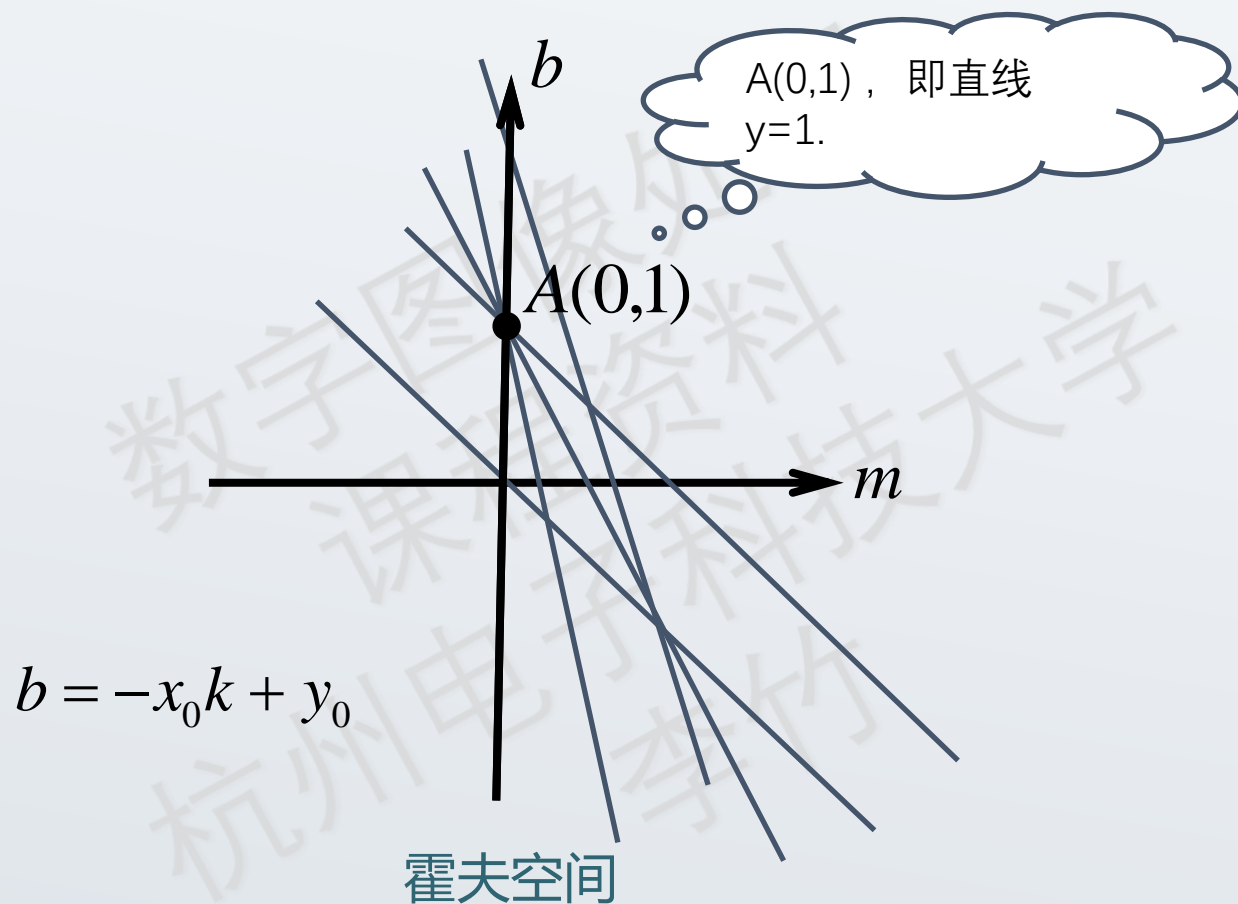
# 霍夫变换

- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。

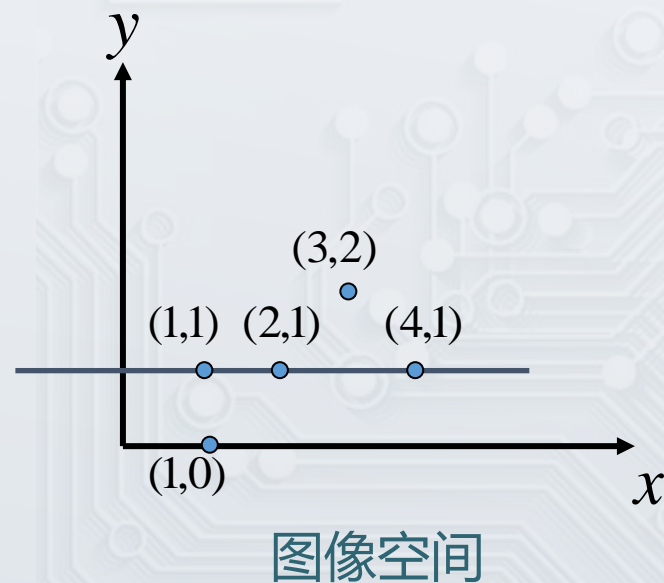




# 霍夫变换

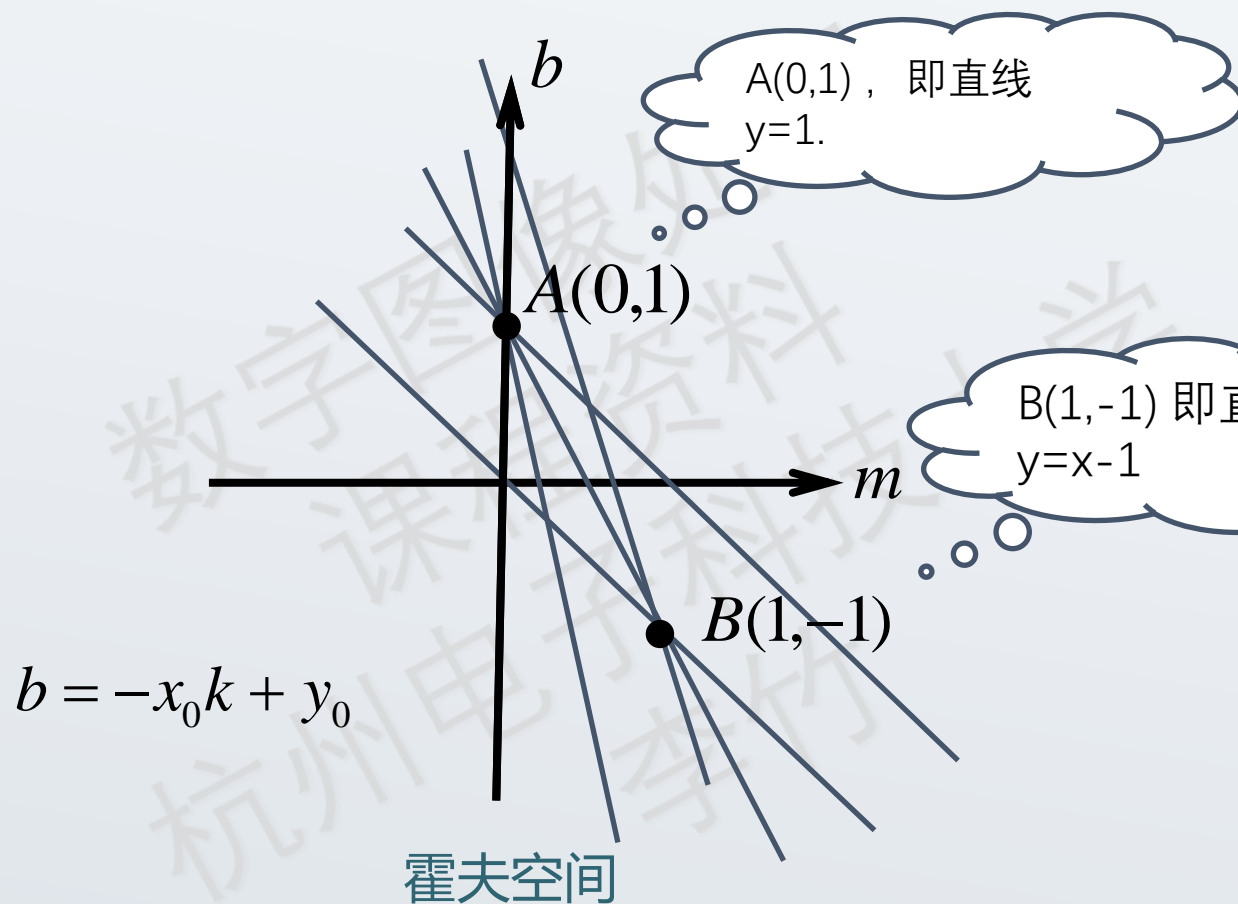


- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。
- 本例中，为A点和B点。
- 通常会给定一个阈值，共线点数大于阈值则被拟合成直线。

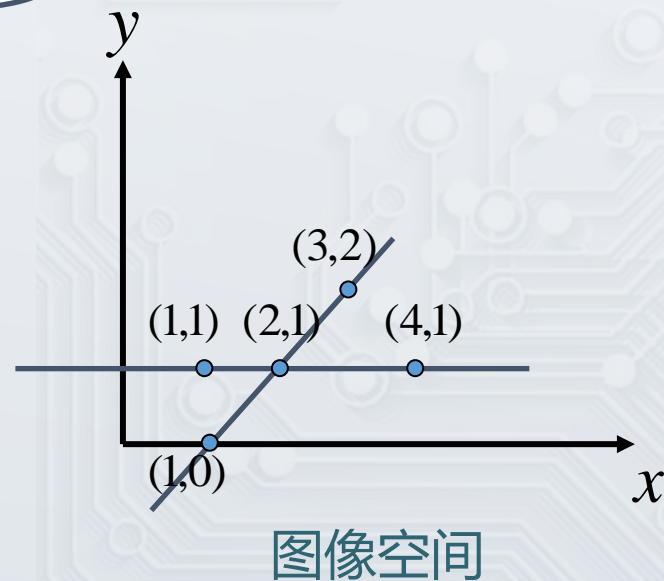




# 霍夫变换

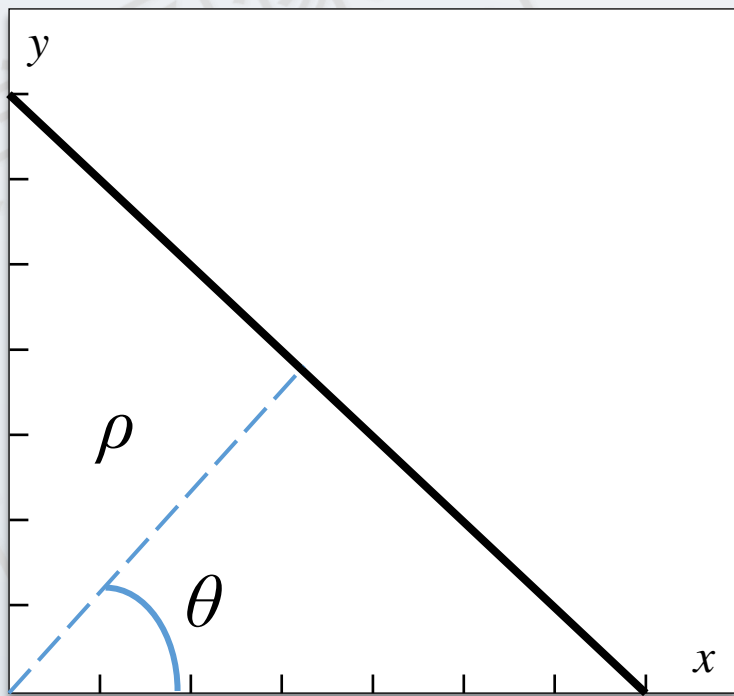


- 在霍夫空间中，包含线最多的那个交点，即在图像空间被拟合的直线（投票）。
- 本例中，为A点和B点。
- 通常会给定一个阈值，共线点数大于阈值则被拟合成直线。



# 霍夫变换

使用斜截式  $y = k_0x + b_0$  表示直线的问题：无法表示垂直于x轴的直线。因为其斜率为无穷大。实际采用极坐标形式。可构建 $(\rho, \theta)$ 组成的参数空间。



图像空间

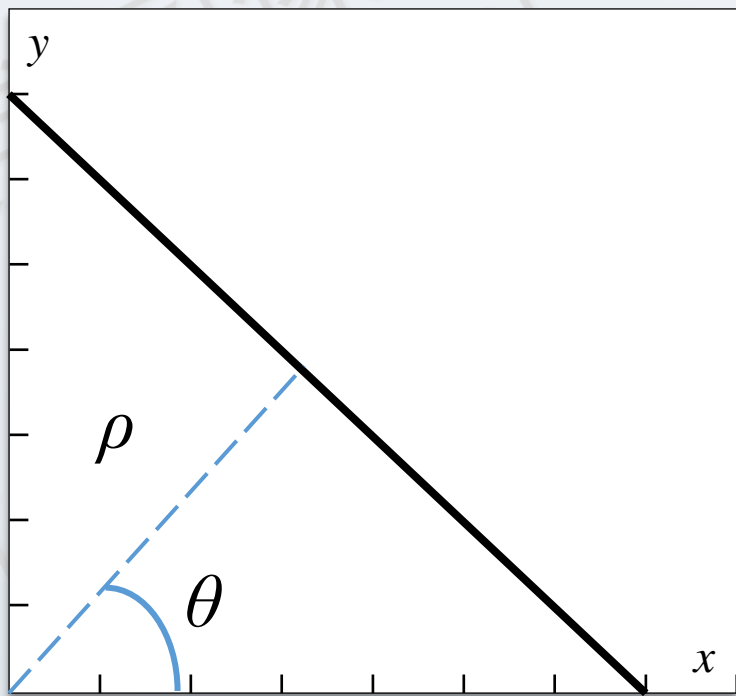
$$y = \left( -\frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right) x + \left( \frac{\rho}{\sin \theta} \right)$$



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

# 霍夫变换

给定一个点 $[x_0, y_0]$ ，则通过该点所有的直线的参数 $(\rho, \theta)$ 的集合，在 $(\rho, \theta)$ 参数空间中为 $\cos$ 函数。



图像空间

$$\rho = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta$$

$$\rho = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \left( \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \cos \theta + \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \sin \theta \right)$$

$$\rho = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} (\cos \phi \cos \theta + \sin \phi \sin \theta)$$

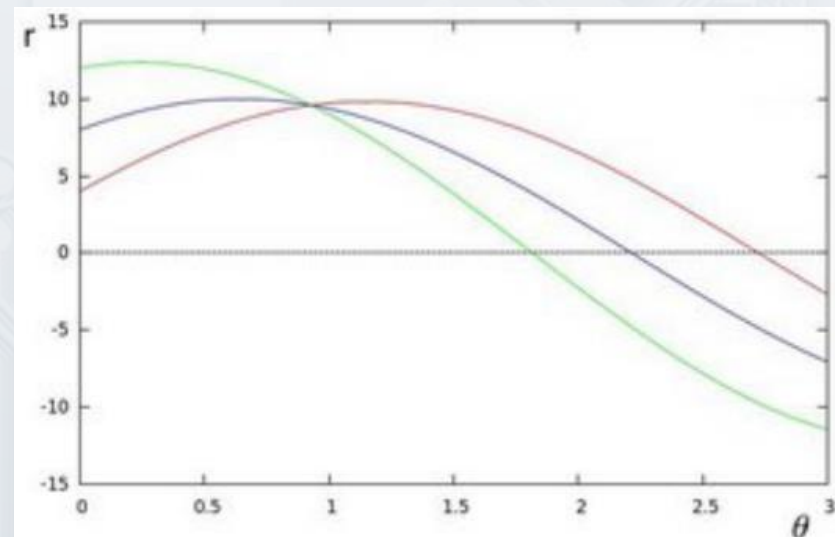
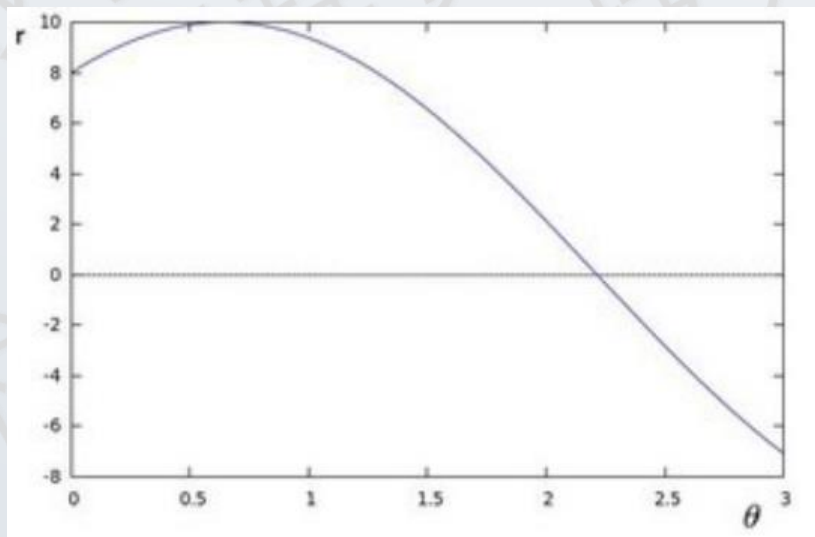
$$\rho = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \cos(\theta - \phi)$$



# 霍夫变换

给定一个点 $[x_0, y_0]$ ，则通过该点所有的直线的参数 $(\rho, \theta)$ 的集合，在 $(\rho, \theta)$ 参数空间中为 $\cos$ 函数。

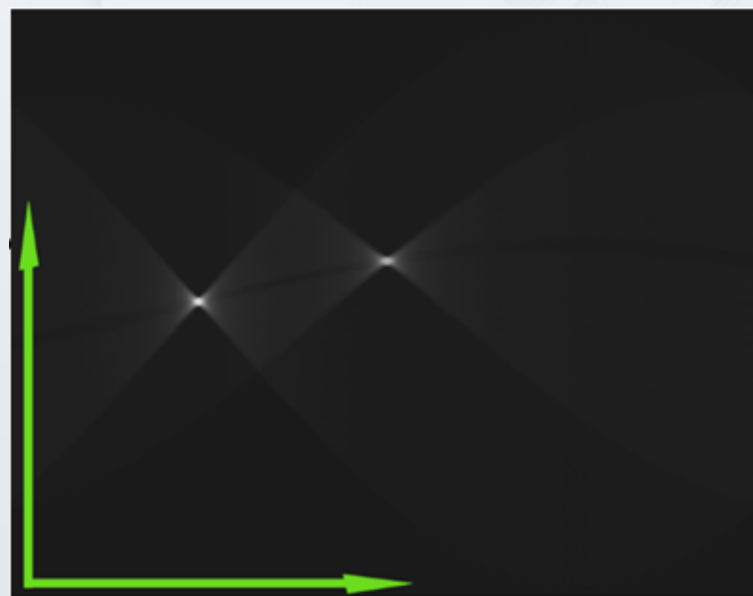
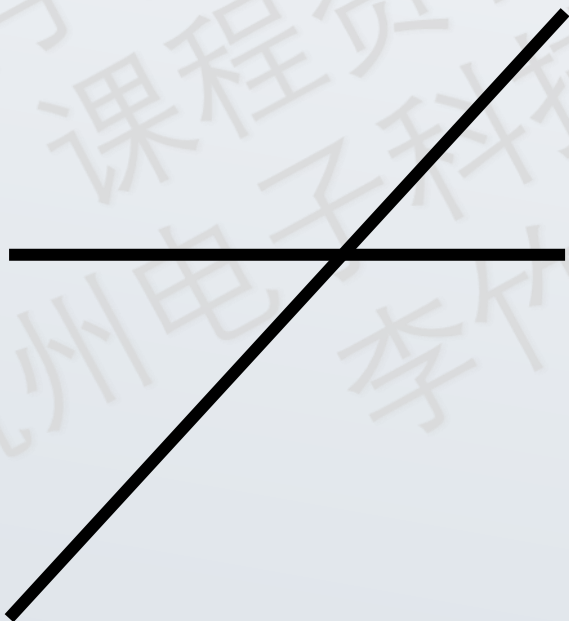
因此，给定很多点，判断这些点共线的问题，变为判断霍夫空间中一组曲线（每个点决定一个 $\cos$ 曲线）是否在霍夫空间中相交于同一点。





# 霍夫变换

给定一个点 $[x_0, y_0]$ ，则通过该点所有的直线的参数 $(\rho, \theta)$ 的集合，在 $(\rho, \theta)$ 参数空间中为 $\cos$ 函数。因此，给定很多点，判断这些点共线的问题，变为判断霍夫空间中一组曲线（每个点决定一个 $\cos$ 曲线）是否在霍夫空间中相交于同一点。



# 霍夫变换

霍夫变换检测圆的原理，与检测直线类似。

圆的表达式可表示为：

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$$

共有3个参数，因此需要构建3维的霍夫空间进行投票。

另外，广义的霍夫变换（1981, Dana H. Ballard）能够给出任意需要检测的形状的解析式。

# Blob分析，算法与策略

## 1.算法

内容：图像降噪，直方图增强，二值化，频率分析，图像形态学，几何信息提取，特征提取，等各种数学方法。

原则：尽可能多的输出结果。



## 2.策略

内容：筛选出实际需要的结果。

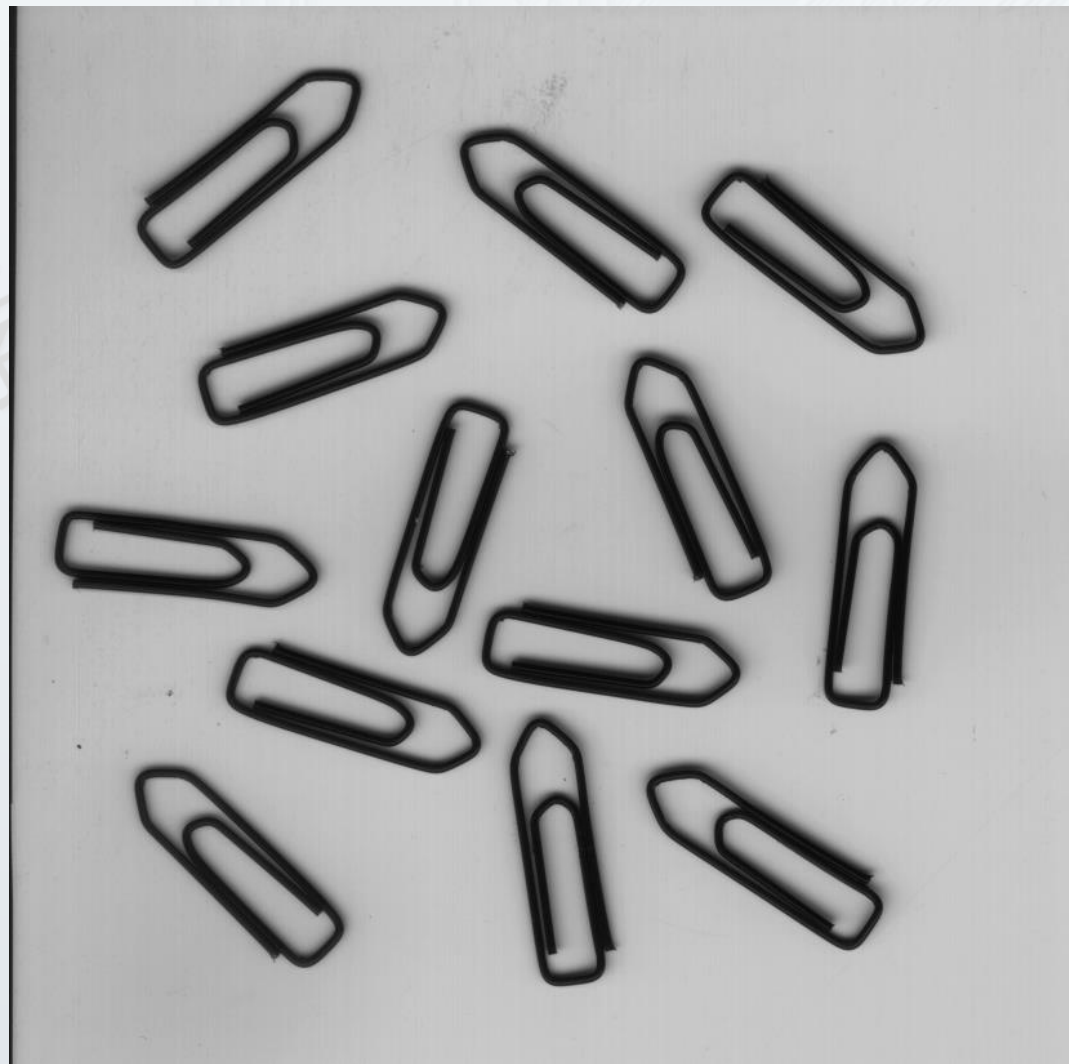
原则：需要的信息和干扰信息的本质差距。



# Blob分析，算法与策略

通过简单的二值化，连通域计数，会得到14个物体的结果。

原因在于边缘有一个连通域对计数产生干扰。

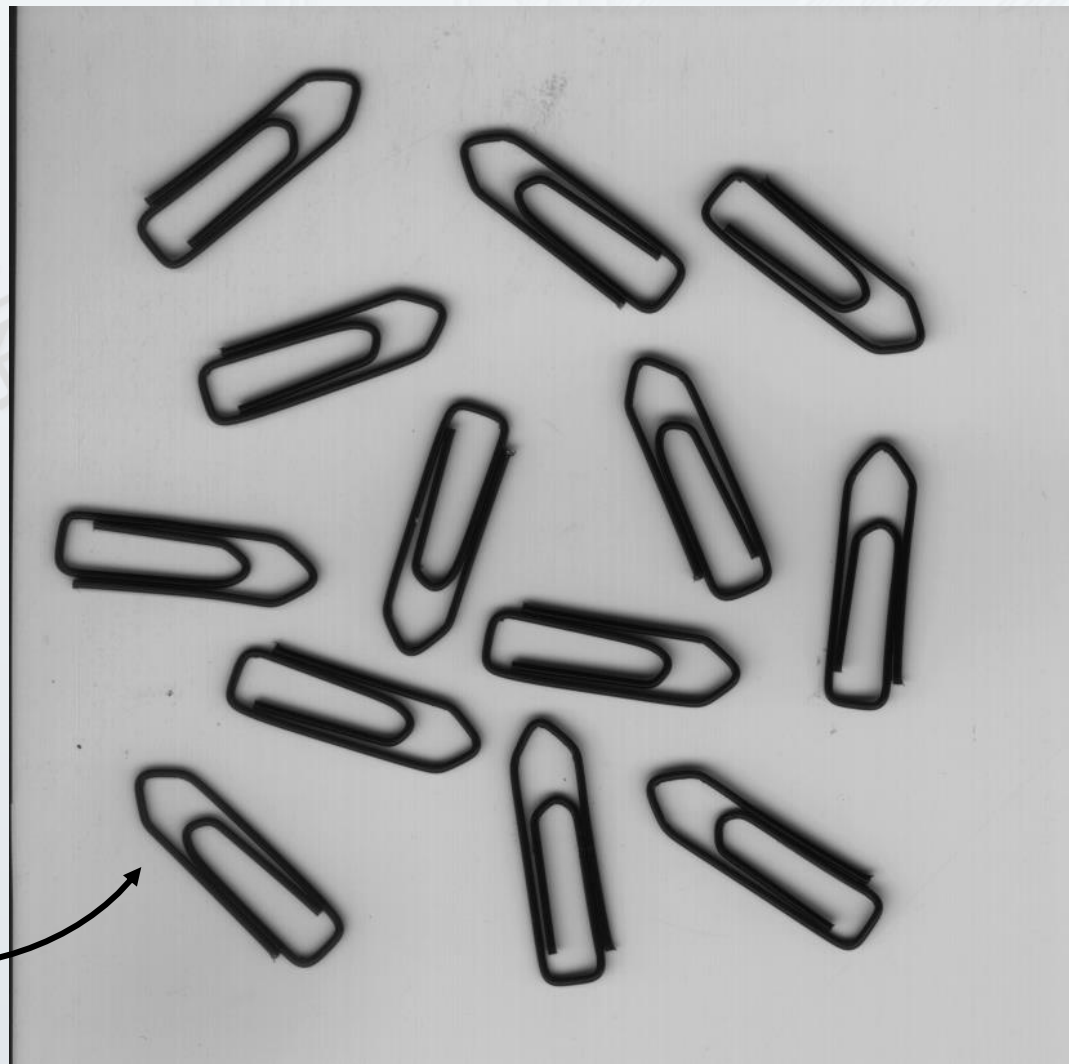




# Blob分析，算法与策略

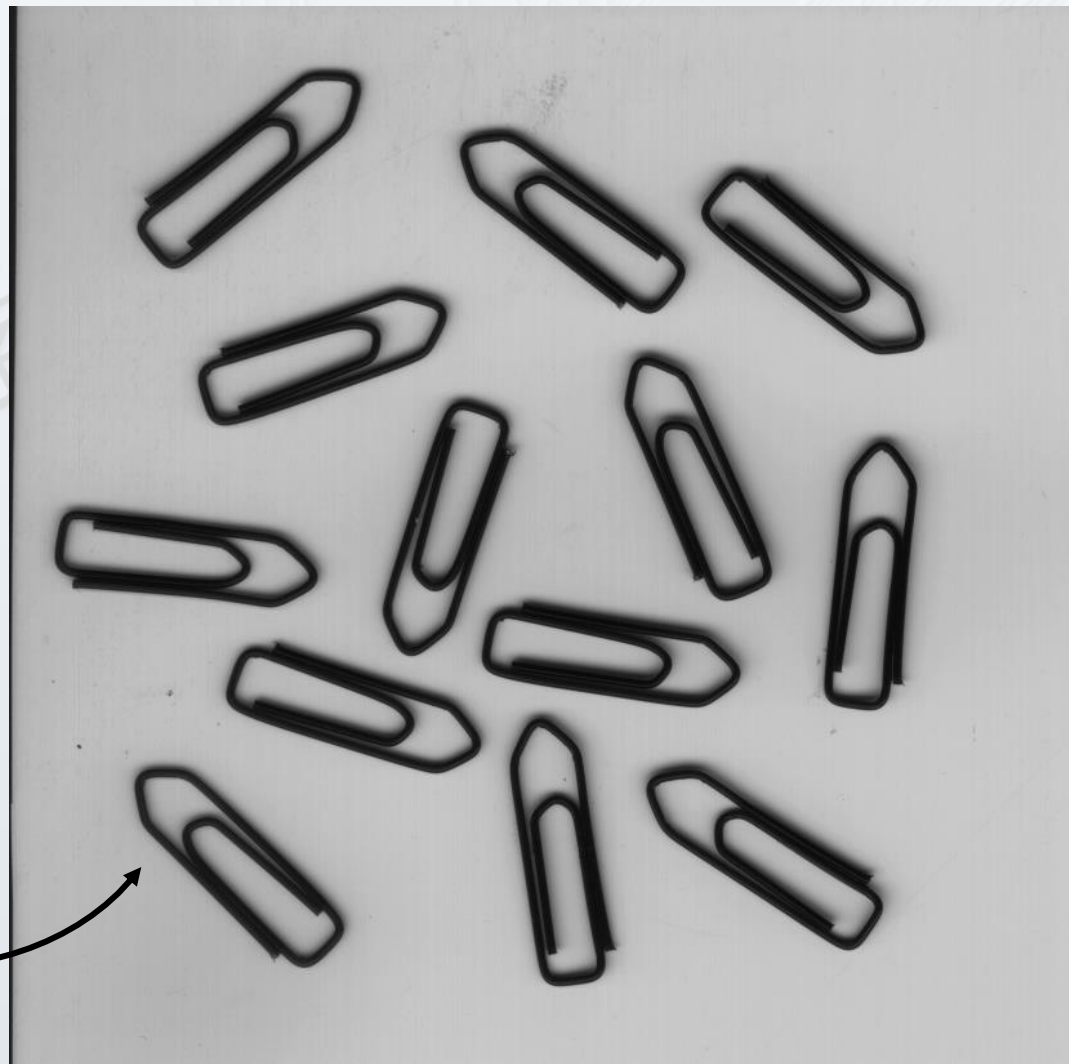
通过简单的二值化，连通域计数，会得到14个物体的结果。

要将干扰物从目标物中排除，关键在于找出两者的区别，通过区别去筛选。



# Blob分析，算法与策略

显然，干扰物与目标物的高度和宽度存在较大区别。

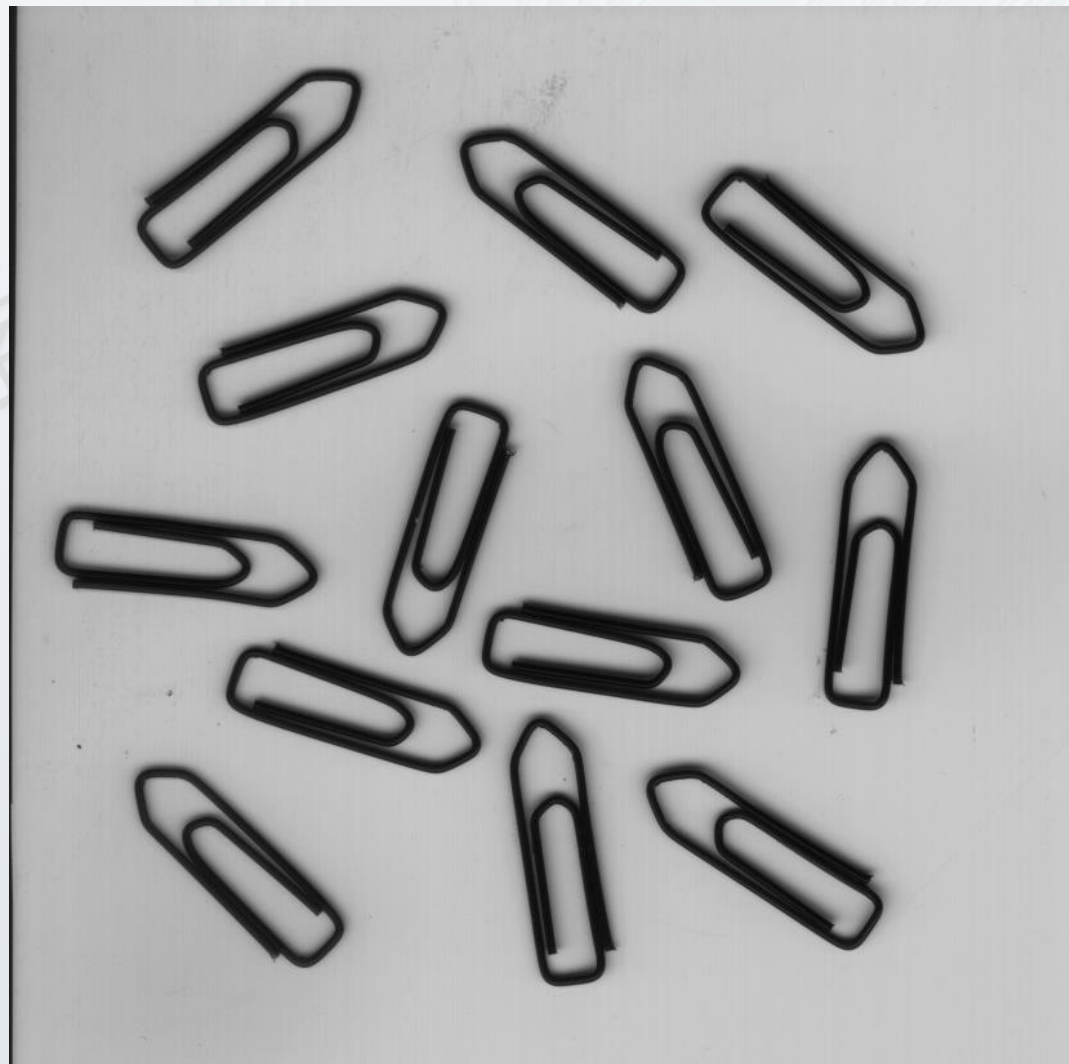


# Blob分析，算法与策略

其他：

面积，周长，矩形度，圆形度。。。。

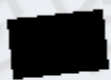
Halcon中定义了40种连通域。





# Blob分析，算法与策略

矩形度：连通域与最小外接四边形的面积比值



1.00



0.84



0.69



0.53



0.38



0.22

圆形度：连通域与最小外接圆形的面积比值



1.00



0.81



0.63



0.44



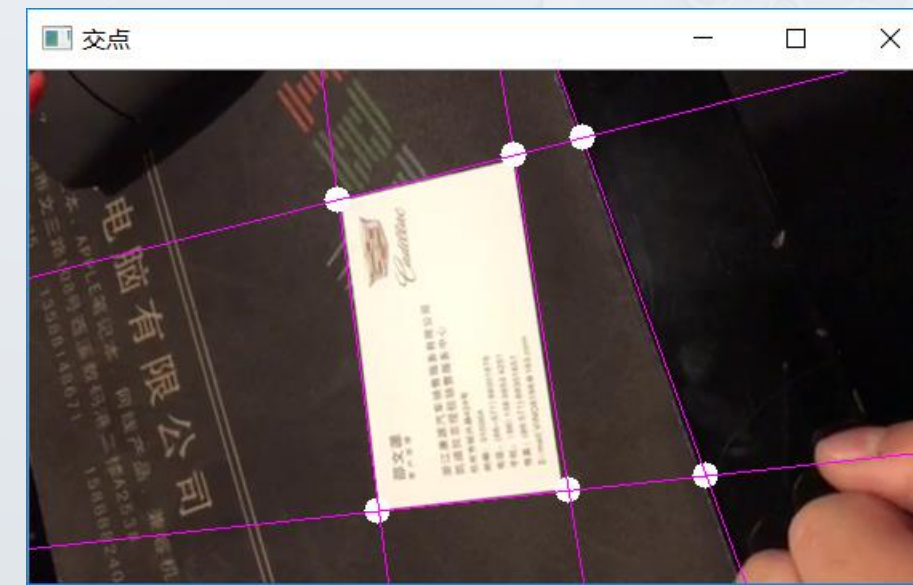
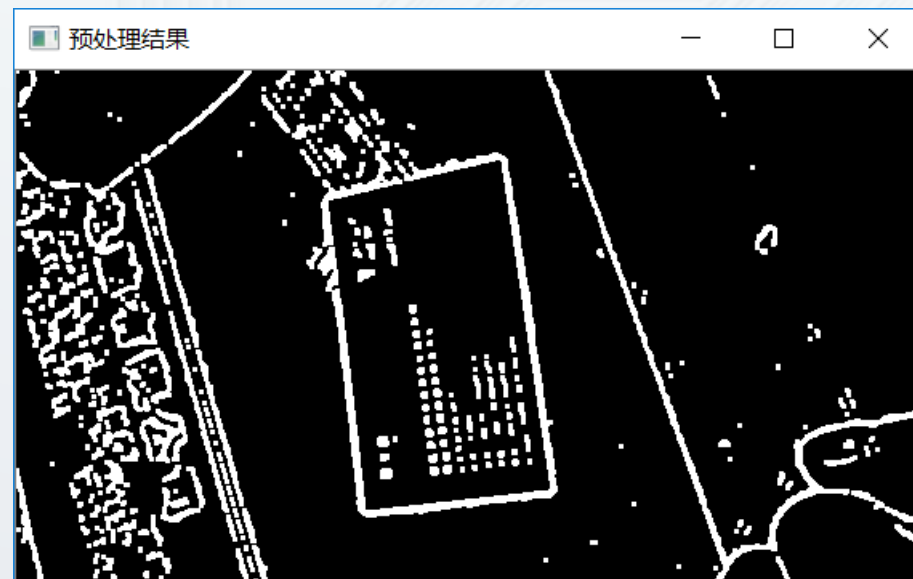
0.26



0.07



# Blob分析，算法与策略



数字图像处理  
课程资料  
杭州电子科技大学  
李竹

谢谢！

