

# 2D计算机视觉

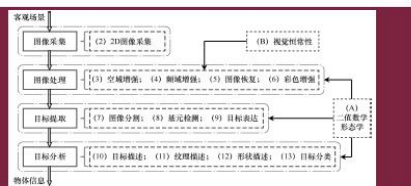
## 原理、算法及应用

计算机视觉  
丛书



### 2D计算机视觉

原理、算法及应用



2D COMPUTER VISION  
Principles, Algorithms and Applications

### 2D计算机视觉

原理、算法及应用

章毓晋 编著

电子工业出版社

2D COMPUTER VISION  
Principles, Algorithms and Applications

## 2D计算机视觉

### 原理、算法及应用

章毓晋 编著



责任编辑：朱雨萌  
封面设计：博雅锦



定价：149.00元

中国工信出版集团

电子工业出版社  
http://www.phei.com.cn



# 第8章 基元检测



直接对目标进行整体检测

每次操作的基本单元是目标区域（对要分割的目标已有较多的刻画知识）

或者基本单元是组成目标的部件（已知目标的结构或组成知识）

本质还是图像分割技术

较大的基本操作单元结合了更多的先验知识，常能提高分割的效率和增强分割的鲁棒性



# 第8章 基元检测



8.1 兴趣点检测

8.2 椭圆目标检测

8.3 哈夫变换

8.4 广义哈夫变换



## 8.1 兴趣点检测

泛指图像中或目标上具有特定几何性质或属性性质的点，例如角点、拐点、梯度极值点等

### 利用二阶导数检测角点

二阶导数组成的对称矩阵

$$\mathbf{I}_{(2)} = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{yx} & I_{yy} \end{bmatrix}, \quad I_{xy} = I_{yx}$$

对角形式

$$\tilde{\mathbf{I}}_{(2)} = \begin{bmatrix} I_{\tilde{x}\tilde{x}} & 0 \\ 0 & I_{\tilde{y}\tilde{y}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix}$$



## 8.1 兴趣点检测

### 利用二阶导数检测角点

主曲率:  $K_1$ 和 $K_2$

$$\text{Laplacian} = I_{xx} + I_{yy} = K_1 + K_2$$

$$\text{Hessian} = \det \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} \\ I_{xy} & I_{yy} \end{bmatrix} = I_{xx}I_{yy} - I_{xy}^2 = K_1K_2$$

为避免对海森算子在角点自身处响应为零，  
而且在角点两边的符号是不一样而进行的复杂分析过程

$$C = Kg = K\sqrt{I_x^2 + I_y^2} = \frac{I_{xx}I_y^2 - 2I_{xy}I_xI_y + I_{yy}I_x^2}{I_x^2 + I_y^2}$$



## 8.1 兴趣点检测

### 哈里斯兴趣点算子

哈里斯矩阵

$$H = \begin{bmatrix} \sum I_x^2 & \sum I_x I_y \\ \sum I_x I_y & \sum I_y^2 \end{bmatrix}$$

角点检测：计算像素邻域中灰度值平方差的和

角点强度：

$$C = \frac{\det(H)}{\text{trace}(H)}$$

圆形模板中  
有一个锐角

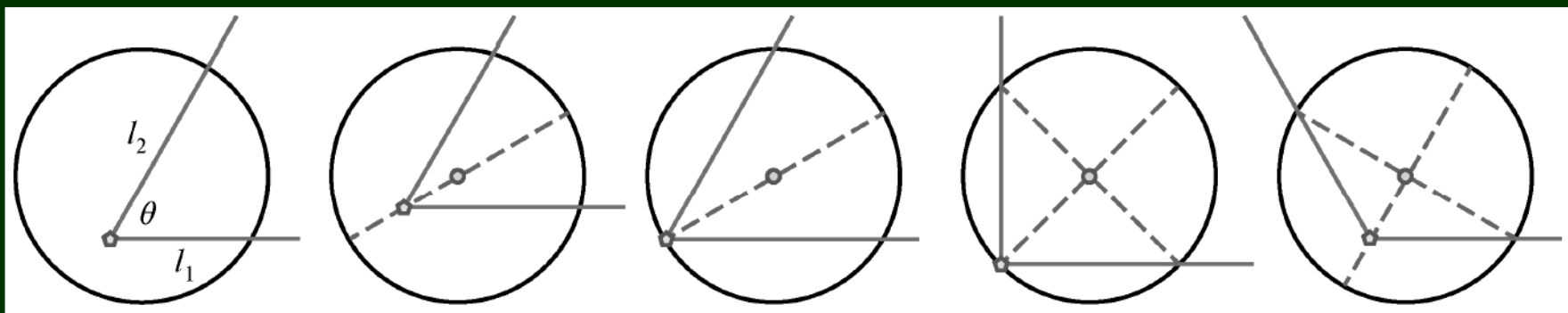
$$H = \begin{bmatrix} l_2 g^2 \sin^2 \theta & l_2 g^2 \sin \theta \cos \theta \\ l_2 g^2 \sin \theta \cos \theta & l_2 g^2 \cos^2 \theta + l_1 g^2 \end{bmatrix} \quad \text{图 8-1(a)}$$



## 8.1 兴趣点检测

### 哈里斯兴趣点算子

角点与模板的各种位置关系

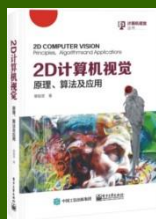


$$\det(\mathbf{H}) = l_1 l_2 g^4 \sin^2 \theta$$

$$\text{trace}(\mathbf{H}) = (l_1 + l_2) g^2$$

角点强度:

$$C = \frac{l_1 l_2}{l_1 + l_2} g^2 \sin^2 \theta$$



## 8.1 兴趣点检测

### 哈里斯兴趣点算子

图8-1(b): 角点落在角的中分线（也是直径）上

图8-1(c): 将角点沿中分直径线移动，直到角点落在圆形模板的边界上以获得最大的角点强度

图8-1(d): 对于直角的角点，强度最大的角点位置也是在圆形模板的边界上

图8-1(e): 钝角角点两条边与圆形模板边界的两个交点间的连线（直径）是与角平分线垂直的

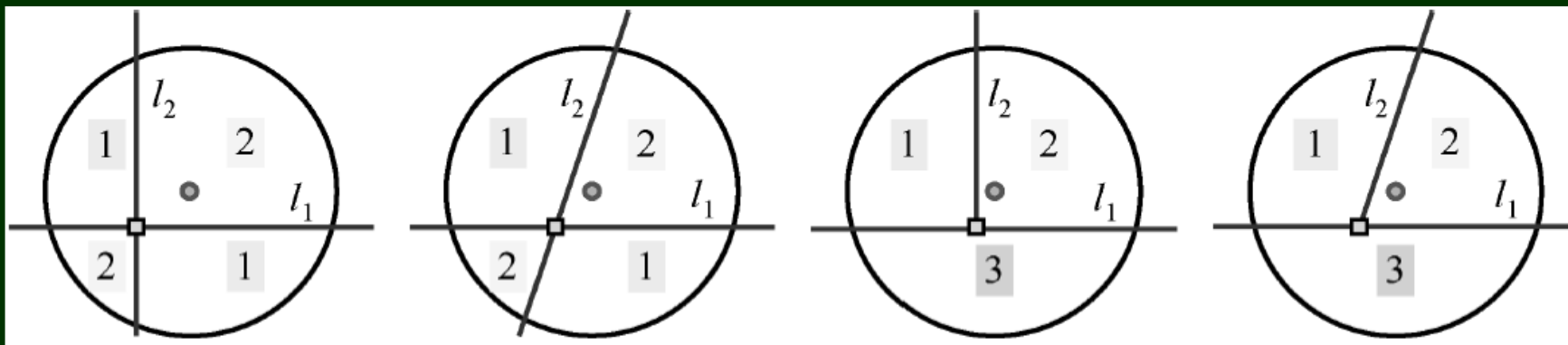




## 8.1 兴趣点检测

### 哈里斯兴趣点算子

交叉点（包括T型交点）检测：可以是两条互相垂直的直线的交点，也可以是两条互相不垂直的直线的交点。构成T型交点的两条直线可以互相垂直，也可以不互相垂直





## 8.1 兴趣点检测

### 积分角点检测

USAN原理:

核同值区 (USAN): 与核有相同值的区域  
根据USAN, 可确定模板中心位置



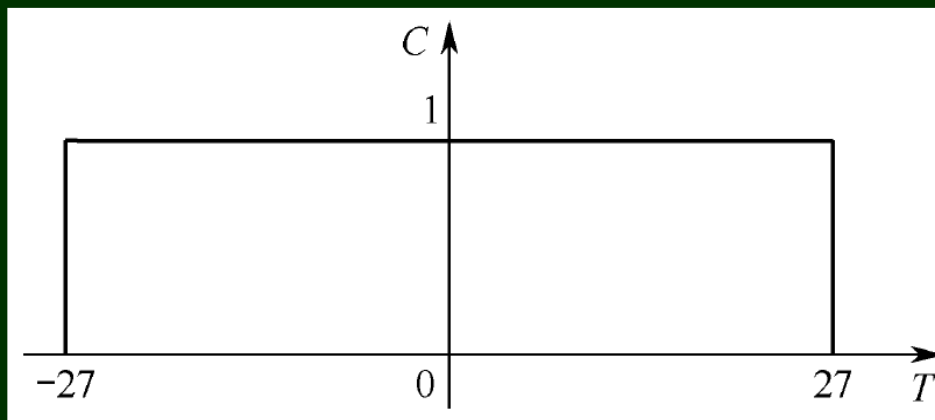
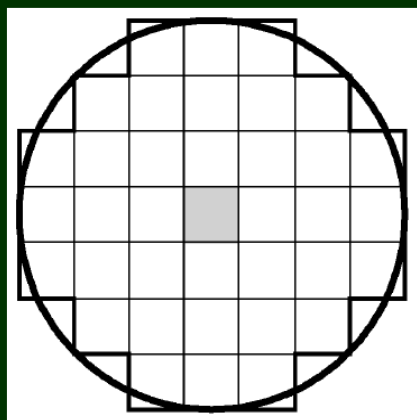


## 8.1 兴趣点检测

### 积分角点检测

SUSAN算子（最小核同值算子）角点检测

$$C(x_0, y_0; x, y) = \begin{cases} 1, & |f(x_0, y_0) - f(x, y)| \leq T \\ 0, & |f(x_0, y_0) - f(x, y)| > T \end{cases}$$





## 8.1 兴趣点检测

### 积分角点检测

**SUSAN**算子（最小核同值算子）角点检测

输出游程和： USAN中的像素个数

$$S(x_0, y_0) = \sum_{(x, y) \in N(x, y)} C(x_0, y_0; x, y)$$

边缘响应

几何阈值

$$R(x_0, y_0) = \begin{cases} G - S(x_0, y_0), & S(x_0, y_0) < G \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$



## 8.1 兴趣点检测

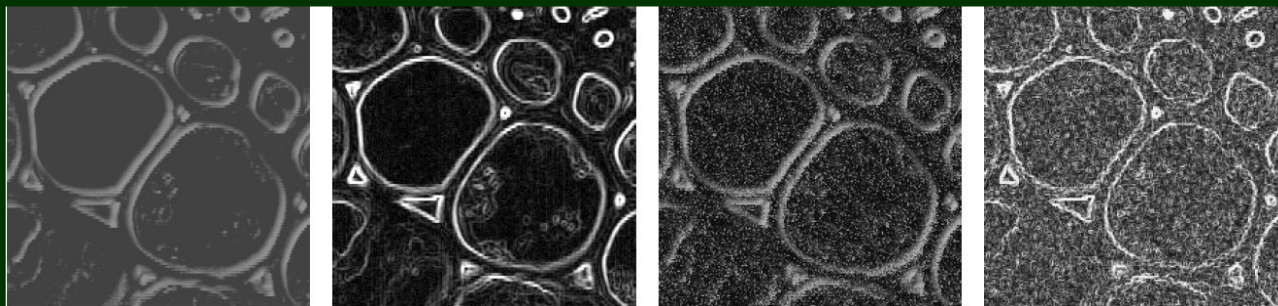
### 积分角点检测

**SUSAN**算子（最小核同值算子）的特点

不仅可以检测角点，还可以检测边缘

用**SUSAN**算子提取出的边界比较宽，而用索贝尔算子提取出的边界比较窄

**SUSAN**算子能够减弱噪声的影响





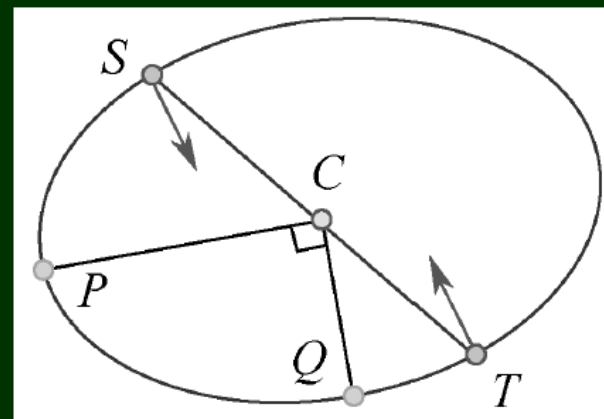
## 8.2 椭圆目标检测

### 直径二分法

一种概念上很简单的、用于确定各种尺寸椭圆中心的方法

对图像中的所有边缘点，根据其边缘方向建立一个列表

在参数空间里进行投票，  
峰值位置对应的图像空间点  
就是椭圆中心的候选位置





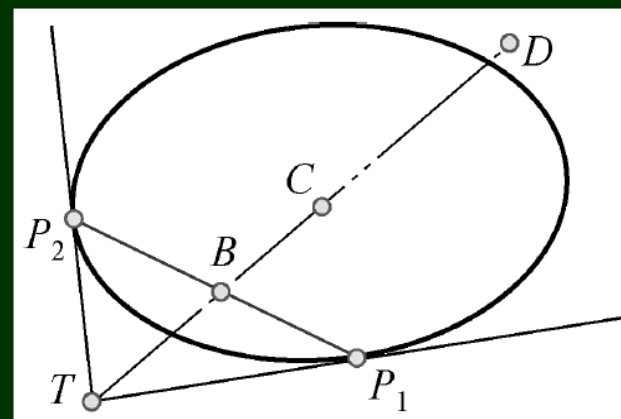
## 8.2 椭圆目标检测

### 弦-切线法

一种用于确定各种尺寸椭圆中心的方法

在图像中检测成对的边缘点 $P_1$ 和 $P_2$ ，过这两个点的切线相交于 $T$ 点，而这两个点的连线的中点是 $B$ 点，椭圆中心 $C$ 点和 $T$ 点在 $B$ 点的两边

将线段 $BD$ 上的点在参数空间中累加，最后用峰值检测就可确定 $C$ 点的坐标 $(x_c, y_c)$





## 8.2 椭圆目标检测

### 椭圆的其他参数

确定了椭圆中心 $(x_c, y_c)$ 后的方程

$$x'^2 + 2Hx'y' + By'^2 + C' = 0$$

进行微分，得

$$x' + \frac{By'}{dx'} + H\left(y' + \frac{x'dy'}{dx'}\right) = 0$$

在参数空间 $BH$ 中  
进行累加，找到峰，  
得到 $C'$ 值的直方图

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2H}{1-B}\right)$$
$$a^2 = \frac{-2C'}{(B+1) - [(B-1)^2 + 4H^2]^{\frac{1}{2}}}$$
$$b^2 = \frac{-2C'}{(B+1) + [(B-1)^2 + 4H^2]^{\frac{1}{2}}}$$





## 8.3 哈夫变换

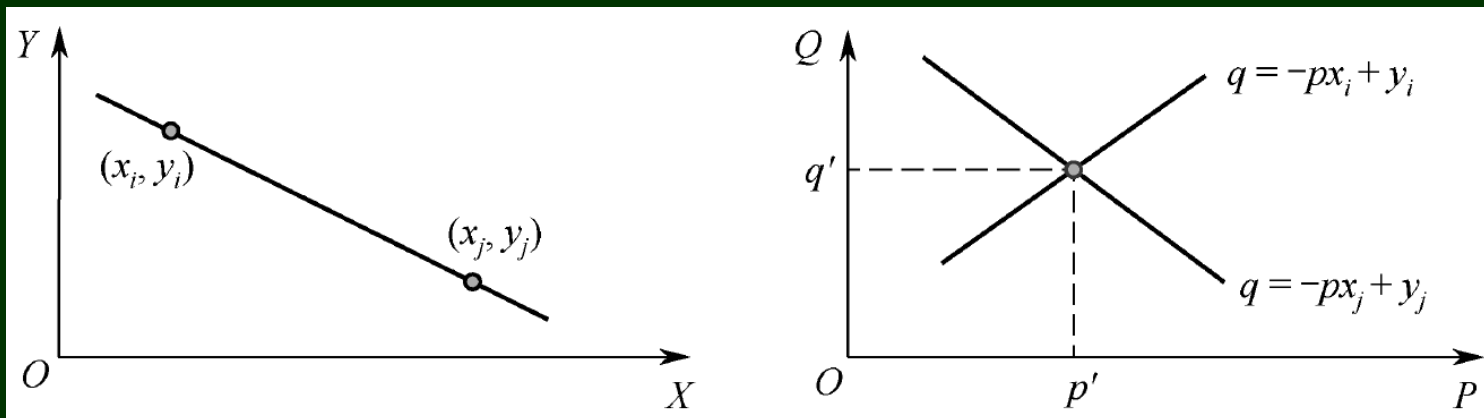
### 点-线对偶性

在图像空间 $XY$ 中，所有过点 $(x, y)$ 的直线满足

$$y = px + q$$

参数空间 $PQ$ 中的一条直线，对应点 $(x, y)$

$$q = -px + y$$





## 8.3 哈夫变换

### 计算步骤

(1) 对参数空间中参数 $p$ 和 $q$ 的可能取值范围进行量化，根据量化结果，构造一个累加数组 $A(p_{\min}:p_{\max}, q_{\min}:q_{\max})$ ，并初始化为零

(2) 对每个 $XY$ 空间中的各给定点，让 $p$ 取遍所有可能值，计算出 $q$ ，根据 $p$ 和 $q$ 的值累加 $A$ ：  
$$A(p, q) = A(p, q) + 1;$$

(3) 根据累加后 $A$ 中最大值所对应的 $p$ 和 $q$ ，定出 $XY$ 中的一条直线，满足方程的点就是共线的



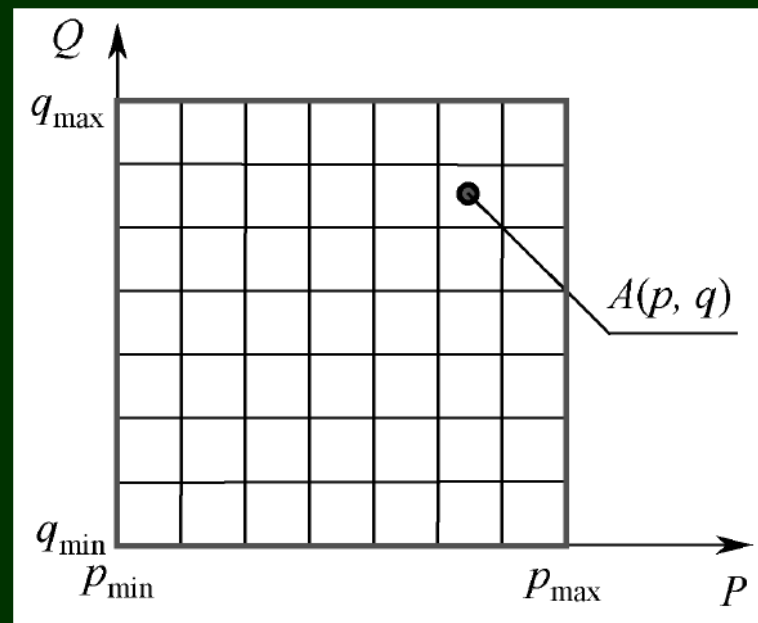
## 8.3 哈夫变换

### 计算步骤

$A(p, q)$ 的值就是在 $(p, q)$ 处共线点的个数。同时 $(p, q)$ 值也给出了直线方程的参数，并进一步给出了点所在的线

(可得到线的方程)

累加数组越大，  
统计就越准确

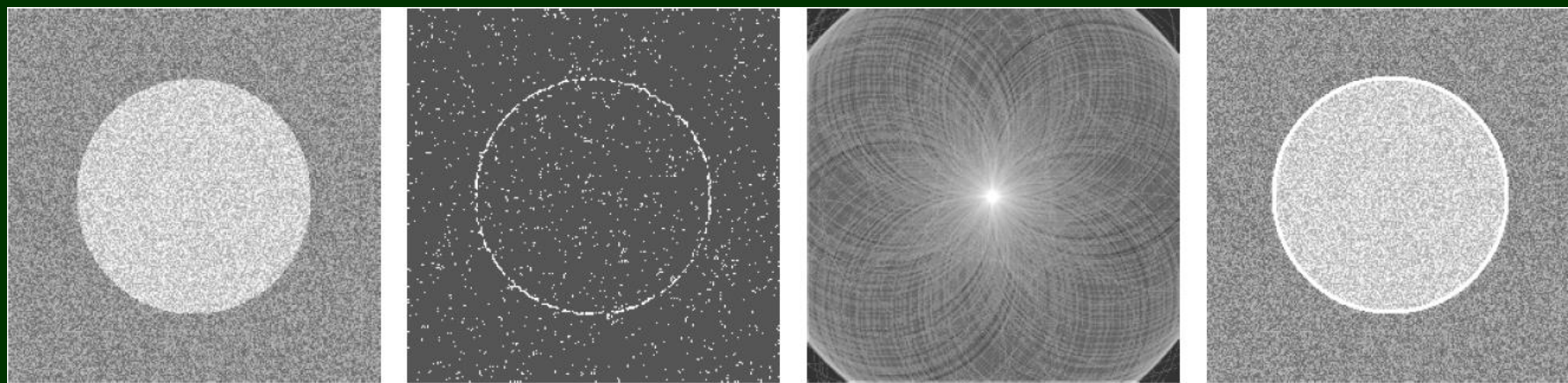




## 8.3 哈夫变换

### 计算步骤

检测圆：3个参数 $a$ ,  $b$ ,  $r$



圆目标外又迭  
加了均匀分布  
随机噪声的图

对梯度图进  
行阈值化得  
到的边缘点

哈夫变换  
得到的  
累加器图

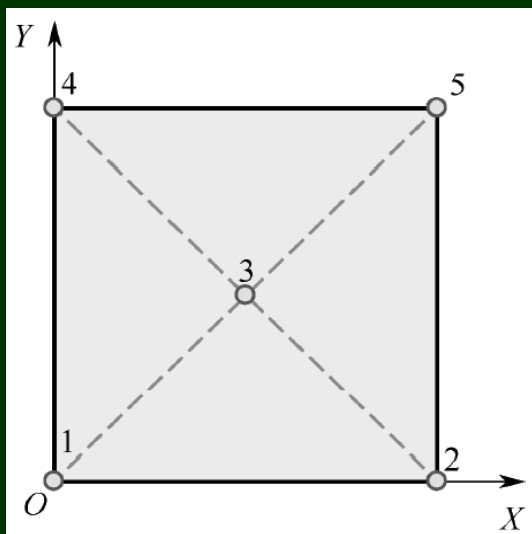
将圆周  
叠加在  
原图上



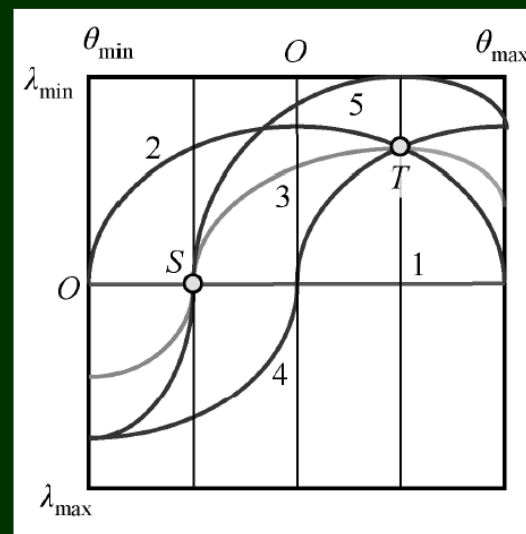
## 8.3 哈夫变换

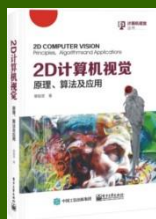
### 极坐标方程

使用直线的极坐标方程：避免直线接近竖直方向时计算量大增的问题



点-正弦曲线对偶性





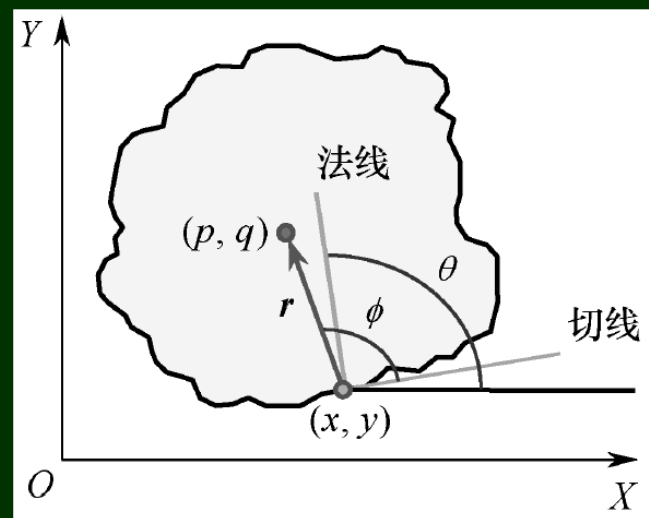
## 8.4 广义哈夫变换

### 推广原理

在待检测的曲线或目标轮廓没有或不易用解析式表达时，可以利用表格来建立曲线或轮廓点与参考点间的关系，继续利用哈夫变换进行检测

建立参考点与  
轮廓点的联系

$$\begin{aligned} p &= x + r(\theta) \cos[\phi(\theta)] \\ q &= y + r(\theta) \sin[\phi(\theta)] \end{aligned}$$



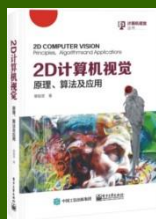


## 8.4 广义哈夫变换

### 推广原理

以 $\theta$ 为自变量，根据 $r$ ， $\phi$ 与 $\theta$ 的函数关系可做出一个参考表—— **$R$ -表**

梯 度 角	矢 径	矢 角
$\theta_1$	$r_1^1, r_1^2, \dots, r_1^{N_1}$	$\phi_1^1, \phi_1^2, \dots, \phi_1^{N_1}$
$\theta_2$	$r_2^1, r_2^2, \dots, r_2^{N_2}$	$\phi_2^1, \phi_2^2, \dots, \phi_2^{N_2}$
...	...	...
$\theta_M$	$r_M^1, r_M^2, \dots, r_M^{N_M}$	$\phi_M^1, \phi_M^2, \dots, \phi_M^{N_M}$



## 8.4 广义哈夫变换

### 推广原理

给定一个 $q$ ，就可以确定一个可能的参考点位置（相当于建立了一个方程）

(1) 在参数空间建立累加数组：

$$A(p_{\min}:p_{\max}, q_{\min}:q_{\max})$$

(2) 对轮廓上的每个点 $(x, y)$ ，先算出其梯度角 $q$ ，再算出 $p$ 和 $q$ ，据此对 $A$ 进行累加： $A(p, q) = A(p, q) + 1$

(3) 根据 $A$ 中的最大值得到所求轮廓的参考点，整个轮廓的位置就可以确定了





## 8.4 广义哈夫变换

### 完整广义哈夫变换

不仅要考虑轮廓的平移而且要考虑轮廓的放缩、旋转

此时参数空间会从2-D增到4-D，即需要增加轮廓的取向参数 $b$ （是轮廓主方向与X轴的夹角）和尺度变换系数 $S$

$$p = x + Sr(\theta) \cos[\phi(\theta) + \beta]$$

$$q = y + Sr(\theta) \sin[\phi(\theta) + \beta]$$

$$A(p, q, \beta, S) = A(p, q, \beta, S) + 1$$



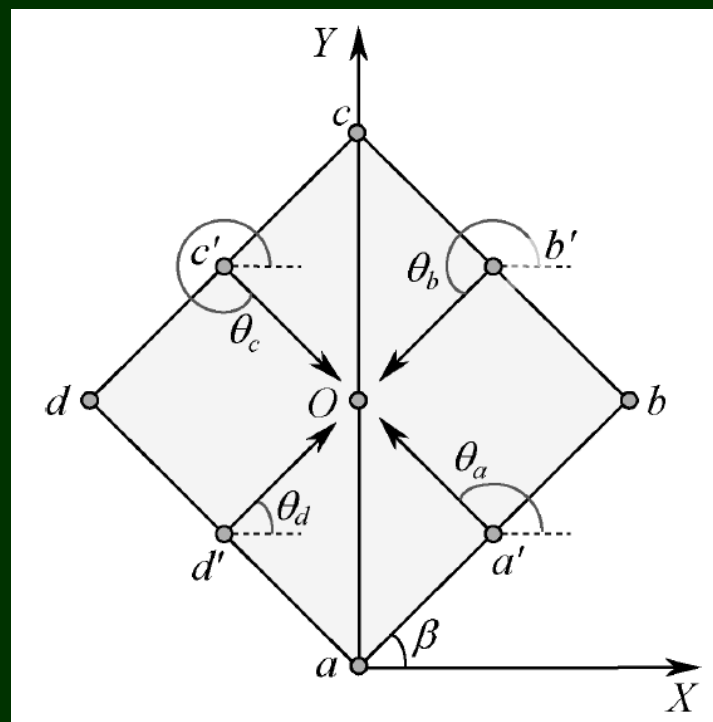
## 8.4 广义哈夫变换

### 完整广义哈夫变换

将 $R$ -表中的 $\theta$ 改为 $\theta + b$ , 而保持 $r$ ,  $\phi$  不变

- ① 计算旋转后的梯度角
- ② 计算新矢角, 得到新 $R$ -表;
- ③ 用新 $R$ -表按原方法计算参考点

例:  $\beta = \pi/4$



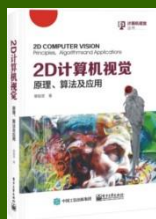


## 8.3 广义哈夫变换

### 完整广义哈夫变换

原 梯 度 角	新 梯 度 角	原 矢 径		新 矢 角	
$\theta_a = \pi/2$	$\theta'_a = 3\pi/4$	$\sqrt{2}/2$	$1/2$	$2\pi/4$	$\theta'_a$
$\theta_b = 2\pi/2$	$\theta'_b = 5\pi/4$	$\sqrt{2}/2$	$1/2$	$4\pi/4$	$\theta'_b$
$\theta_c = 3\pi/2$	$\theta'_c = 7\pi/4$	$\sqrt{2}/2$	$1/2$	$6\pi/4$	$\theta'_c$
$\theta_d = 4\pi/2$	$\theta'_d = \pi/4$	$\sqrt{2}/2$	$1/2$	$8\pi/4$	$\theta'_d$

梯 度 角	轮 廓 点	可能参考点		轮 廓 点	可能参考点	
$\theta'_a$	$a$	$O$	$d'$	$a'$	$b'$	$O$
$\theta'_b$	$b$	$O$	$a'$	$b'$	$c'$	$O$
$\theta'_c$	$c$	$O$	$b'$	$c'$	$d'$	$O$
$\theta'_d$	$d$	$O$	$c'$	$d'$	$a'$	$O$



## 8.5 各节要点和可参考的文献

- 1 兴趣点检测
- 2 椭圆目标检测
- 3 哈夫变换
- 4 广义哈夫变换

自我检测题