

图象工程（中）

图 象 分 析

（第4版）

章毓晋

清华大学电子工程系 100084 北京

第2单元 表达描述

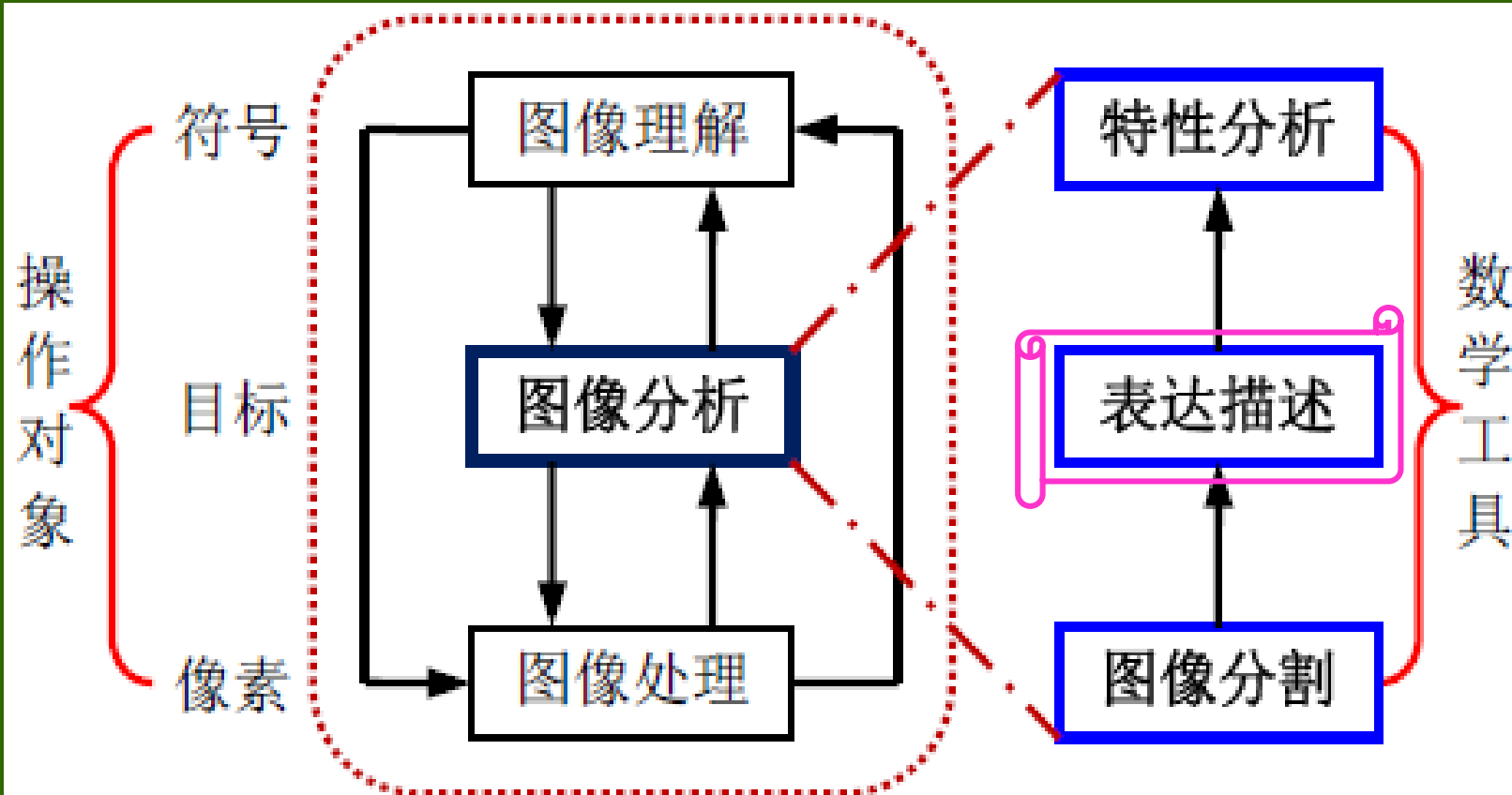
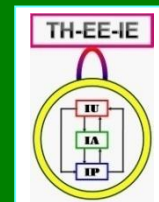


图 1.2.2 图像分析主要功能模块

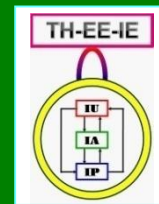


第2单元 表达描述

- 第6章 目标表达
- 第7章 目标描述
- 第8章 测量和误差分析

通过图象分割得到了图象中感兴趣的区域，即目标

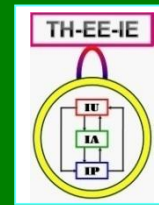
为有效地刻画目标，需要对它们采取合适的数据结构进行表达，采用恰当的形式**描述**它们的特性，并在此基础上进行特征测量，从目标获得一些定量的数值以进行分析



第7章 目标描述

➤ 目标表达 \Rightarrow 目标描述

- 表达是直接具体地表示目标
好的表达方法应节省储存空间
- 描述是较抽象地表示目标
好的描述应对目标的尺度变化、平移、
旋转不敏感
 - ① 边界描述（描述区域形状）
 - ② 区域描述（描述区域反射性质）
 - ③ 关系描述（描述边界间/区域间的关系）



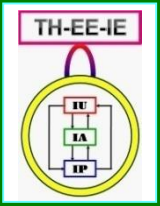
第7章 目标描述

当图象中有多个目标时，对目标之间关系的描述也很重要

7.1 基于边界的描述

7.2 基于区域的描述

7.3 对目标关系的描述



7.1 基于边界的描述

利用处在目标区域的边界上的像素集合来
(主要) 描述边界的特点/特性

7.1.1 简单边界描述符

7.1.2 形状数

7.1.3 边界矩

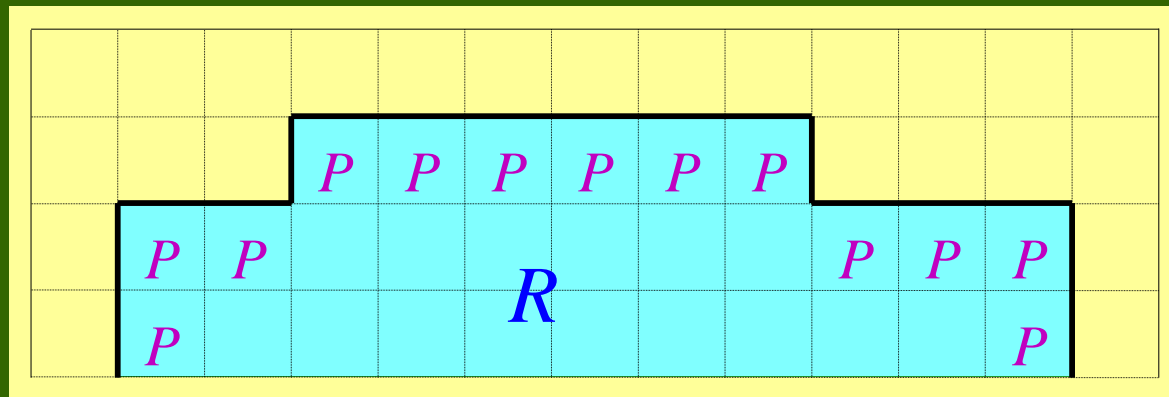
7.1.1 简单边界描述符

1. 边界的长度

- 边界/轮廓长度（区域周长）
- 对区域 R ，轮廓点 P :

内部 ① P 本身属于 R

外部 ② P 的邻域中有像素不属于 R

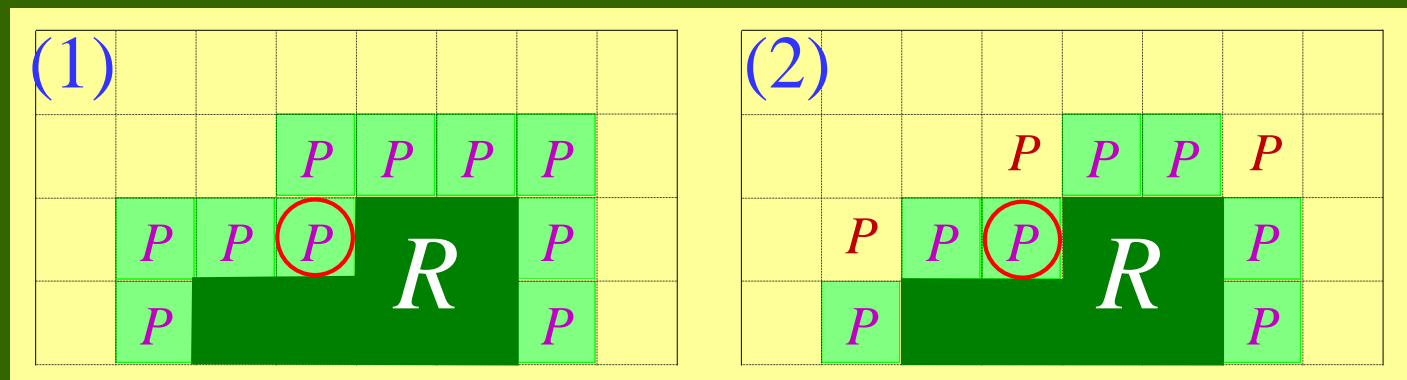


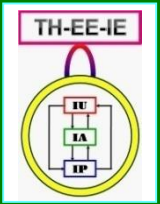
7.1.1 简单边界描述符

1. 边界的长度

!!! 区域的轮廓点和内部点要采用不同的连通性来定义

- (1) 内部点8-方向连通，轮廓为4-方向连通
- (2) 内部点4-方向连通，轮廓为8-方向连通





7.1.1 简单边界描述符

1. 边界的长度

(1) 4-方向连通轮廓 B_4

$$B_4 = \{(x, y) \in R \mid N_4(x, y) - R \neq 0\}$$

(2) 8-方向连通轮廓 B_8

$$B_8 = \{(x, y) \in R \mid N_8(x, y) - R \neq 0\}$$

使用单位长度的链码:

$$\|B\| = \# \{ k \mid (x_{k+1}, y_{k+1}) \in N_4(x_k, y_k) \} + \sqrt{2} \# \{ k \mid (x_{k+1}, y_{k+1}) \in N_D(x_k, y_k) \}$$

2个像素间直线段

2个像素间对角线段

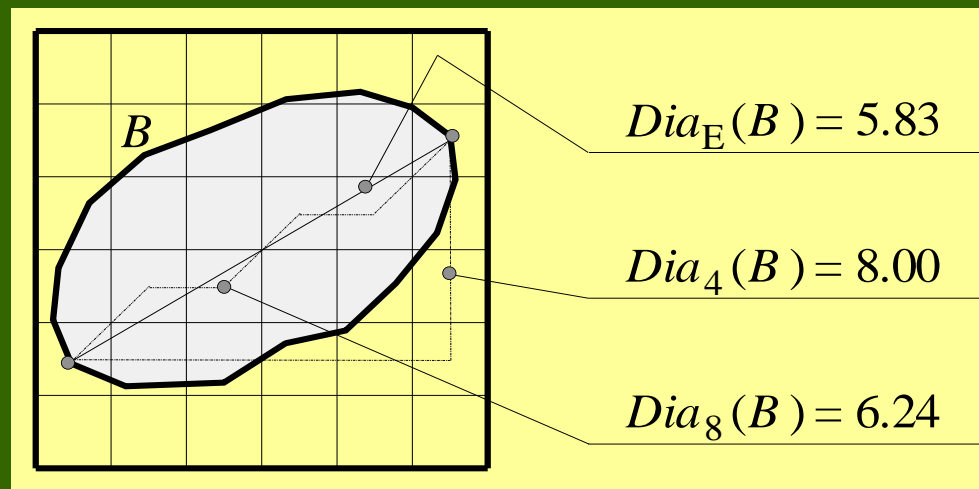
7.1.1 简单边界描述符

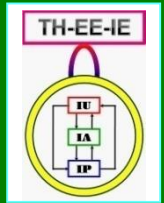
2. 边界的直径

边界上相隔最远两点之间的距离

$$\text{Dia}_d(B) = \max_{i,j} [D_d(b_i, b_j)] \quad b_i \in B, \quad b_j \in B$$

距离度量: $D_E(\cdot)$, $D_4(\cdot)$, $D_8(\cdot)$





7.1.1 简单边界描述符

3. 曲率

局部特性：斜率、曲率、角点

✓ 斜率：轮廓点的（切线）指向

✓ 曲率：斜率的改变率

曲率大于零，曲线凹向朝着法线正向

曲率小于零，曲线凹向朝着法线负向

离散曲率的计算：10.4.2小节

✓ 角点：曲率的局部极值点

7.1.1 简单边界描述符

3. 曲率

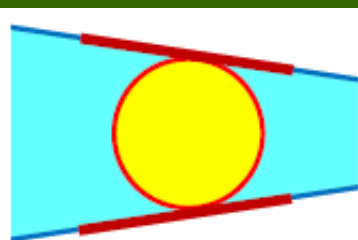
曲率反映了局部凹凸性

两条与圆相切的切线不平行

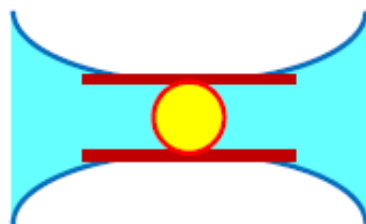
两条切线与圆的切点处的曲率之和为负

两条边界线平行，对应点处曲率之和为零

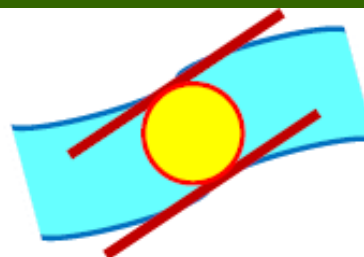
局部曲率为正值



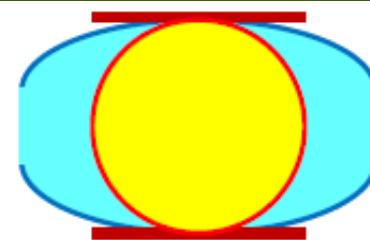
(a)



(b))



(c))



(d)

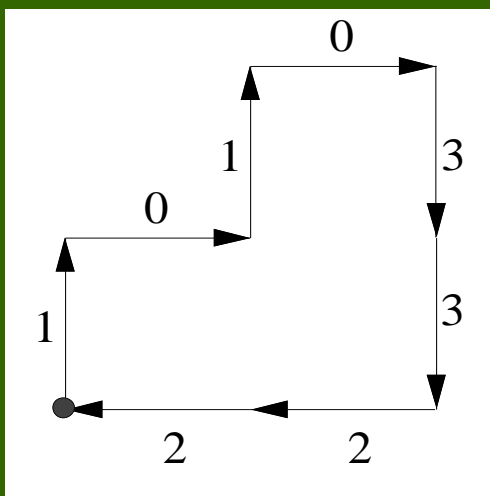
图 7.1.2 4种局部形状的曲率变化情况

7.1.2 形状数

形状数 (shape number)

轮廓差分码中其值最小的1个序列

形状数示例



4-方向链码: 10103322

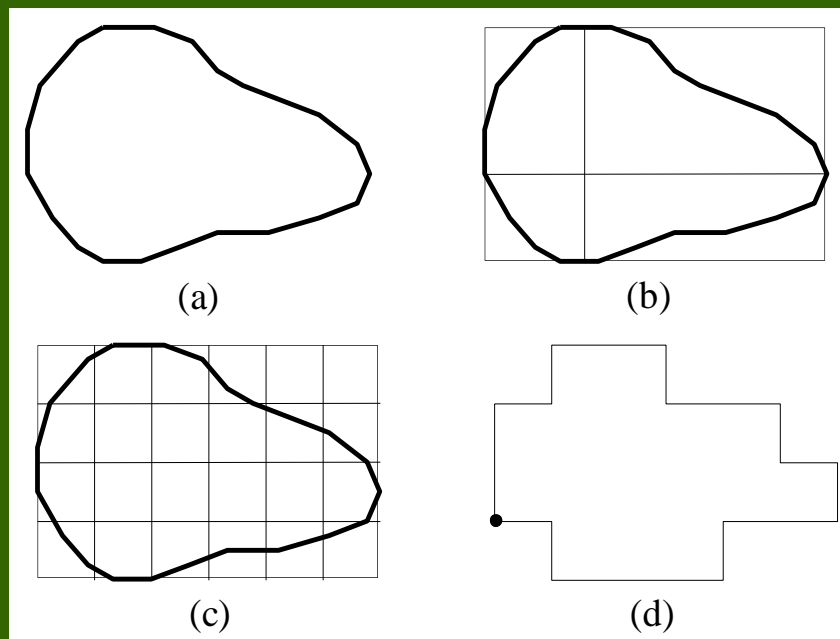
差分码: 33133030

形状数: 03033133

7.1.2 形状数

形状数的阶

- 形状数序列的长度
- 闭合曲线阶是偶数
- 凸形区域形状数的阶对应区域边界外包矩形的周长



(e) 链码: 1 1 0 1 0 0 3 0 0 3 0 3 2 2 3 2 2 2 1 2

(f) 差分码: 3 0 3 1 3 0 3 1 0 3 1 3 3 0 1 3 0 0 3 1

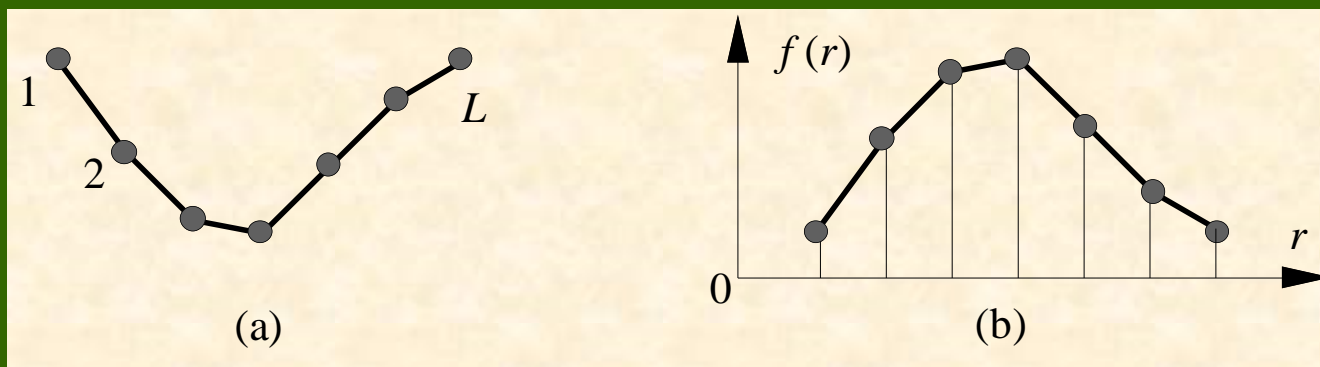
(g) 形状数: 0 0 3 1 3 0 3 1 3 0 3 1 0 3 1 3 3 0 1 3

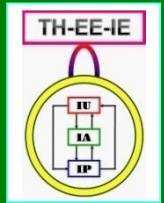
7.1.3 边界矩

矩（是一个物理量）

目标的边界可看作由一系列曲线段组成
通过定量描述曲线段而进一步描述整个边界
可把曲线段表示成一个1-D函数 $f(r)$

把 $f(r)$ 的线下面积看成一个直方图





7.1.3 边界矩

矩的计算

均值

$$m = \sum_{i=1}^L r_i f(r_i)$$

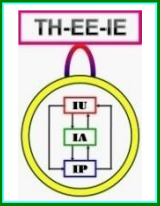
对均值的 n 阶矩

$$\mu_n(r) = \sum_{i=1}^L (r_i - m)^n f(r_i)$$

μ_n 与 $f(r)$ 的形状有直接联系

μ_2 描述了曲线相对于均值的分布

μ_3 描述了曲线相对于均值的对称性



7.2 基于区域的描述

利用处在目标区域内的像素集合来描述区域
(侧重整个目标或目标内部) 的特点/特性

7.2.1 简单区域描述符

7.2.2 拓扑描述符

7.2.3 区域不变矩

7.2.1 简单区域描述符

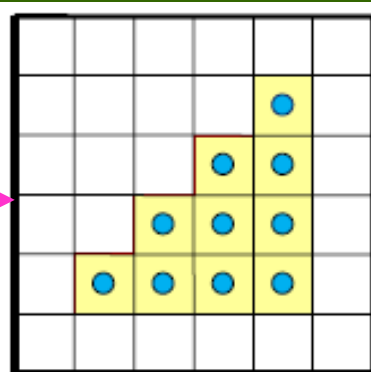
1. 区域面积

基于对象素个数的计数

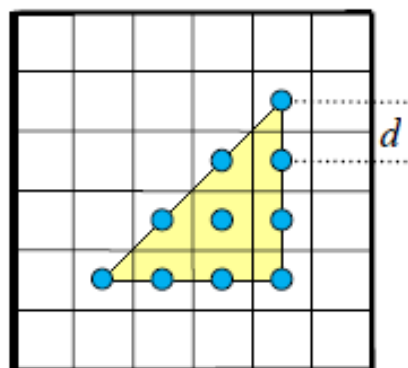
$$A = \sum_{(x,y) \in R} 1$$

✓ 求区域面积的不同计算方法

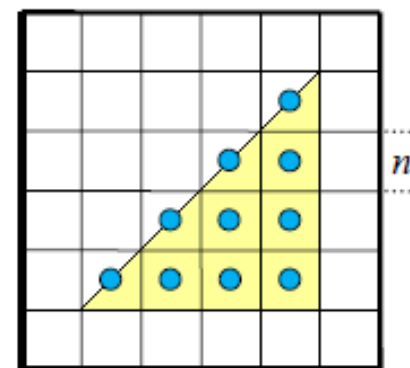
最简单
合理



$$A_1 = \# \text{ of pixels} = 10$$



$$A_2 = 3d \times 3d/2 = 4.5$$



$$A_3 = 4n \times 4n/2 = 8$$

图 7.2.1 几种面积计算方法举例

7.2.1 简单区域描述符

1. 区域面积

网格多边形（顶点在采样网格上）
区域 Q 的面积

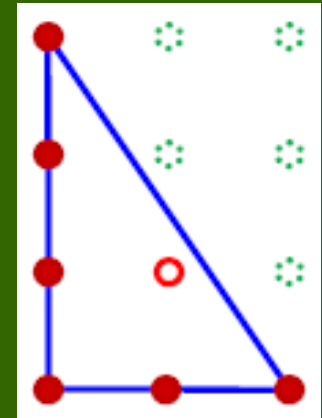
$$A(Q) = N_I + N_B / 2 - 1$$

N_I 是 Q 的内部点的个数

N_B 是正好处在 Q 之轮廓上的离散点个数

令 R 为 Q 中所包含点的集合

总点数: $\|R\| = N_I + N_B$



7.2.1 简单区域描述符

1. 区域面积

多边形区域面积计算示例

$$N_I = 71, N_B = 10, A(Q) = 75$$

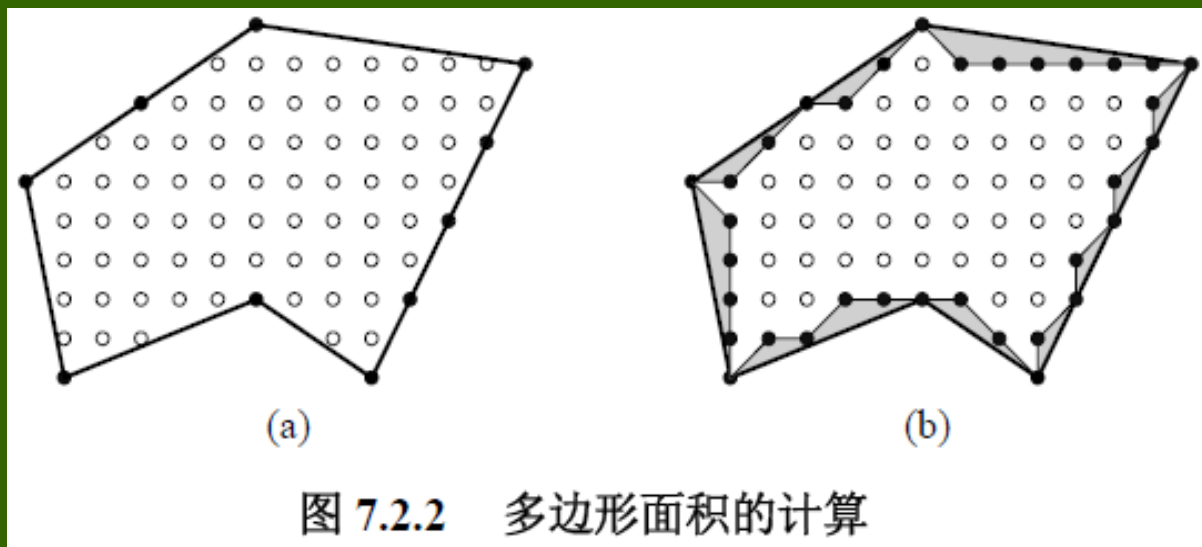


图 7.2.2 多边形面积的计算

多边形Q所定义的面积

轮廓（点集）所定义的面积

阴影部分12

7.2.1 简单区域描述符

1. 区域面积

目标面积的3种测量方式

考虑目标自身的特性和对测量数据的使用目的

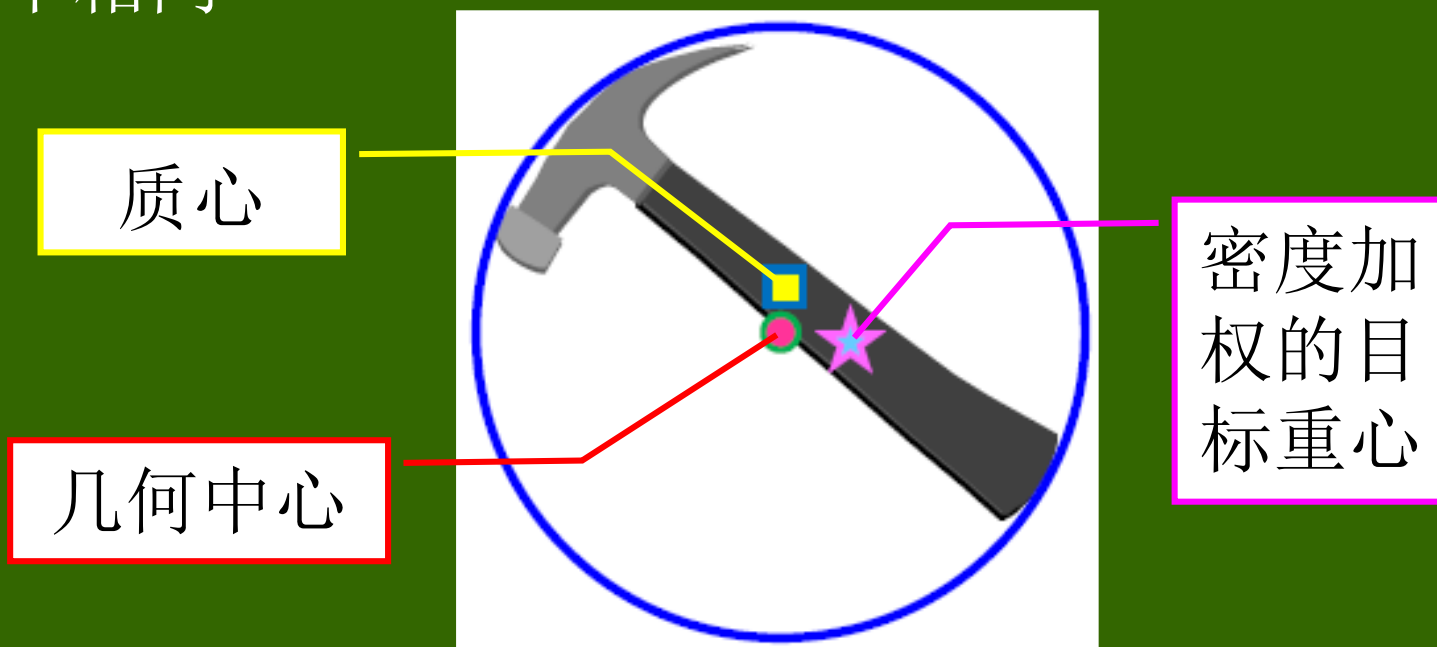
纯面积 填充面积 凸面积

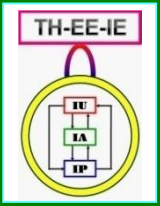


7.2.1 简单区域描述符

2. 区域质心

对非规则物体，其质心坐标和几何中心坐标常不相同





7.2.1 简单区域描述符

3. 区域密度（亮度）

多种影响因素（P.169） \Rightarrow 综合结果

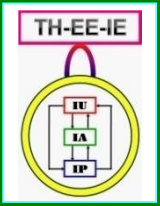
(1) 透射率（transmission）

$T = \text{穿透目标的光} / \text{入射的光}$

(2) 光密度（optical density）

入射的光与穿透目标的光的比（透射率的倒数），取以10为底的对数

$$OD = \lg(1/T) = -\lg T$$



7.2.1 简单区域描述符

3. 区域密度

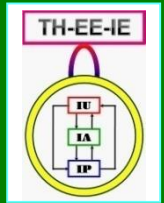
(3) 积分光密度 (integrated optical density)

区域中各像素光密度的和

$$IOD = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)$$

积分光密度是直方图中各灰度值的加权和

$$IOD = \sum_{k=0}^{G-1} kH(k)$$



7.2.2 拓扑描述符

拓扑描述符

拓扑学研究图形不受畸变变形（不包括撕裂或粘贴）影响的性质

拓扑性质：全局性质，与距离无关

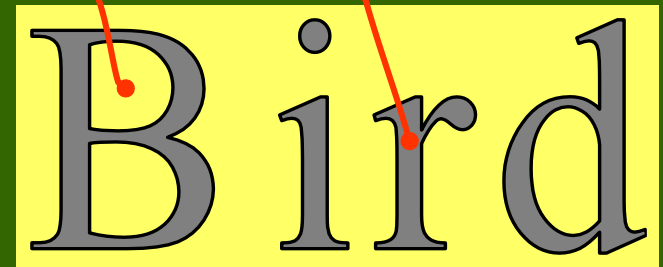
1. 欧拉数

$$E = C - H$$

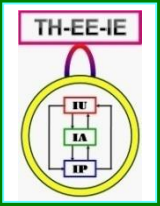
欧拉数描述了区域的连通性

H : 区域内的孔数

C : 区域内的连通组元个数



-1, 2, 1, 0



7.2.2 拓扑描述符

对一幅二值图象 A ，可以定义两个欧拉数

(1) 4-连通欧拉数 $E_4(A)$

4-连通的目标个数减去8-连通的孔数

$$E_4(A) = C_4(A) - H_8(A)$$





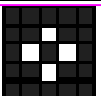
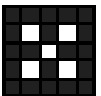
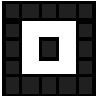
(2) 8-连通欧拉数 $E_8(A)$

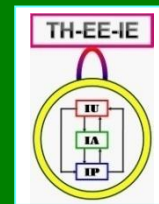
8-连通的目标个数减去4-连通的孔数

$$E_8(A) = C_8(A) - H_4(A)$$

7.2.2 拓扑描述符

表 7.2.1 一些简单结构目标区域的欧拉数

No.	A	$C_4(A)$	$C_8(A)$	$H_4(A)$	$H_8(A)$	$E_4(A)$	$E_8(A)$
1		1	1	0	0	1	1
2		5	1	0	0	5 \neq	1
3		1	1	1	1	0	0
4		4	1	1	0	4 \neq	0
5		2	1	4	1	1 \neq	-3
6		1	1	5	1	0 \neq	-4
7		2	2	1	1	1	1



7.2.2 拓扑描述符

多边形网

全部由直线段（包围）构成的区域集合

欧拉公式

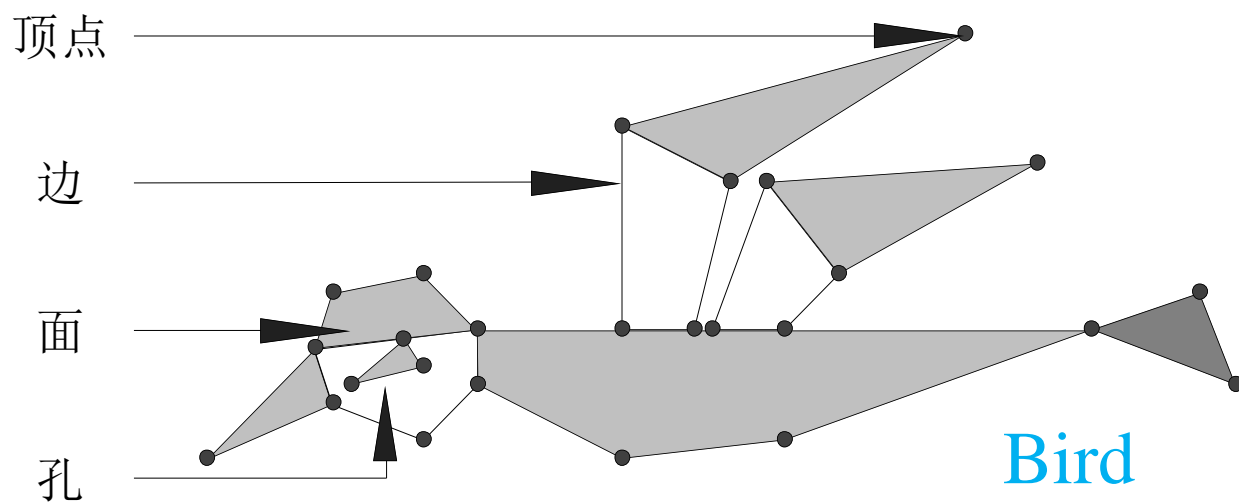
$$V - B + F = E = C - H$$

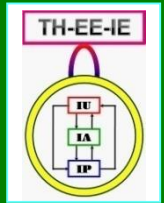
26 35 7 -2 1 3

V : 顶点数

B : 边线数

F : 面数





7.2.3 区域不变矩

区域矩：用所有属于区域内的点计算

$f(x, y)$ 的 $p + q$ 阶矩

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y)$$

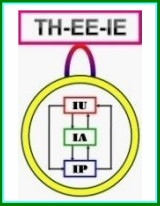
$f(x, y)$ 的 $p + q$ 阶中心矩

$$M_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y)$$

$f(x, y)$ 的归一化的中心矩

$$N_{pq} = \frac{M_{pq}}{M_{00}^\gamma} \quad \text{其中 } \gamma = \frac{p+q}{2} + 1, \quad p+q = 2, 3, \dots$$

计算边界矩
时要调整



7.2.3 区域不变矩

对平移、
旋转、
尺度变换
不变的矩

$$T_1 = N_{20} + N_{02}$$

$$T_2 = (N_{20} - N_{02})^2 + 4N_{11}^2$$

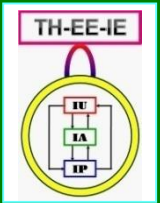
$$T_3 = (N_{30} - 3N_{12})^2 + (3N_{21} - N_{03})^2$$

$$T_4 = (N_{30} + N_{12})^2 + (N_{21} + N_{03})^2$$

$$T_5 = (N_{30} - 3N_{12})(N_{30} + N_{12})[(N_{30} + N_{12})^2 - 3(N_{21} + N_{03})^2] \\ + (3N_{21} - N_{03})(N_{21} + N_{03})[3(N_{30} + N_{12})^2 - (N_{21} + N_{03})^2]$$

$$T_6 = (N_{20} - N_{02})[(N_{30} + N_{12})^2 - (N_{21} + N_{03})^2] + 4N_{11}(N_{30} + N_{12})(N_{21} + N_{03})$$

$$T_7 = (3N_{21} - N_{03})(N_{30} + N_{12})[(N_{30} + N_{12})^2 - 3(N_{21} + N_{03})^2] \\ + (3N_{12} - N_{30})(N_{21} + N_{03})[3(N_{30} + N_{12})^2 - (N_{21} + N_{03})^2]$$



7.2.3 区域不变矩

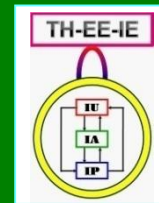
对一般仿射变换不变的矩

$$I_1 = \{M_{20}M_{02} - M_{11}^2\} / M_{00}^4$$

$$I_2 = \{M_{30}^2M_{03}^2 - 6M_{30}M_{21}M_{12}M_{03} + 4M_{30}M_{12}^2 + 4M_{21}^2M_{03} - 3M_{21}^2M_{12}^2\} / M_{00}^{10}$$

$$I_3 = \{M_{20}(M_{21}M_{03} - M_{12}^2) - M_{11}(M_{30}M_{03} - M_{21}M_{12}) + M_{02}(M_{30}M_{12} - M_{21}^2)\} / M_{00}^7$$

$$\begin{aligned} I_4 = & \{M_{20}^3M_{03}^2 - 6M_{20}^2M_{11}M_{12}M_{03} - 6M_{20}^2M_{02}M_{21}M_{03} + 9M_{20}^2M_{02}M_{12}^2 \\ & + 12M_{20}M_{11}^2M_{21}M_{00} + 6M_{20}M_{11}M_{02}M_{30}M_{03} - 18M_{20}M_{11}M_{02}M_{21}M_{12} \\ & - 8M_{11}^3M_{30}M_{03} - 6M_{20}M_{02}^2M_{30}M_{12} + 9M_{20}M_{02}^2M_{21}^2 \\ & + 12M_{11}^2M_{02}M_{30}M_{12} - 6M_{11}M_{02}^2M_{30}M_{21} + M_{02}^3M_{30}^2\} / M_{00}^{11} \end{aligned}$$



7.3 对目标关系的描述

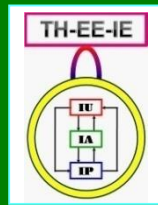
多个边界/区域之间的关系

7.3.1 目标标记和计数

7.3.2 点目标的分布

7.3.3 字符串描述

7.3.4 树结构描述



7.3.1 目标标记和计数

用标记将多个目标区域分别提取出来并计数

1. 像素标记

检查当前像素与之前若干近邻像素的连通性

◆ 考虑4-连通的情况（从左上向右下扫描）

0	0	0
0	1	

新的标记
第1次被扫描到

0	A	0
0	1	

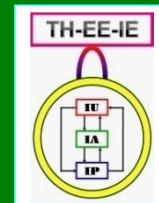
标记为A
与A连通

0	0	0
B	1	

标记为B
与B连通

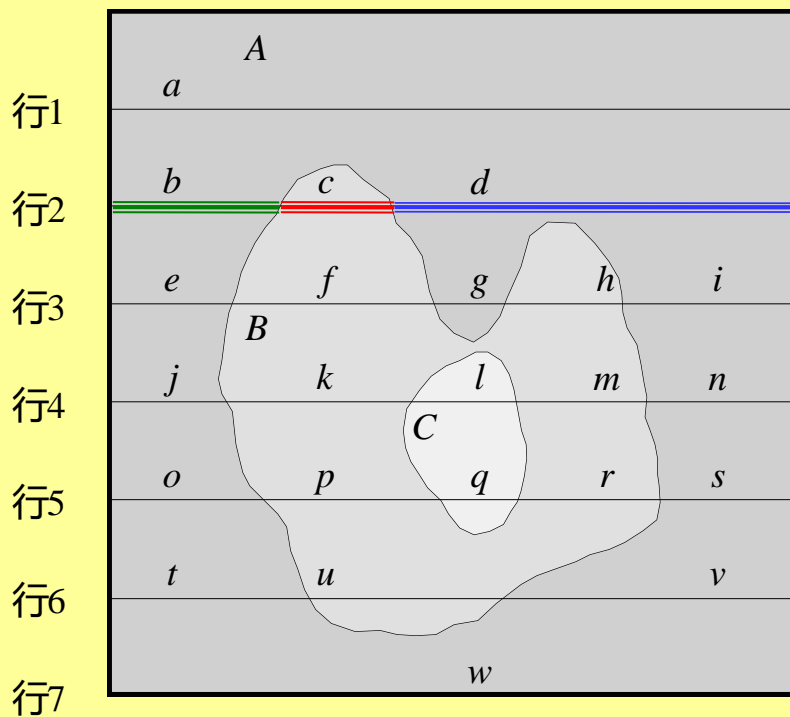
0	A	0
B	1	

标记为A/B
A和B等价



7.3.1 目标标记和计数

2. 游程连通性分析 {P.168}

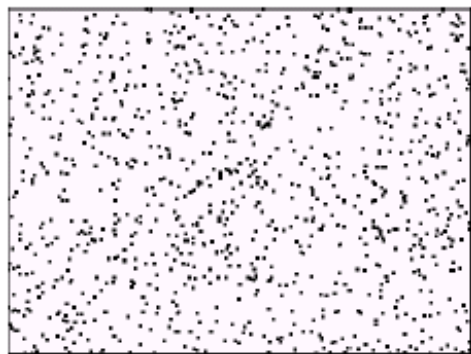


列	1	2	3	4	5	6	
层	1	2	1	2	1	3	
目标	A	B	A	B	A	C	
分叉 交会	ID1		B	C			标记
	ID2	A				B	
	IC1		B	C			
	IC2	A				B	
行1	a						数据
行2	b	c	d				
行3	e	f	g	h	i		
行4	j	k		m	n	l	
行5	o	p		r	s	q	
行6	t	u			v		
行7	w						

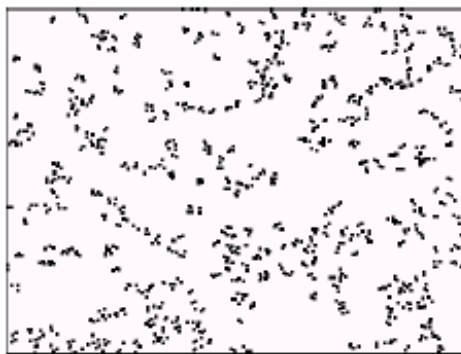
7.3.2 点目标的分布

- 当图象中有许多个同类的目标时，为方便研究它们之间的关系，常将各个目标抽象为点目标
- 对点目标集合，目标间相互关系常比单个目标在图象中的位置或单个目标本身的性质更重要

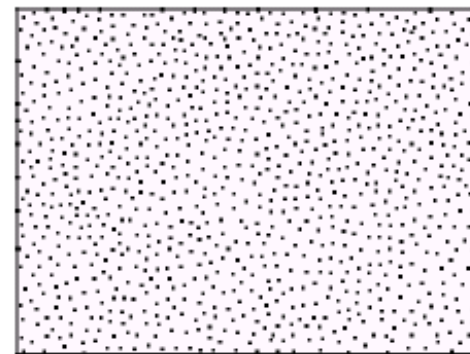
泊松分布



随机分布



聚类分布



规则分布

7.3.2 点目标的分布

◆ 点分布

◆ 聚类

均值 \searrow , 方差 \searrow

◆ 随机

(泊松)

◆ 规则

均值 \nearrow , 方差 \searrow

$$\text{Mean} = \frac{1}{2} \sqrt{\text{Area}/N}$$

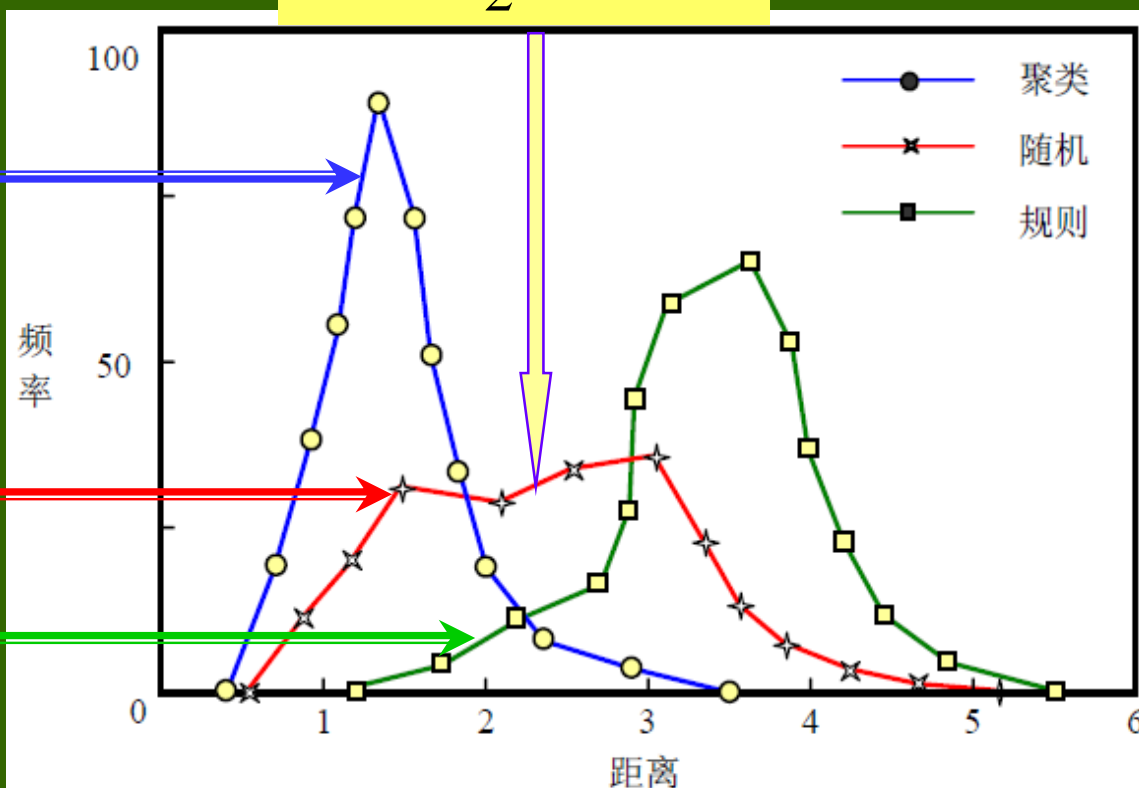


图 7.3.8 最近相邻像素距离的直方图

7.3.2 点目标的分布

根据分布的统计值来区分不同分布

距离计算 \Rightarrow 目标计数

- 将视场分成一些子区域

μ : 子区域内目标数的均值

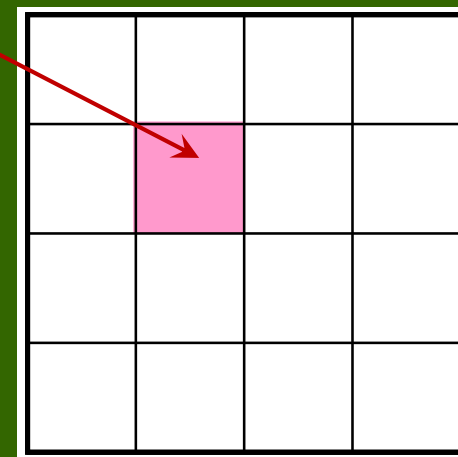
σ^2 : 子区域内目标数的方差

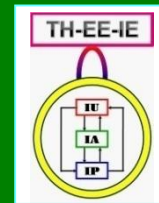
(1) $\sigma^2 = \mu$: 泊松分布

(2) $\sigma^2 > \mu$: 聚类分布

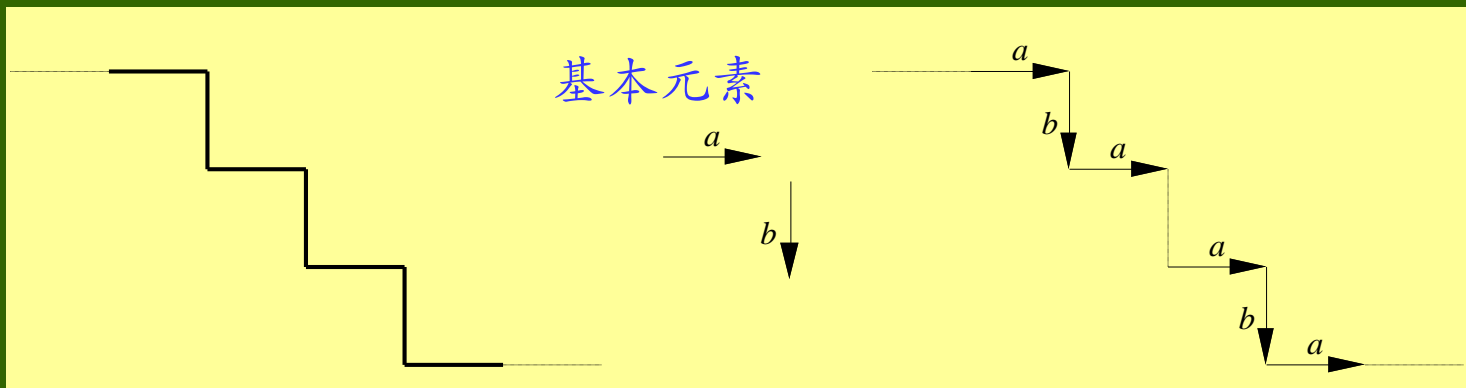
(3) $\sigma^2 < \mu$: 均匀分布

视场





7.3.3 字符串描述



描述语法/重写（替换）规则：

$$(1) \quad S \rightarrow aA$$

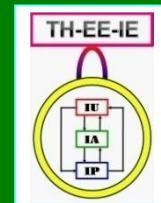
起始符号 S 用元素 a 和变量 A 来替换

$$(2) \quad A \rightarrow bS$$

变量 A 用元素 b 和起始符号 S 来替换

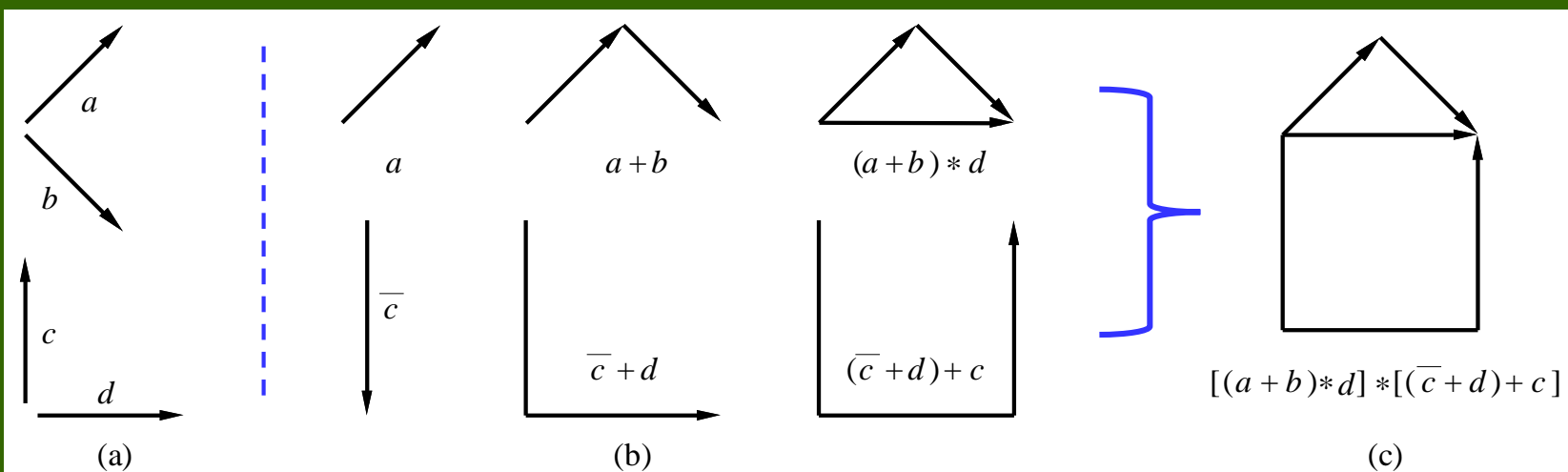
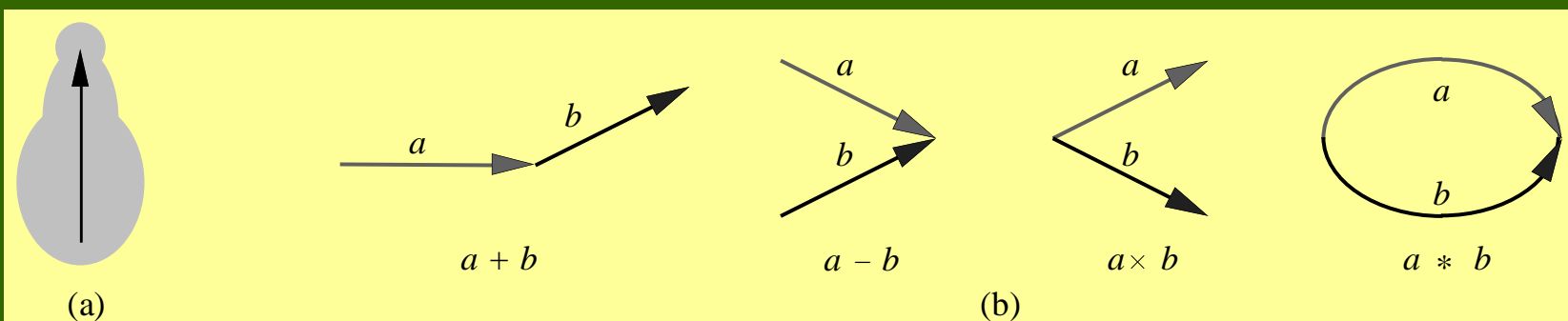
$$(3) \quad A \rightarrow b$$

变量 A 用单个元素 b 来替换



7.3.3 字符串描述

✓ 利用有向线段并结合运算描述复杂结构

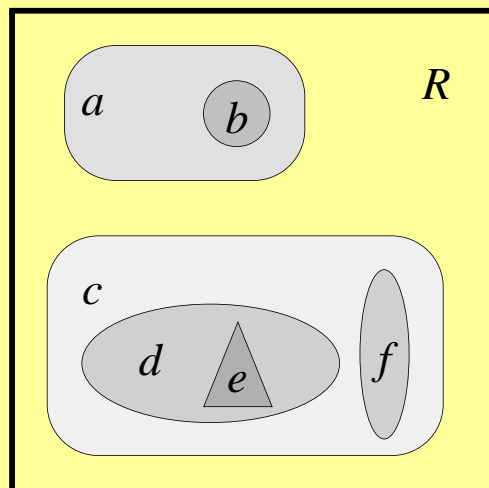


7.3.4 树结构描述

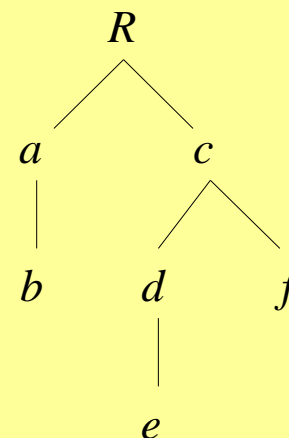
➤ 树中有2类重要的信息：

- (1) 关于结点的信息，可用一组字符来记录
- (2) 关于一个结点与其相连通结点的信息，可用一组指向这些结点的指针来记录

区域邻域图



“在.....之中”



7.3.4 树结构描述

相对位置

在左边

- (1) A中的所有像素都必须在B中的所有像素的左边
- (2) A中至少一个像素必须在B中的若干像素的左边
- (3) A的重心必须在B的重心的左边
- (4) A的重心必须在B的最左边像素的左边，且A的最右边像素必须在B的最右边像素的左边

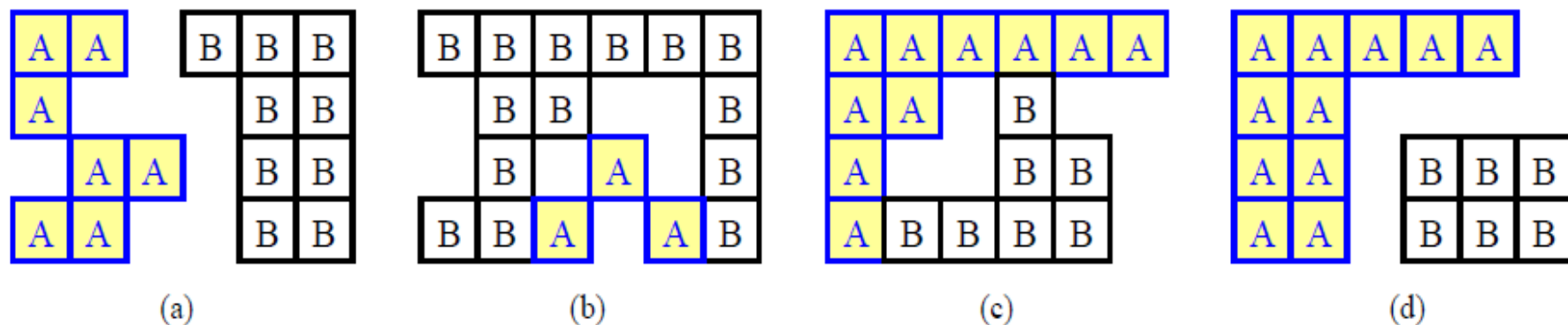


图 7.3.14 “在左边”的二值示例



联系信息

- ☞ 通信地址：北京清华大学电子工程系
- ☞ 邮政编码：100084
- ☞ 办公地址：清华大学，罗姆楼，6层305室
- ☞ 办公电话：(010) 62798540
- ☞ 传真号码：(010) 62770317
- ☞ 电子邮件：zhang-yj@tsinghua.edu.cn
- ☞ 个人主页：oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/