

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3单元 特性分析

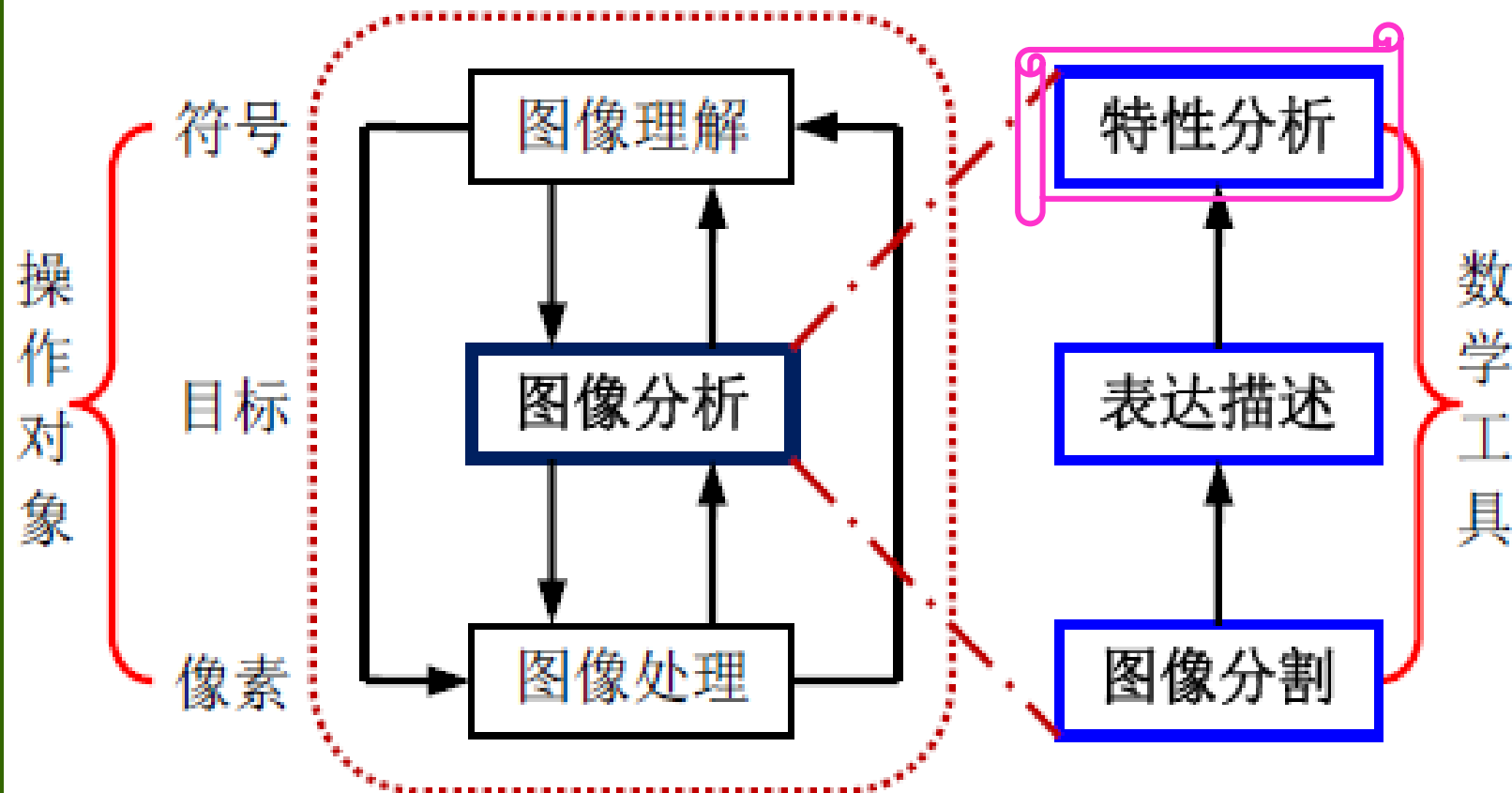
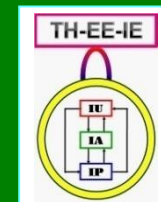
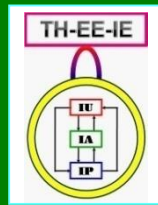


图 1.2.2 图像分析主要功能模块



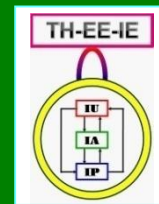
第3单元 特性分析

- 第9章 纹理分析：对纹理的表达和描述，纹理图象分割，分类和合成
- 第10章 形状分析：特征的方法，形状变换的方法，基于关系的方法
- 第11章 运动分析：景的变化（外在照明改变、视场改变）和物的变化（目标位置朝向改变）
- 第12章 显著性和属性
显著性：与主观感知相关联
属性：人指定名称并可观察到的特性



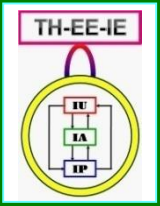
第9章 纹理分析

- 纹理是物体表面固有的一种特性，所以图象中的区域常体现出纹理性质
- 纹理可认为是灰度（颜色）在空间以一定的形式变化而产生的图案（模式）
- 纹理是图象分析中常用的概念，但目前对纹理尚无正式的（或者说一致的）定义
- 纹理与尺度有密切联系
- 纹理具有（局部）区域性质的特点



第9章 纹理分析

- 9.1 纹理研究概况
- 9.2 纹理描述的统计方法
- 9.3 纹理描述的结构方法
- 9.4 纹理描述的频谱方法
- 9.5 一种纹理分类合成方法
- 9.6 纹理分割



9.1 纹理研究概况

1. 纹理研究的内容

(1) 纹理表达和描述

刻画纹理特点，辨认纹理模式

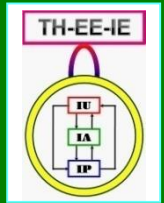
(2) 纹理分割

利用纹理性质作为特征对图象进行分割

(3) 纹理分类与合成

根据纹理特性对区域分类，并构建纹理

(4) 由纹理恢复形状



9.1 纹理研究概况

2. 纹理分析的方法

(1) 统计法

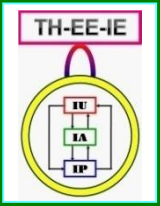
利用统计规则来描述纹理，比较适合描述自然纹理

(2) 结构法

纹理被看作是一组纹理基元以某种规则的或重复的关系结合的结果

(3) 频谱法

变换域的方法



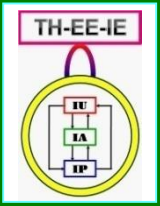
9.2 纹理描述的统计方法

比较适合描述自然纹理

9.2.1 灰度共生矩阵

9.2.2 基于共生矩阵的纹理描述符

9.2.3 基于能量的纹理描述符

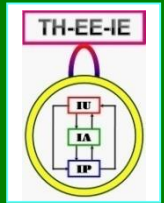


9.2.1 灰度共生矩阵

- 设 S 为目标区域 R 中具有特定空间联系（可由位置算子确定）的像素对的集合
- 共生矩阵 \mathbf{P} 中的元素（#代表数量）

$$p(g_1, g_2) = \frac{\#\{[(x_1, y_1), (x_2, y_2)] \in S \mid f(x_1, y_1) = g_1 \ \& \ f(x_2, y_2) = g_2\}}{\#S}$$

- 分子：具有某种空间关系、灰度值分别为 g_1 和 g_2 的像素对的个数
- 分母：像素对的总和个数



9.2.2 基于共生矩阵的纹理描述符

二阶矩：对应图象的均匀性或平滑性 **图9.2.5**

$$W_M = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p^2(g_1, g_2) \quad (a) \neq (b)$$

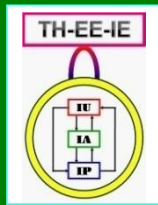
熵：给出图象内容随机性的量度

$$W_E = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(g_1, g_2) \log [p(g_1, g_2)] \quad (a) \neq (e)$$

对比度：反映近邻像素间的反差

$$W_C = \sum_{g_1} \sum_{g_2} |g_1 - g_2| p(g_1, g_2) \quad (c) \neq (d)$$

均匀性：
$$W_H = \sum_{g_1} \sum_{g_2} \frac{p(g_1, g_2)}{k + |g_1 - g_2|} \approx W_C \text{的倒数}$$



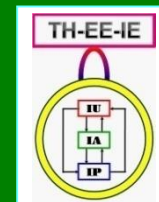
9.2.3 基于能量的纹理描述符

- 利用模板/核计算局部纹理能量（劳斯算子）
- 设图象为 I ，模板为 M_1, M_2, \dots, M_N
- 卷积 $J_n = I * M_n, n = 1, 2, \dots, N$ 给出各种像素邻域中的纹理能量分量
- 采用尺寸为 $k \times k$ 的模板，对应第 n 个模板

$$T_n(x, y) = \frac{1}{k \times k} \sum_{i=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} \sum_{j=-(k-1)/2}^{(k-1)/2} |J_n(x+i, y+j)|$$

- 纹理特征矢量

$$[T_1(x, y) \ T_2(x, y) \ \dots \ T_N(x, y)]^T$$



9.2.3 基于能量的纹理描述符

1-D模板:

3个 1×3

$$L_3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$E_3 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_3 = \begin{bmatrix} -1 & 2 & -1 \end{bmatrix}$$

层

边缘

形状

波

纹

5个 1×5

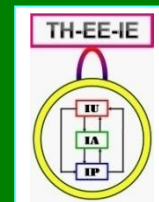
$$L_5 = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$E_5 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & 0 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S_5 = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$W_5 = \begin{bmatrix} -1 & 2 & 0 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 1 & -4 & 6 & -4 & 1 \end{bmatrix}$$

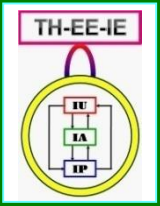


9.2.3 基于能量的纹理描述符

- **2-D模板**：可借助1-D的模板来构建，具体是计算行模板和列模板的外积
- **例**： L_5 给出中心加权的局部平均， E_5 检测边缘

$$E_5^T L_5 = \begin{bmatrix} -1 \\ -2 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -4 & -6 & -4 & -1 \\ -2 & -8 & -12 & -8 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 8 & 12 & 8 & 2 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

$E_5^T L_5$ 检测水平边缘 ($L_5^T E_5$ 检测?)



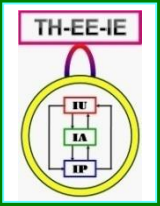
9.3 纹理描述的结构方法

复杂的纹理可由一些简单的纹理基元（基本纹理元素）以一定的有规律的形式重复排列组合而成

9.3.1 结构描述法基础

9.3.2 纹理镶嵌

9.3.3 局部二值模式



9.3.1 结构描述法基础

- (1) 确定纹理基元 (2) 建立排列规则

1. 纹理基元

一个纹理基元是由一组属性所刻画的相连通的像素集合

设纹理基元为 $h(x, y)$ ，排列规则为 $r(x, y)$

纹理 $t(x, y)$: $t(x, y) = h(x, y) \otimes r(x, y)$

$$r(x, y) = \sum \delta(x - x_m, y - y_m)$$

9.3.1 结构描述法基础

2. 排列规则

排列规则和方式可用形式语法来定义

(1) $S \rightarrow aS$ (变量 S 可用 aS 来替换) \Rightarrow

(2) $S \rightarrow bS$ (变量 S 可用 bS 来替换) \Downarrow

(3) $S \rightarrow tS$ (变量 S 可用 tS 来替换) 

(4) $S \rightarrow t$ (变量 S 可用 t 来替换)  \Leftarrow

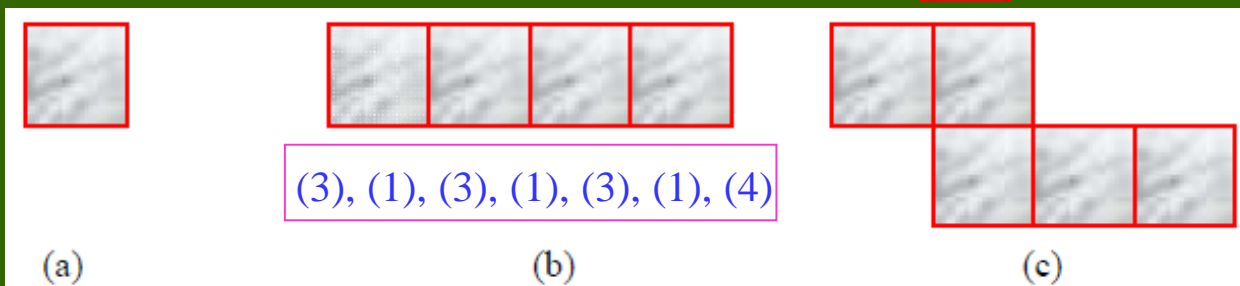
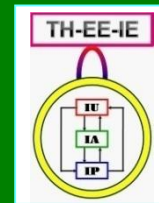


图 9.3.1 不同 2-D 纹理模式的生成



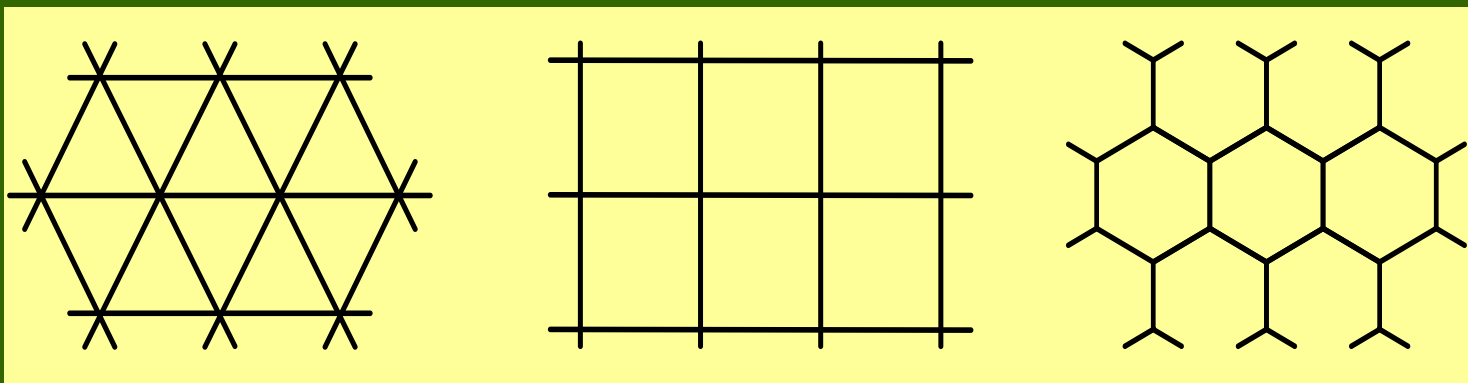
9.3.2 纹理镶嵌

纹理镶嵌

在空间以一定的次序或形式进行不同纹理单元的拼接组合

- 规则镶嵌

只用（同一种）正多边形

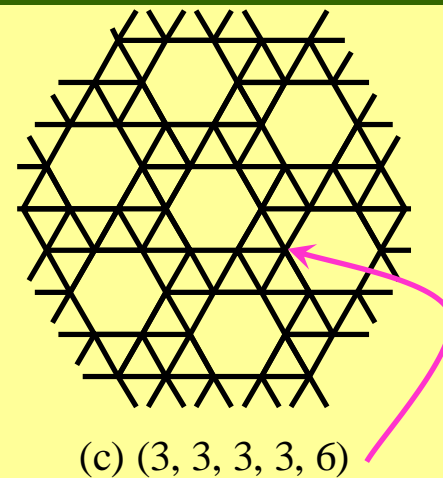
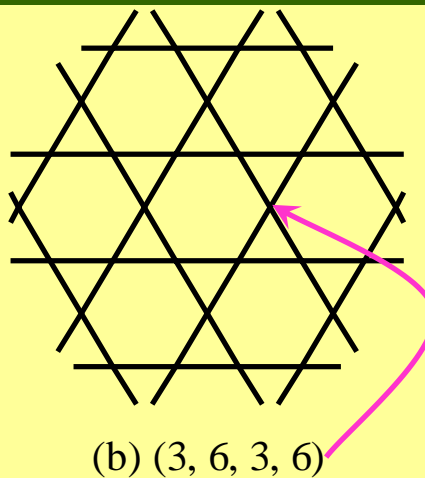
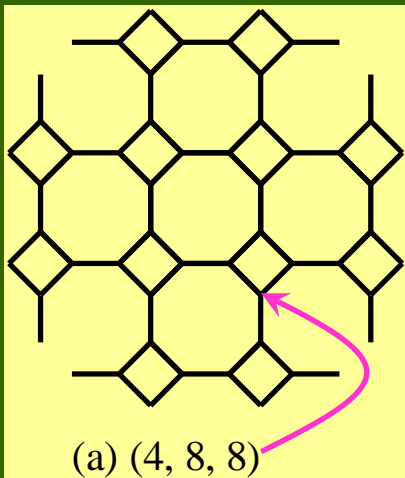


9.3.2 纹理镶嵌

纹理镶嵌

- 半规则镶嵌

同时使用两种边数不同的正多边形



依次列出绕顶点的多边形的边数

9.3.3 局部二值模式

1. 空间LBP

对一个像素的 3×3 邻域里的像素按顺序阈值化，将结果看作一个二进制数（也可转为十进制），并作为中心像素的标号

由256个（ 2^8 ）不同标号得到的直方图可进一步用作整个区域的纹理描述符

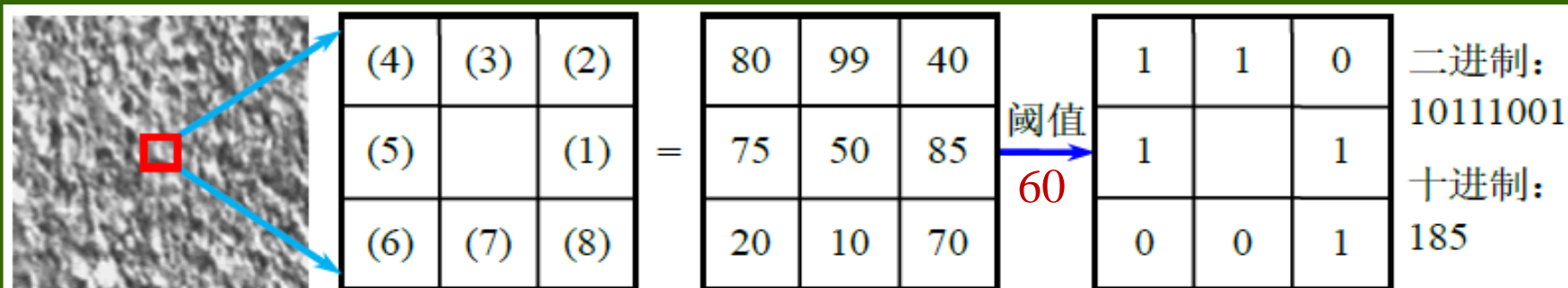


图 9.3.6 基本 LBP 算子的计算示例

9.3.3 局部二值模式

1. 空间LBP

可以使用不同尺寸的邻域对基本LBP算子进行扩展。用 (P, R) 代表一个像素的邻域，在这个邻域里有 P 个像素，圆半径为 R

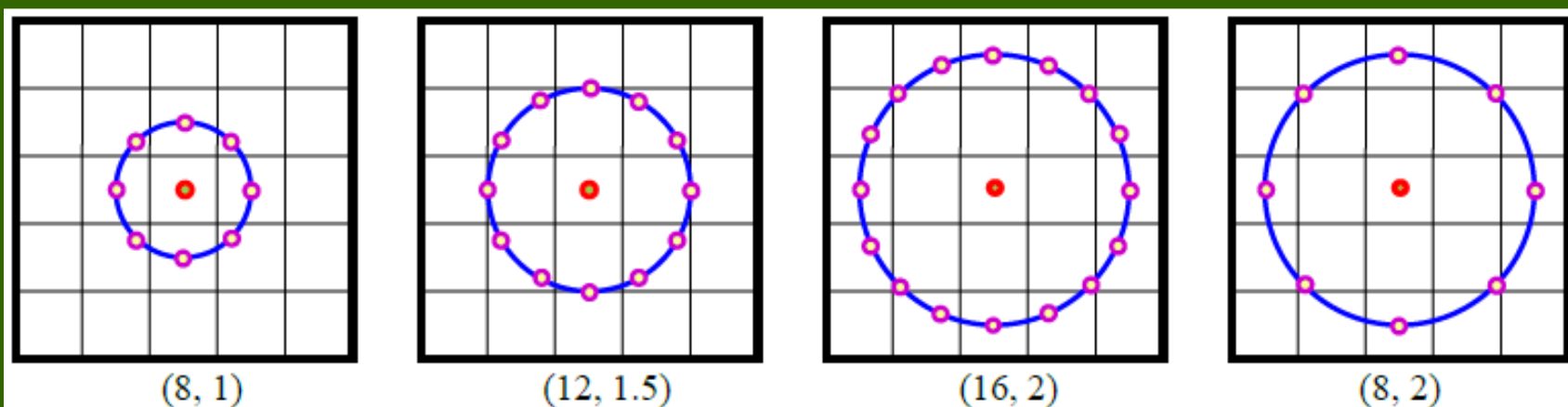
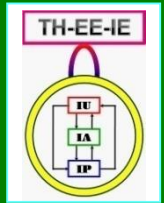


图 9.3.7 对应不同 (P, R) 的邻域集合



9.3.3 局部二值模式

1. 空间LBP

均匀模式： 将一个邻域中的像素按顺序循环考虑，如果它包含最多两个从0到1或从1到0的过渡，则这个二值模式就是均匀的

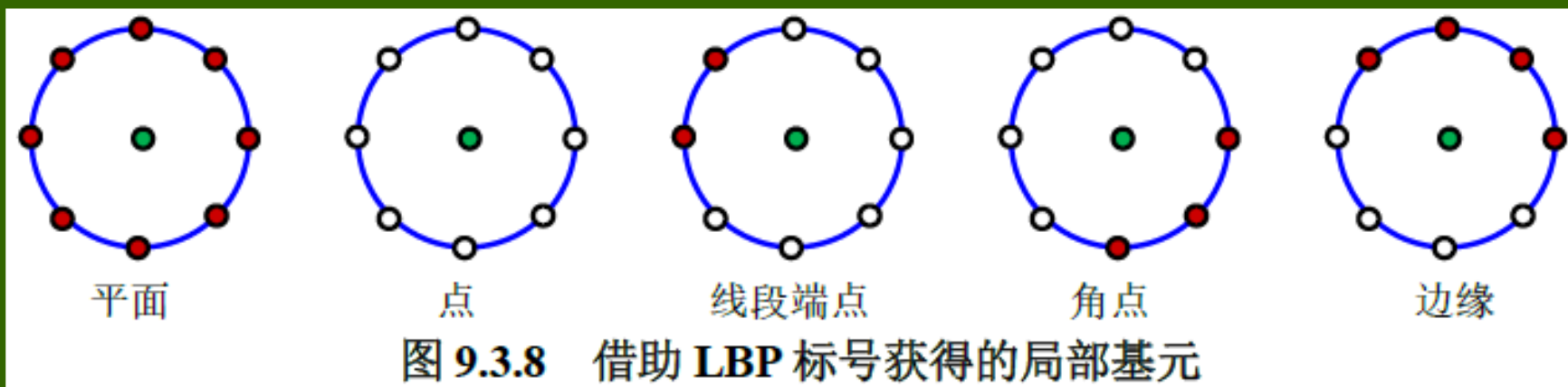
均匀模式对应纹理 \Leftrightarrow 非均匀模式对应噪声
11111001 (2个过渡) \Leftrightarrow 10111001 (4个过渡)

使用 $(8, R)$ 邻域时，一共有256个模式，其中58个模式为均匀模式，所有非均匀模式共同使用同一个标号，所以一共有59个标号

9.3.3 局部二值模式

1. 空间LBP

一个均匀模式的LBP算子可用 $LBP_{P,R}^{(u)}$ 来表示
根据LBP的标号可以获得不同的局部基元
一些有意义示例（空心0，实心1）



9.3.3 局部二值模式

2. 时-空LBP

扩展到时-空表达可以进行动态纹理分析

考虑三组平面： XY ， XT ， YT ，三类LBP标号

三个LBP直方图可以拼成一个统一的直方图

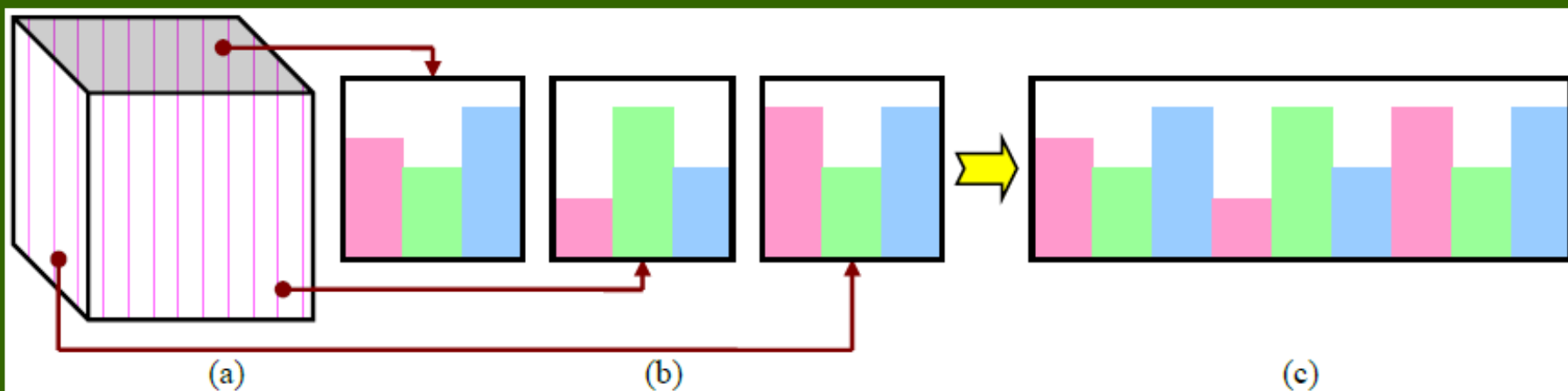
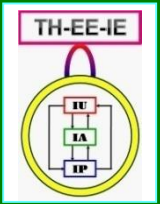


图 9.3.9 体局部二值模式的直方图表示



9.3.3 局部二值模式

2. 时-空LBP

LBP直方图可定义为

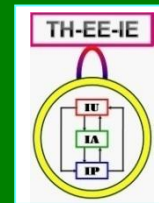
$$H_i = \sum_{x,y} I\{f_L(x,y) = i\}, \quad i = 0, \dots, n-1$$

$$I(z) = \begin{cases} 1 & z \text{ 为真} \\ 0 & z \text{ 为假} \end{cases}$$

给定一个 $X \times Y \times T$ 的动态纹理，动态纹理直方图可写为

$$H_{i,j} = \sum_{x,y,t} I\{f_j(x,y,t) = i\}, \quad i = 0, \dots, n_j-1; \quad j = 0, 1, 2$$

基于从3个不同平面得到的LBP标号可以有效地获得对动态纹理的描述，即XY-LBP：外观；
XT-LBP：水平方向变化；YT-LBP：垂直方向变化

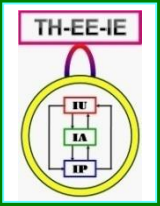


9.4 纹理描述的频谱方法

纹理和图象频谱中的高频分量是密切联系的
频谱法对应变换域的方法，着重考虑的是纹
理的周期性

9.4.1 傅里叶频谱

9.4.2 盖伯频谱

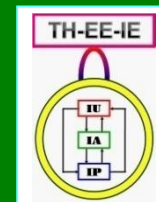


9.4.1 傅里叶频谱

傅里叶频谱

借助傅里叶频谱的频率特性来描述周期/近乎周期的2-D图象模式的方向性

- (1) 傅里叶频谱中突起的峰值对应纹理模式的主方向
- (2) 这些峰在频域平面的位置对应模式的基本周期
- (3) 利用滤波把周期性成分除去，则可用统计方法描述剩下的非周期性部分



9.4.1 傅里叶频谱

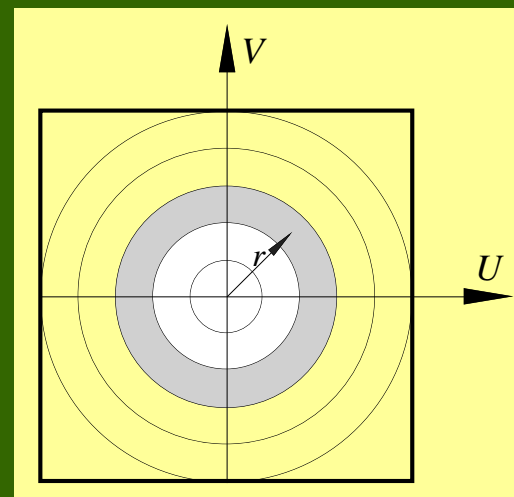
傅里叶频谱

分块放射特征

$$R(r_1, r_2) = \sum \sum |F|^2(u, v)$$

$$r_1^2 \leq u^2 + v^2 < r_2^2$$

$$0 \leq u, v < N-1$$



纹理粗糙度：光滑的纹理（低频）在小半径处有较大的 $R(r_1, r_2)$ 值，而粗糙颗粒的纹理（高频）将在大半径处有较大的 $R(r_1, r_2)$ 值

9.4.1 傅里叶频谱

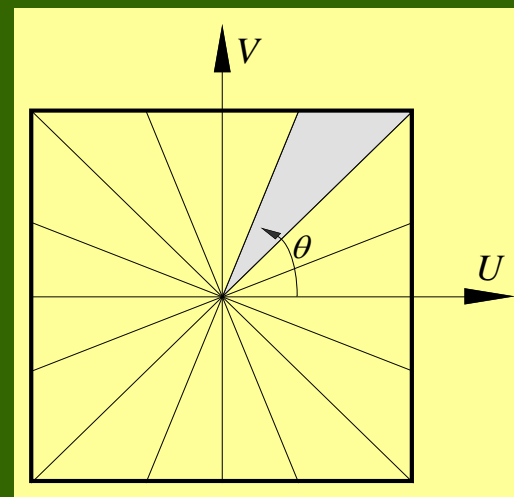
傅里叶频谱

分块夹角特征

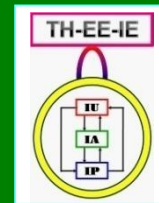
$$A(\theta_1, \theta_2) = \sum \sum |F|^2(u, v)$$

$$\theta_1 \leq \tan^{-1}(v/u) < \theta_2$$

$$0 < u, v \leq N-1$$



纹理方向： 如果纹理在一个给定的方向 θ 上包含许多线或边缘， $|F|^2$ 的值将会在频率空间中沿 $\theta + \pi/2$ 的方向附近聚集



9.4.2 盖伯频谱

盖伯频谱

盖伯变换：用高斯函数作为窗函数的短时傅里叶变换（加窗傅里叶变换）

- 实际中常使用两个成对的实盖伯滤波器

对称的：

$$G_s(x, y) = \cos(k_x x + k_y y) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

反对称的：

$$G_a(x, y) = \sin(k_x x + k_y y) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

9.4.2 盖伯频谱

盖伯频谱

将上述两个盖伯滤波器旋转和放缩，可分别获得一组朝向和带宽均不同的滤波器，并覆盖整个平面

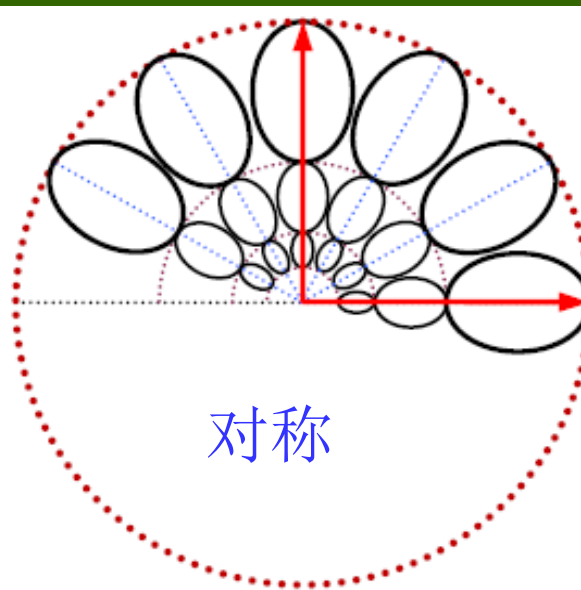


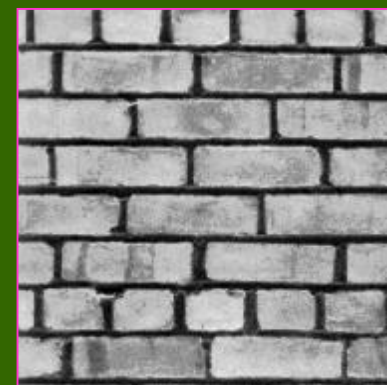
图 9.4.4 滤波器旋转和放缩所得到的一组滤波器示意

9.5 一种纹理分类合成方法

1. 三类纹理

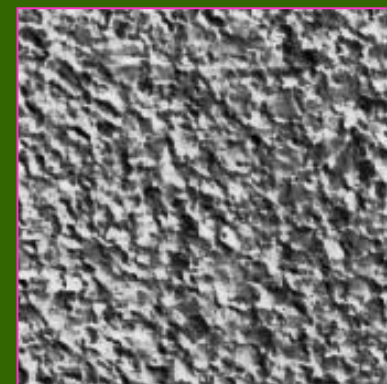
(1) 全局有序纹理

包含对纹理基元的特定排列
常可用结构方法来分析

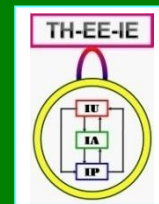


(2) 无序纹理

既无重复性也无方向性
用统计法分析比较合适



(3) 局部有序纹理



9.5 一种纹理分类合成方法

局部有序纹理

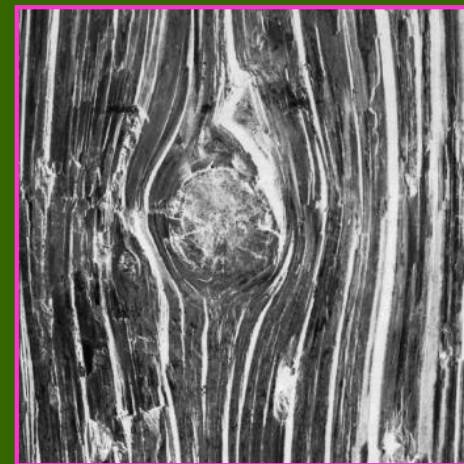
具有局部的方向性但全图是随机的
该类纹理的方向场可看作包含两幅图象

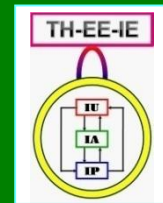
(1) 角度图 (angle)

各点的主要局部朝向

(2) 相干图 (coherence)

各点的各向异性情况





9.5 一种纹理分类合成方法

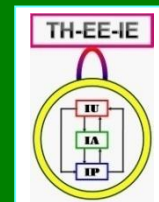
2. 纹理组合

在1966年，Brodatz收集了112幅纹理图片，出版了一本相册



Brodatz P. "Textures: A Photographic Album for Artists and Designer."
Dover, New York, 1966

- “纹理”相册中91%的（101幅）纹理图象可以直接划分到前面三类纹理（图象）中



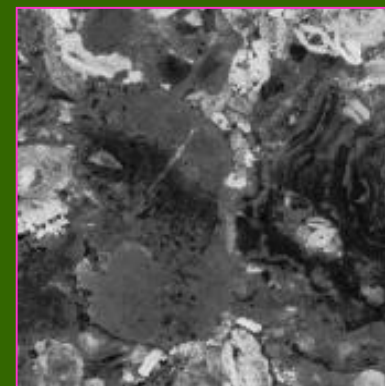
9.5 一种纹理分类合成方法

2. 纹理组合

利用三类纹理以组合其他种类的纹理

(1) 线性组合/透明覆盖

$$T_3 = c_1 T_1 + c_2 T_2$$

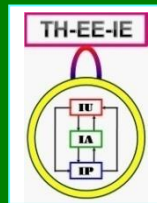


(2) 功能组合

将一类纹理的特征嵌入到另一类纹理框架中

(3) 不透明重叠

后来叠加上去的纹理覆盖了原先的纹理



9.5 一种纹理分类合成方法

2. 纹理组合

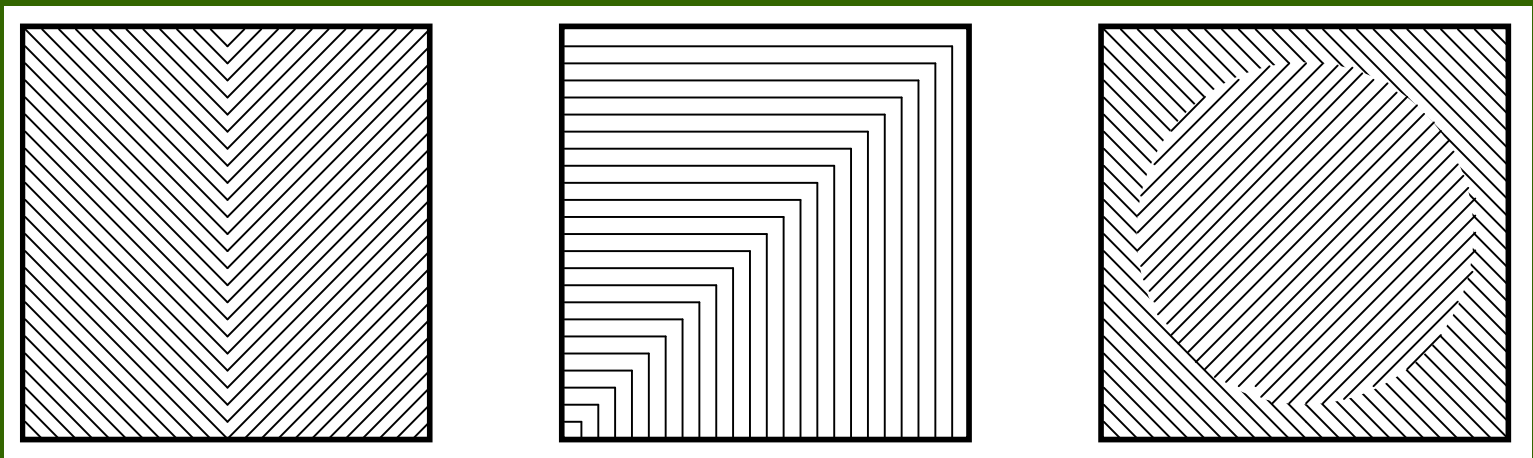
将剩下的9%（11幅）图象也合成出来了

表 9.5.1 对“纹理”相册中图像的分类

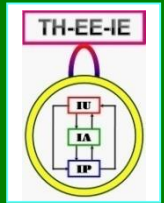
| 纹理种类 | 全局有序纹理 | 局部有序纹理 | 无序纹理 | 组合纹理 |
|---------|---|--|-------------------------------------|--|
| 纹理数量 | 66 | 25 | 10 | 11 |
| 纹理图像的编号 | 1, 3, 5, 6, 8, 10, 14, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 46, 47, 48, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 59, 62, 64, 65, 66, 67, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 94, 95, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 111, 112 | 12, 13, 15, 16, 17, 24, 37, 38, 43, 44, 45, 50, 51, 68, 69, 70, 71, 72, 87, 93, 97, 107, 108, 109, 110 | 2, 4, 7, 9, 57, 86, 90, 91, 92, 100 | 11, 19, 39, 40, 41, 42, 58, 60, 61, 63, 76 |

9.6 纹理分割

- {边缘一般出现在灰度剧烈变化的地方}
- 不伴随灰度变化的纹理变化也可使人感知到边缘的存在（甚至没有明显的边界线）



{ 《图象分割》 7.5节（P.122 ~ P.133） }

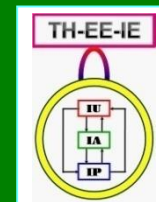


9.6 纹理分割

考虑纹理类别的数目已知或未知

9.6.1 有监督纹理分割

9.6.2 无监督纹理分割



9.6.1 有监督纹理分割

一种分三个步骤的方法

1. 特征提取

将图象用小波变换分解成具有方向选择性的多个频道，在这些频道上计算纹理能量来进行特征提取

$$e(i, j) = \frac{1}{(2u+1)^2} \sum_{k=i-u}^{i+u} \sum_{l=j-u}^{j+u} |x(k, l) - \mu(i, j)|$$

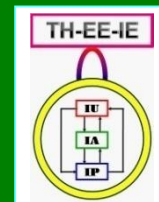
$f(k, l) - \mu(i, j)$

u : 提取窗半径

再平滑

$$E(i, j) = \frac{1}{(2v+1)^2} \sum_{k=i-v}^{i+v} \sum_{l=j-v}^{j+v} e(k, l)$$

v : 平滑窗半径



9.6.1 有监督纹理分割

2. 预分割

可利用 K -均值聚类对分解的各频道特征进行采用层次化的分割方法，按照小波分解的逆过程，从大尺度频道开始按尺度层次进行预分割，直到最细尺度为止

参阅{3.3.1}

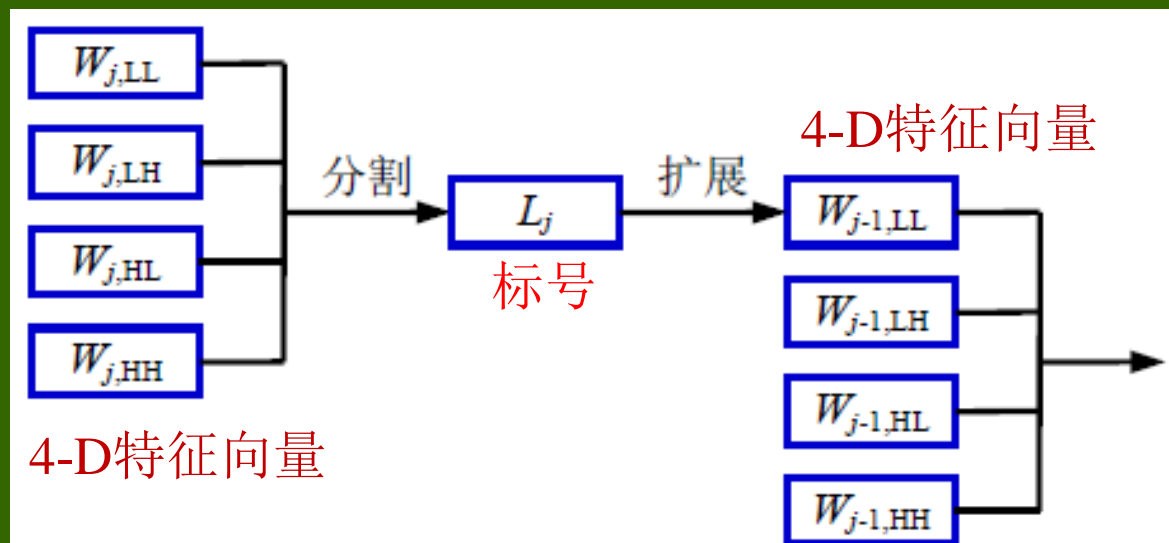
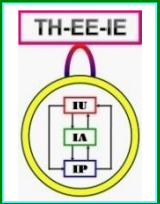


图 9.6.3 预分割算法的层次示例



9.6.1 有监督纹理分割

3. 后分割

将小波分解的各频道扩展为与第一级小波分解频道同样大小的尺寸，在同一尺寸上进行特征加权，然后进行分类

利用方差对特征及其均值进行加权，然后再用简单的最小欧氏距离分类器对特征空间

$$\mathbf{E}(k, l) = [E_1(k, l) \quad E_2(k, l) \quad \cdots \quad E_D(k, l)]^T$$

进行分类，就得到对原始图象最终的分割结果

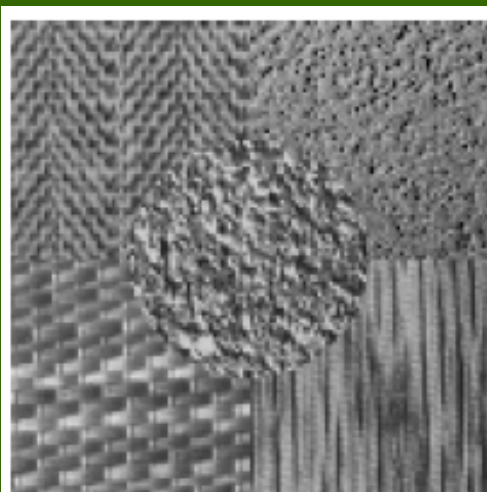
9.6.1 有监督纹理分割

4. 实验结果和讨论

边界准确性↑
区域一致性↑
分割错误率↓
后分割结果

原始图象

预分割结果



(a)



(b)



(c)

图 9.6.4 五类 Brodatz 纹理的分割



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/