

区域分析

Region Analysis

1、概论

- ❖ 目的：理解图像的内容，提取出我们感兴趣的对象。
- ❖ 图像分割按照具体应用的要求和具体图像的内容将图像分割成一块块区域。
- ❖ 图像分割是模式识别和图像分析的预处理阶段。
- ❖ 通常图像分割采用聚类方法，假设图像中组成我们所感兴趣对象的像素具有一些相似的特征，如相同的灰度值、相同的颜色等。

传统的图像分割技术：

- ① 基于**像素灰度值**的分割技术
- ② 基于**区域**的分割技术
- ③ 基于**边界**的分割技术

2、区域和边缘（Region and Edge）

如何精确解释一幅图像？

区域：相互连结的具有相似特性的一组像素

边缘：区域边界上的像素(pixel)

区域是某种意义下具有共同属性的像素的连通集合



图像分割最简形式：把灰度图(gray image)转换成二值图

3、区域生成

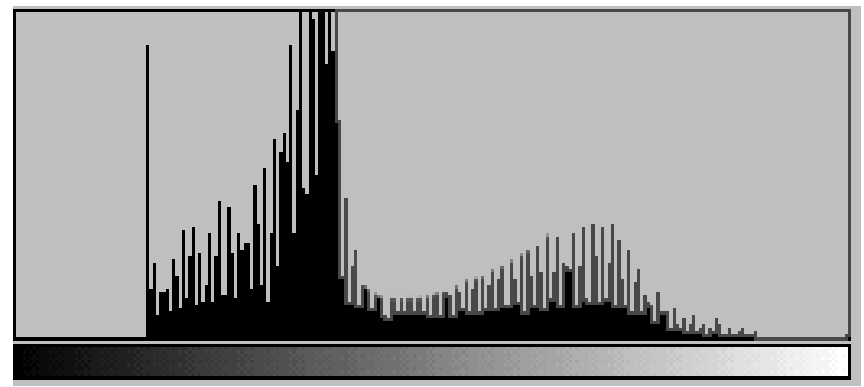
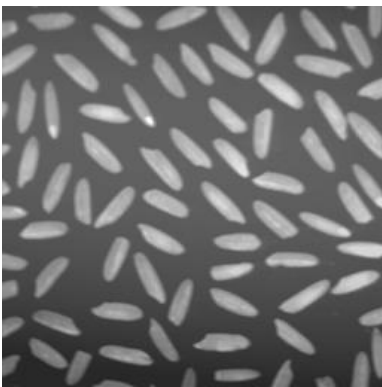
- 1) **区域**：指图像中的背景和一些有意义的组成部分(**对象**)；
- 2) **区域特点**：由一些相连的、有相似特性的像素的集合（如颜色相似、灰度相似、纹理相似等）；
- 3) **区域生成**：指利用像素特性的相似性，将图像划分出背景区域和各个有意义的区域，并分别加上不同的**标记**过程；
- 4) **生成方法**：**灰度阈值分割法**、合并法、复合法、松弛法。

3.1 灰度阈值分割法概述

- ◆ 灰度阈值分割法是最古老的分割技术
- ◆ 只能应用于图像中**组成感兴趣对象的灰度值是均匀的**，并且**和背景的灰度值不一样**。
- ◆ 事先决定一个阈值，当一个像素的灰度值超过这个阈值，我们就说这个像素属于我们所感兴趣的对象；反之则属于背景部分。
- ◆ 这种方法的**关键是怎样选择阈值**，一种**简便的方法是检查图像的直方图**，然后选择一个合适的阈值。
- ◆ 如果图像适合这种分割法，那么图像的直方图在表示对象和背景的小范围灰度值附近出现一个高峰值。适合这种简单分割法的图像的直方图应是**双峰模式**，我们可以在两个峰值之间的低谷处找到一个合适的阈值。

3.2 基于直方图的双峰法

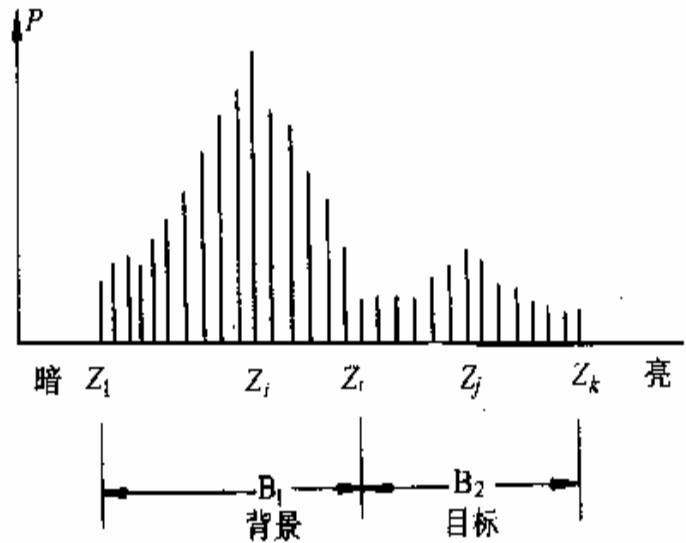
一般而言，背景 and 对象物在图像的灰度直方图上各自形成一个波峰，即区域与波峰一一对应。而每两个波峰之间形成一个低谷，因选择双峰间低谷处所对应的灰度值为阈值，可将两个区域分离。



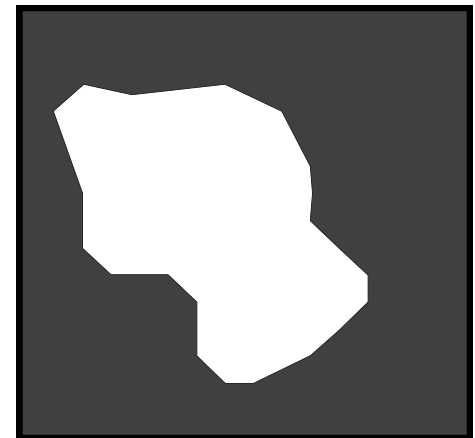
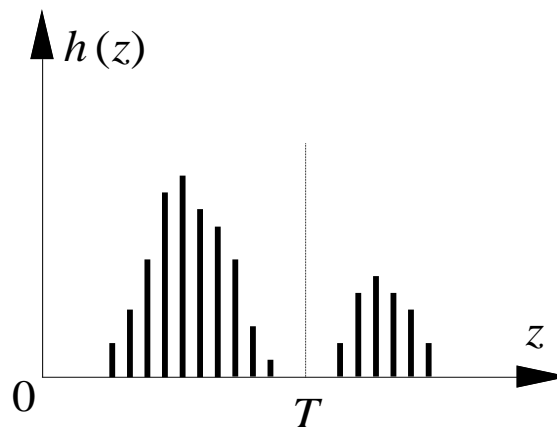
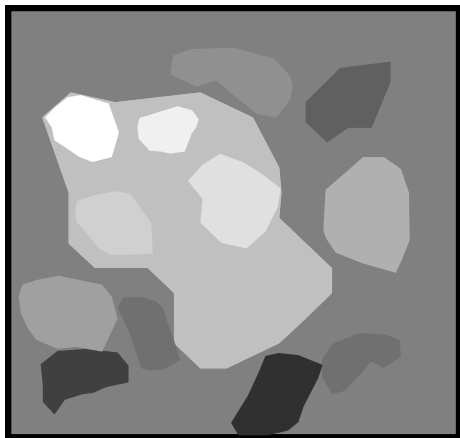
(阈值: $T=128$)

3.2 基于直方图的双峰法

60年代中期，Prewitt提出了直方图双峰法，即如果灰度级直方图呈明显的双峰状，则选取两峰之间的谷底所对应的灰度级作为阈值。



直方图双峰

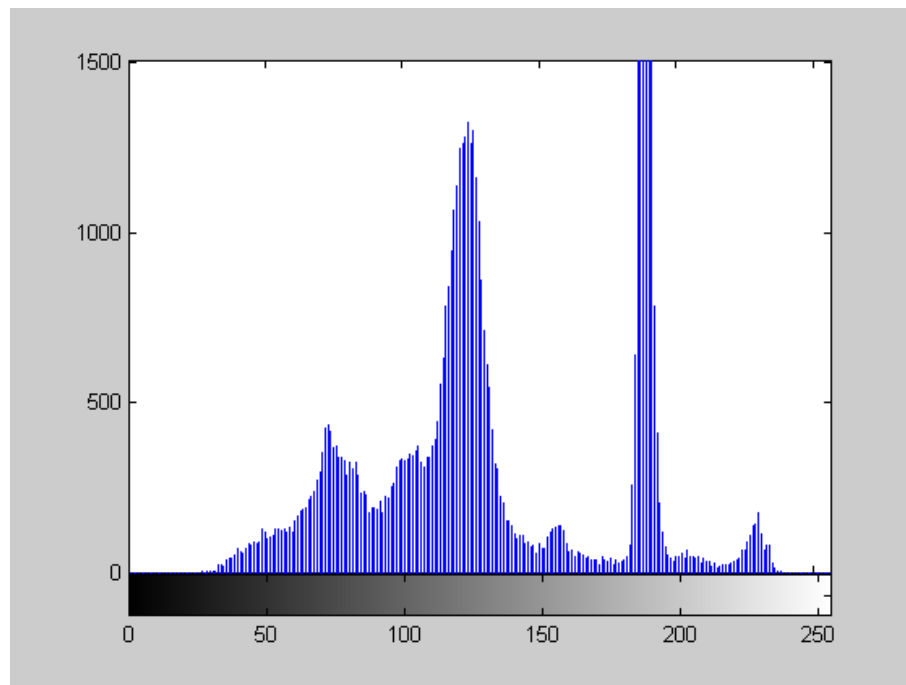


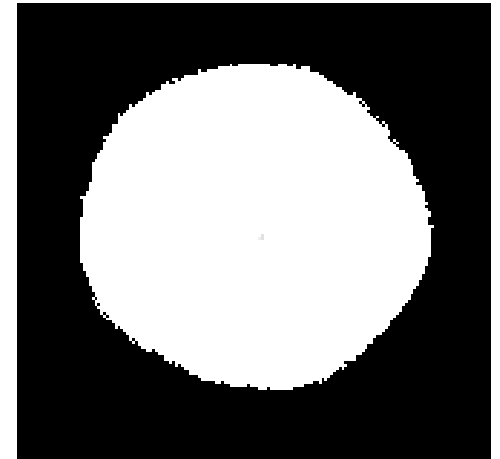
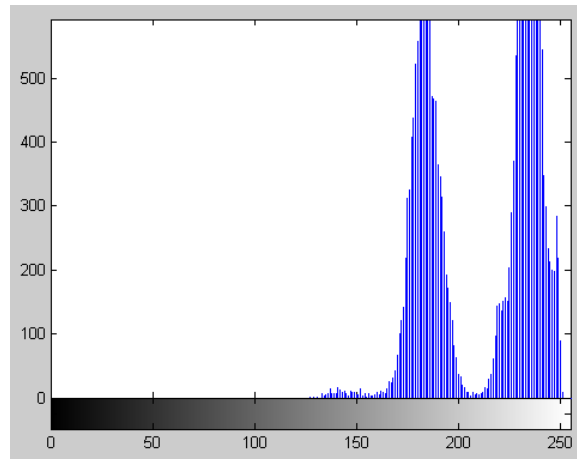


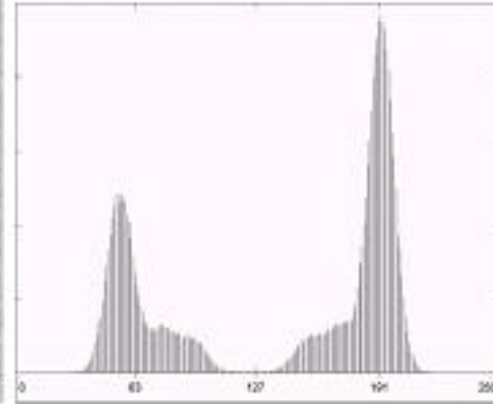
原始图像

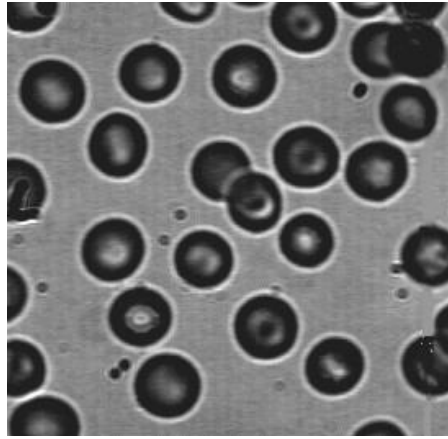


分割结果
($T=170$)

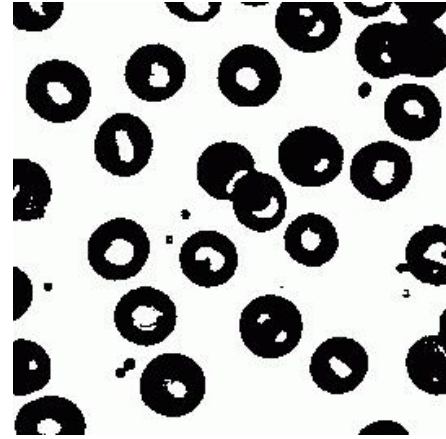




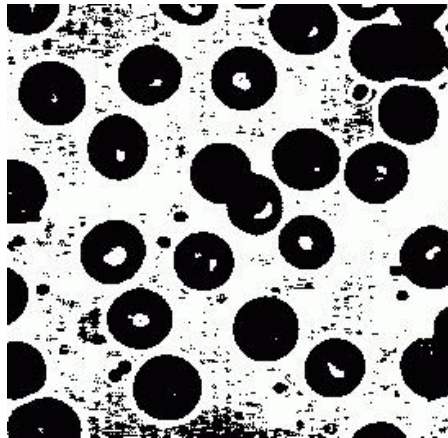




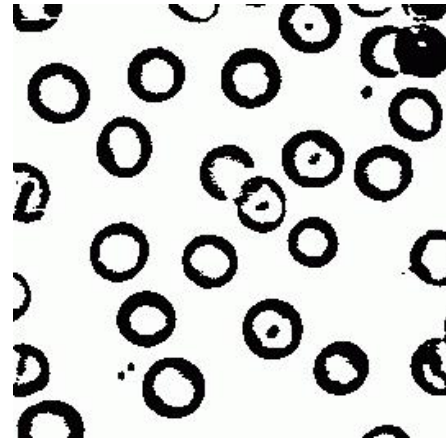
(a)



(b)



(c)



(d)

不同阈值对阈值化结果的影响

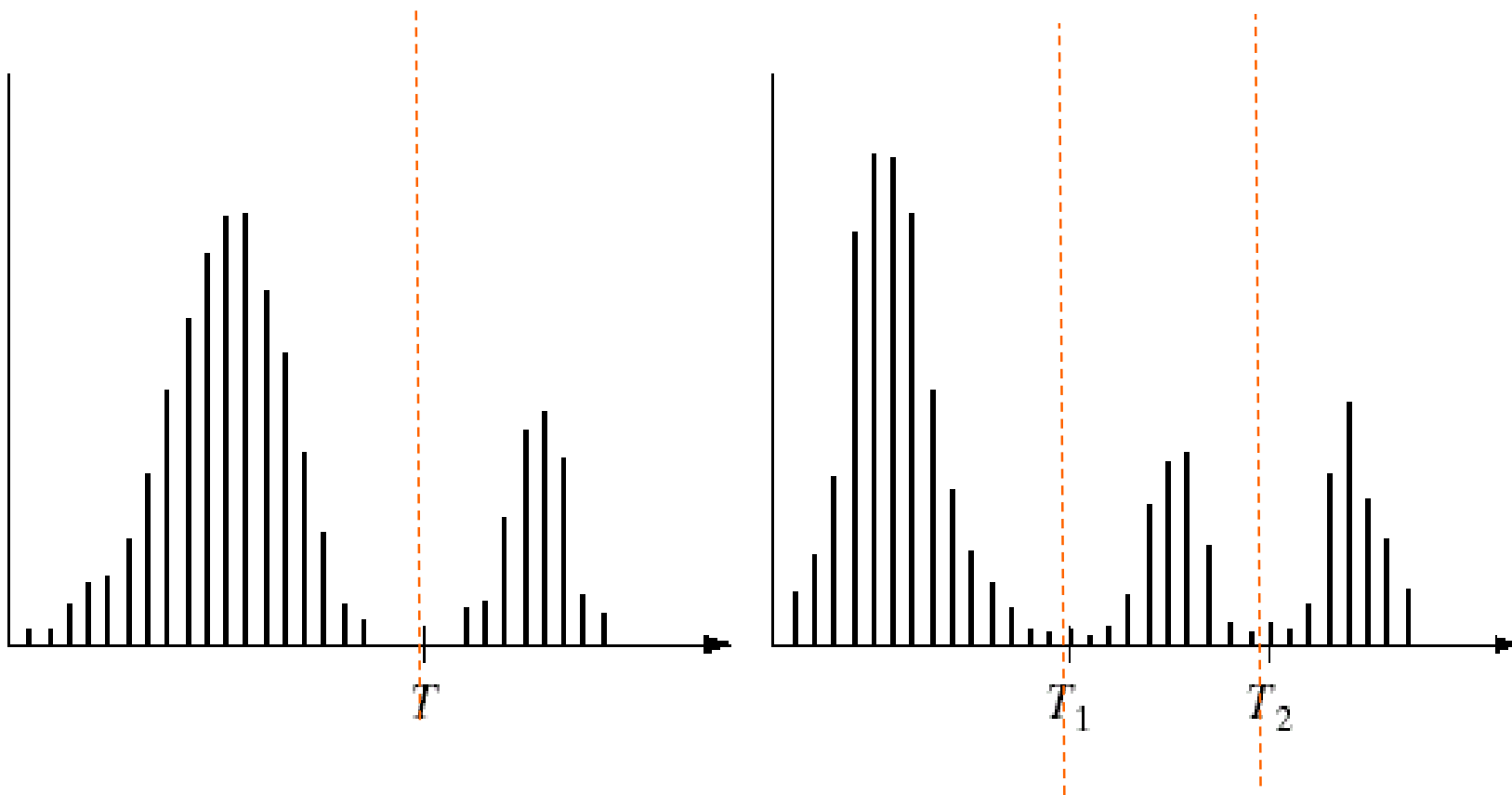
(a) 原始图像； (b) 阈值 $T=91$ ； (c) 阈值 $T=130$ ； (d) 阈值 $T=43$

直方图方法的局限性

- **恒定灰度值**。在物体图像具有恒定灰度值的情况下特别有用。如果场景中不同部分具有不同的照明，那么，即使图像中仅包含有一个物体，也无法用一个阈值来分割图像。
- **没有利用图像强度的空间信息**。基于直方图的图像分割方法没有利用图像强度的空间信息，因此，在本质上存在着局限性。
- 单一阈值方法也不适合于由许多不同纹理组成一块块区域的图像。

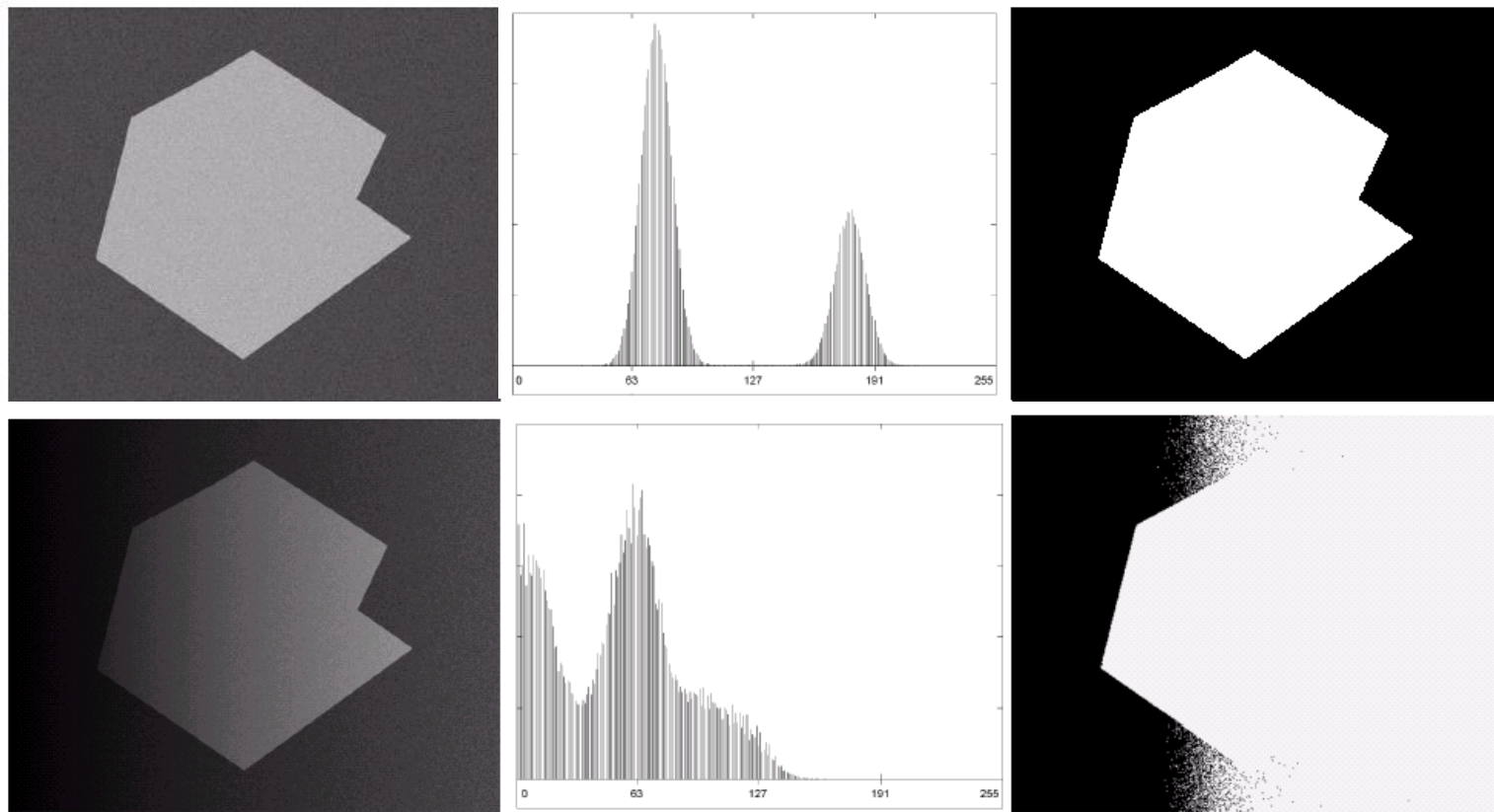
单值阈值的问题

- 单值阈值只适于基于双峰直方图的图像分割
- 对于其它类型的直方图，需要更多的阈值



单值阈值和光照

- 不均匀的光照会使单值阈值方案失效



3.3 迭代式阈值选择

1. 选一初始阈值，如:灰度均值 T_h
2. 利用阈值把图像分割成两组， R_1 和 R_2
3. 计算区域 R_1 和 R_2 的均值 μ_1 、 μ_2
4. 选择新的阈值 $T = (\mu_1 + \mu_2)/2$
5. 重复2-4步，直到 μ_1 和 μ_2 的均值不再变化为止 $(T_h - T) < 1$

阈值的改进策略是这一方法的关键

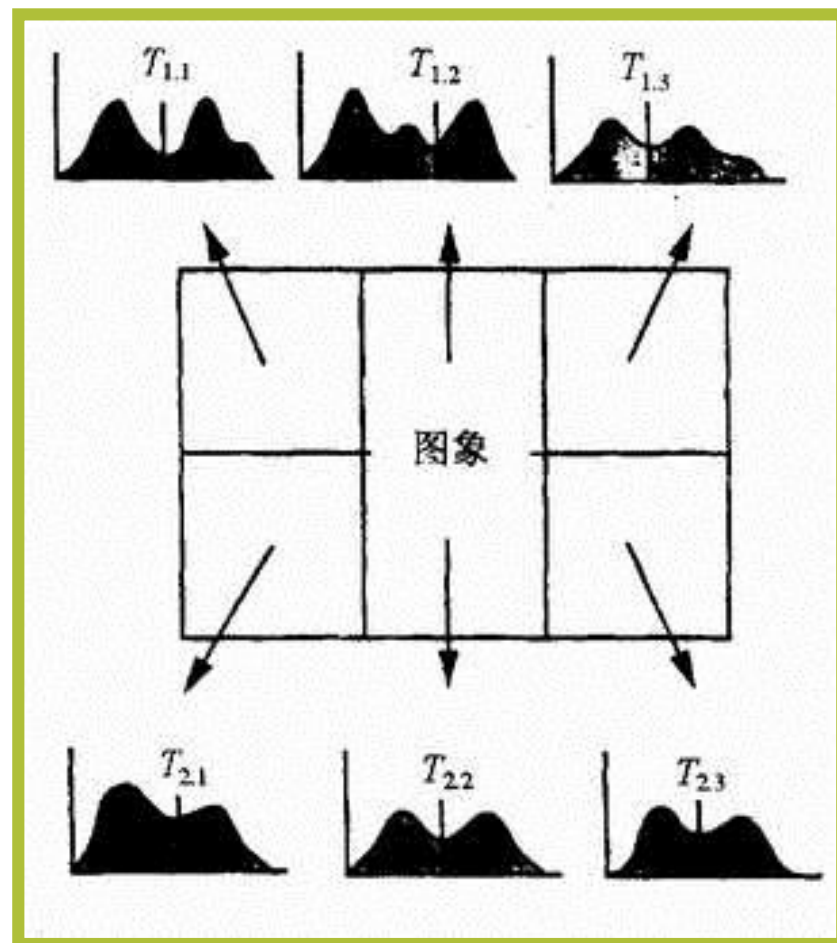
3.4 自适应阈值化方法

当光照不均匀、有突发噪声，或者背景灰度变化比较大时，整幅图像分割将没有合适的单一门限，因为单一的阈值不能兼顾图像各个像素的实际情况。这时，可对图像按照坐标分块，对每一块分别选一阈值进行分割。这种与坐标相关的阈值也称为动态阈值方法。

优缺点：时间和空间复杂度比较大，但抗噪声能力比较强，对采用全局阈值不容易分割的图像有较好的效果。

3.4 自适应阈值化方法

- ◆ 场景照明不均匀时，一个阈值？
- ◆ 把图像分成 $m \times m$ 个子图像，求出子图像的阈值。
- ◆ 分割的最后结果是所有子图像分割后的逻辑合并。



3.5 区域增长的双阈值方法

在许多应用中，属于物体的某些灰度值是已知的。然而，可能还有一些灰度值或者属于物体，或者属于背景。在这种情况下，可以使用一个保守一点的阈值 T_1 来分离物体图像，称之为物体图像核，然后，使用有关算法来增长物体图像。

增长物体图像的方法取决于特定的应用，通常使用另一个阈值来吸收那些图像核像素的邻接像素，或用图像强度特性（如直方图）来决定属于物体区域上的那些点，一种简单的方法是吸收低于第二个阈值 T_2 并且与原先物体图像点相连结的所有点。

算法:

- 1、选择两个阈值**T1**和**T2**。
- 2、把图像分割成三个区域:
R1, 包含所有灰度值低于阈值**T1** 的像素;
R2, 包含所有灰度值位于阈值**T1**和**T2**之间的像素;
R3, 包含所有灰度值高于阈值**T2**的像素。
- 3、查看分配给区域**R2**中的每一个像素。如果某一像素邻接区域**R1**, 则把这一像素重新分配给**R1**。
- 4、重复步骤3直到没有像素被重新分配。
- 5、把区域**R2**剩下的所有像素重新分配给**R3**。

3. 6大津法（Otsu法或最大类间方差法）

最大类间方差法是由Otsu 于1979 年提出的，是基于整幅图像的统计特性实现阈值的自动选取的，是全局二值化最杰出的代表。

Otsu 算法的基本思想是用某一假定的灰度值 t 将图像的灰度分成两组，当两组的**类间方差**最大时，此灰度值 t 就是图像二值化的最佳阈值。

设图像有 M 个灰度级： $0 \sim M-1$ ，取 $0 < T_h < M-1$ ，将图像分成两组 G_0 和 G_1 ， G_0 组为灰度值在 $0 \sim T_h$ 的像素点，像素量为 n_0 ；其余的为 G_1 组，像素量为 n_1 ，用 N 表示图像像素总数($N = n_0 + n_1$)， $Pnum(k)$ 表示灰度值为 k 的像素的个数。

$$\text{整幅图像的质量矩: } sum = \sum_{k=0}^{255} (k \times Pnum(k))$$

$$\text{图像成分 } G_0 \text{ 的质量矩: } sum0 = \sum_{k=0}^{Th} (k \times Pnum(k))$$

$$\text{平均灰度值: } u_0 = sum0 / n_0 \quad u_1 = (sum - sum0) / n_1$$

$$\text{间类方差为: } g(k) = n_0 \times n_1 (u_0 - u_1)^2$$

最佳阈值为: $T = \operatorname{argmax}(g(k))$ $k = 0 \sim 255$, 使得间类方差最大时所对应的 k 值即为最佳阈值 T

请在实验课上实现

演示

3.6 最大类间方差法（大津法或Otsu法）

算法可这样理解：**阈值 T 将整幅图像分成前景（预选的目标区域）和背景两部分，当两类的类间方差最大时，此时前景和背景的差别最大，二值化效果最好。**因为**方差是灰度分布均匀性的一种度量**，方差值越大，说明构成图像的两部分差别越大，当**部分目标错分为背景或部分背景错分为目标**都会导致两部分差别变小，因此使类间方差最大的分割阈值意味着错分概率最小。

大津法得到了广泛的应用，但是当物体目标与背景灰度差不明显时，会出现无法忍受的大块黑色区域，甚至会丢失整幅图像的信息。

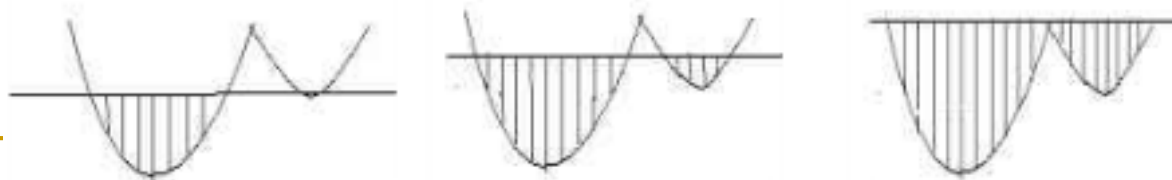
3.7 分水岭算法 (watershed)

分水岭算法是一种借鉴了**形态学理论**的分割方法，在该方法中，将一幅图像看成一个拓扑地形图，其中**灰度值对应地形高度值**，**高灰度值对应着山峰**，**低灰度值对应着山谷**。

水总是朝着地势低的地方流动，直到某一局部低洼处才停下来，这个低洼处被称为吸水盆地。最终所有的水会分聚在不同的吸水盆地，**吸水盆地之间的山脊被称为分水岭**。

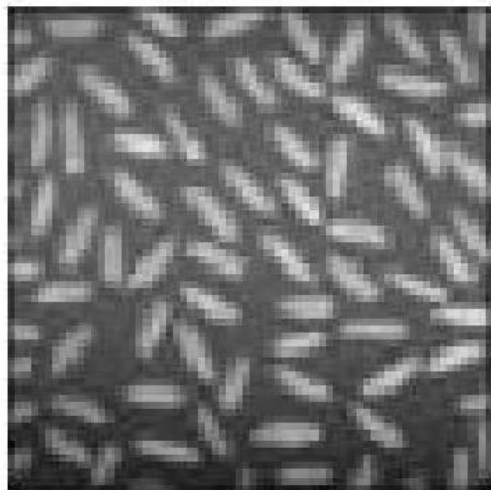
水从分水岭流下时，它朝着不同的吸水盆地流去的可能性是相等的。

将这种想法应用于图像分割，就是要在灰度图像中找到不同的吸水盆地和分水岭，由这些不同的吸水盆地和分水岭组成的区域即为我们要分割的目标。

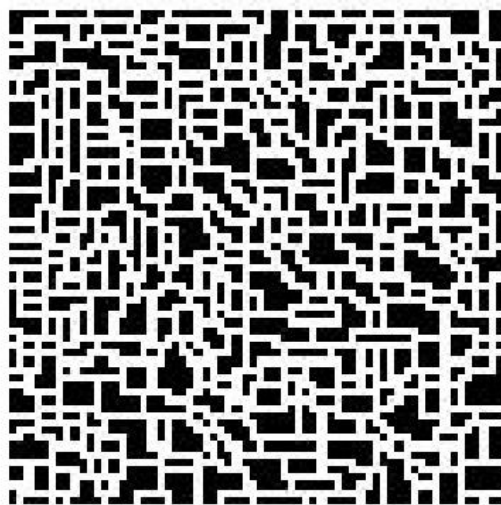


3.7 分水岭算法 (watershed)

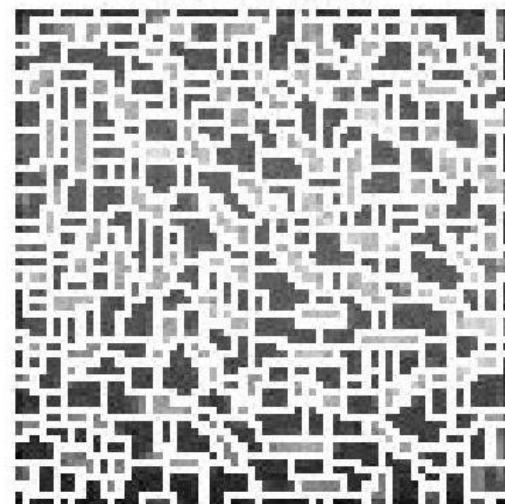
(a)原始图像



(b)分水岭



(c)分割结果



4、区域表示(region representation)

区域有许多应用，也有许多种表示方法。不同的表示方法有着不同的应用。一些应用只需计算单个区域，而另一些则需要计算图像各区域的关系。

三类型：阵列表示；

层级表示；

基于特征的区域表示。

4.1 阵列表示

区域表示的基本形式是一个与原始图像一样大小的阵列，阵列元素表示像素所属区域。这样，如果阵列元 $[i,j]$ 具有标记 a ，那么对应的图像像素就属于区域 a 。这种表示的最简单例子是二值图像，其中每个像素属于区域0或区域1。

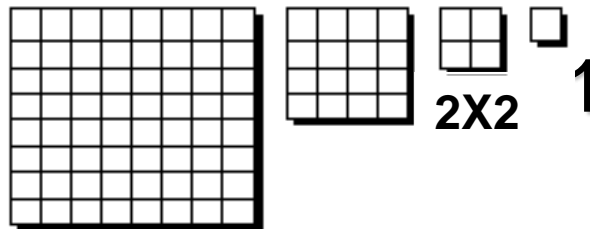
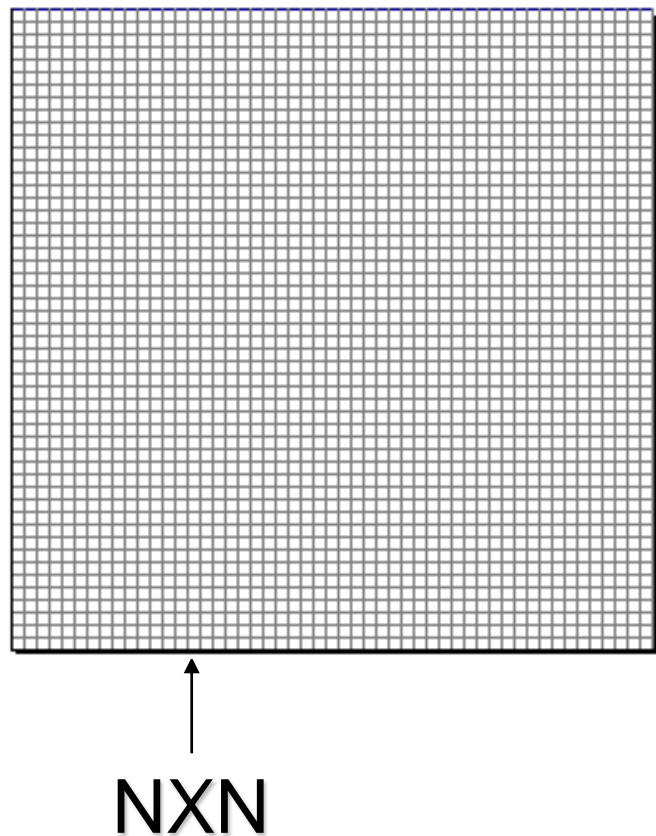
另一种表示方法是使用模板(mask)。每一个区域对应一个二值图像，称之为模板，表示图像中哪些像素属于该区域。把模板重叠在原始图像上，可以求得对应区域的强度特性。

4.2 层级表示

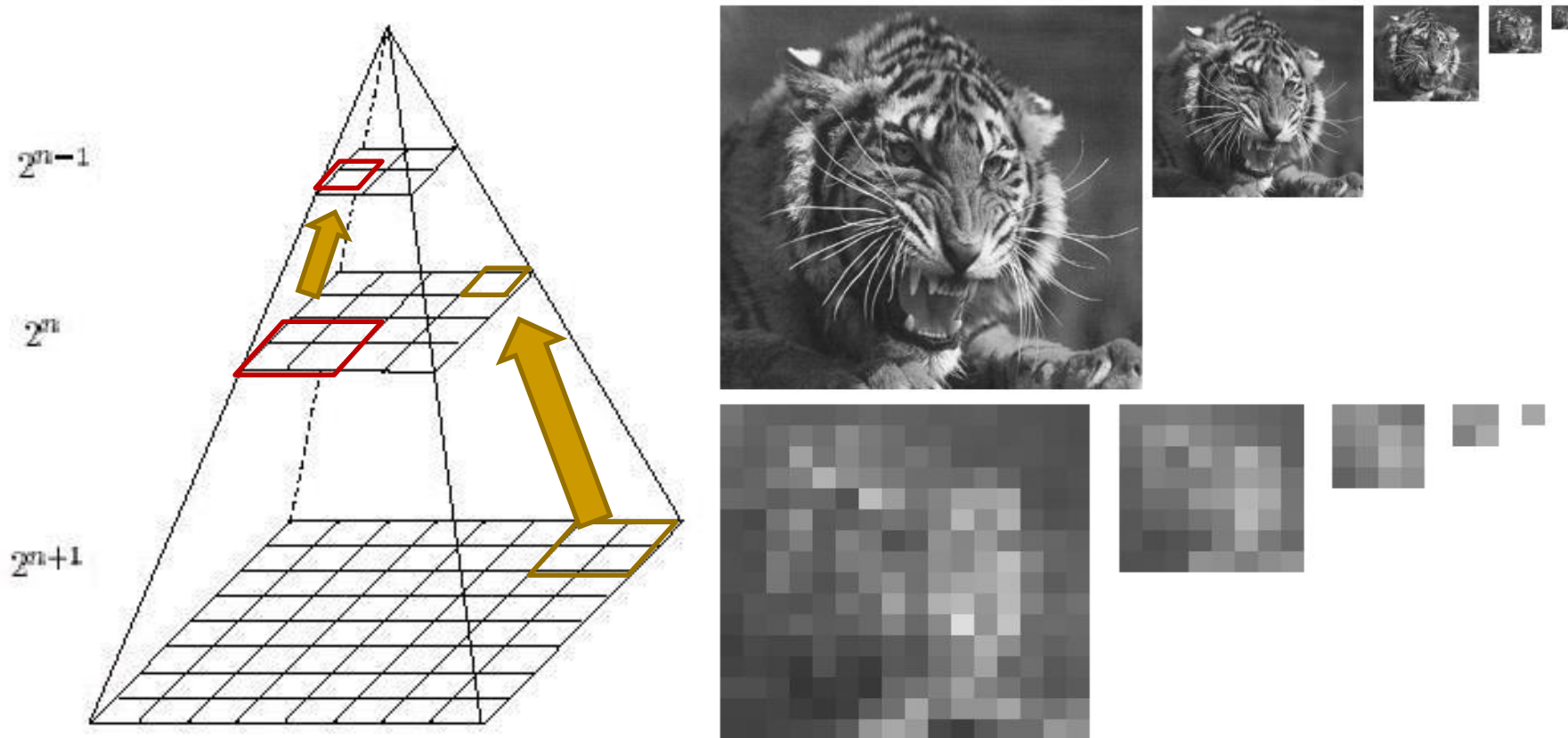
图像可以用多种不同的分辨率来表示。显然，降低图像的分辨率可以降低阵列的尺寸，但要丢失一些信息，使得信息恢复工作比较困难。但降低分辨率也可以降低对存储器容量和计算速度的要求。

图像的层级表示可以是多分辨率表示。在许多应用中，首先在低分辨率下进行图像特性计算，然后在高分辨率上对图像某一选定区域再进行精细计算。多级图像表示也在图像浏览、传输中得到了广泛地应用。

(1) 金字塔型



阵列图像的金字塔型（**pyramid**）表示包含了原图像和原图像的 k 个递减图像，在图像的金字塔型表示中， L 层的像素是通过通过对 $L + 1$ 层的若干像素组合得到的。在顶层或 0 层，图像表示为单一像素；而底层则是原始图像或未被递减的图像。某一层的一个像素表示下一层的几个像素的合成信息。



- (a) 递减分辨率的图像是通过求四个像素的平均值得到的；
(b) 原图像为 512×512 的多分辨率表示；

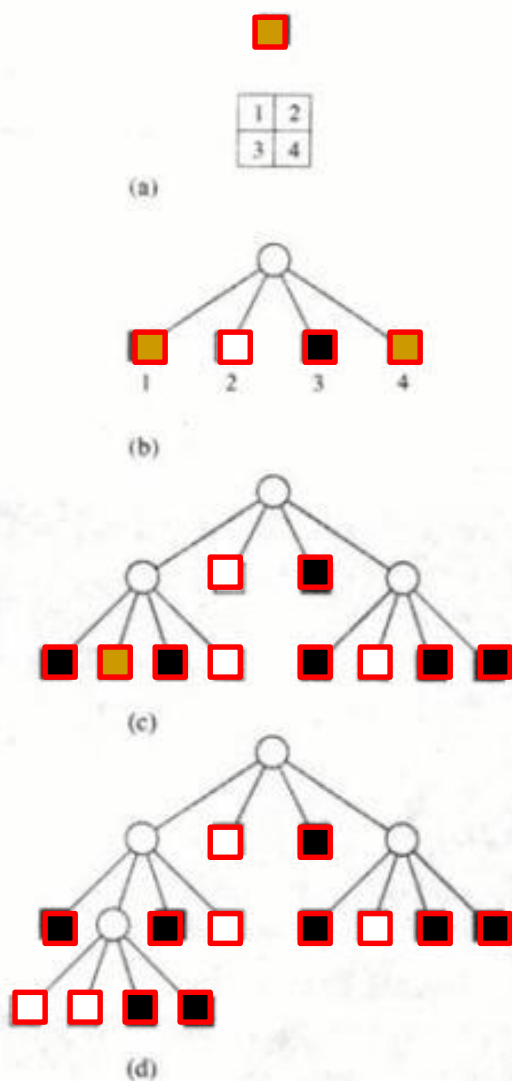
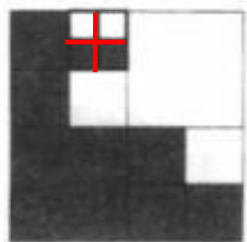
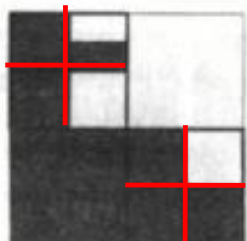
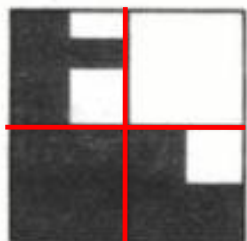
请在实验课上实现

演示

(2) 四叉树型(quarter-tree)

一个区域可以分裂成大小一样的四个子区域对于每一个子区域，如果其所有点或者是黑的，或者是白的，则该区域不再进行分裂；但如果同时包含有黑白两种点，则认为该区域是灰度区域，可以进一步分裂成四个子区域。通过这种不断分裂得到的图像就可用树型结构表示。分裂过程不断进行，直到树中没有灰度区域。树结构中的每一个节点或者是一个树叶，或者包含有四个子节点，故称为四叉树。

三种节点：白、黑和灰度。



建立四叉树过程:

(a) 原始图像;

(b) 把原始图像分裂成为四个子区域;

(c) 分裂图像(b)中的灰度区域成为四个子区域;

(d) 分裂最后一个灰度区域, 得到最后的四叉树.

4.3 基于特征的区域表示 (Feature-based)

区域可用特征表示.

常用特征: 最小外接矩形、中心矩、欧拉数、灰度均值、方差等.

相邻区域的相互位置关系也可作为特征。

区域用边缘表示，另外讨论。

5 分裂与合并(split and merge)

图象分割后，会产生许多区域，对象？背景？

使用分裂和合并的组合算法可以实现自动细化分割运算。

5.1 区域合并

合并运算就是把相似的邻接区域组合起来。

邻接区域相似性的两种评价方法

- 几何代数法：

比较它们的灰度均值。这一方法的改进形式是使用曲面拟合方法，以便确定是否存在一个曲面来逼近区域。

- 统计法：

用假设一检验方法来评判邻接区域的相似性

假设灰度值服从概率分布，根据相邻区域是否具有相同的概率分布函数考虑是否合并它们。

5.2 区域分裂

如果区域的某些特性不是恒定的，则区域应该分裂。基于分裂方法的图像分割过程是从最大的区域开始，多数情况下常把整个图像作为起始分裂的图像。

区域分裂算法：

1. 形成初始区域
2. 对图像的每一个区域，连续执行下面两步：
 - a) 计算区域灰度值方差
 - b) 如果方差值大于某一阈值，则沿着某一合适的边界分裂区域。

6 区域生长/增长

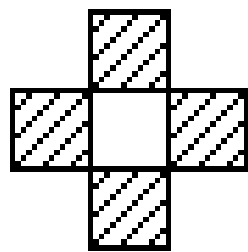
基本思路：图像可以划分成区域，而区域可以用简单的函数模型化。先寻找一个初始区域核，再从区域核开始，逐渐增长核区域，形成满足一定约束的较大的区域。

一致性：基于区域灰度平面或二次曲面函数拟合。通常一致性是指基于图像区域的特征，如**相似灰度**、**方差**、**纹理和颜色**等。

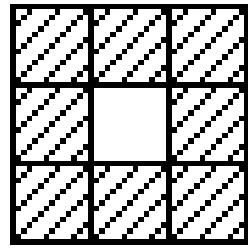
区域生长法概述

❖ 区域定义:

- ◆ 图像中属于某个区域的像素点必须加以标志。
- ◆ 在同一区域的像素点必须相连。这就意味着我们可以从当前像素点出发，按照某种连接方式到达同一区域内任何一个邻近的像素点。常用的有两种各向同性连通方式：四连通和八连通。
- ◆ 区域之间不能重叠，也就是说一个像素只能有一个标注。
- ◆ 在区域 R_i 中每一个像素点必须遵从某种规则 $P(R_i)$ 。例如区域 R_i 中所有像素具有相似的灰度(相似性在一定的范围内)。
- ◆ 两个不同的区域 R_i 和 R_j 具有的规则不一定相同。



四连通



八连通

区域生长法概述

❖ 区域生长法

◆最简单的区域生长法是将像素聚类，为了达到这一目的，我们从一个种子像素点出发，按照某种连通方式和规则P来检查周围邻近的像素点，如果具有和种子像素点相似的性质，就说明它们属于同一区域。

规则-灰度相似合并法：

1、合并法：将像素或相对图像来说很小的，可以看作是特性一致的微区域作为基本单元，由此出发，根据区域的相连性，比较相邻的基本单元的特性值，将相似的单元合并成小区域，再从合并后的小区域出发，以合并后小区域的平均灰度值作为相似特性的依据，不断重复上述处理，直到找不到相似特性的单元为止。

2、灰度相似性的判别准则：

- 灰度差判别准则
- 灰度分布相似性判别准则

■ 灰度差判别准则：

1) 原理：用像素与相邻像素间隔的灰度差，或用微区域与相邻微区域间的灰度差作为相似性的判别值。

2) 判别式的生成：

☞ 设置灰度差阈值 T ；

☞ 令 (u, v) 为基本单元的坐标， $f(u, v)$ 为基本单元的灰度值或小区域的平均灰度值，并设有标记 A ；

☞ $g(i, j)$ 为某一邻域 (如 3×3)内与 (u, v) 相邻的尚不属于任何区域的基本单元的灰度值；

☞ 在邻域内逐一计算 $C = |g(i, j) - f(u, v)|$ ；

☞
$$\begin{cases} C < T & \text{合并，并作上同一标记} A \\ C \geq T & \text{不变} \end{cases}$$

3) 举例说明用灰度差判别的合并法形成区域的过程

将图像区域标记为A、B、C等3区域。

设 $T=2$ ，基本单元为像素，邻域为 3×3 ，则在该邻域中与 $f(u, v)$ 相邻的像素 ◆ 有8个。

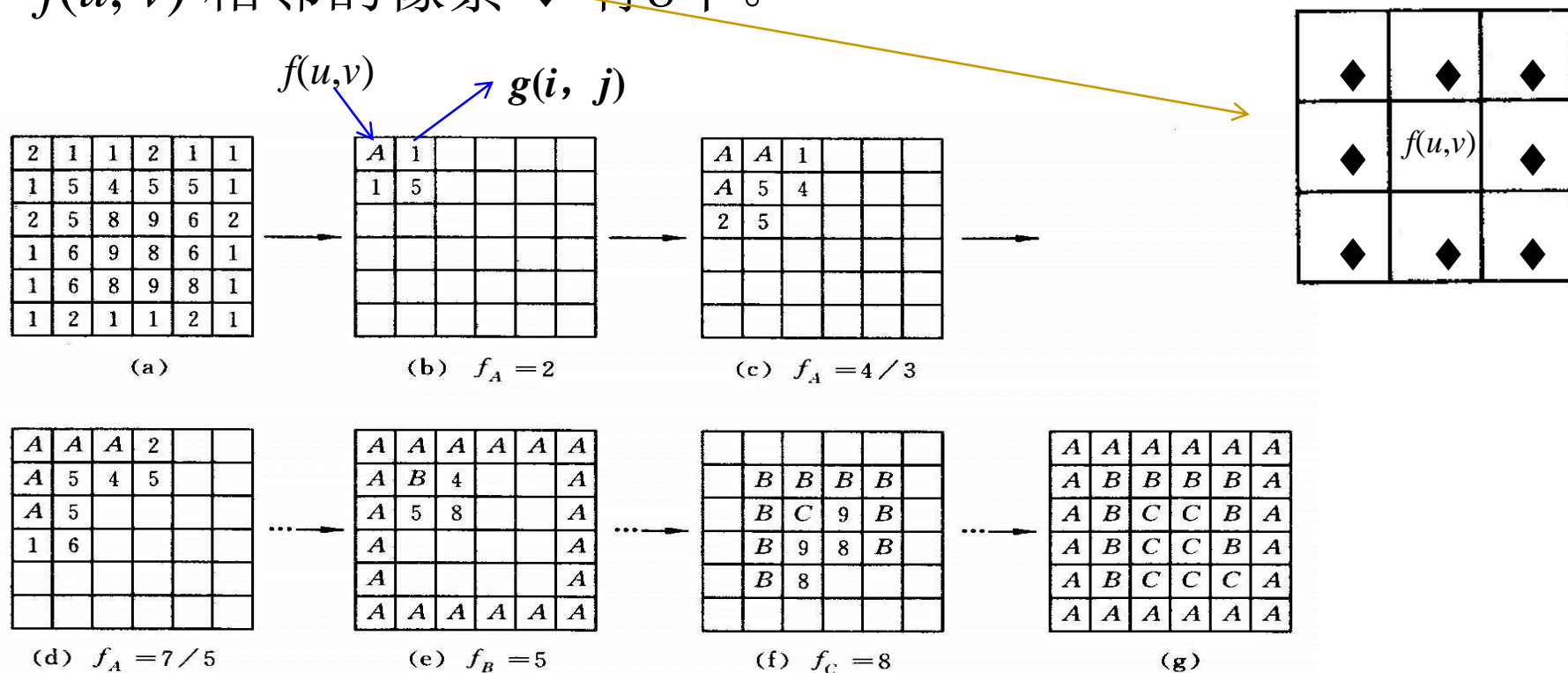


图 灰度差判别准则的合并法
(a) 原图像；(b)~(f) 处理过程；(g) 处理结果

3、常用的灰度分布相似判别准则：

(1) KS判别准则：

■ 采用两个相邻微区域的累加直方图函数**最大绝对值**作为衡量两者灰度分布的差异；

■ 判别准则：
$$\max |C_1(f_j) - C_2(f_2)| \begin{cases} < T & \text{合并，并作上同一标记} \\ \geq T & \text{不变} \end{cases}$$

(2) 平滑差判别准则：

■ 采用两个相邻微区域的累加直方图函数的**差值绝对之和**作为衡量两者灰度分布的差异；

■ 判别准则：
$$\sum |C_1(f_j) - C_2(f_2)| \begin{cases} < T & \text{合并，并作上同一标记} \\ \geq T & \text{不变} \end{cases}$$