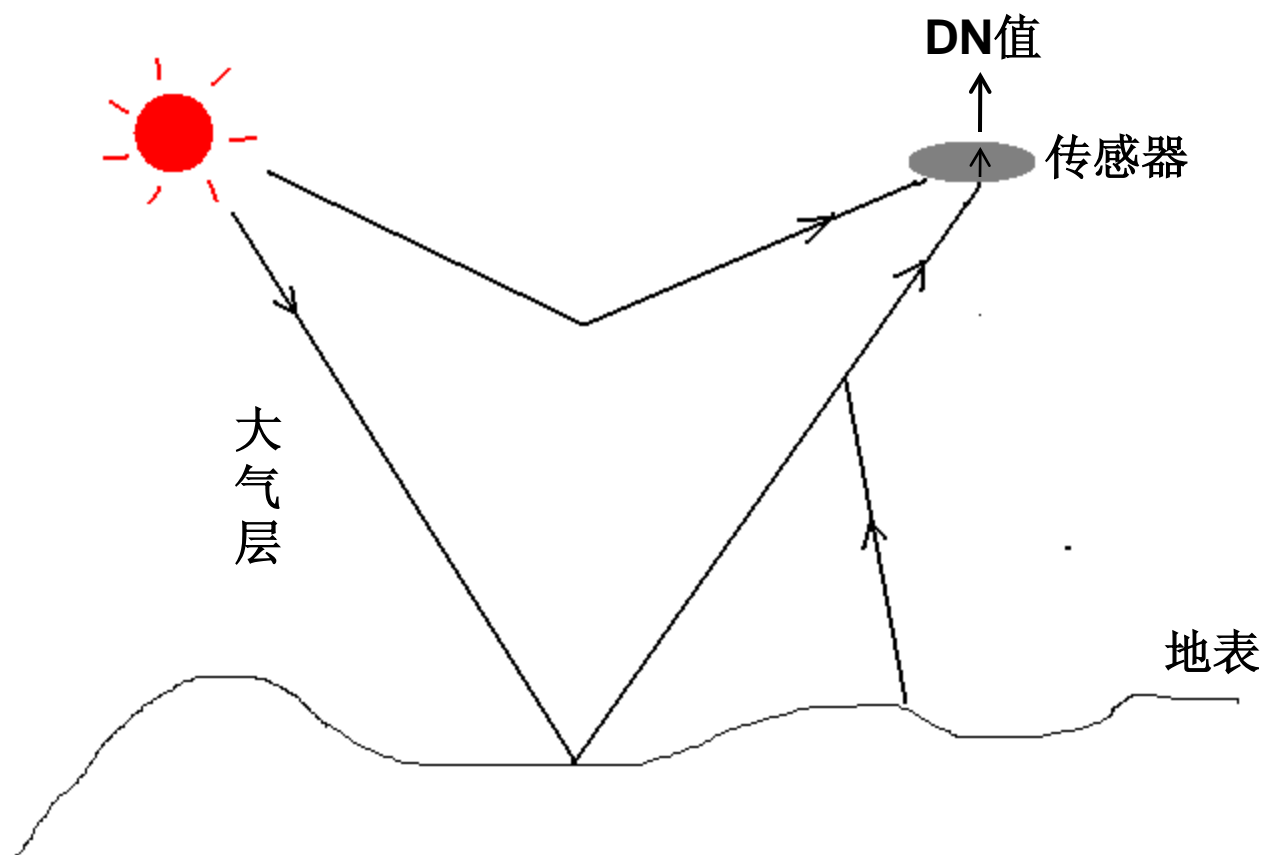


# 遥感图像辐射处理

# 主要内容

- 遥感图像的辐射处理
- 遥感图像增强
- 多光谱图像运算
- 遥感信息复合



# 一. 遥感图像的辐射处理

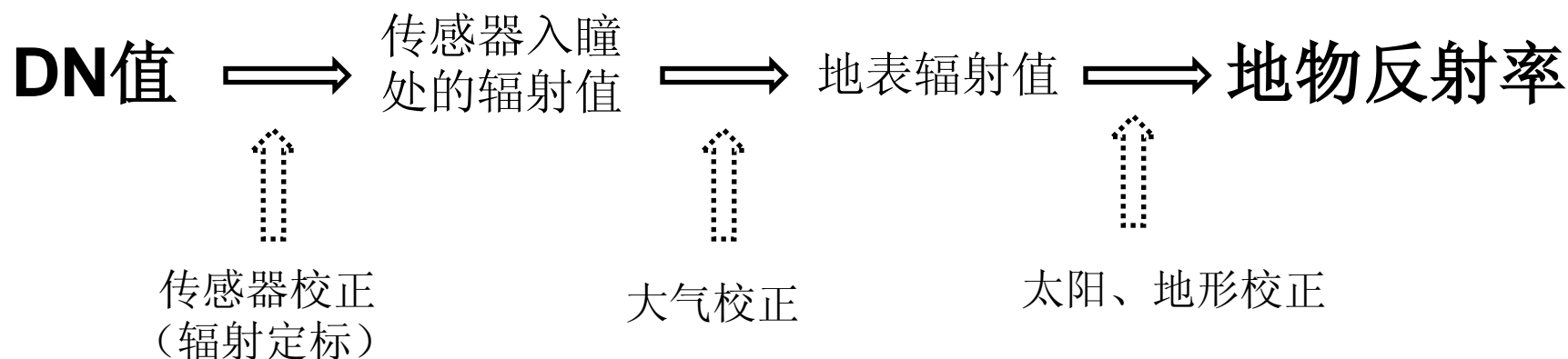
## ➤辐射误差

传感器输出的电磁波能量与目标本身辐射的能量之差。

## ➤引起辐射误差的原因

- 传感器本身的性能
- 地形影响和光照条件的变化
- 大气的散射和吸收

## ➤ 遥感图像的辐射处理-----定量遥感的基础



## (一) 传感器定标

- 传感器定标是建立传感器每个探测元所输出信号的数值量化值与该探测器对应像元内的实际地物辐射亮度值之间的定量关系。
- 定标内容包括光谱定标、强度（振幅）定标、空间定标。
- 定标手段是测定传感器对一个已知辐射目标的响应。
- 辐射定标分为绝对定标和相对定标。

## 绝对定标:

通过建立传感器测量的数字信号(DN)与对应的辐射能量之间的数量关系, 对目标做定量的描述, 要得到目标的辐射绝对值。绝对定标在卫星发射前后都要进行。

$$DN_i = A_i L_i + C_i$$

$$L_i = \frac{DN_i}{A_i} + B_i$$

$$B_i = -C_i / A_i$$

$$A_i = \frac{255}{R_{\max} - R_{\min}}$$

$$B_i = R_{\min}$$



# 绝对定标方法：

## (1) 传感器实验室定标

在模拟太空环境的实验室中，建立传感器输出的DN值与传感器入瞳处的辐射亮度之间的模型（线性）。

## (2) 传感器星上内定标

星上载有辐射定标源、定标光学系统，在成像时实时、连续的进行定标。

## (3) 传感器场地外定标

在传感器飞越辐射定标场地上空时，在定标场地选择若干个像元区，测量传感器对应的各波段地物的光谱反射率和大气光谱参量，利用大气辐射传输模型求解传感器入瞳处各光谱带的辐射亮度，最后确定它与传感器输出的数字量化值之间的数量关系，求解定标系数，并估算定标不确定性。



# 地面辐射校正场

- 地面辐射校正场指地面上用于对卫星传感器所记录的辐射值进行校正的特定区域。基本思想是利用地面大面积均匀稳定的地物目标，实现在轨卫星遥感仪器的辐射校正。
- 校正场中地物性质、分布、类型要有代表性。
- 我国有敦煌可见光和红外波段辐射校正场、青海湖热红外波段和红外低发射率辐射校正场。

## 相对定标

即传感器探测元件的归一化处理，是为了校正传感器中各个探测元件响应度差异而对卫星传感器测量到的原始亮度值进行归一化的一种处理过程。相对定标要得出目标中某一点辐射亮度与其它点的相对值。

# 像元灰度值DN和辐射率的转换 (TM影像为例)

- 可见光波段

利用头文件中记录的辐射校正参数计算地物在大气顶部的辐射亮度或反射率：

$$L = gain * DN + bias$$

$$\rho = \pi L d_s^2 / (E_0 \cos \theta)$$

- 热红外波段计算温度

在求出地物的辐射亮度后，根据普朗克公式求出地物温度。

对6L和6H波段，地物的传感器温度计算

$$K = \frac{K_2}{\ln[(K_1 + L_6) / L_6]}$$

## (二) 大气校正

- 在遥感系统工作正常的情况下，由于大气衰减和地形衰减的原因，获取的数据仍然带有辐射误差。
- 大气校正就是消除大气影响的校正过程。
- 大气校正的类型：
  - 绝对大气校正
  - 相对大气校正

# 绝对大气校正

- 采用模式大气来校正遥感数据：即根据一年中的时间、研究区域的高程和经纬度来计算假想的大气条件；然后再根据该大气条件将辐射率数据转换为地表反射率数据。
- 该方法适用于当大气衰减与遥感获取的地面信号相比较小时的情况。
- 结合遥感数据获取的大气实测值，采用模式大气的效果更好。

# 1、基于辐射传输方程的大气校正

- 利用电磁波在大气中的辐射传输原理建立起来的模型对遥感图像进行大气校正。
- 辐射传输模型方法具有较高的辐射校正精度。

# 辐射传输模型

- 6S模型
- LOWTRAN模型
- MORTRAN模型
- ATCOR模型



# 基于辐射传输模型进行大气校正 需要的参数：

- 影像中心的经纬度
- 影像获取的日期、时间
- 影像获取的高度
- 影像对应地区的平均高
- 大气模型（如mid-latitude summer,mid-latitude winter, tropical)
- 影像辐射率数据（即经过辐射定标，单位 $W / m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ ）
- 波段中心波长、波段半径
- 大气能见度

这些参数被输入所选的辐射传输模型，用于计算遥感影像收集时的大气吸收、散射值，然后进一步将辐射率数值转换为表面反射率。

# 例如：ACORN大气校正方法

- MODTRAN4辐射传输模型

$$L_s = \frac{E_{0\lambda} (E_{du\lambda} + \frac{T_{\theta_0} \rho_\lambda T_{\theta_v}}{1 - E_{dd\lambda} \rho_\lambda})}{\pi}$$

- 反射率计算

$$\rho_\lambda = \frac{1}{\left[ \frac{(E_{0\lambda} T_{\theta_0} T_{\theta_v}) / \pi}{L_s - (E_{0\lambda} E_{du\lambda}) / \pi} \right] + E_{dd\lambda}}$$

$L_s$ : 到达传感器入口处的总辐射;

$E_{0\lambda}$ : 大气层顶端的太阳光谱辐射;

$E_{du\lambda}$ : 大气层向上的反射;

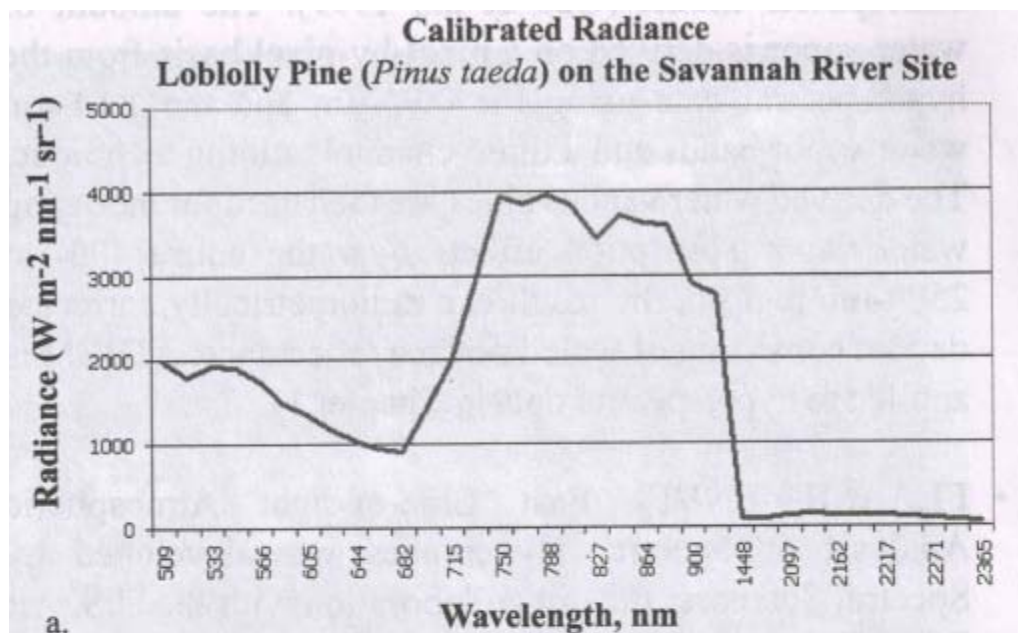
$E_{dd\lambda}$ : 大气层向下的反射;

$T_{\theta_0}$ : 大气层向下的透过率;

$\rho_\lambda$ : 表面的光谱反射率;

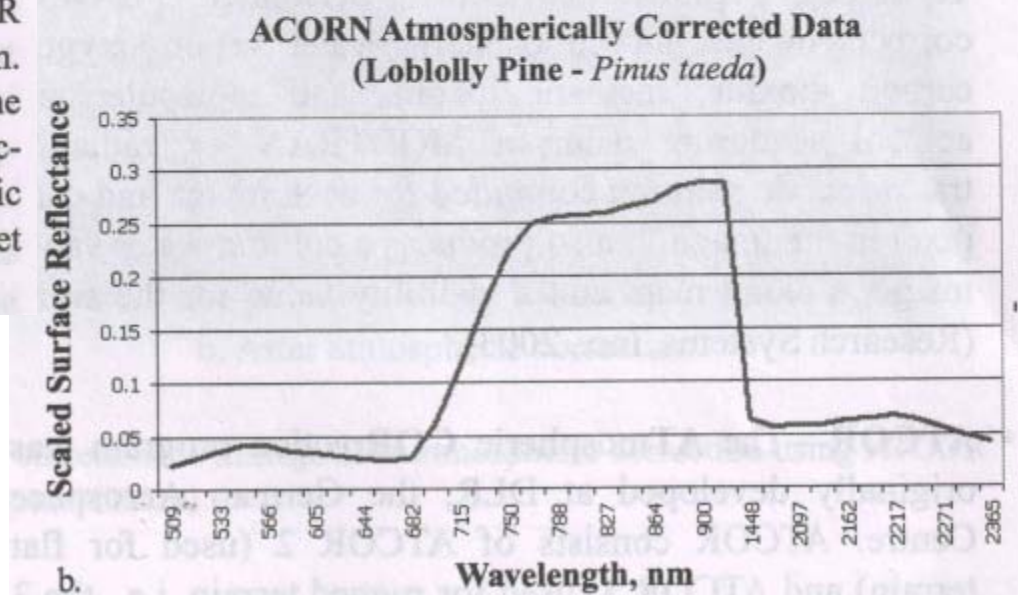
$T_{\theta_v}$ : 大气层向上的透过率。

某地区高光谱数据（GER DAIS 3715，35 波段，509nm~2365nm）经过 ACORN 模型方法大气校正前后，火炬松（loblolly pine）像元的原始辐射率曲线和反射率曲线。



a.

a) Calibrated radiance data of a loblolly pine pixel on the Savannah River Site recorded by the GER DAIS 3715 hyperspectral remote sensing system. The 35 bands range from 509 to 2365 nm. b.) The same pixel transformed into scaled surface reflectance using the radiative transfer Atmospheric CORrection Now (ACORN) algorithm (Jensen et al., 2003).



b.

## 2.基于地面场地数据或辅助数据进行辐射校正

- 假设地面目标的反射率与遥感探测器的信号之间具有线性关系。在遥感成像的同时，同步实测成像目标的地面光谱反射率（或通过预先设置已知反射率的目标），建立两者间的线性回归方程式，在此基础上对整幅遥感影像进行校正。
- 该方法物理意义明确，计算简单，但必须以大量野外光谱测量为基础，成本高，对地面点的要求比较高。

回归方程:  $L = a + bR$

地面实测值:  $L_a = bR$

大气影响:  $a = L - L_a$

大气校正公式:  $L_G = L - a$

# 相对大气校正

- 绝对大气校正需要较多的参数（传感器定标系数、获取影像时的大气参数），很多情况下较难，特别对于历史存档数据而言，大气参数无从获取。
- 从不同的有利位置或用多光谱波段对同一目标进行多种方式的观测，可使大气衰减的影响降到最小。因为通过多视角多波段信息可消除大气影响。因而，提出相对大气校正的方法。

例如：利用某些波段不受大气影响或影像较小的特性来校正其他波段的大气影响。

# 1.直方图法

- 波长大于 $0.7\mu m$  的近红外波段一般不受大气散射的影响，反之波长在 $0.4\sim 0.7\mu m$ 的可见光波段则受大气散射影响显著。
- 该方法主要通过研究区各波段的直方图估计来进行。通常可见光波段的数据（如TM1~3波段）由于受大气散射的影响而具有较高的最小值；相反大气散射却减少了长波波段的亮度值，因此造成近红外波段（如TM5、7波段）的数据最小值接近于0，甚至当研究区没有反射率真正为0的目标时也是如此。
- 校正算法的模型：

$$outputBV_{i,j,k} = inputBV_{i,j,k} - bias$$

例如：对于TM影像的1~4波段可采用该方法进行校正；而TM的5和7波段则不需要。

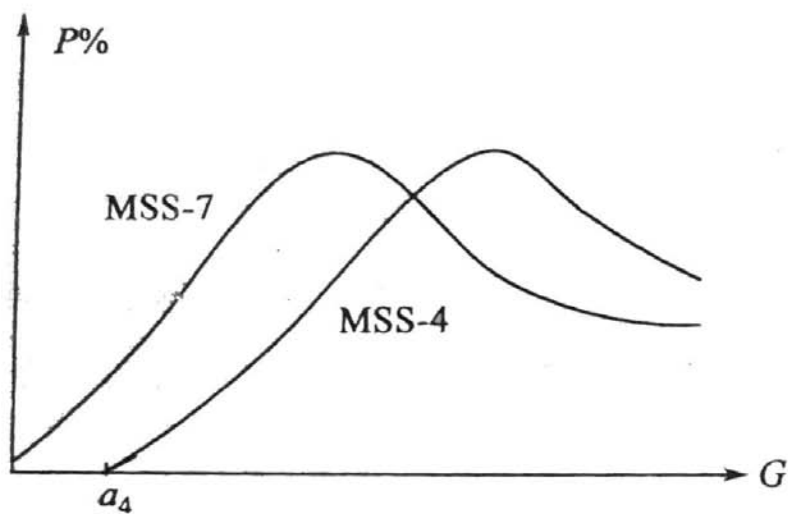


图 6-3 大气影响的灰度直方图

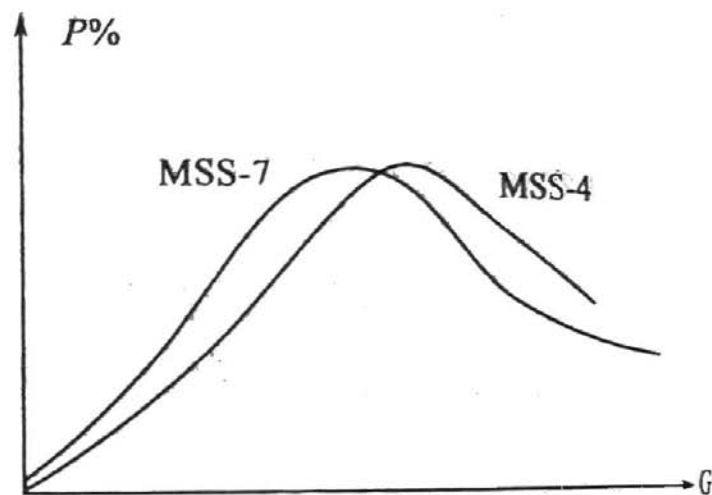


图 6-4 大气影响校正后的灰度直方图



## 2.回归分析法

- 在不受大气影响的波段图像和待校正的某一波段图像中，选择从最亮到最暗的一系列目标，对每一目标的两个波段亮度值进行回归分析。

例如：对MSS4、7波段

$$y = a_4 x + b_4$$

$$a_4 = \frac{\sum_{i=1}^n [(L_{7(i)} - \bar{L}_7)(L_{4(i)} - \bar{L}_4)]}{\sum_{i=1}^n [(L_{7(i)} - \bar{L}_7)^2]}$$

$$b_4 = \bar{L}_4 - a_4 \bar{L}_7$$

大气校正公式：

$$L'_4 = L_4 - b_4$$

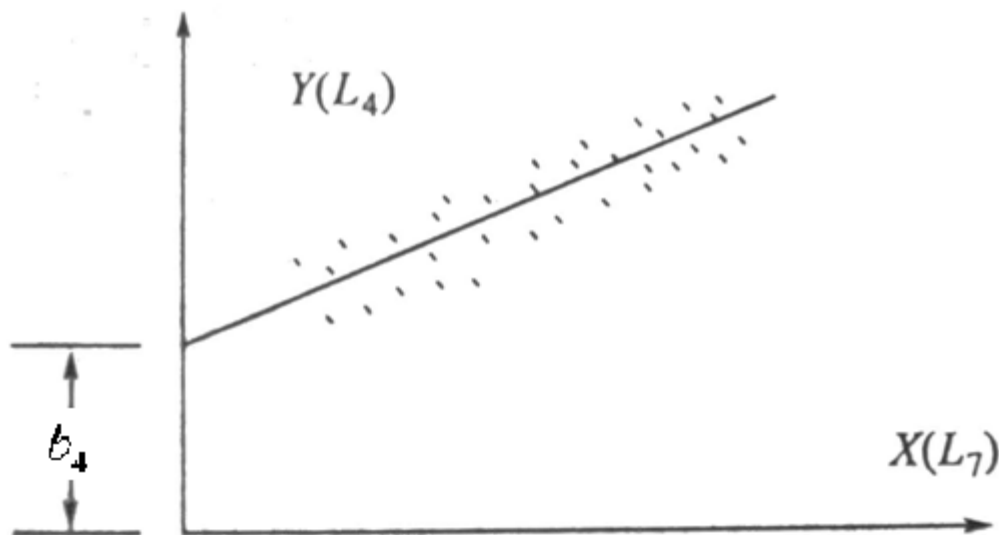


图 6-2 大气改正截距  $b_4$

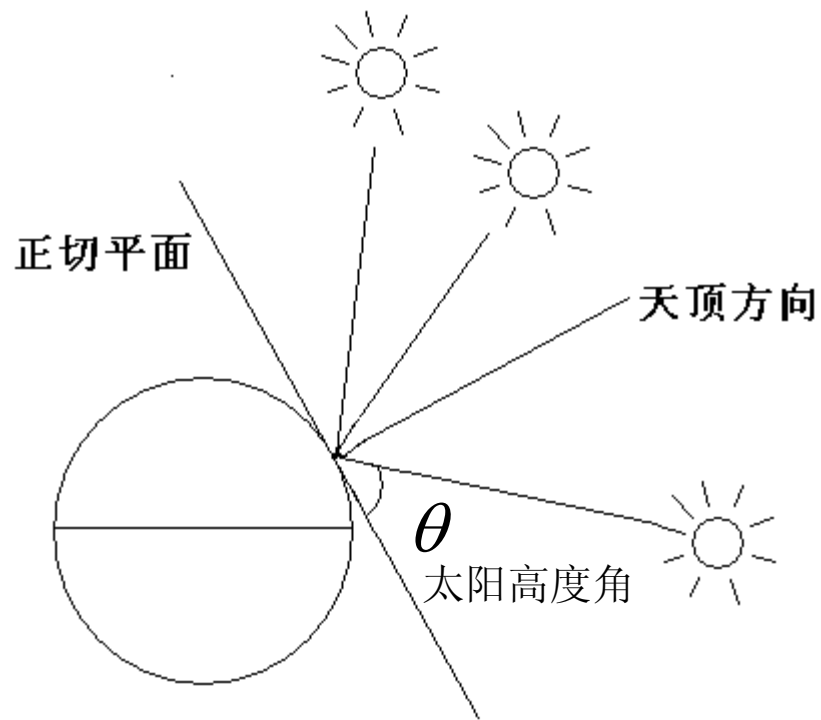
# 注意：

- 实际应用中，并不是任何情况下都需要进行大气校正。是否需要进行大气校正，取决于：
  - 问题本身
  - 可以得到的遥感数据的类型
  - 获取的历史与当前实测大气信息的数量
  - 从遥感数据中提取生物物理信息所要求的精度
- 不需要进行大气校正的原则：训练数据来自所研究的影像，而不是来自从其他时间或地点获取的影像。
- 必须进行大气校正的情况：提取生物物理变量时，如数据未经校正，就可能丢失这些重要成分的反射率的微小差别信息；如需要将某影像中提取的生物物理量与另一景不同时相影像中提取的同一生物物理量相比较，就必须进行大气校正。

### (三). 太阳位置、日地距离、地形影响引起的 辐射误差校正

- 太阳高度角、日地距离引起的辐射误差校正
- 地形影响引起的辐射误差校正

# 1. 太阳高度角、日地距离引起的辐射误差校正



- 太阳高度角引起的辐射畸变校正就是将太阳光线倾斜照射校正为垂直照射时获取的图像。
- 日地距离也会随季节变化。
- 图像上的阴影也与太阳高度角有关。一般可通过多光谱图像两个波段的比值运算基本消除阴影影响。

## 2. 地形影响引起的辐射误差校正

- 地形中的坡度坡向也会引入辐射误差。
- 地形校正的目的是去除由地形引起的光照度变化，使两个反射物性相同的地物，虽然坡度、坡向不同，但在影像中具有相同的亮度值。
- 地形校正需要已知对应地区的DEM。

# 地形校正方法

- 定性方法：波段间比值运算
- 定量方法

$$E = E_0 \cos \alpha$$

$E_0$ 为太阳光垂直入射到水平地面时的太阳辐射；

$E$ 为太阳光垂直入射到坡度为 $\alpha$ 的坡面时的太阳辐射。

## 二. 遥感图像增强

### ➤概念

- 为特定目的，突出表现遥感图像中的某些信息，削弱或除去某些不必要的信息，使图像更易判读。
- 实质是增强感兴趣目标和周围背景图像间的反差。
- 图像增强不增加原始图像的信息。

### ➤方法

- 空间域：直接对图像进行各种运算以得到所需的增强结果。
- 频率域：先将空间域图像变换成频率域图像，然后在频率域中对图像的频谱进行处理，以达到增强的目的。



# 几个基本概念

- 直方图
- 空间剖面
- 光谱剖面

# 图像处理的有力工具——直方图

----反映了一幅图像中灰度级与其出现概率之间的关系。

$$P_i = \frac{m_i}{M}$$

$$M = \sum_{i=0}^{2^n-1} m_i$$

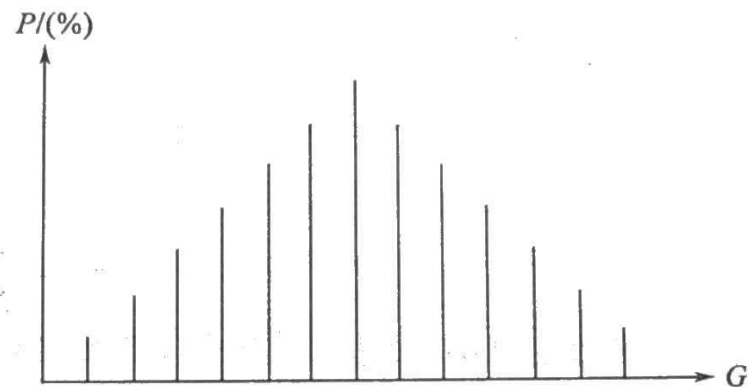
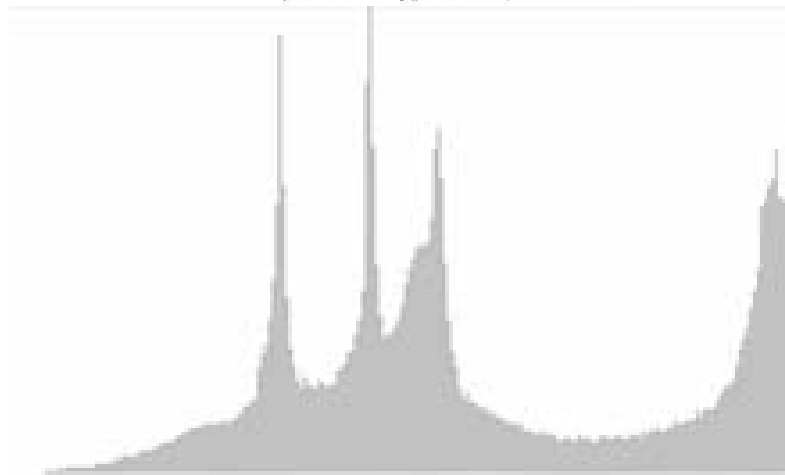
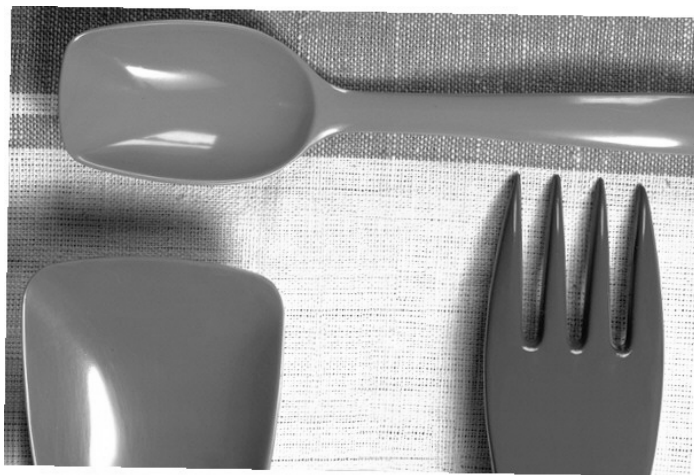


图 6-5 数字图像直方图



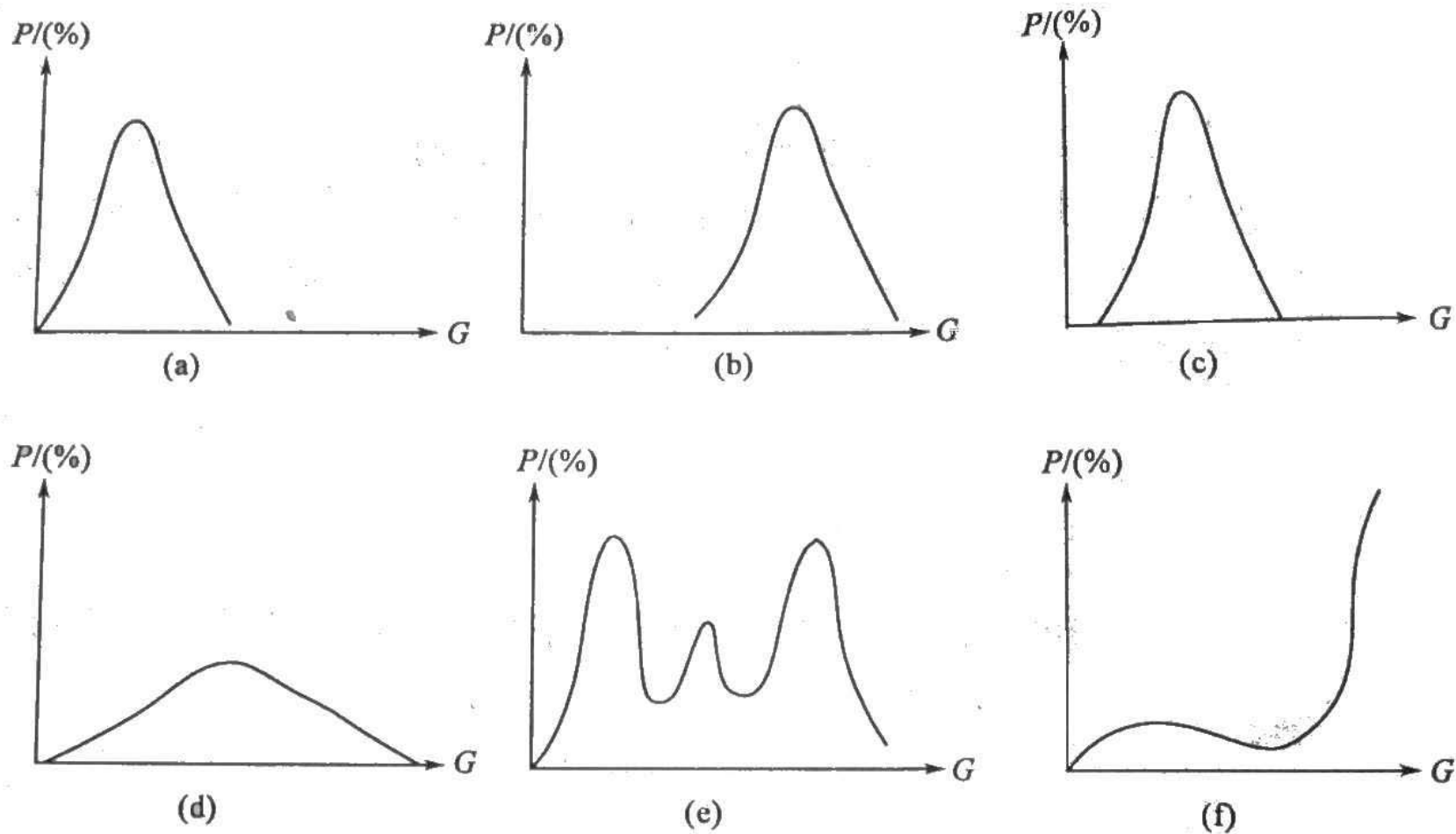


图 6-6 各种图像直方图

# 图像累积直方图

$$F_j = \sum_{i=0}^j P_i$$

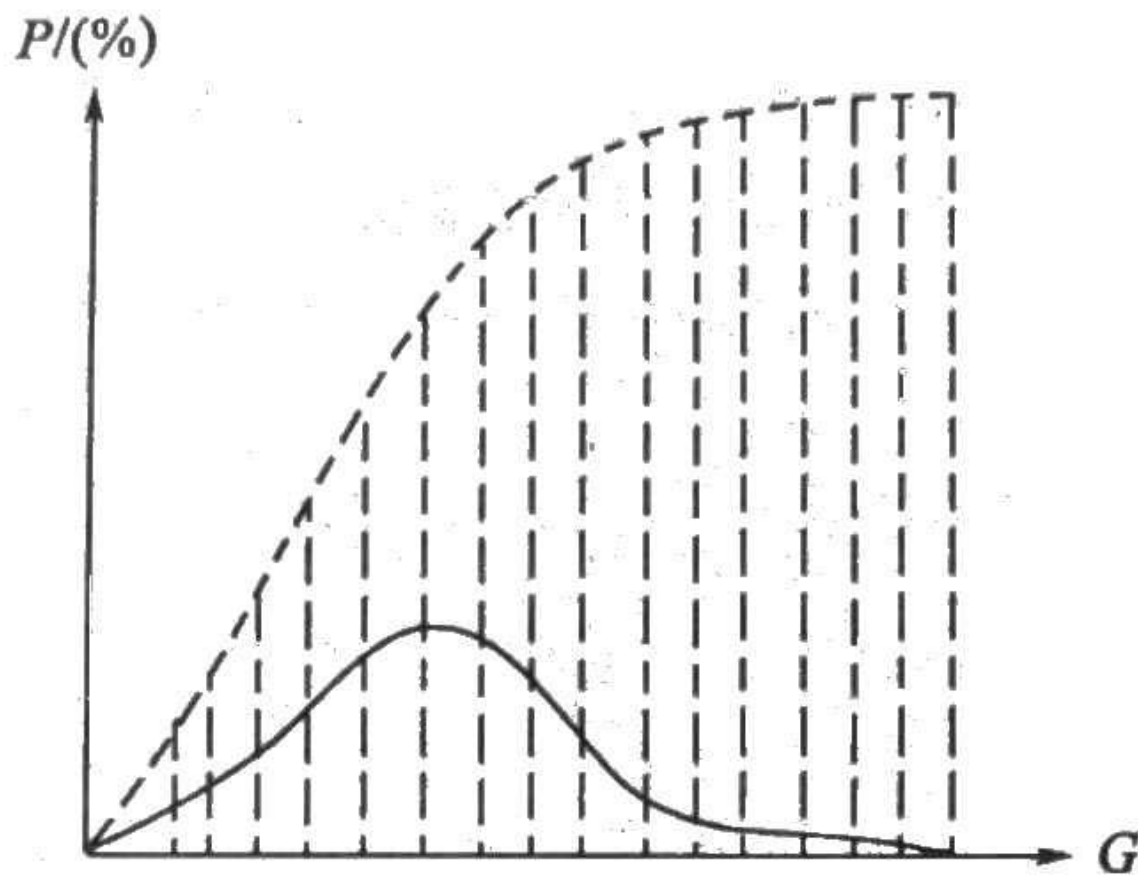


图 6-7 图像累积直方图

- 空间剖面：也称横断面，指单波段或多波段合成彩色影像上两点间的横断面亮度值。通常以直方图的形式描述。
- 光谱剖面：某个像元在多个波段上的全光谱亮度值。通常在一个平面坐标系下描述，X轴代表数据集的波段数，Y轴为各波段的像元亮度值（或经过定标后的反射率）。



# 空间域增强

- 反差调整
- 彩色增强
- 空间滤波



# 反差调整

- 线性变换
- 非线性变换
- 直方图均衡化
- 直方图正态化
- 直方图匹配
- 密度分割
- 图像灰度反转

# 反差调整

## 线性变换

$$d'_{ij} = \frac{d_{ij} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} (d'_{\max} - d'_{\min})$$

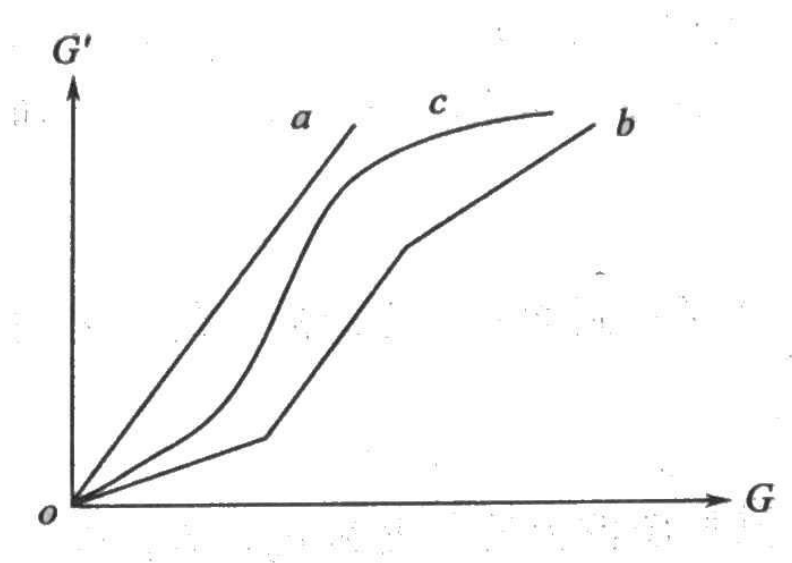


图 6-8 灰度变换的三种情况



# 反差调整

## 直方图均衡化

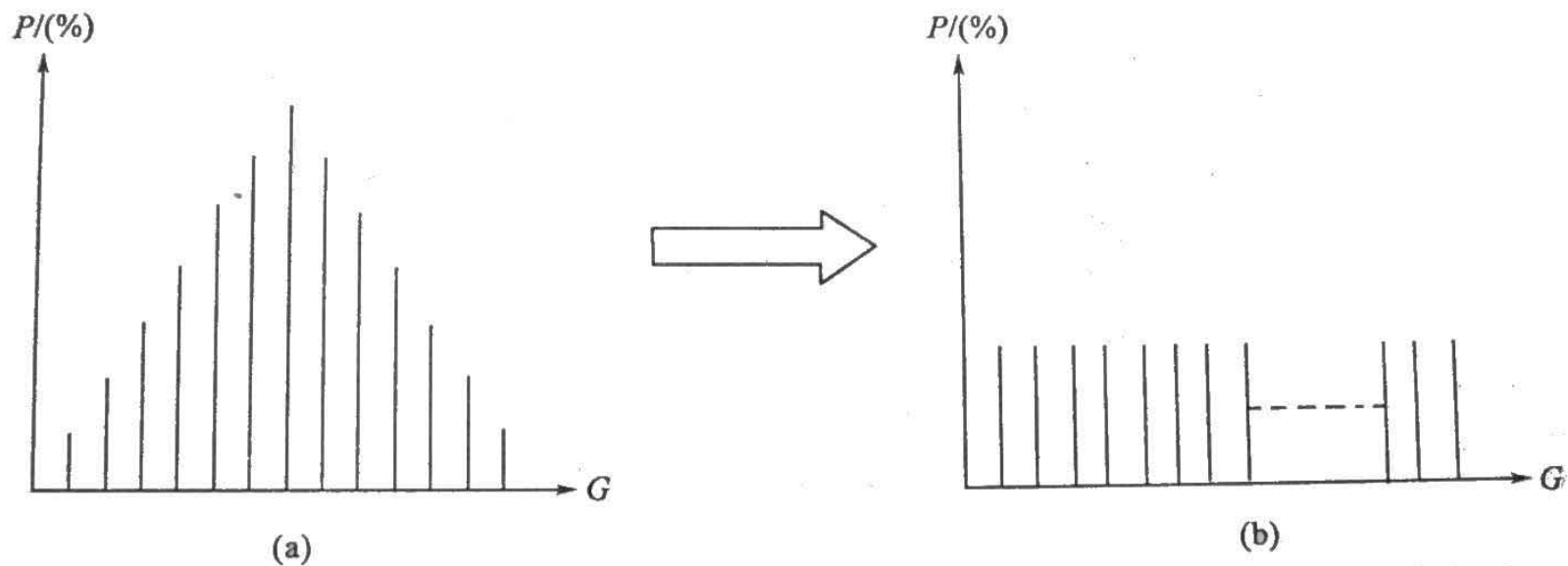


图 6-9 直方图均衡

原理:

原始图像直方图

$$P(A) = [P_0, P_1, \dots, P_{n-1}]$$

设均衡后的图像直方图

$$\bar{P}(A) = [\bar{P}_0, \bar{P}_1, \dots, \bar{P}_{m-1}]$$

$$\bar{P}_0 = \bar{P}_1 = \dots = \bar{P}_{m-1} = 1/m$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} P_i = \sum_{j=0}^{m-1} \bar{P}_j = 1$$

$$P_0 + P_1 + \dots + P_k = \frac{1}{m}$$

$$d_0, d_1, \dots, d_k \rightarrow d'_0$$

$$P_{k+1} + P_{k+2} + \dots + P_l = \frac{1}{m}$$

$$d_{k+1}, d_{k+2}, \dots, d_l \rightarrow d'_1$$

⋮

$$P_R + P_{R+1} + \dots + P_{n-1} = \frac{1}{m}$$

$$d_R, d_{R+1}, \dots, d_{n-1} \rightarrow d'_{m-1}$$

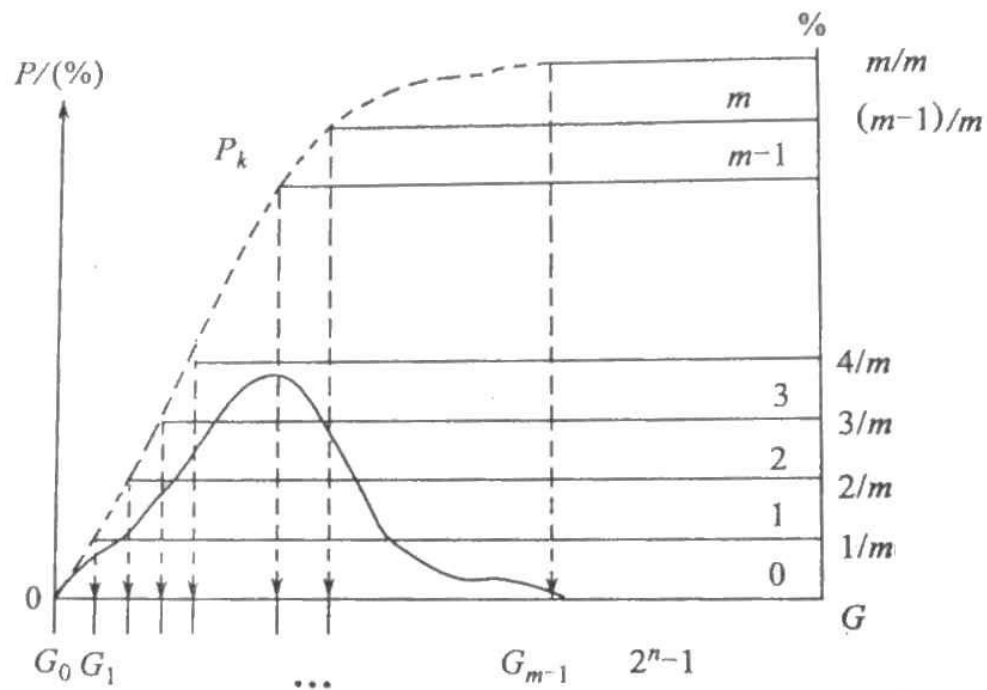


图 6-10 直方图均衡图解

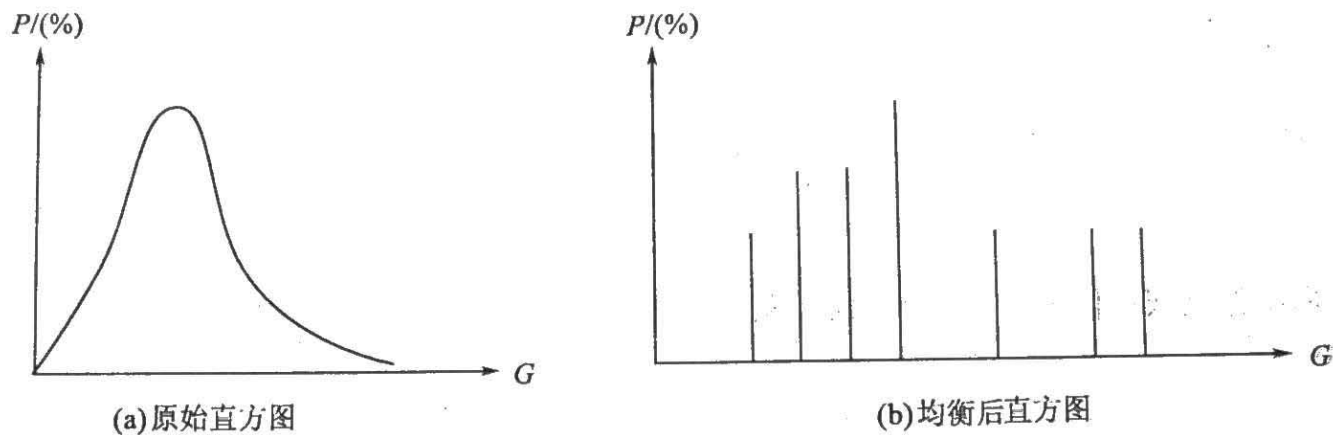


图 6-11 直方图均衡的结果

## 直方图正态化

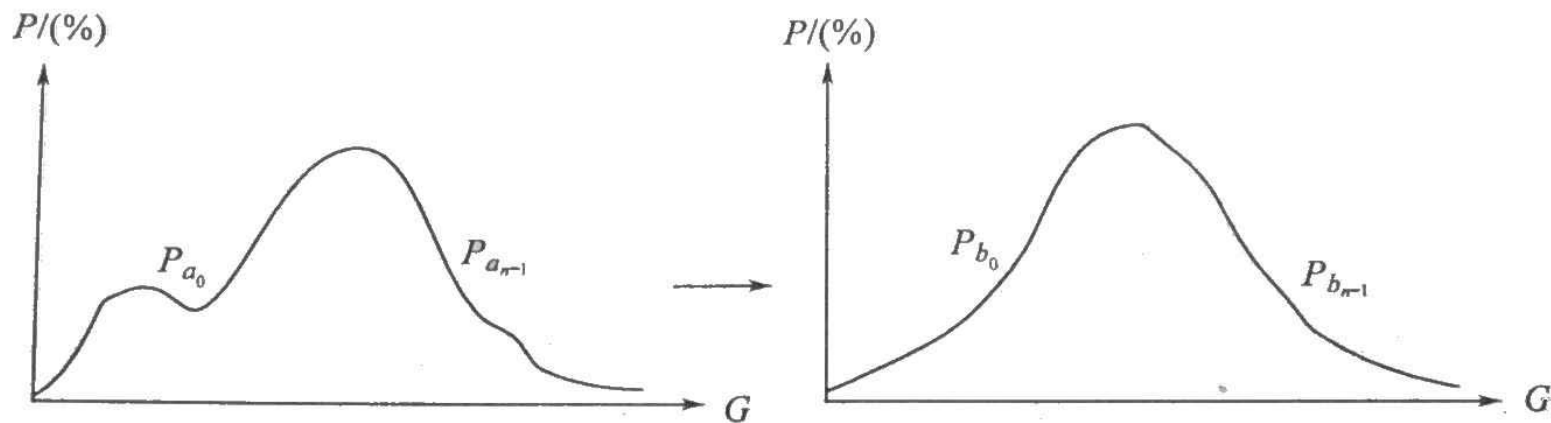


图 6-12 直方图正态化

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \sum_{x=0}^{m-1} \exp\left(\frac{-(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}\right)$$

设原图像直方图为

$$P(A) = [P_{a_0}, P_{a_1}, P_{a_2}, \dots, P_{a_i}, \dots, P_{a_{n-1}}]$$

正态化后图像的直方图

$$P(B) = [P_{b_0}, P_{b_1}, P_{b_2}, \dots, P_{b_i}, \dots, P_{b_{n-1}}]$$

正态化：

$$\sum_{i=0}^K P(a_i) = P(b_0) \Longrightarrow$$

原图像上灰度值为  $0 \sim K$  的像素其灰度值合并为正态化后图像的灰度值 0

$$\sum_{i=0}^L P(a_i) = P(b_0) + P(b_i) \Longrightarrow$$

原图像上灰度值为  $K + 1 \sim L$  的像素其灰度值合并为正态化后图像的第一个灰度值

•  
•  
•

# 反差调整

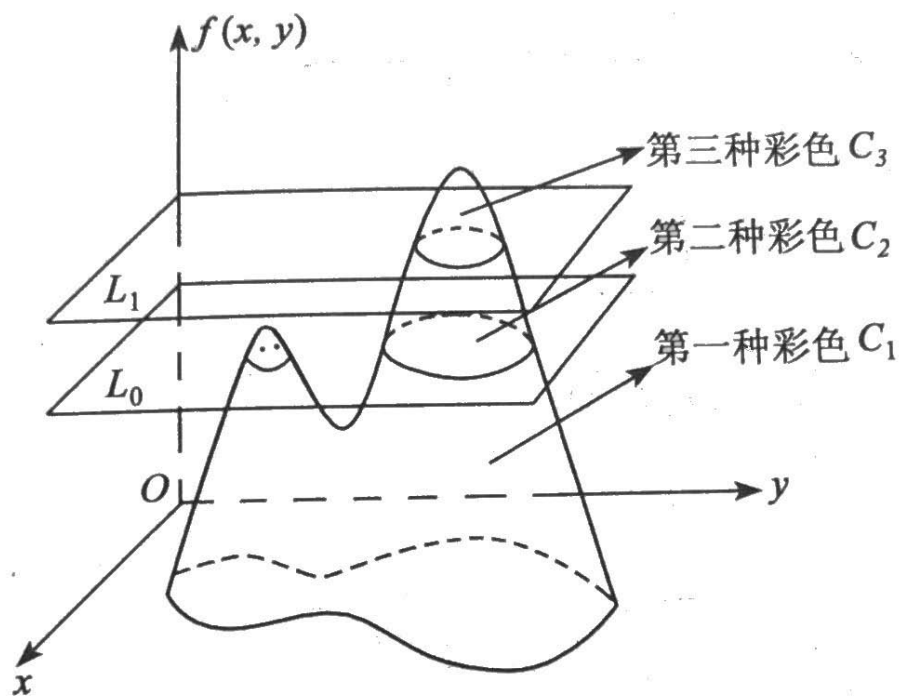
## 直方图匹配

- 通过非线性变换使一个图像的直方图与另一个图像的直方图类似。
- 利用不同时间、由于太阳高度角或大气影响引起差异的图像进行图像镶嵌和变化检测时非常有用。
- 进行直方图匹配的两幅图像应有相似的特性：
  - 图像直方图总体形状应类似；
  - 图像中黑与亮特征应相同；
  - 对某些应用，图像的空间分辨率应相同；
  - 图像上地物分布应相同。
- 直方图匹配时可建立一个查找表来作为变换函数。

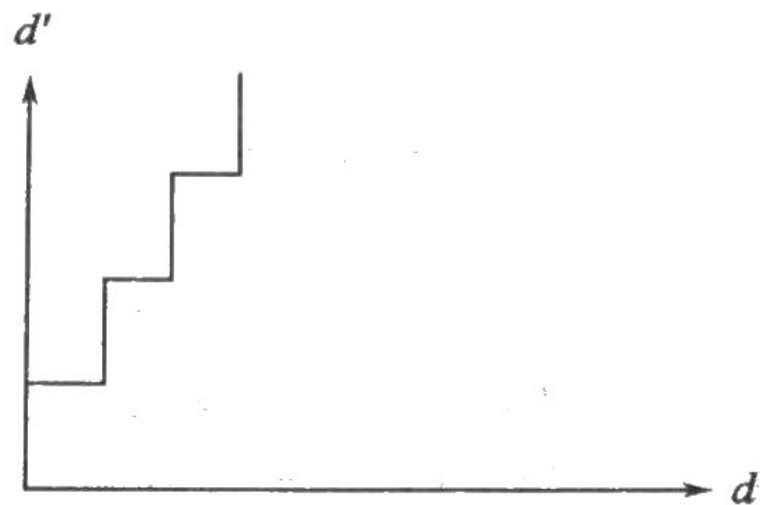
# 反差调整

## ● 密度分割

$$d'_{ij} = \frac{d_{ij} - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}} \cdot n$$



密度分割空间示意图



密度分平面示意图

# 反差调整

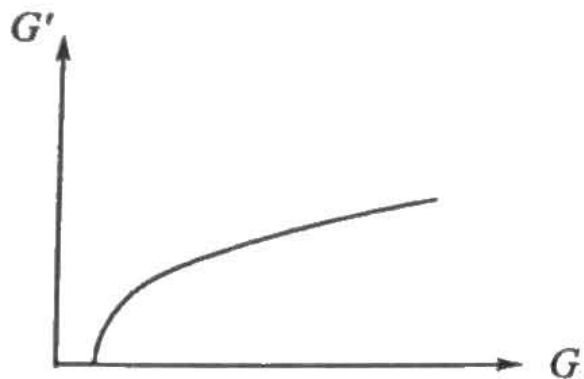
## 其它非线性变换

对数变换、指数变换、平方根变换、标准偏差变换、直方图周期性变换等。

对数变换

$$d' = A \log(d) + B$$

$$A = \frac{d'_{\max} - d'_{\min}}{F(d_{\max}) - F(d_{\min})}$$

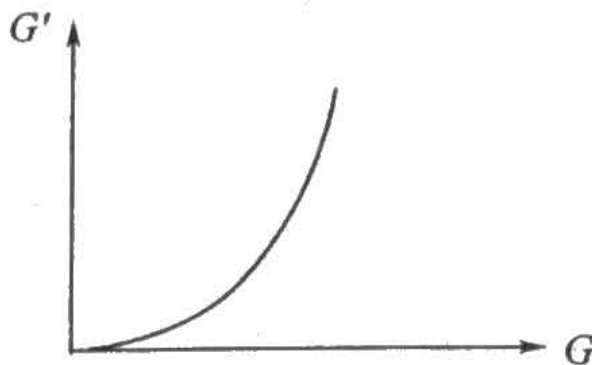


(a) 对数变换

指数变换

$$d' = A \exp(d) + B$$

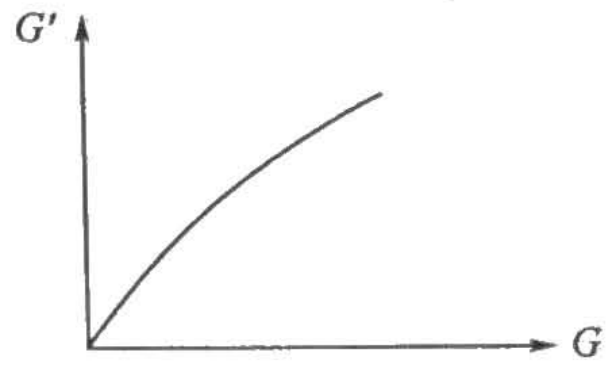
$$B = -A d_{\max} + d'_{\max} = -A d_{\min} + d'_{\min}$$



(b) 指数变换

平方根变换

$$d' = A \sqrt{d} + B$$



(c) 平方根变换



# 反差调整

## 图像灰度反转

对图像灰度范围进行线性或非线性取反，产生一幅与输入图像灰度相反的图像。

### 条件反转

$$D_{out} = 1.0 \quad \text{当 } 0.0 < D_{in} < 0.1$$

$$d_{out} = 0.1 / D_{in} \quad \text{当 } 0.1 < D_{in} < 1$$

### 简单反转

$$D_{out} = 255 - D_{in}$$

# 彩色增强

## ➤伪彩色增强

把黑白图像的各不同灰度级按照线性或非线性的映射变换函数变换成不同的彩色，得到一幅彩色图像。

## ➤假彩色增强

通过映射变换函数将一幅自然彩色图像或多光谱图像或超光谱图像变换成新的三基色分量，彩色合成使增强图像中各目标呈现出与原图像中不同的彩色。

## ➤彩色变换

彩色不同描述模式间的转换。

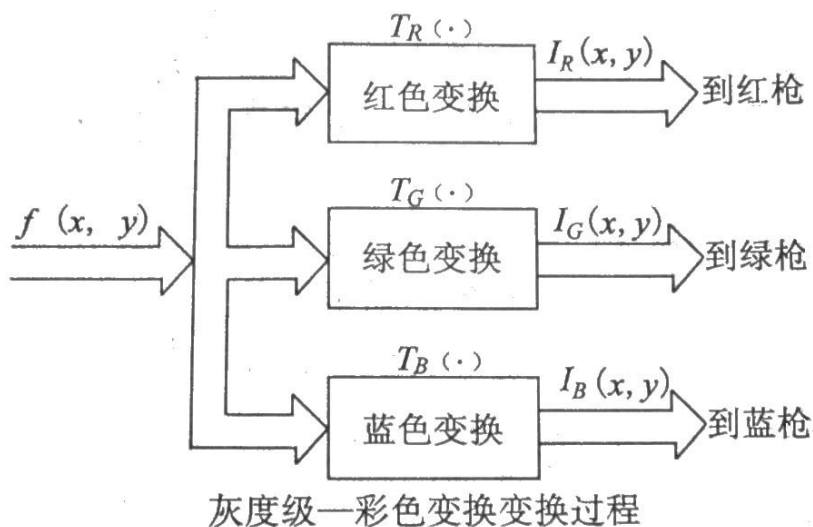
(RGB  $\longleftrightarrow$  HIS)

# 彩色增强

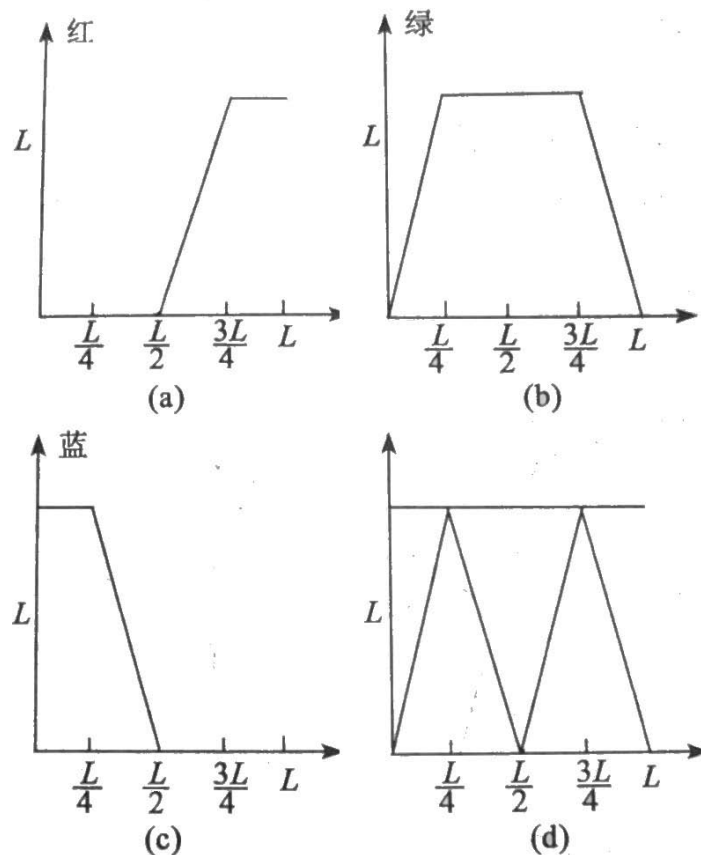
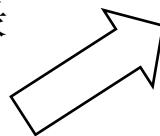
● 伪彩色增强（可使原图像细节更易辨认，目标更容易识别）

■ 密度分割法

■ 灰度——彩色变换合成法



灰度为0时呈蓝色，灰度为 $L/2$ 时呈绿色，灰度为 $L$ 时呈红色；灰度为其它值时由三基色混合成不同的色调。



典型的变换函数

# 彩色增强

## 假彩色增强

- 使感兴趣的目标呈现奇异的彩色或置于奇特的彩色环境中，从而更受人注目；
- 使景物呈现出与人眼色觉相匹配的颜色，以提高对目标的分辨力。

若对多光谱图像

$$\left. \begin{aligned} R_F &= f_R\{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots\} \\ G_F &= f_G\{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots\} \\ B_F &= f_B\{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots\} \end{aligned} \right\}$$

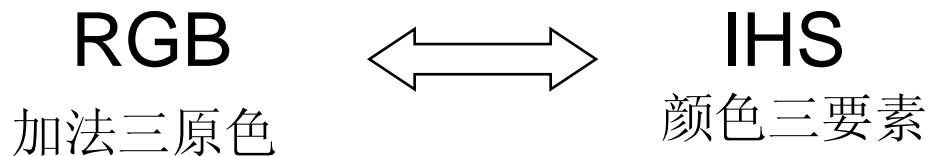
若对自然景色图像

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_F \\ G_F \\ B_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_f \\ G_f \\ B_f \end{bmatrix}$$

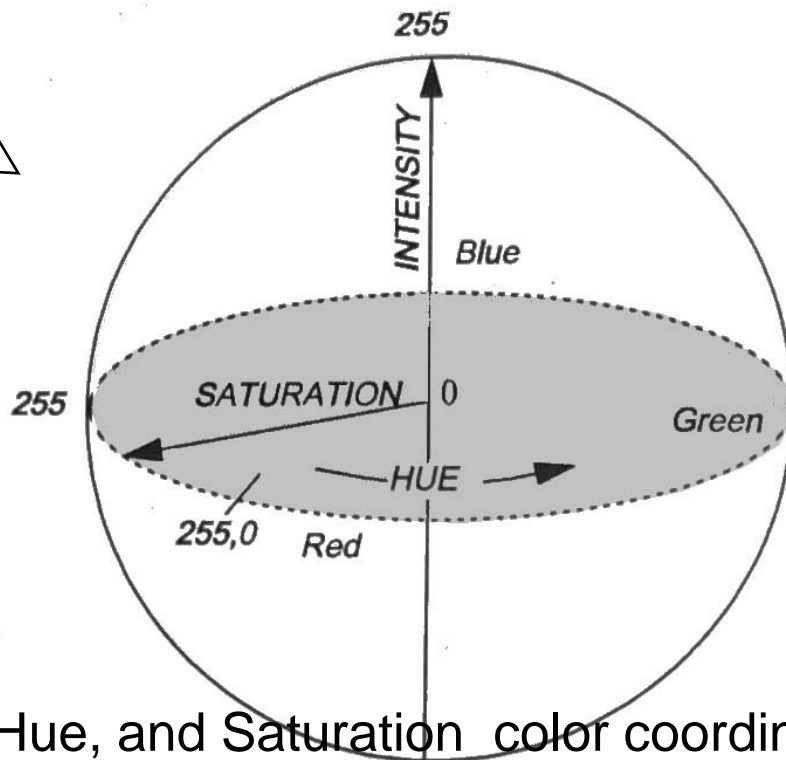
绿色→红色  
蓝色→绿色  
红色→蓝色

# 彩色增强

## 彩色变换



- 球体变换
- 圆柱体变换
- 三角形变换
- 单六角锥变换



Intensity, Hue, and Saturation color coordinate system

# $RGB \rightarrow IHS$

$$R = \frac{M - r}{M - m}$$

$$R = \frac{M - g}{M - m}$$

$$R = \frac{M - b}{M - m}$$

$$M = \max\{r, g, b\}$$

$$m = \min\{r, g, b\}$$

$$\max = \max\{R, G, B\}$$

$$\min = \min\{R, G, B\}$$

$$I = \frac{M + m}{2}$$

$$S = 0, \text{ 若 } M = m$$

$$S = \frac{M - m}{M + m}, \text{ 若 } I \leq 0.5$$

$$S = \frac{M - m}{2 - M - m}, \text{ 若 } I > 0.5$$

$$H = 0, \text{ 若 } \max = \min$$

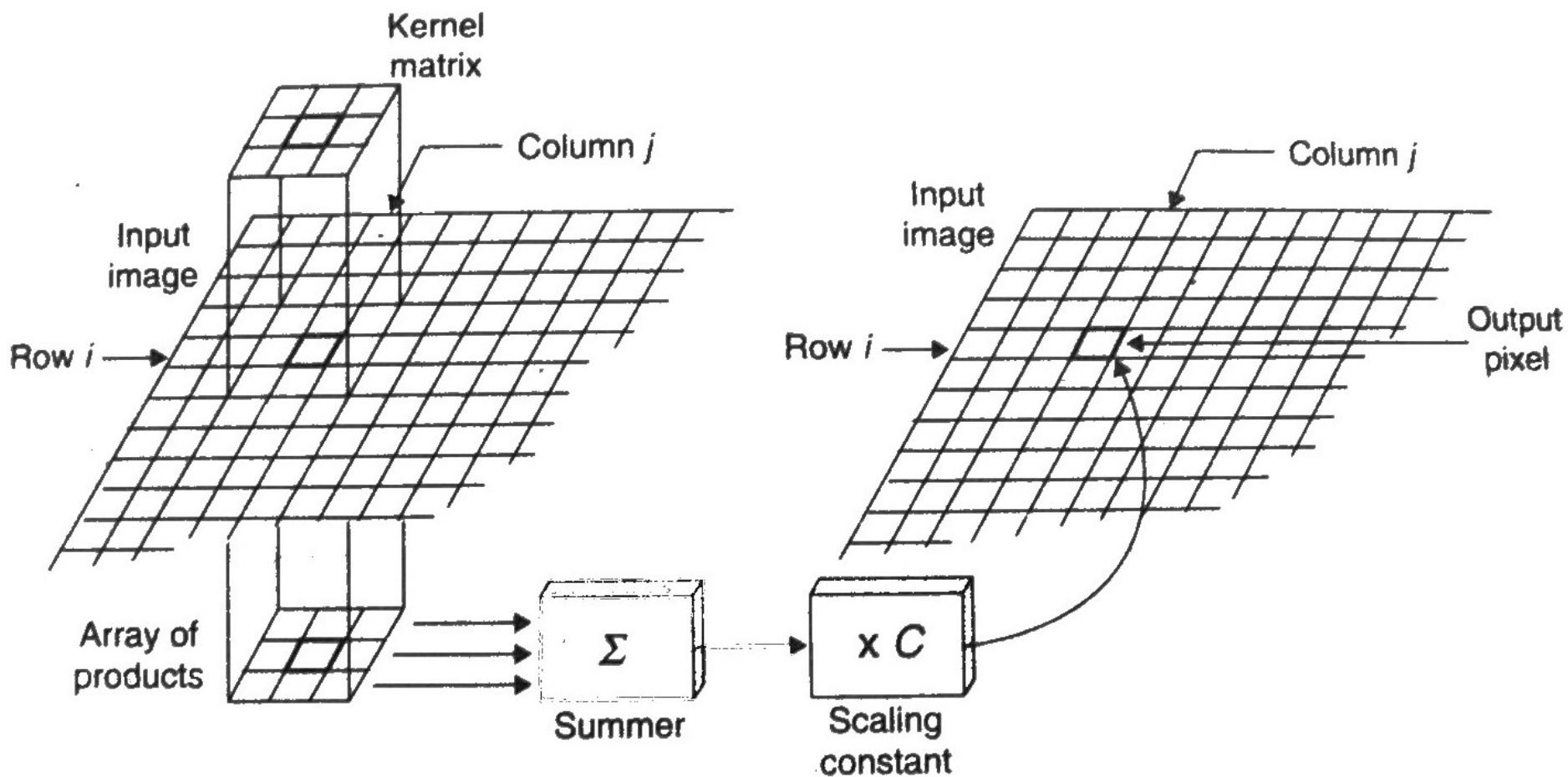
$$H = 60(2 + b - r), \text{ 若 } R = \max$$

$$H = 60(4 + r - b), \text{ 若 } G = \max$$

$$H = 60(6 + g - r), \text{ 若 } B = \max$$

# 空间滤波

## 图象的卷积运算



Digital convolution

# 空间滤波

## 平滑

目的：消除各种干扰噪声。

平滑模板举例：

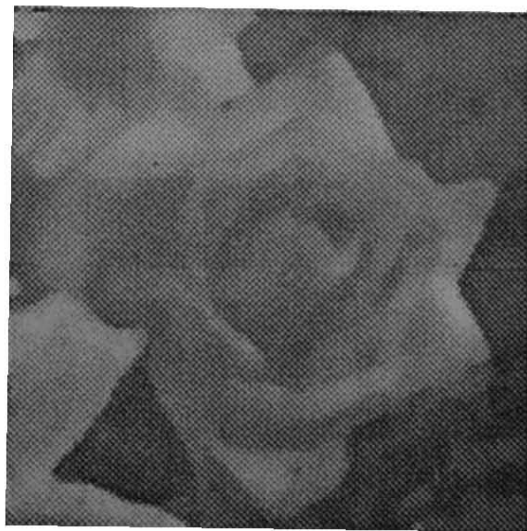
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$

$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{8}$	0	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$

$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$

► 平滑会使整幅图像反差减小，但会造成图像的模糊。





## 锐化

-----目的是突出图像的边缘信息，提高图像细节的反差。

➤ 梯度锐化法：

$$G[f(x, y)] = [\partial f / \partial x, \partial f / \partial y]^T$$

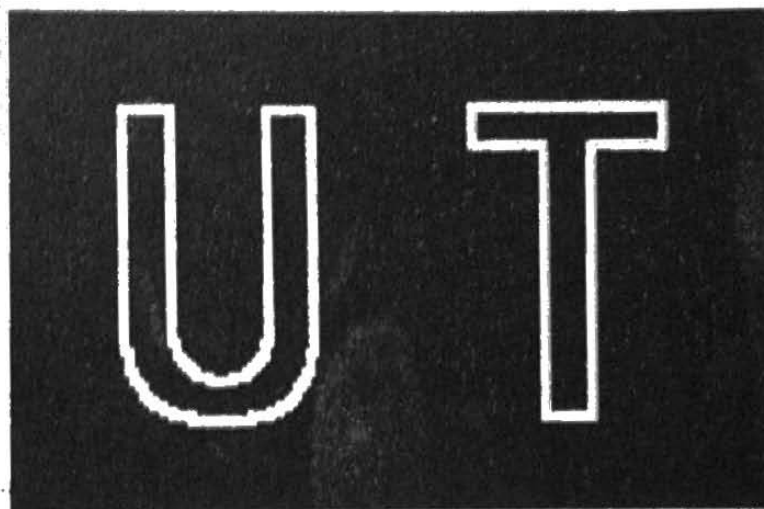
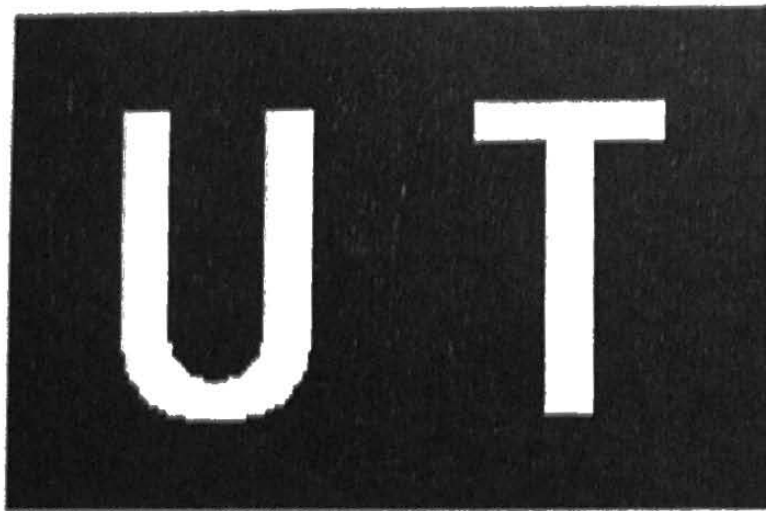
$$|G[f(x, y)]| = [(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$|G[f(x, y)]| = \{[f(x, y) - f(x+1, y)]^2 + [f(x, y) - f(x, y+1)]^2\}^{\frac{1}{2}}$$

$$|G[f(x, y)]| = |f(x, y) - f(x+1, y)| + |f(x, y) - f(x, y+1)|$$

梯度图像  $g(x, y) = |G[f(x, y)]|$

在图像上，边缘处具有较大的梯度，可通过设置合适的阈值将边缘提取出来。



## ➤ 空间卷积锐化法

常见锐化模板:

2	-1
-1	0

-1	2	-1
----	---	----

-1
2
-1

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

-1	-1	-1
2	2	2
-1	-1	-1

-1	2	-1
-1	2	-1
-1	2	-1

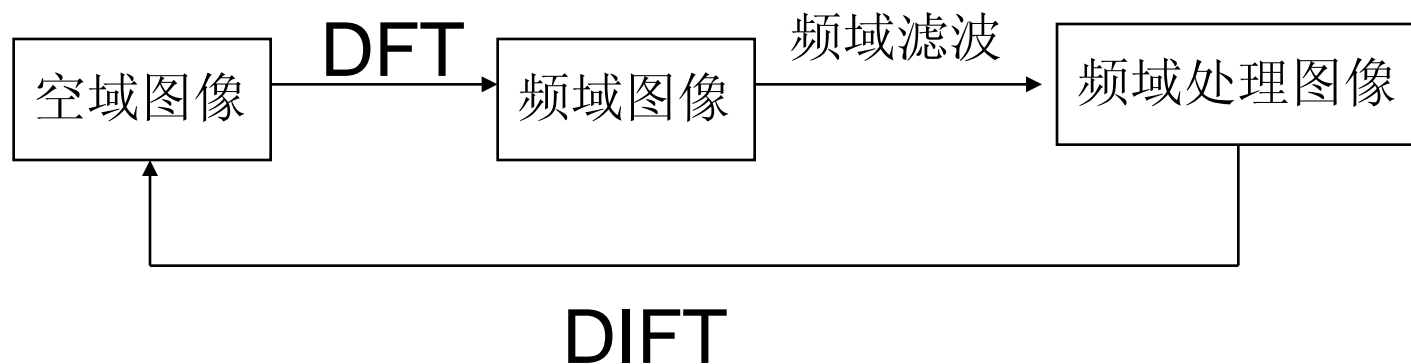
-1	-1	2
-1	2	-1
2	-1	-1

2	-1	-1
-1	2	-1
-1	-1	2



# 频率域增强

基本原理：图像中的灰度跳跃变化区，对应着频率域中的高频成分，灰度变化缓慢的区域对应着频率域中的低频成分。通过频域滤波处理，可保留低频或高频成分，达到图像平滑或锐化的目的。



卷积定律

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v)$$

↑  
滤波器

## ➤ 低通滤波——平滑

### 1、理想低通滤波器

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{if } (D(u, v) \leq D_0) \\ 0, & \text{if } (D(u, v) > D_0) \end{cases}$$

$D_0$  为截止频率，

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$

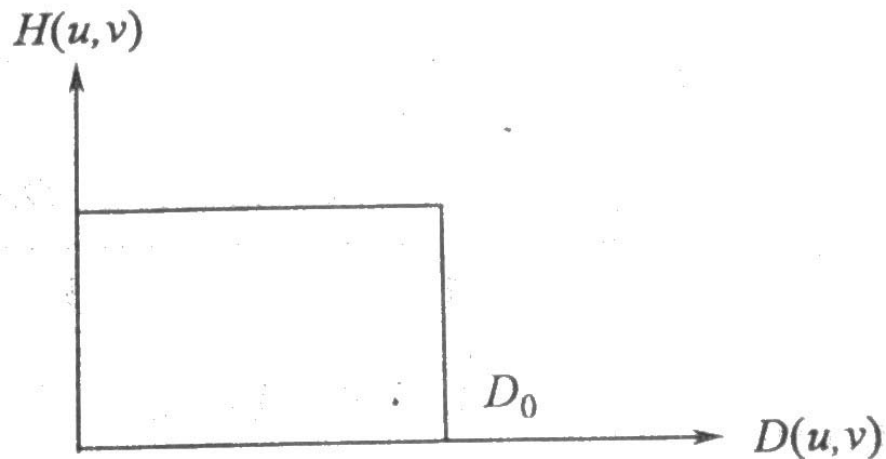
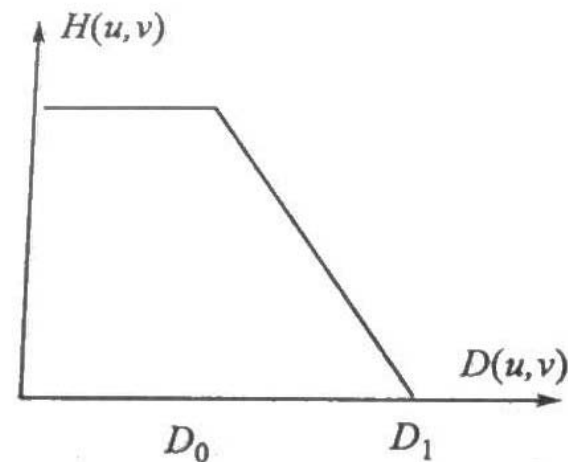


图 6-19 理想低通滤波器

## 2、梯形滤波器

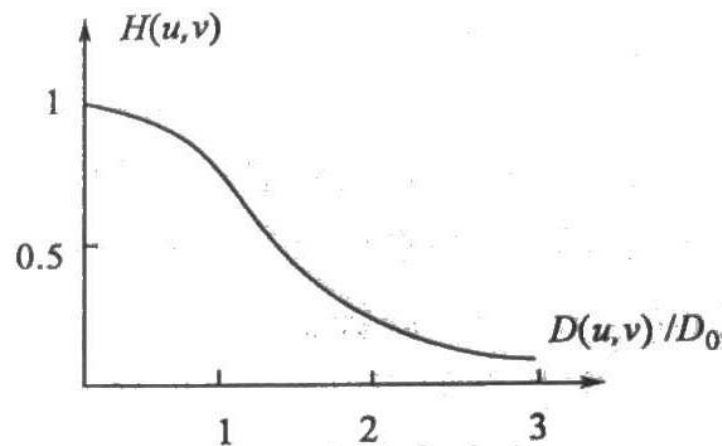
$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & \text{if } (D(u, v) < D_0) \\ [D(u, v) - D_1] / (D_0 - D_1), & \text{if } (D_0 \leq D(u, v) \leq D_1) \\ 0, & \text{if } (D(u, v) > D_1) \end{cases}$$



(a) 梯形低通滤波器

## 3、Butter Worth低通滤波器

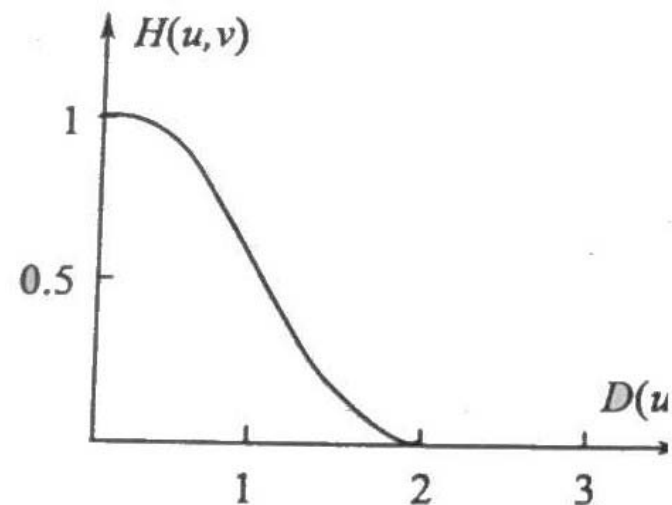
$$H(u, v) = \left\{ 1 + \left[ \frac{D(u, v)}{D_0} \right]^{2n} \right\}^{-1}$$



(b) Butter Worth低通滤波器

## 4、指数低通滤波器

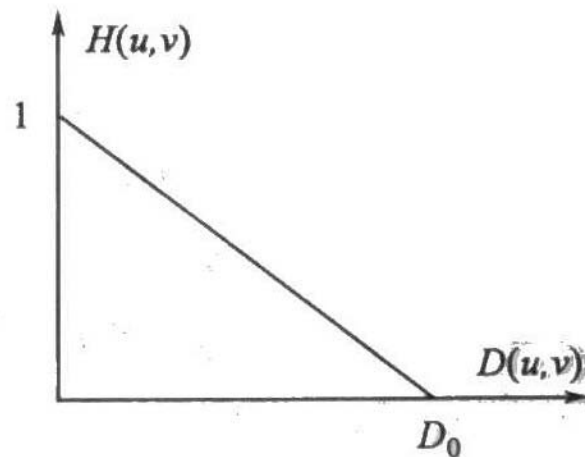
$$H(u, v) = \exp\left\{-\frac{D(u, v)}{D_0}\right\}^n$$



(c) 指数低通滤波器

## 5、Bartlett低通滤波器

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 - D(u, v), & D(u, v) \leq D_0 \\ 0, & D(u, v) > D_0 \end{cases}$$



(d) Bartlett低通滤波



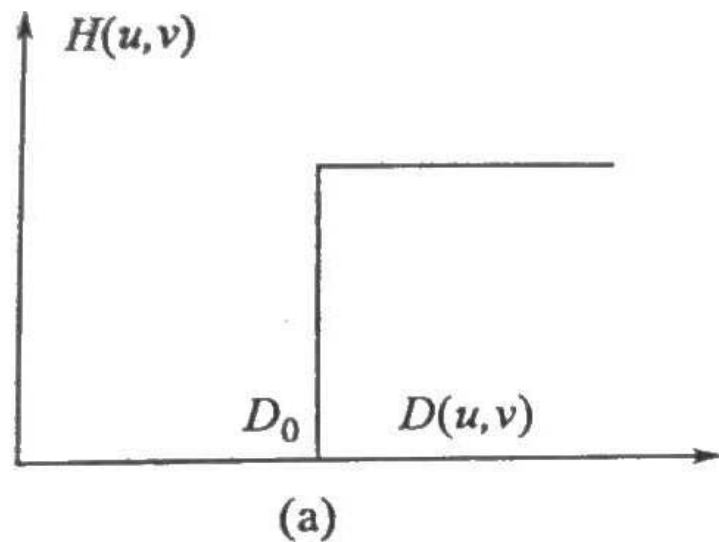
## ➤ 高通滤波——锐化

### 1、理想高通滤波器

$$H(u, v) = \begin{cases} 0, & \text{if } (D(u, v) \leq D_0) \\ 1, & \text{if } (D(u, v) > D_0) \end{cases}$$

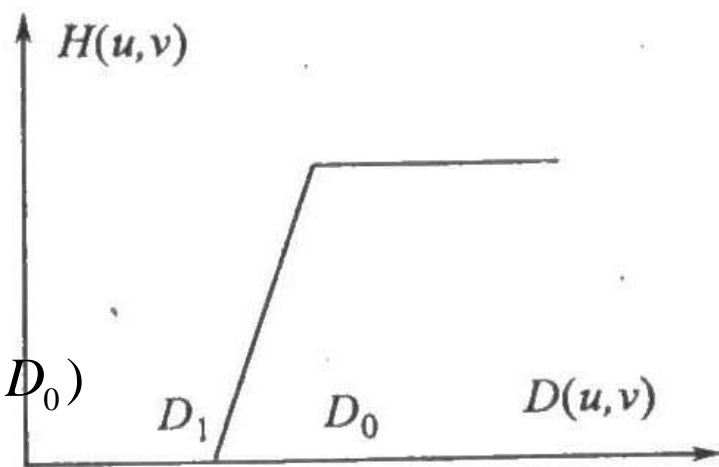
$D_0$  为截止频率,

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}$$



## 2、梯形滤波器

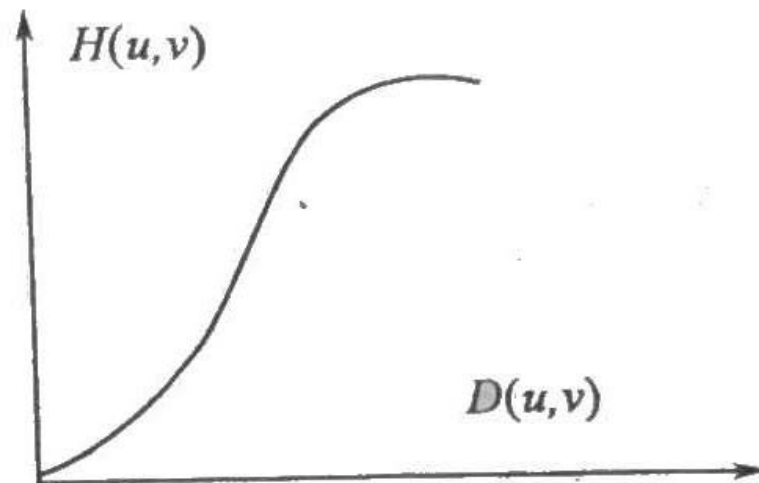
$$H(u, v) = \begin{cases} 0, & \text{if } (D(u, v) < D_1) \\ [D(u, v) - D_1] / (D_0 - D_1), & \text{if } (D_1 \leq D(u, v) \leq D_0) \\ 1, & \text{if } (D(u, v) > D_0) \end{cases}$$



(b)

## 3、Butter Worth高通滤波器

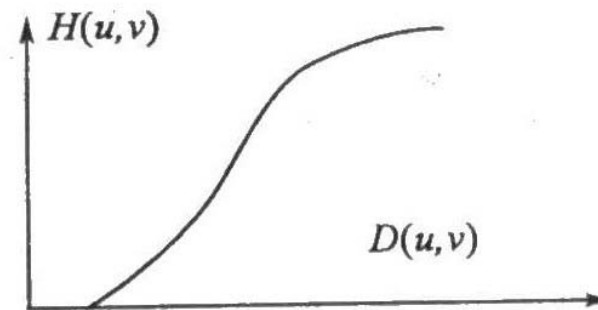
$$H(u, v) = \left\{ 1 + \left[ \frac{D_0}{D(u, v)} \right] \right\}^{-2n}$$



(c)

## 4、指数高通滤波器

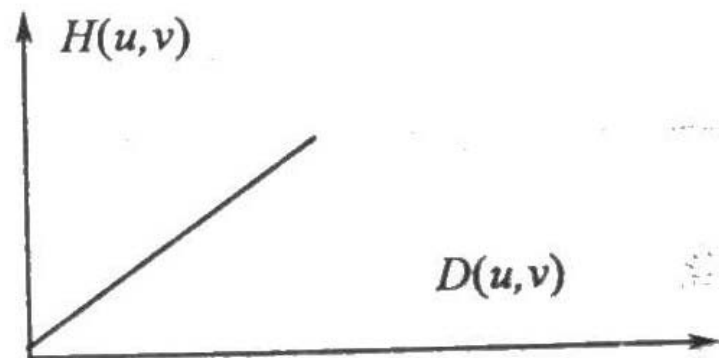
$$H(u, v) = \exp\left\{-\frac{D_0}{D(u, v)}\right\}^n$$



(d)

## 5、Bartlett高通滤波器

$$H(u, v) = \begin{cases} D(u, v), & D(u, v) \leq D_0 \\ 0, & D(u, v) > D_0 \end{cases}$$



(e)



# 三. 多光谱图像四则运算

两幅或多幅单波段影像，完成空间配准后，通过一系列运算，可以实现图像增强，达到提取某些信息或去掉某些不必要信息的目的。

- 减法运算
- 加法运算
- 乘法运算
- 除法运算
- 混合运算

# 1、减法运算

$$B = B_X - B_Y$$

注意：

- 1、减法运算的结果仍然是图像；
- 2、当X和Y为多光谱图像的两个不同波段时，减法运算的结果为同一地物光谱反射率之差；

$$I_{VI} = B_{IR} - B_R$$

- 3、当X和Y为不同时相的图像时，减法运算的结果为地面目标的变化信息。

## 2、加法运算

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i$$

1、加法运算可以加宽波段：

$$B_G + B_R \longrightarrow \text{近似全色图像}$$

$$B_G + B_R + B_{IR} \longrightarrow \text{全色红外图像}$$

2、加法运算可以去除噪声

## 3、乘法运算

$$B = \left[ \prod_{i=1}^m B_i \right]^{1/m}$$

乘法运算也可以加宽波段范围。

## 4、除法运算

可以突出不同波段间地物光谱的差异，提高对比度。

$$B = \frac{B_X}{B_Y}$$

- 1、突出遥感影像中的植被特征，提取植被类别、估算植被生物量；

$$B = \frac{B_{IR}}{B_R}$$

- 2、是自动分类处理的预处理方法之一，用以去除地形影响；即压抑地形坡度和方向引起的辐射量变化，增强土壤、植被、水之间的差别。
- 3、研究浅海区的水下地形、土壤的富水性差异、微地貌变化、地球化学反应引起的微小光谱变化等。

## 5、混合运算

- 主要用于植被指数的计算。是利用遥感数据提取和模拟生物物理变量的主要内容之一。
- 植被指数
  - 是无量纲的辐射测度，反映绿色植被的相对丰度及其活动；其中包括叶面积指数、绿色覆盖百分比、叶绿素含量、绿色生物量和吸收的有效光合辐射。
  - 植被指数应该具备的特点：
    - 1、对植物生物物理参数尽可能敏感，最好呈线性响应，这使其可以在大范围的植被条件下使用，并且方便对指数的验证和定标。
    - 2、归一化或模拟外部效应如太阳角、观测角和大气，以便能够进行空间和时间上的比较。
    - 3、归一化内部效应如冠层背景变化，包括地形（坡度和坡向）、土壤的差别，以及衰老或木质化植被的差异。
    - 4、能和一些特定的可测度的生物物理参数（如生物量、LAI或APAR进行藕合，作为验证和质量控制部分。
  - 植被指数有很多，多数都用到与健康绿色植被有关的红光和近红外反射率之间的反比关系。



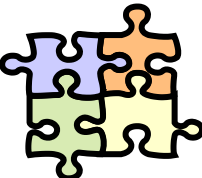
NDVI——Normalized difference vegetation index

归一化差分植被指数

$$I_{NDVI} = \frac{B_7 - B_5}{B_7 + B_5}$$

$$I_{TNDVI} = \sqrt{\frac{B_7 - B_5}{B_7 + B_5} + 0.5}$$

$$I_{NDVI} = \frac{B_6 - B_5}{B_6 + B_5}$$



## 四. 遥感信息复合

- 图像融合
- 遥感图像与DEM复合

# 图像融合

图像融合——指将多源遥感图像按照一定的算法，在规定的地理坐标系，生成新的图象的过程。

图像融合三个层次：

- 像素级融合
  - 特征级融合
  - 决策级融合
- 
- 图像融合主要方法
  - 图像融合效果评价

# 主要融合方法:

- 加权融合
- 基于**HIS**变换的图像融合
- 基于主分量变换的图像融合
- 基于小波变换的图像融合
- 比值变换融合
- 乘积变换融合
- 基于特征的图像融合
- 基于分类的图像融合

# 基于HIS变换的图像融合

基本原理：

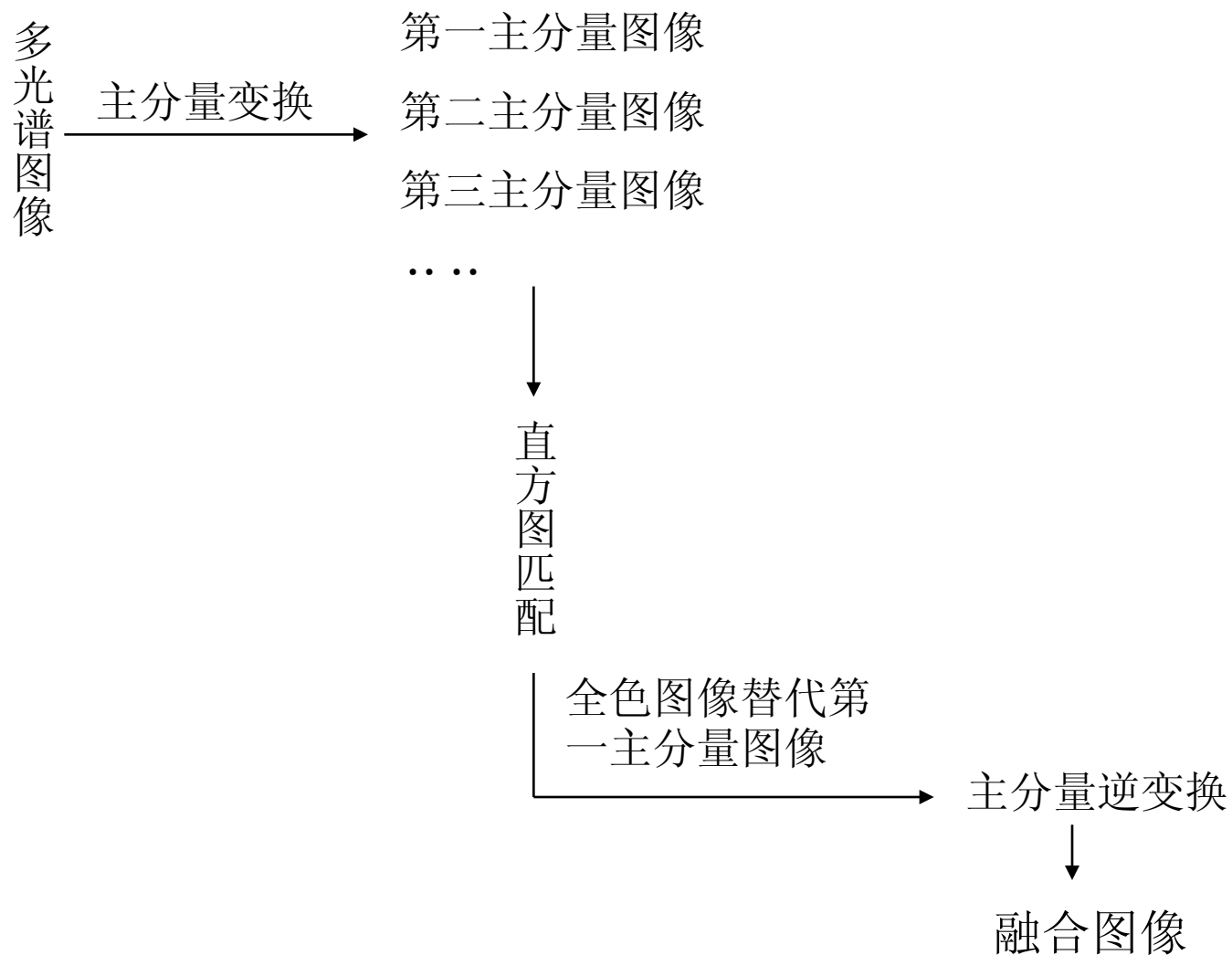
**RGB→IHS→用高分辨率图像替换I分量→RGB**

融合过程：

- (1) 几何配准、重采样；
- (2) 多光谱图像**HIS**变换；
- (3) 直方图匹配；
- (4) 用全色图像替代**I** 分量；
- (5) **HIS**逆变换。

例：TM图像的全色波段与多光谱图像的融合。

# 基于主分量变换的图像融合（K—L变换法）



# 图像融合的效果评价

## ➤定性评价

目视判读为主。因人而异，有主观性。

## ➤定量评价

从图像包含的信息量和分类精度两方面进行评价。

# 定量评价指标

## 1、平均梯度

$$G = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} [\Delta x f(i, j)^2 + \Delta y f(i, j)^2]^{\frac{1}{2}}$$

G越大，图像层次越多，图像越清晰。

## 2、熵与联合熵

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} P_i \log_2 P_i$$

$$H(x_1, x_2, x_3) = - \sum_{i_1, i_2, i_3=0}^{255} P_{i_1, i_2, i_3} \log_2 P_{i_1, i_2, i_3}$$

熵越大，则图像包含的信息越丰富。

## 3、用融合后的图像进行分类，以分类的精度来评价融合图像的质量



#### 4、其它指标:

(1) 偏差指数

$$D = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \frac{|f_A(i, j) - f_B(i, j)|}{f_B(i, j)}$$

(2) 相关系数

$$r = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f_A(i, j) - \bar{f}_A)(f_B(i, j) - \bar{f}_B)}{\left[ \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f_A(i, j) - \bar{f}_A)^2 \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f_B(i, j) - \bar{f}_B)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

(3) 均值偏差

$$b_m = \frac{|m_{f_A} - m_{f_B}|}{m_{f_B}}$$

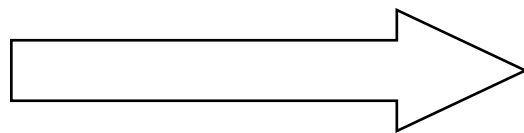
(4) 方值偏差

$$b_V = \frac{|V_{f_A} - V_{f_B}|}{V_{f_B}}$$

# 遥感图像与DEM复合

遥感图像

DEM



三维景观



谢谢