

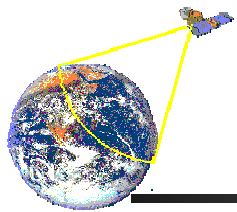
数字图像处理与分析

第五章 图像增强2

刘定生

中科院中国遥感卫星地面站

2004年春季学期



■ 第五章 图像增强（2）

➤ 图象增强引言

➤ 空域处理

- ✓ 点运算增强

- ✓ 直方图增强

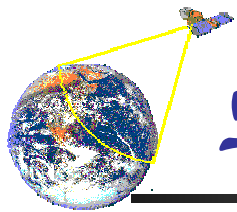
- ✓ 彩色图象增强

- ✓ 空域模板滤波

➤ 频域处理

- ✓ 频域滤波

- ✓ 从频域规范产生空域模板



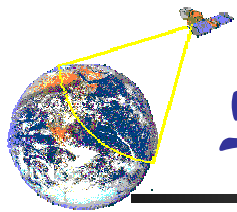
空域处理——直方图增强

■ 直方图均衡化

- 一种自动调节图象对比度质量的算法
- 使用的方法是灰度级变换: $s = T(r)$
- 基本思想是通过灰度级 r 的概率密度函数 $p(r_k)$, 求出灰度级变换 $T(r)$

■ 直方图均衡化的技术要点:

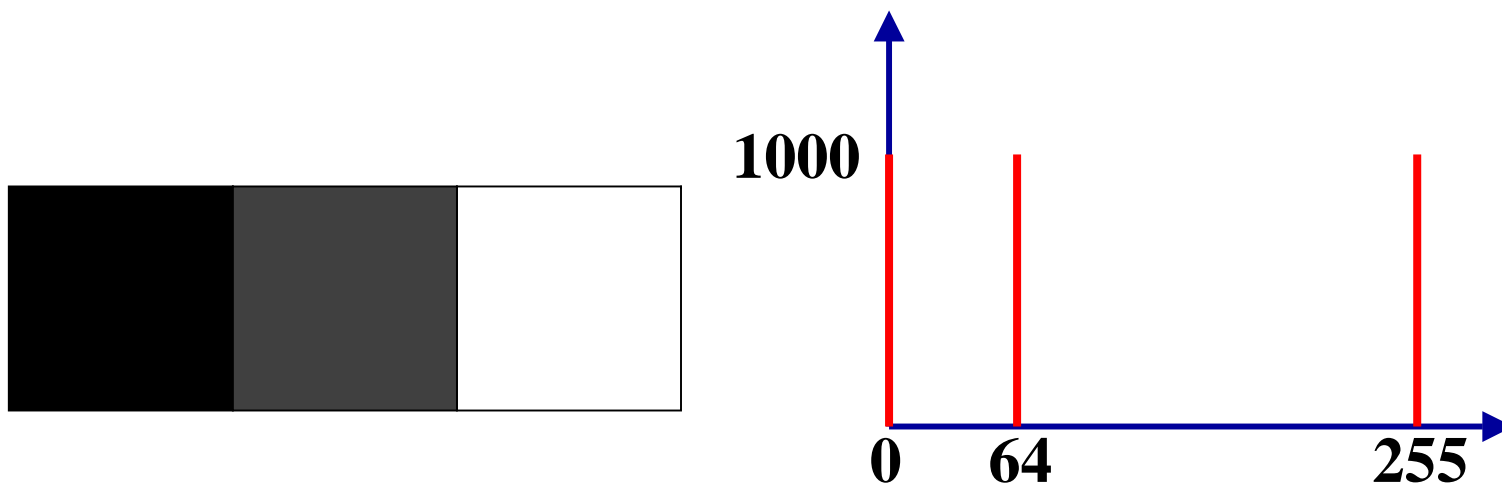
- 公理: 直方图 $p(r_k)$, 为常数的图象对比度最好
- 目标: 寻找一个灰度级变换 $T(r)$, 使结果图象的直方图 $p(s_k)$ 为一个常数

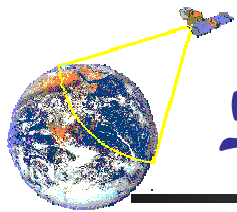


空域处理—直方图增强

直方图均衡过程中的特殊问题:

有图象 $f(x,y)$: 宽300, 高100, 像素偏暗





空域处理—直方图增强

计算变换T:

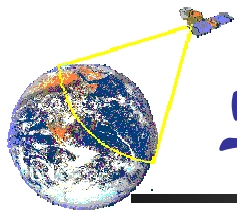
$$T(0) = 1000/3000 * 255 = 85$$

$$T(63) = T(62) + 0/3000 = 85$$

$$T(64) = (1000/3000 + 1000/3000) * 255 = 170$$

$$T(254) = T(253) + 0/30000 = 170$$

$$T(255) = (1000/3000 + 1000/3000 + 1000/3000) * 255 = 255$$



空域处理—直方图增强

得到变换函数

$$T(0) = 85$$

...

$$T(63) = 85$$

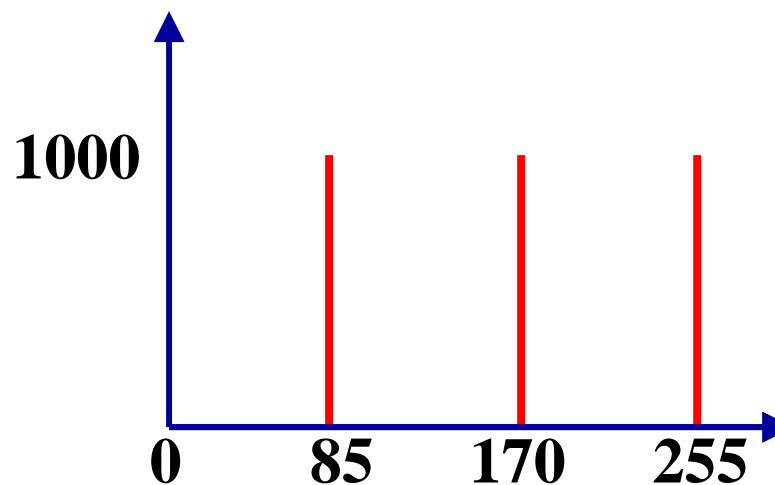
$$T(64) = 170$$

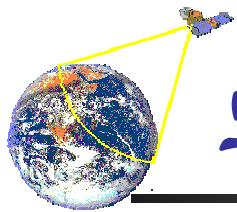
...

$$T(254) = 170$$

$$T(255) = 255$$

变换后的图象和直方图

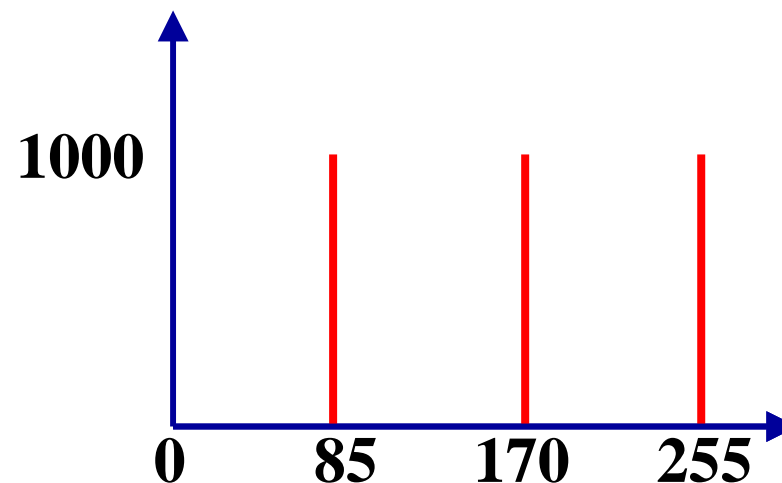
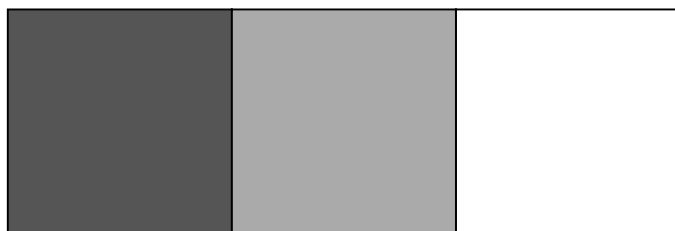




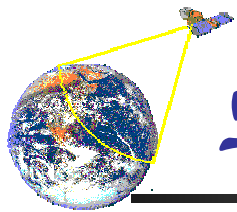
空域处理—直方图增强

问题:

图象最暗处依赖于原图像0灰阶像素的个数有偏亮的倾向。



矫正: $X_0 = [(X_i - 85) / (255 - 85)] * 255$



空域处理—直方图增强

矫正后变换函数为：

$$T(0) = 0$$

...

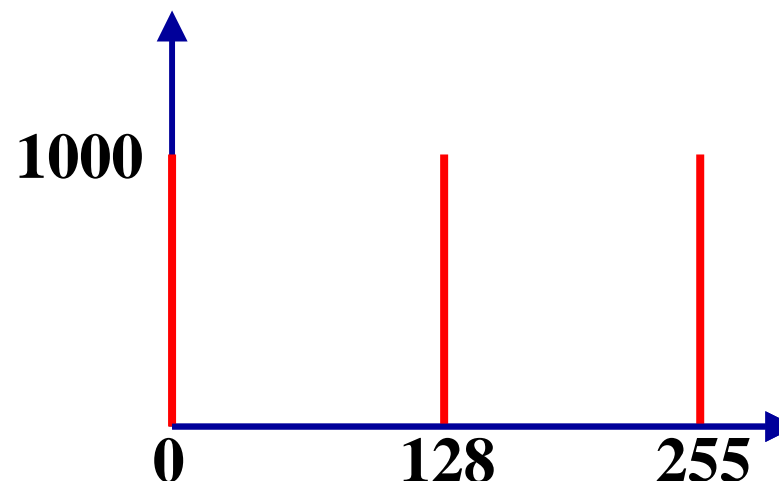
$$T(63) = 0$$

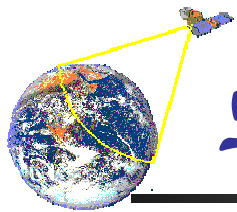
$$T(64) = 128$$

...

$$T(254) = 128$$

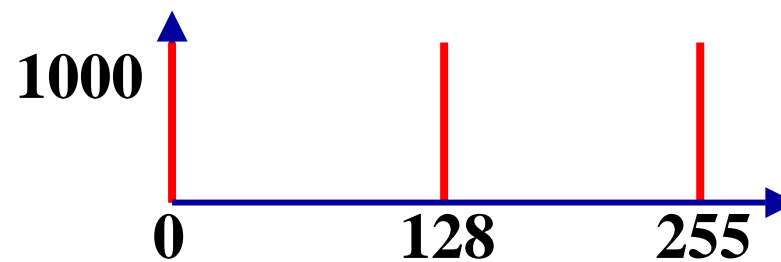
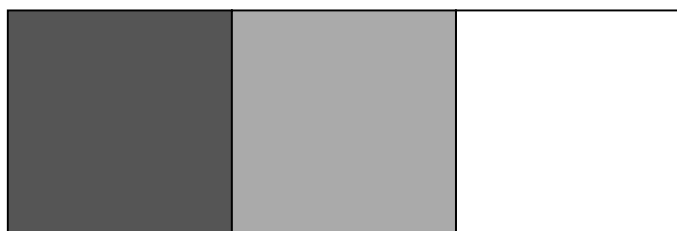
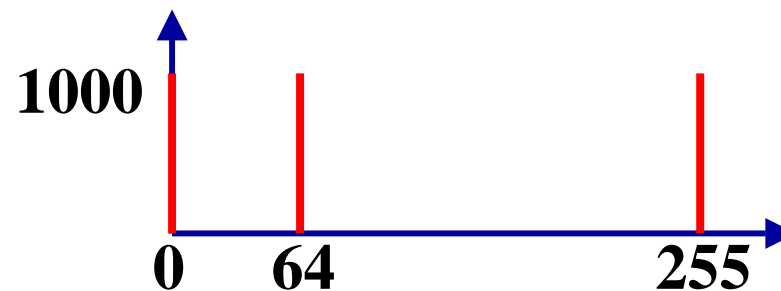
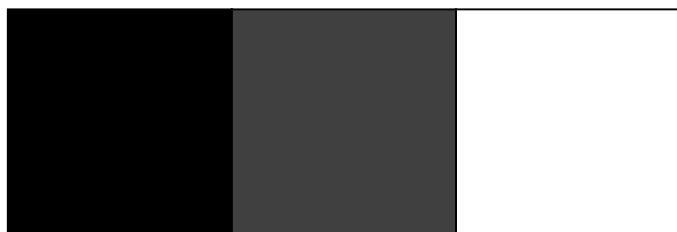
$$T(255) = 255$$

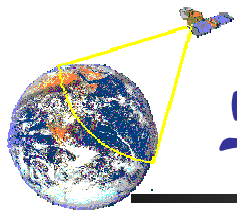




空域处理—直方图增强

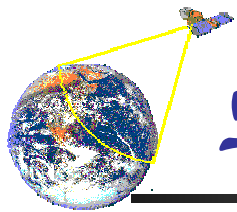
矫正前后的比较





空域处理—直方图增强

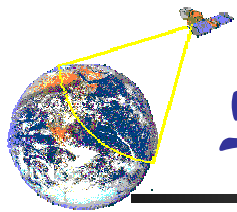
- 直方图均衡化的物理解释
 - 不改变灰度出现的次数，所改变的是出现次数所对应的灰度级。由此不改变图象的信息结构
 - 力图使等长区间内出现的像素数接近相等



空域处理—直方图增强

■ 直方图匹配基本设想

- **直方图均衡化的缺陷**：不能用于交互方式的图象增强应用，因为直方图均衡化只能产生唯一一个结果，恒定值直方图近似
- 直方图均衡并不总是能产生希望的结果。尤其当原始图像的直方图十分集中时，直方图均衡后将可能产生**假边沿或区域**，同时增强图像的条纹或斑点
- 希望通过一个指定的函数或用交互方式产生一个特定的直方图。根据这个直方图确定一个灰度级变换 $T(r)$ ，使由 T 产生的新图象的直方图符合指定的直方图



空域处理—直方图增强

■ 直方图匹配

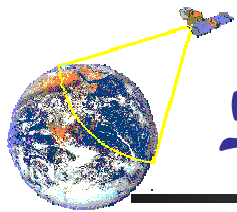
➤ 算法基本思路与设计：设：

✓ $\{r_k\}$ 是原图象的灰度

✓ $\{z_k\}$ 是符合指定直方图结果图象的灰度

我们的目标是：找到一个灰度级变换 H ，有：

$$z = H(r)$$



空域处理—直方图增强

■ 直方图匹配

➤ 算法基本思路与设计:

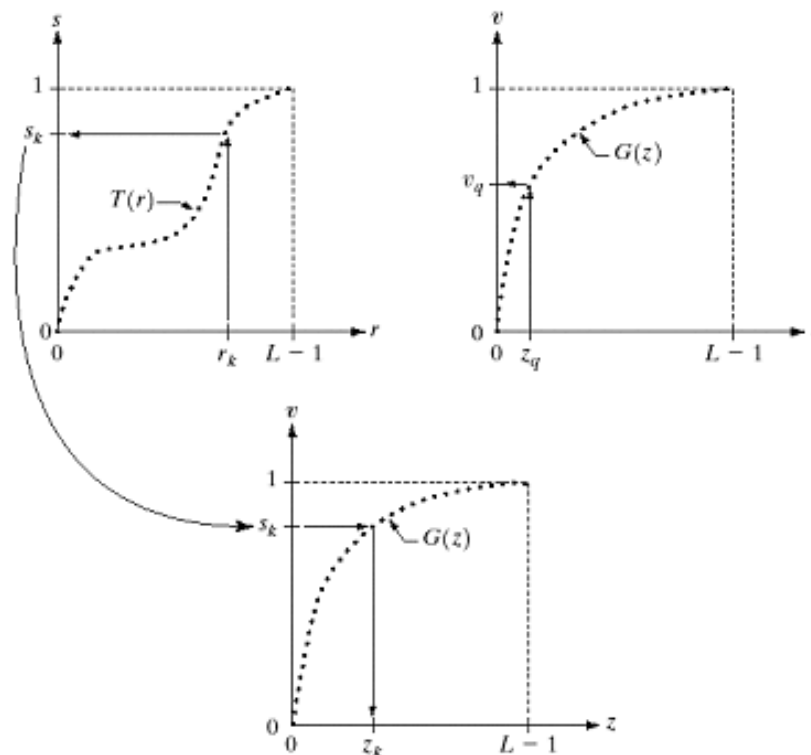
1) 对 $\{r_k\}$ 、 $\{z_k\}$ 分别做直方图均衡化

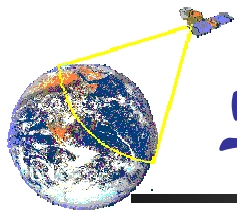
$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w) dw \quad 0 \leq r \leq 1$$

$$v = G(z) = \int_0^z p_z(w) dw \quad 0 \leq z \leq 1$$

2) 求G变换的逆变换

$$z = G^{-1}(v)$$





空域处理—直方图增强

■ 直方图匹配

➤ 算法基本思路与设计:

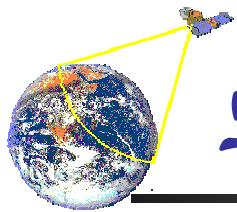
3) 根据均衡化的概念, s, v 的直方图都是常量, 由此可用 s 替代 v 进行上述逆变换:

$$z = G^{-1}(s)$$

4) 由直方图变换的线性特性, 可有 G^{-1} 和 T 的复合变换:

$$z = G^{-1}(T(r)) = G^{-1}T(r)$$

$$H = G^{-1}T$$



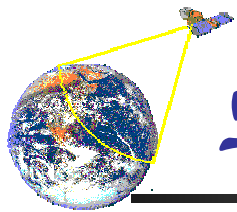
空域处理—直方图增强

■ 直方图匹配

➤ 算法实现流程:

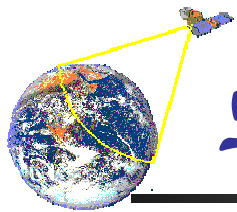
- 1) 求出灰度级变换 T
- 2) 求出灰度级变换 G , 同时求出逆变换 G^{-1}
- 3) 通过 T 和 G^{-1} 求出复合变换 H
- 4) 用 H 对图象做灰度级变换

➤ 直方图匹配实例



空域处理——彩色图像增强

- 彩色图象增强
 - 在**RGB**模型上增强
 - 在**HSI**模型上增强
 - 伪彩色图象处理

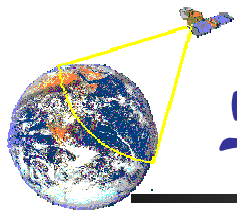


空域处理——彩色图像增强

■ 在RGB模型上增强——彩色平衡

➤ 与彩色平衡相关的几个定义

- ✓ **偏色**：采样过程中，由于设备、环境的原因会造成图象的三个颜色分量不同的变换关系，使图象中所有物体的颜色偏离了其原有的真实色彩，这种现象被称为偏色。如图象的灰色部分带有了颜色



空域处理——彩色图像增强

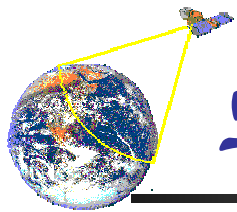
➤ 与彩色平衡相关的几个定义

✓ **灰平衡**: 使RGB彩色设备的彩色分量混合后, 颜色失去色调和饱和度产生灰色, 这种颜色混合效果被称为灰平衡, 一般情况下, 等量的RGB产生灰色。

✓ **彩色平衡**: 纠正偏色的过程叫作彩色平衡。

➤ 彩色平衡的实现, 是通过调整灰平衡, 使偏色区域, 恢复成灰色来达到的。

➤ 当灰色的亮度达到一定程度时, 显现为白色, 因此有时亦称之为白平衡调整



空域处理——彩色图像增强

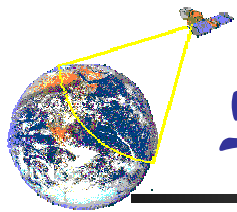
➤ 如何判断彩色图象的偏色

- ✓ 检查图象的灰平衡（白平衡）情况，即检查在现实中应该是灰色（白色）的物体，在图象中是否是灰色（白色）

例如：某黑色区域的平均取值是：

$R = 0$, $G = 12$, $B = 7$ 说明有青色色偏

- ✓ 检查高饱和度的颜色是否正常，即检查在现实中应该是纯色的物体，在图象中是否有偏色



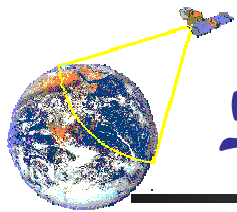
空域处理—彩色图像增强

➤ 彩色平衡实现的算法

选择两个颜色分量(如**RB**)，去匹配第三个(如**G**)

- ✓ 在图象中选取两个浅灰或深灰区域（这些区域也许已经不是灰色）
- ✓ 计算这两个域的**RGB**平均值，设为

$$F_1 = (R_1, G_1, B_1) \quad F_2 = (R_2, G_2, B_2)$$



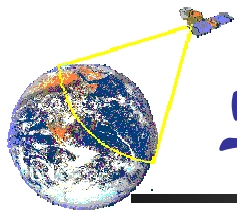
空域处理——彩色图像增强

➤ 彩色平衡实现的算法

- ✓ 以G分量为基准，修改R和B分量使之等于G，可有对应关系：

$$F_1 = (R_1, G_1, B_1) \Rightarrow F_1^* = (R_1^*, G_1, B_1^*) \\ = (G_1, G_1, G_1)$$

$$F_2 = (R_2, G_2, B_2) \Rightarrow F_2^* = (R_2^*, G_2, B_2^*) \\ = (G_2, G_2, G_2)$$



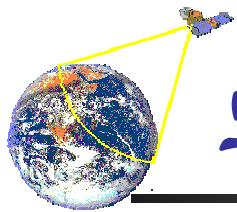
空域处理——彩色图像增强

➤ 彩色平衡实现的算法

✓ 由前述变换关系，可构建线性变换：

$$\left. \begin{aligned} R_1^* &= G_1 = k1 * R_1 + k2 \\ R_2^* &= G_2 = k1 * R_2 + k2 \end{aligned} \right\} \text{ 求出： } k1 \text{ 和 } k2$$

$$\left. \begin{aligned} B_1^* &= G_1 = l1 * B_1 + l2 \\ B_2^* &= G_2 = l1 * B_2 + l2 \end{aligned} \right\} \text{ 求出： } l1 \text{ 和 } l2$$



空域处理—彩色图像增强

➤ 彩色平衡实现的算法

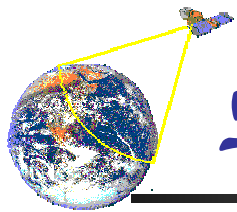
✓ 分别对**R**、**G**、**B**图像实施变换:

$$R(x, y)^* = k1 * R(x, y) + k2$$

$$B(x, y)^* = l1 * B(x, y) + l2$$

$$G(x, y)^* = G(x, y)$$

✓ 得到彩色平衡图像



空域处理——彩色图像增强

➤ 彩色平衡实现的算法举例

设：在图象中选取两个浅灰或深灰区域，并计算这两个域的**RGB**平均值，得：

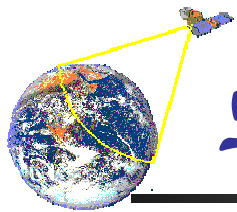
$$R1 = 25 ; G1 = 31; B1 = 37$$

$$R2 = 75 ; G2 = 79; B2 = 77$$

调整**G**、**B**去匹配**R**。从而有线性变换中的两变换点

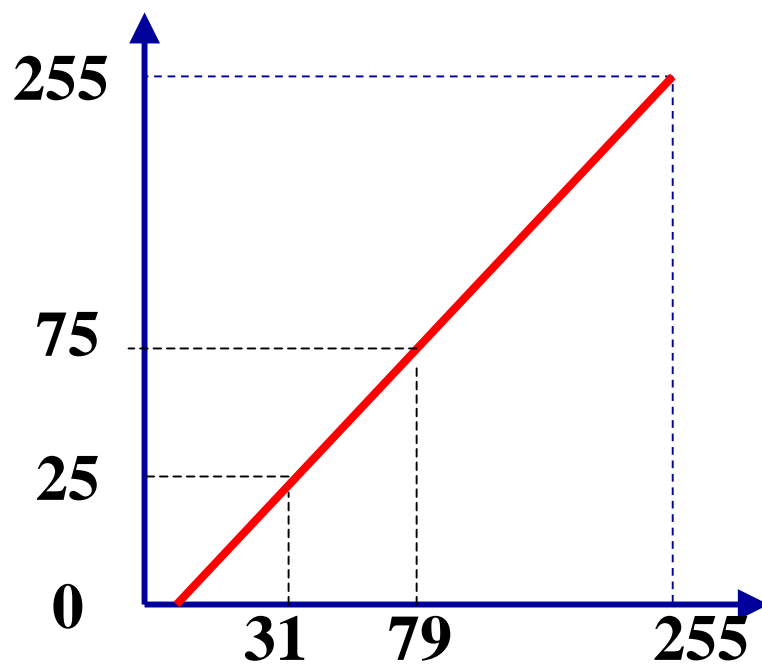
$$G: 31 \Rightarrow 25; 79 \Rightarrow 75$$

$$B: 37 \Rightarrow 25; 77 \Rightarrow 75$$

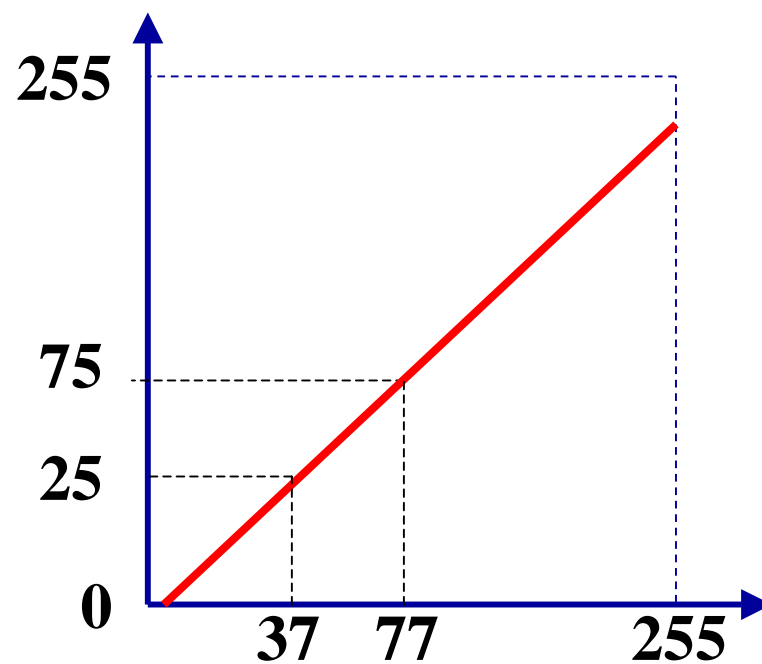


空域处理—彩色图像增强

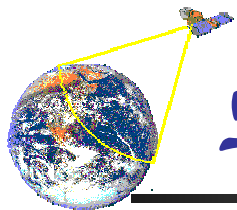
➤ 由上述两变换点，形成变换函数图形如下：



G变换函数



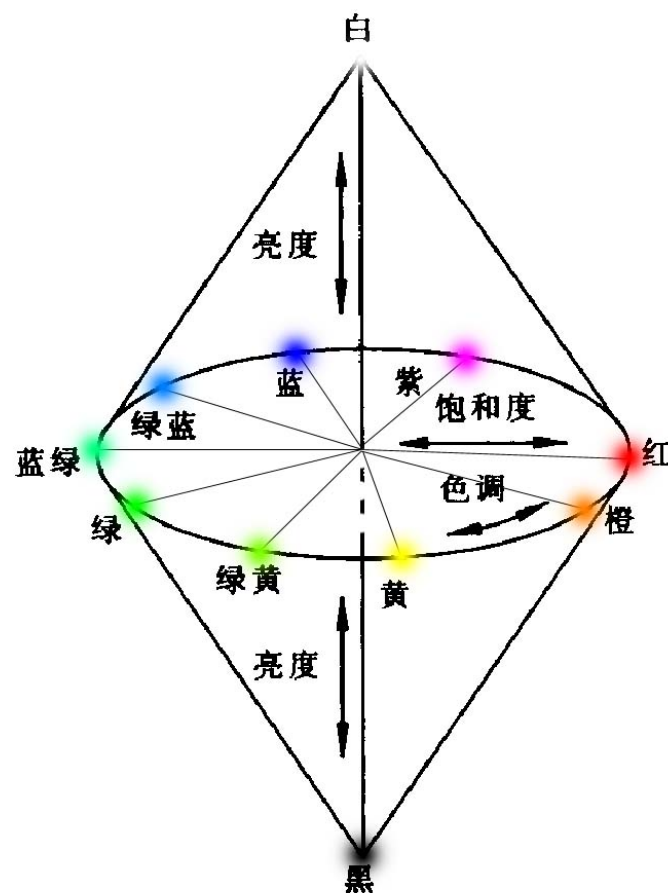
B变换函数

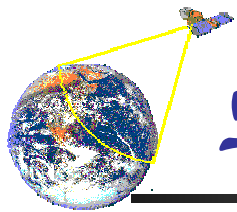


空域处理—彩色图像增强

■ 在HSI模型上增强

- 通过色调进行处理
- 通过亮度进行处理
- 通过颜色饱和度进行处理





空域处理——彩色图像增强

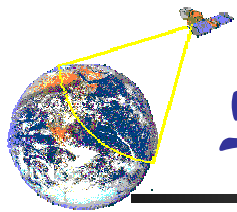
■ 通过色调进行处理

➤ 基本思想

- ✓ 将图象转换到HSI色空间
- ✓ 对指定色调值H进行调整, $H' = H \pm \Delta h$

➤ 主要应用

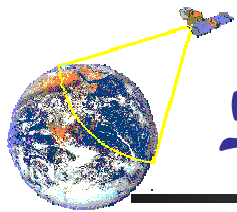
- ✓ 改变图像的气氛（如暖色和冷色的气氛变化，早晚气氛的变化）
- ✓ 换色（对指定色调的颜色进行更换）、去色



空域处理—彩色图像增强

- 通过亮度进行处理
 - 基本思想
 - ✓ 将图象转换到HSI色空间
 - ✓ 对指定亮度值I，乘上一个调整量 ΔI

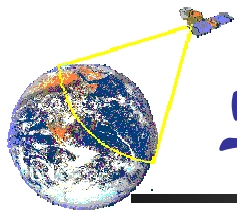
$$I' = I * \Delta I$$



空域处理——彩色图像增强

➤ 主要应用:

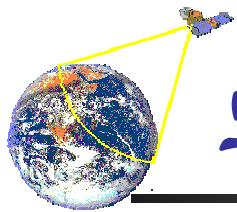
- (1) 对每个象素的亮度分量上乘一个大于1的常量（如1.3），使得图象变得更明亮，提高图象的亮度
- (2) 对每个象素的亮度分量上乘一个小于1的常量（如0.8），使得图象的亮度降低。
- (3) 有选择地调整图象的亮度，可以以色调、选区作为是否进行亮度处理的根据。例如只对红色调提高亮度。
- (4) 对亮度分量进行直方图均衡化



空域处理—彩色图像增强

- 通过颜色饱和度进行处理
 - 基本思想
 - ✓ 将图象转换到HSI色空间
 - ✓ 对指定亮度值S，乘上一个量 ΔS

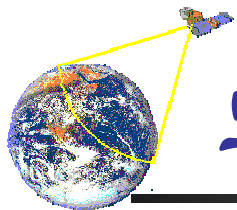
$$S' = S * \Delta S$$



空域处理—彩色图像增强

➤ 主要应用:

- (1) 对每个象素的饱和度分量乘一个大于1的常量（如1.3），使得图象的颜色更为鲜明
- (2) 对每个象素的饱和度分量乘一个小于1的常量（如0.8），使得图象的颜色的鲜明度降低。
- (3) 有选择地调整图象的颜色饱和度，可以以色调、选区作为是否进行饱和度处理的根据。例如只对红色调提高饱和度



空域处理——彩色图像增强

■ 伪彩色增强

- 人类可以分辨比灰度层次更多的颜色种类
- 将灰度图像变换为彩色图像——伪彩色图像
- 方法：伪彩色变换，密度分割

➤ 伪彩色变换法——独立映射表变换法

✓ 对灰度图像 $f(x, y)$ ，建立颜色映射表：

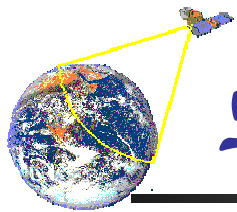
$$I_R = T_R(I) \quad I_G = T_G(I) \quad I_B = T_B(I)$$

✓ 形成RGB图像各分量为：

$$R(x, y) = T_R(f(x, y))$$

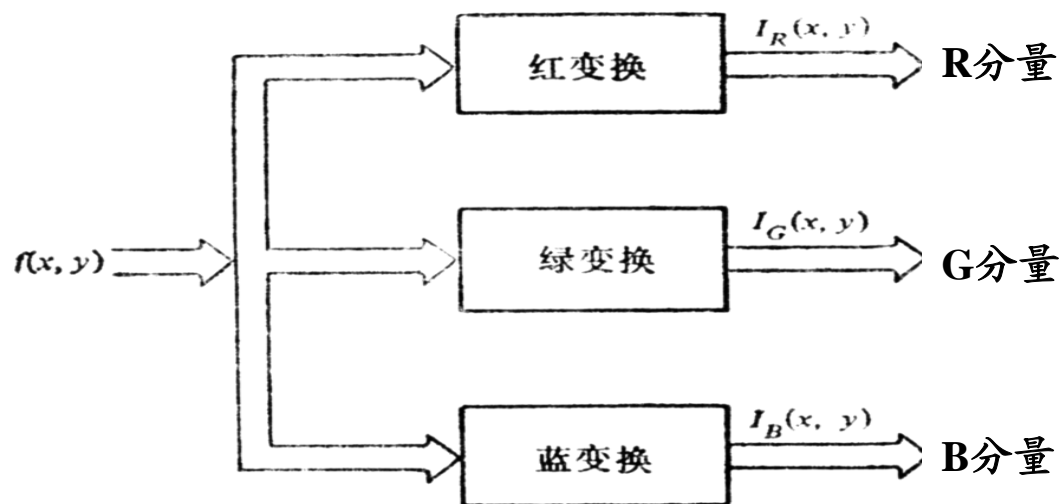
$$G(x, y) = T_G(f(x, y))$$

$$B(x, y) = T_B(f(x, y))$$



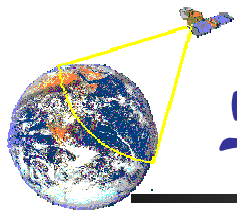
空域处理—彩色图像增强

➤ 伪彩色变换流程



➤ 变换函数构建方法

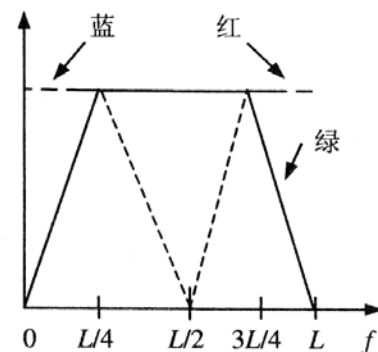
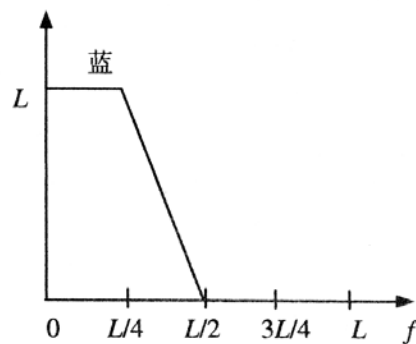
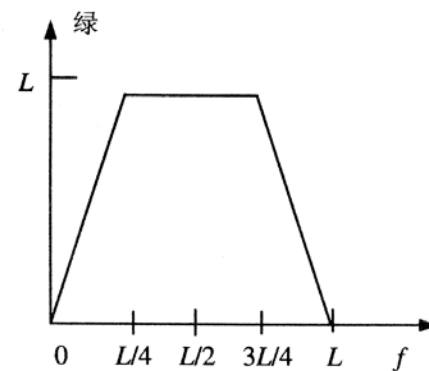
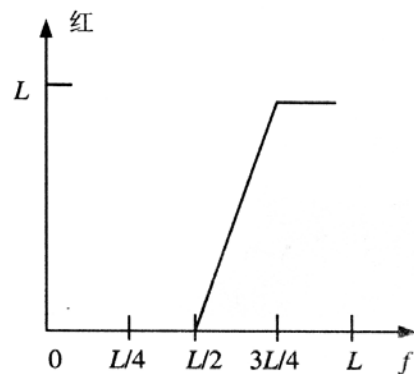
- ✓ 线性变换函数、正弦函数、直方图法

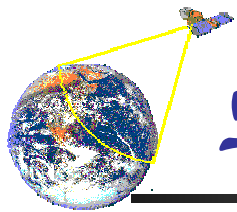


空域处理—彩色图像增强

➤ 经典变换函数（映射表）

✓ 分段线性映射表

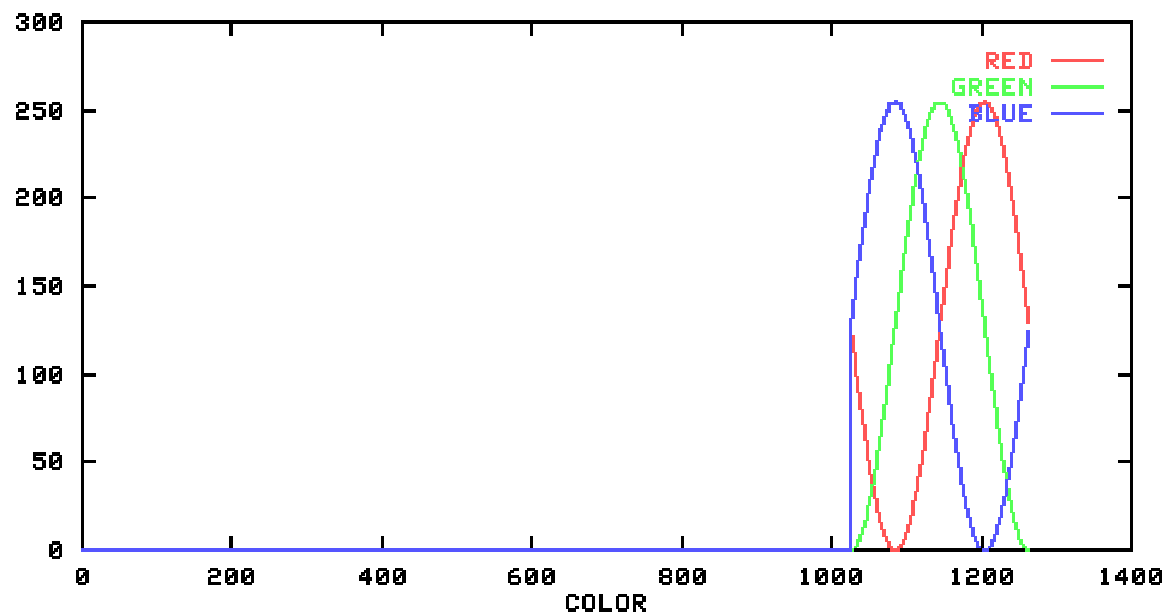




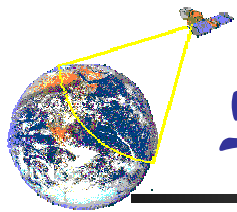
空域处理—彩色图像增强

➤ 经典变换函数（映射表）

- ✓ 彩虹映射表：其效果类似彩虹；按照灰度值增加对应于波长增加进行映射（低灰度→蓝色，中灰度→绿色，高灰度→红色）
- ✓ 正弦函数变换表 移动函数值范围以适应实际图像像素值范围



- ✓ 其他映射法应用实例



空域处理—彩色图像增强

➤ 密度分割法

- ✓ 按照一幅图像的亮度值变化范围，按一定规则进行分割，划分成若干等级（相当于对图像的密度值进行分割，分成若干等级）
- ✓ 每一等级用一种颜色表示，形成假彩色密度分割图像
- ✓ 分割方法
 - ❖ 等密度分割法、非等密度分割法

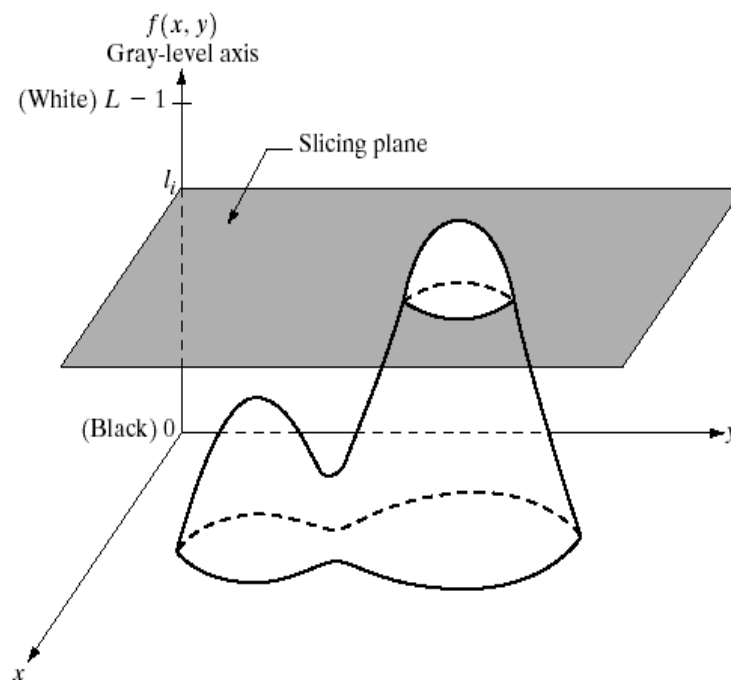
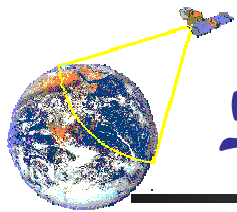


FIGURE 6.18 Geometric interpretation of the intensity-slicing technique.

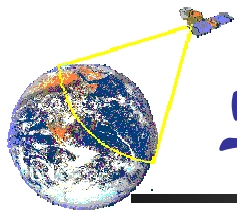


空域处理—彩色图像增强

➤ 等密度分割法

- ✓ 对图像中各像元亮度值进行统计，确定其最小值 (I_{\min}) 和最大值 (I_{\max})
- ✓ 确定分割的等级数 (N)，计算出分割的间隔 ΔI ，即

$$\Delta I = (I_{\max} - I_{\min}) / N$$



空域处理——彩色图像增强

➤ 等密度分割法

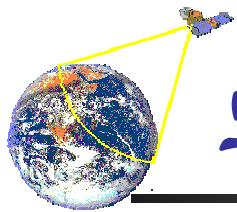
- ✓ 对输入图像的每一像元进行亮度值转换

令像元亮度值为 $S(i, j)$ ，按下式进行判断和转换：

若 $I_{\min} < S(i, j) \leq I_{\min} + \Delta I$	则令 $S(i, j) = 0$
$I_{\min} + \Delta I < S(i, j) \leq I_{\min} + 2\Delta I$	则令 $S(i, j) = 1$
\vdots	\vdots
$I_{\min} + (N-1)\Delta I < S(i, j) \leq I_{\min} + N\Delta I$	则令 $S(i, j) = N$

- ✓ 为像元新值赋色

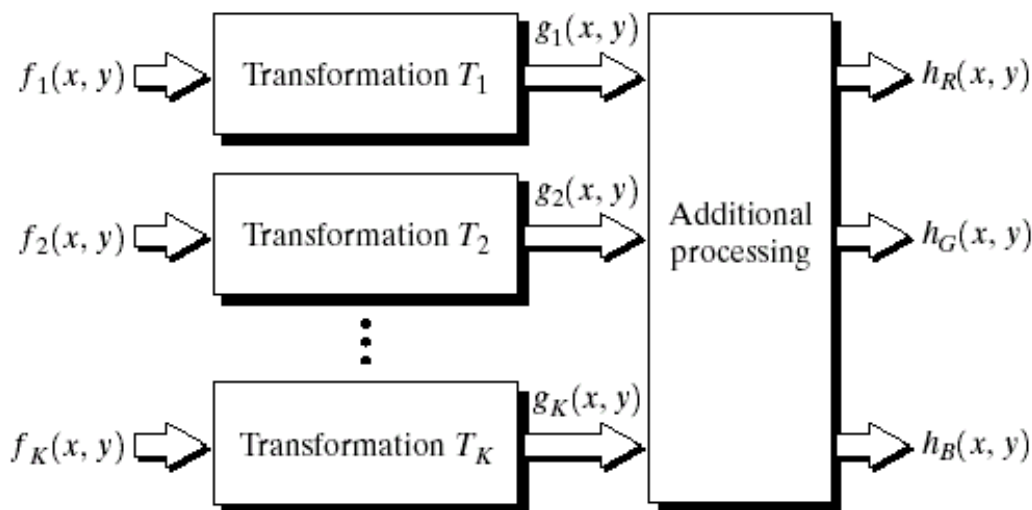
➤ 伪彩色图象增强应用实例



空域处理——彩色图像增强

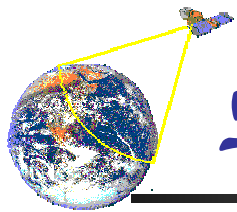
➤ 多波段合成伪彩色显示

- ✓ 若对同一物体在不同波长获得多幅图像，可采用多种变换方式，最后合成为R、G、B图像，进而形成伪彩色图像显示



应用实例1: 木卫一伪彩色图像

应用实例2: 北京地区TM图像的伪彩色显示



空域处理——模板滤波基础

■ 空域滤波

1) 空域滤波的基本概念

➤ 空域滤波的定义、分类

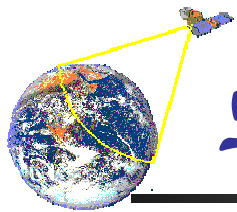
2) 平滑滤波

➤ 基本低通滤波、中值滤波

3) 锐化滤波

➤ 基本高通滤波、高增益滤波、微分滤波

4) 模板滤波综合应用



空域处理——模板滤波基础

1) 空域滤波处理的基本概念

■ 理论基础——线性系统响应：卷积理论

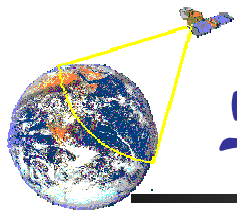
- 卷积的离散表达式，基本上可以理解为模板运算的数学表达方式

$$g(x,y) = f * h = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m,n)h(x-m, y-n)$$

- 由此，卷积的冲击响应函数 $h(x,y)$ ，称为空域卷积模板

■ 空域滤波及滤波器的定义

使用空域模板进行的图像处理，被称为空域滤波。模板本身被称为空域滤波器



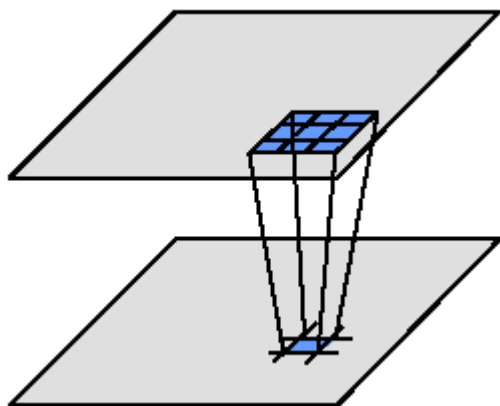
空域处理——模板滤波基础

1) 空域滤波处理的基本概念

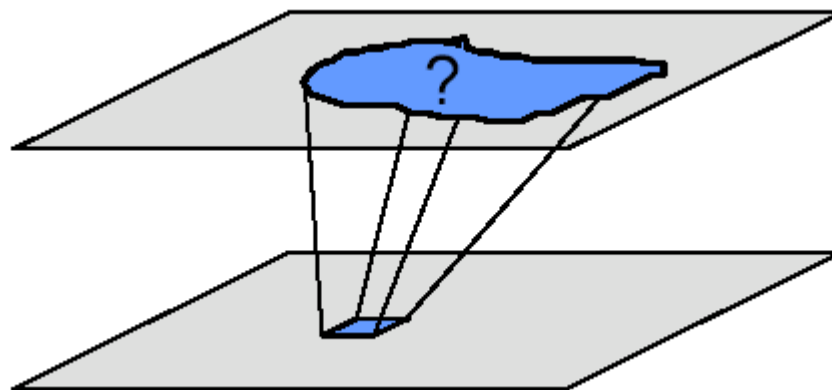
■ 另一种角度

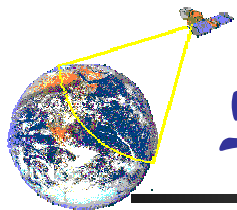
- 输出图像中的每一点，为输入图像中某个相关区域像素集的映射

规则映射



非规则映射

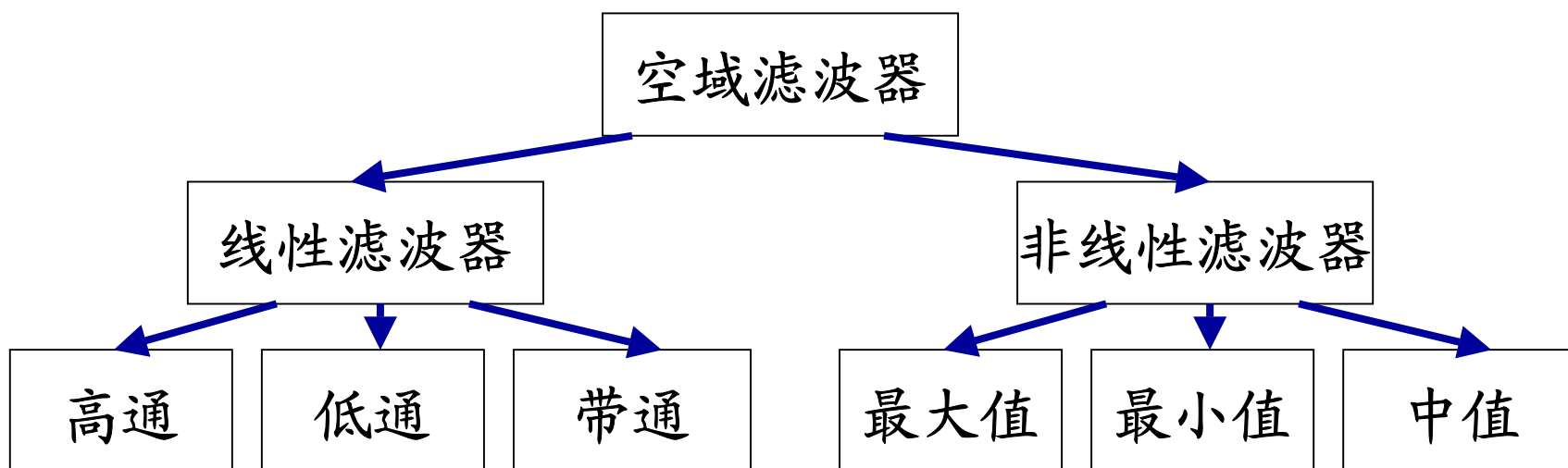




空域处理—模板滤波基础

■ 空域滤波器的分类

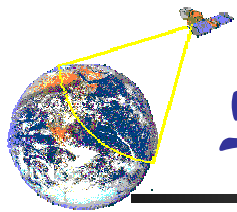
✓ 数学形态分类



✓ 处理效果分类

平滑滤波器

锐化滤波器



空域处理——模板滤波基础

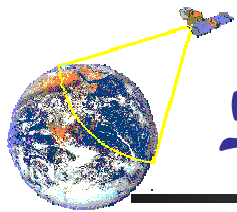
➤ 线性滤波器定义

- ✓ 线性滤波器是线性系统和频域滤波概念在空域的自然延伸。其特征是结果像素值的计算由下列公式定义：

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \dots + w_n z_n$$

其中： w_i $i = 1, 2, \dots, n$ 是模板的系数

z_i $i = 1, 2, \dots, n$ 是被计算像素及其邻域像素的值



空域处理——模板滤波基础

➤ 线性滤波器分类

✓ 低通滤波器

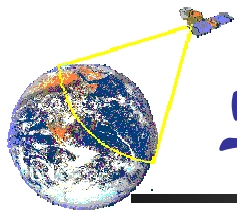
❖ 主要用途：平滑图像、去除噪音

✓ 高通滤波器

❖ 主要用途：边缘增强、边缘提取

✓ 带通滤波器

❖ 主要用途：删除特定频率、增强中很少用

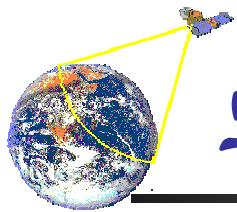


空域处理——模板滤波基础

➤ 非线性滤波器定义

- ✓ 使用模板进行结果像素值的计算，结果值直接取决于像素邻域的值，而不使用乘积和的计算

$$\mathbf{R} \neq \mathbf{w}_1 \mathbf{z}_1 + \mathbf{w}_2 \mathbf{z}_2 + \dots + \mathbf{w}_n \mathbf{z}_n$$



空域处理——模板滤波基础

➤ 非线性滤波器分类

✓ 中值滤波

❖ 主要用途：平滑图像、去除噪音

❖ 计算公式： $R = \text{mid} \{z_k \mid k = 1, 2, \dots, 9\}$

✓ 最大值滤波

❖ 主要用途：寻找最亮点

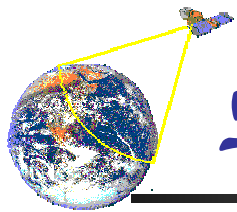
❖ 计算公式： $R = \max \{z_k \mid k = 1, 2, \dots, 9\}$

✓ 最小值滤波

❖ 主要用途：寻找最暗点

❖ 计算公式： $R = \min \{z_k \mid k = 1, 2, \dots, 9\}$

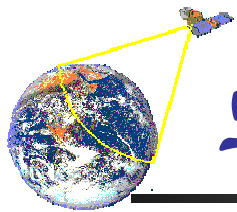
✓ 最大、最小值滤波实例



空域处理——模板滤波基础

■ 平滑滤波器

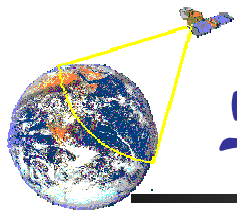
- (1) 平滑滤波器的主要用途
- (2) 基本低通滤波
- (3) 中值滤波



空域处理——模板滤波基础

(1) 平滑滤波器的主要用途

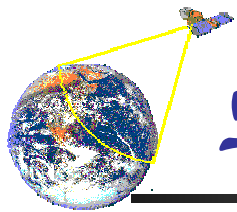
- 对大图像处理前，删去无用的细小细节
- 连接中断的线段和曲线
- 降低噪音
- 平滑处理，恢复过分锐化的图像
- 图像创艺（阴影、软边、朦胧效果）



空域处理——模板滤波基础

(2) 基本低通滤波

- 滤波器模板系数的设计
- 模板尺寸对滤波器效果的影响
- 低通空域滤波的缺点和问题
- 算法实现和提高效率



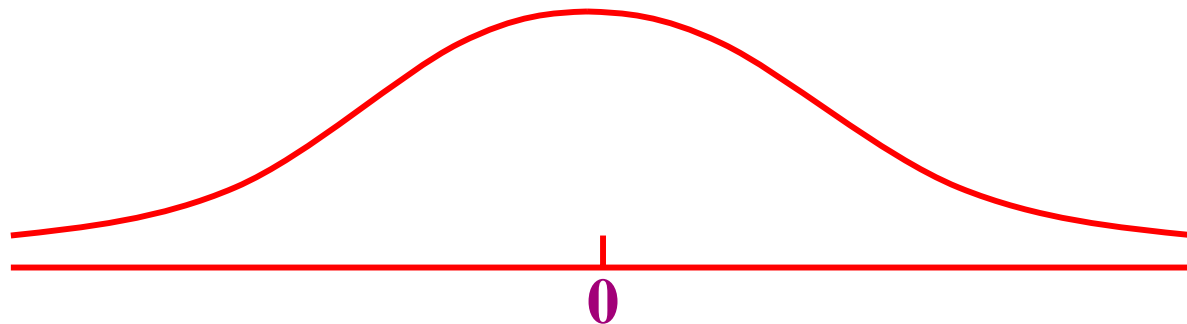
空域处理——模板滤波基础

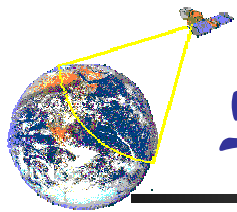
➤ 滤波器模板系数的设计

- ✓ 根据空域中低通冲激响应函数的图形来设计模板的系数

例如，选择高斯函数作为冲激函数

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y)$$





空域处理——模板滤波基础

➤ 几种简单低通滤波器

✓ 均值滤波器——局部平均法

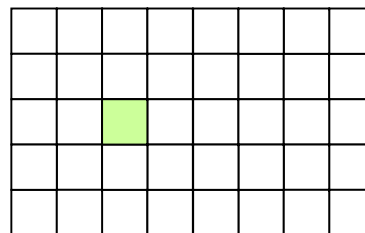
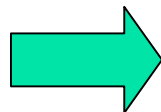
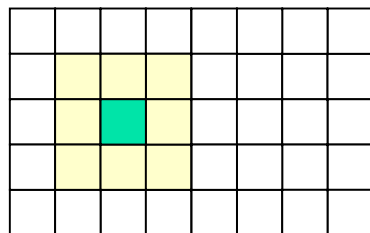
❖ 待处理像素点的值，等于其周围相邻像素的全体像素的平均值

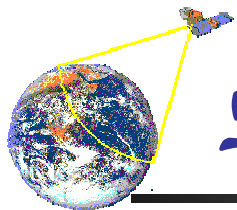
$f(i, j)$ -- 表示 (i, j) 点的实际灰度值

$g(i, j)$ -- 变换后输出图像 (i, j) 点的实际灰度值

以 (i, j) 点为中心取一个 $N \times N$ 的窗口 ($N = 3, 5, 7, \dots$)，窗口内像素组成的点集以 A 来表示，经邻域平均法滤波后，像素 (i, j) 的输出为

$$g(i, j) = \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y)$$





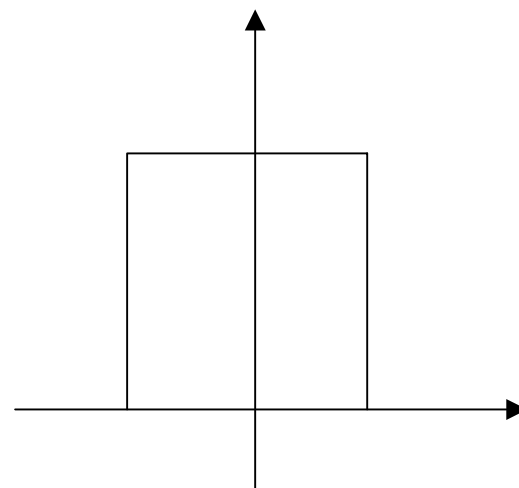
空域处理——模板滤波基础

✓ 从线性系统角度，均值滤波器冲激响应函数为一个矩形：

矩形（箱形）低通滤波器

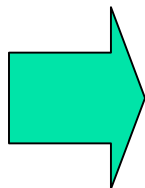
空域模板：

$$H = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

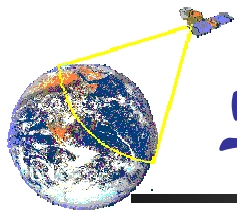


滤波过程：

1	2	1	4	3
1	2	2	3	4
5	7	6	8	9
5	7	6	8	8
5	6	7	8	9



1	2	1	4	3
1	3	4	4	4
5	4	5	6	9
5	6	7	8	8
5	6	7	8	9



空域处理——模板滤波基础

➤ 几种简单低通滤波器

✓ 加权平均滤波器

❖ 待处理像素点的值，等于其周围相邻像素的全体像素的加权平均值

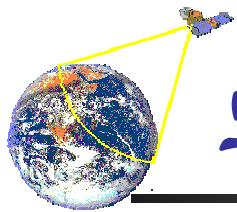
$$H_1 = \frac{1}{10} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_3 = \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_4 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{4} & 0 \\ \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{4} \\ 0 & \frac{1}{4} & 0 \end{bmatrix}$$

三角形滤波器



空域处理——模板滤波基础

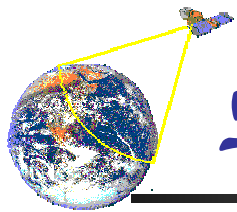
➤ 设计模板系数的原则

1) 大于0

2) 都选1，或中间选1，周围选0.5

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	1	1	1	0.5
0.5	1	1	1	0.5
0.5	1	1	1	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



空域处理——模板滤波基础

➤ 模板系数与像素邻域的计算

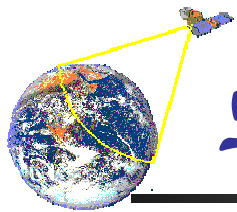
通过求均值，解决超出灰度范围问题

$1/25 *$

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

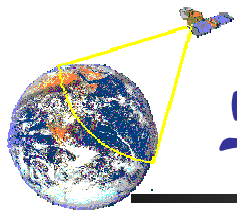
$1/17 *$

0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
0.5	1	1	1	0.5
0.5	1	1	1	0.5
0.5	1	1	1	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



空域处理——模板滤波基础

- 模板尺寸对滤波器效果的影响
 - ✓ 模板尺寸越大，图像越模糊，图像细节丢失越多
- 低通空域滤波的缺点和问题
 - ✓ 如果图像处理的目的是去除噪音，那么，低通滤波在去除噪音的同时也平滑了边和尖锐的细节
- 低通空域滤波的特殊特征
 - ✓ 某些情况下，对图像的低通滤波具有增强大尺度特征的作用



空域处理——模板滤波基础

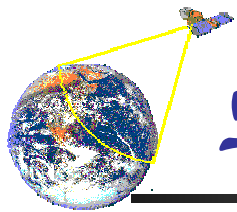
(3) 中值滤波

➤ 中值滤波的原理

- ✓ 用模板区域内象素的中值，作为结果值

$$R = \text{mid} \{z_k \mid k = 1, 2, \dots, 9\}$$

- ✓ 强迫突出的亮点（暗点）更象它周围的值，以消除孤立的亮点（暗点）



空域处理——模板滤波基础

➤ 中值滤波算法的实现

✓ 将模板区域内的像素排序，求出中值。

例如：3x3的模板，第5大的是中值，

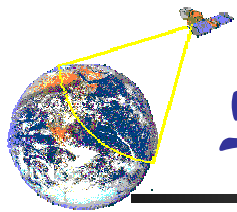
5x5的模板，第13大的是中值，

7x7的模板，第25大的是中值，

9x9的模板，第41大的是中值。

✓ 对于同值像素，连续排列后取中值。

如 (10,15,20,20,20,20,20,25,100)



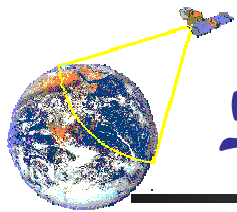
空域处理——模板滤波基础

➤ 中值滤波优点

- ✓ 抑制噪声

- ✓ 在去除噪音的同时，可以比较好地保留边缘轮廓信息和图像的细节

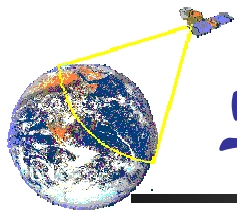
- ✓ 实例



空域处理——模板滤波基础

3) 锐化滤波器

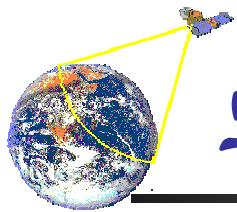
- (1) 锐化滤波器的主要用途
- (2) 基本高通滤波
- (3) 高增益滤波
- (4) 微分滤波器



空域处理——模板滤波基础

(1) 锐化滤波器的主要用途

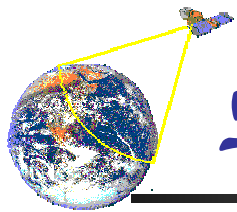
- 加强图像中景物的边缘和轮廓
- 印刷中的细微层次强调。弥补扫描、挂网对图像的平滑
- 超声探测成象，分辨率低，边缘模糊，通过锐化来改善
- 图像识别中，分割前的边缘提取
- 锐化处理恢复过度平滑、暴光不足的图像
- 图像创艺（只剩下边界的特殊图像）
- 尖端武器的目标识别、定位



空域处理——模板滤波基础

(2) 基本高通滤波

- 滤波器模板系数的设计
- 滤波器效果的分析
- 基本高通空域滤波的缺点和问题

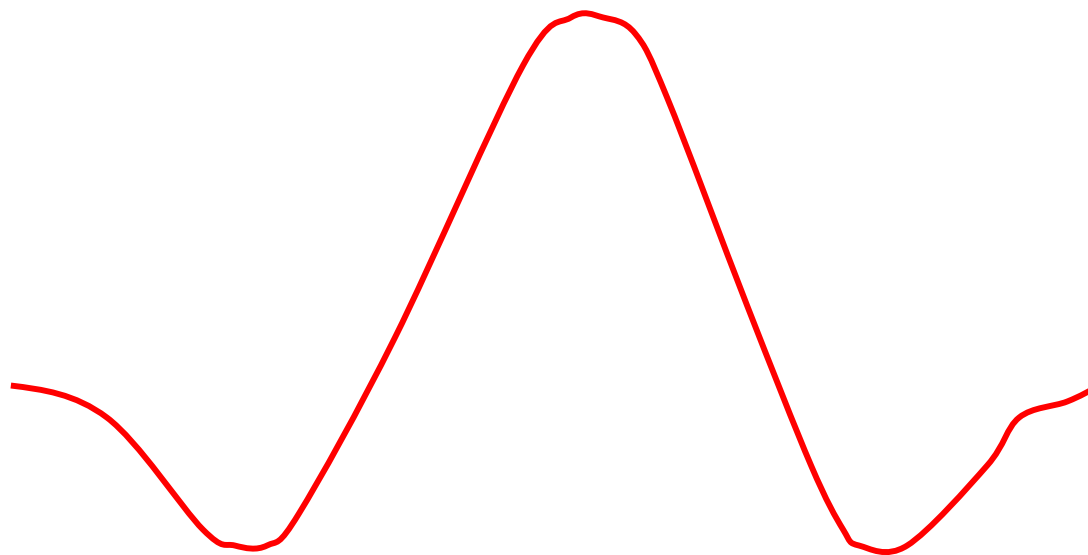


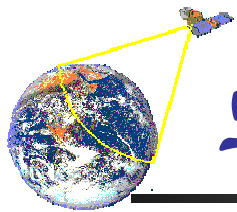
空域处理——模板滤波基础

➤ 滤波器模板系数的设计

- ✓ 根据空域中高通冲激响应函数的图形来设计模板的系数:

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y)$$



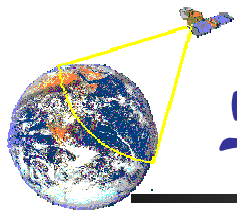


空域处理——模板滤波基础

➤ 设计模板系数的原则

- 1) 中心系数为正值，外围为负值
- 2) 系数之和为0

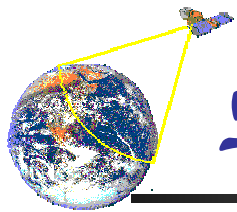
$$\frac{1}{25} * \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ \hline -1 & 1 & 8 & 1 & -1 \\ \hline -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$
$$\frac{1}{9} * \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$



空域处理——模板滤波基础

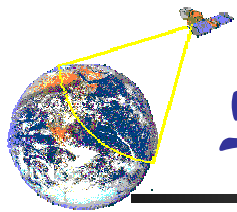
➤ 滤波器效果的分析

- ✓ 常数或变化平缓的区域，结果为0或很小，图像很暗，亮度被降低了
- ✓ 在暗的背景上边缘被增强了
- ✓ 图像的整体对比度降低了
- ✓ 计算时会出现负值，归0处理为常见



空域处理——模板滤波基础

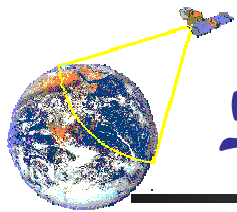
- 基本高通空域滤波的缺点和问题
 - ✓ 高通滤波在增强了边的同时，丢失了图像的层次和亮度
- 基本高通空域滤波的其它特征
 - ✓ 在某些情况下，高通滤波增强小尺度特征



空域处理——模板滤波基础

(2) 高增益滤波

- 高增益滤波的原理
- 滤波器扩大因子及模板系数的设计
- 高增益滤波模板尺寸的选定
- 高增益滤波器效果的分析



空域处理——模板滤波基础

➤ 高增益滤波的原理

- ✓ 弥补高通滤波的缺陷，在增强边和细节的同时，不丢失原图像的低频成分。

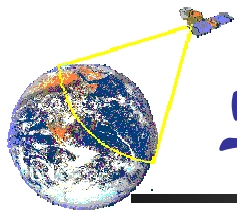
高通滤波可看作为：

$$\text{高通} = \text{原图} - \text{低通}$$

在上式原图上乘一个扩大因子A，

有高增益滤波：

$$\text{高增益} = A \text{原图} - \text{低通}$$



空域处理——模板滤波基础

➤ 高增益滤波的原理

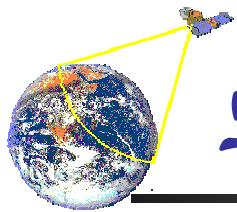
高增益 = A 原图 - 低通

= $(A - 1)$ 原图 + (原图 - 低通)

= $(A - 1)$ 原图 + 高通

✓ 当 $A = 1$ 时，高增益就是高通滤波，

✓ 当 $A > 1$ 时，原图像的一部分被加到高通中。

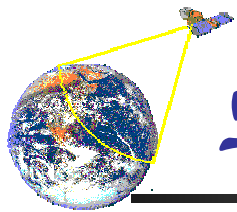


空域处理——模板滤波基础

➤ 滤波器扩大因子及模板系数设计

- ✓ 对于 3×3 的模板，设 $w = 9A - 1$ ；（高通时 $w = 8$ ） A 的值决定了滤波器的特性
- ✓ 当 $A = 1.1$ 时，意味着把 0.1 个原图像加到基本高通上。当 $A = 1.2$ 时，结果处在上限的边缘

$$\frac{1}{9} * \begin{array}{|c|c|c|} \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & w & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$



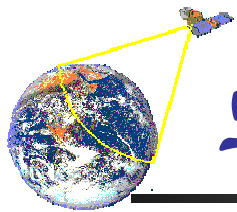
空域处理——模板滤波基础

➤ 高通及高增益模板尺寸的选定

- ✓ 理论上，高通和高增益的模板尺寸可为任意尺寸。例如：

模板取 7×7 ，高通权值为48，其它均为-1，规整化系数为 $1/49$

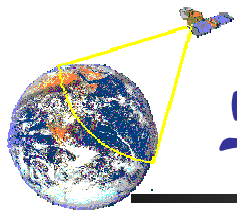
- ✓ 根据经验，高通滤波模板很少大于 3×3



空域处理——模板滤波基础

➤ 高增益滤波器效果的分析

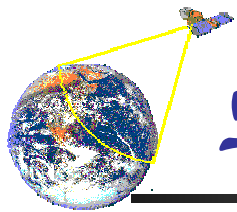
- ✓ 高增益比高通的优点：既增强了边，又保留了层次。
- ✓ 噪音对结果图像的视觉效果有重要的影响，高增益在增强了边的同时也增强了噪音。



空域处理——模板滤波基础

(4) 微分滤波器

- 微分滤波器的原理
- 滤波器扩大因子及模板系数的设计
- 微分滤波器效果的分析

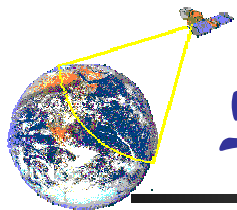


空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器的原理

- ✓ 均值产生平滑的效果，而均值与积分相似，由此而联想到，微分能不能产生相反的效果，即锐化的效果呢？结论是肯定的。
- ✓ 在图像处理中应用微分最常用的方法是计算梯度。函数 $f(x,y)$ 在 (x,y) 处的梯度为一个向量：

$$\nabla f = [\partial f / \partial x, \partial f / \partial y]$$



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器的原理

计算这个向量的大小为：

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2]^{1/2}$$

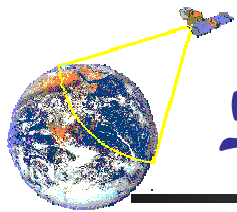
考虑一个3x3的图像区域， z 代表灰度级，
上式在点 z_5 的 ∇f 值可用数字方式近似。

$(\partial f / \partial x)$ 用 $(z_5 - z_6)$ 近似

$(\partial f / \partial y)$ 用 $(z_5 - z_8)$ 近似，组合为：

$$\nabla f \approx [(z_5 - z_6)^2 + (z_5 - z_8)^2]^{1/2}$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器的原理

用绝对值替换平方和平方根有：

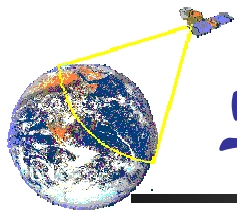
$$\nabla f \approx |z_5 - z_6| + |z_5 - z_8|$$

另外一种计算方法是使用交叉差：

$$\nabla f \approx [(z_5 - z_9)^2 + (z_6 - z_8)^2]^{1/2}$$

$$\nabla f \approx |z_5 - z_9| + |z_6 - z_8|$$

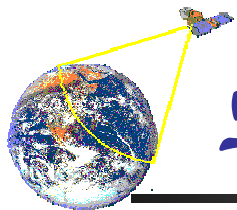
z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器模板系数设计

- ✓ Roberts交叉梯度算子
 - ✓ Prewitt梯度算子
 - ✓ Sobel梯度算子
- } 一阶微分算法
-
- ✓ 拉普拉斯算子——二阶微分算法



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器模板系数设计

✓ Roberts交叉梯度算子

$$\nabla f \approx |z_5 - z_9| + |z_6 - z_8|$$

✓ 梯度计算由两个模板组成，第一个求得梯度的第一项，第二个求得梯度的第二项，然后求和，得到梯度。

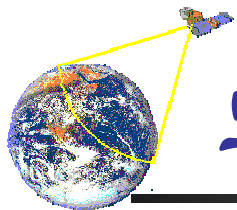
✓ 两个模板称为Roberts 交叉梯度算子

✓ 实例

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

1	0
0	-1

0	1
-1	0



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器模板系数设计

✓ Prewitt梯度算子——3x3的梯度模板

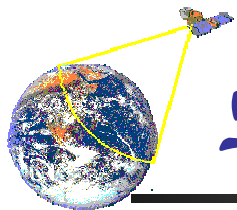
$$\nabla f \approx |(z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)| + \\ |(z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)|$$

✓ 实例

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

-1	0	1
-1	0	1
-1	0	1

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器模板系数设计

✓ Sobel梯度算子——3x3的梯度模板

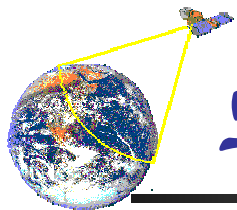
$$\nabla f \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + \\ |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$$

➤ 实例

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9



空域处理——模板滤波基础

➤ 微分滤波器模板系数设计

✓ 拉普拉斯算子——二阶微分算法

对于一个连续的二元函数 $F(x, y)$ ，其拉普拉斯算子定义为

$$\nabla^2 F(x, y) = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}$$

对于数字图像，拉普拉斯算子可以简化为

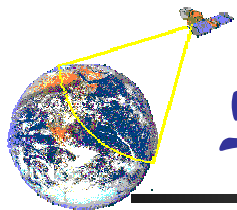
$$G(x, y) = 4F(x, y) - F(x+1, y) - F(x-1, y) - F(x, y+1) - F(x, y-1)$$

形成基本模板 H_1 ：

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

拉普拉斯边沿提取

拉普拉斯滤波增强实例



空域处理——模板滤波基础

➤ 拉普拉斯算子——二阶微分算法

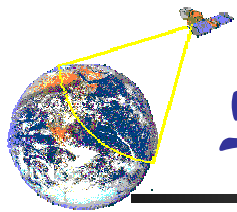
标准拉普拉斯算子对干扰噪声很敏感，需要加以改进。改进方法可以先平滑后增强，由此产生一系列变形模板，如：

$$H_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_3 = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

应用实例

与高增益滤波技术相结合 ($A > 1$)

$$H_5 = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & A+4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad H_6 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & A+8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$



空域处理——模板滤波基础

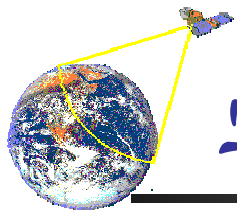
➤ 微分滤波器效果的分析

✓ 直接使用，与高通类似。

➤ 微分滤波器的两种特殊应用

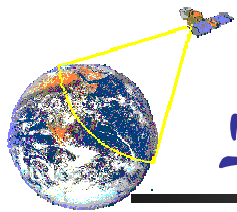
(1) 梯度 >25 的赋最大值255，否则赋原值。
边被突出，背景保留

(2) 梯度 >25 的赋最大值255，否则赋0。
边被突出，图被二值化



模板滤波的综合应用

图像噪声滤波



空域处理—模板滤波综合应用

■ 图像中的脉冲噪声模型

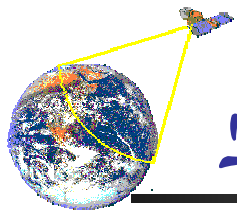
o_{ij} ——表示在原始图像中位于 (i,j) 位置的灰度值

x_{ij} ——表示在噪声图像中位于 (i,j) 位置的灰度值

则对于一个噪声概率为 p_n 的噪声图像，有：

$$x_{ij} = \begin{cases} o_{ij}, & 1 - p_n \\ n_{ij}, & p_n \end{cases}$$

其中 n_{ij} 是独立于 o_{ij} 的随机噪声值



空域处理—模板滤波综合应用

■ 椒盐噪声（Salt-Pepper Impulsive Noise）

- 受噪声干扰的图像像素以50%的相同概率等于图像灰度的最大或最小的可能取值

■ 随机值脉冲噪声

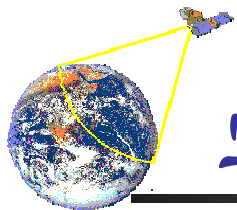
- 受噪声干扰图像点取值均匀分布于图像灰度的最大与最小可能取值之间



(a) 原始图像

(b) 3%椒盐噪声
干扰的噪声图像

(c) 3%随机值脉冲
噪声干扰的噪声图像



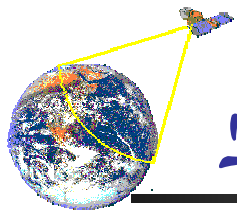
空域处理——模板滤波综合应用

- 均值滤波器——邻域平均法在一定程度上抑制噪声，但是邻域平均法的平均作用会引起模糊现象，模糊程度与邻域半径成正比
- 超限邻域平均法

- 如果某个像素的灰度值大于其邻域像素的平均值，且达到了一定水平，则判断该像素为噪声，继而用邻域像素的均值取代这一像素值

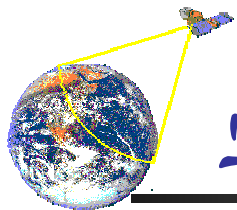
$$g(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y), & \left| f(i, j) - \frac{1}{N \times N} \sum_{(x, y) \in A} f(x, y) \right| > T \\ f(i, j), & \text{其它} \end{cases}$$

- T 为某一阈值
- 图像处理实例



空域处理—模板滤波综合应用

- 一般的,“超限邻域平均法”比一般邻域平均法的效果要好
- 在对窗口的大小及门限的选择要慎重, T 太小, 噪声消除不干净; T 太大, 易使图像模糊
- 在实际应用中一般选用 3×3 窗口加权均值滤波器

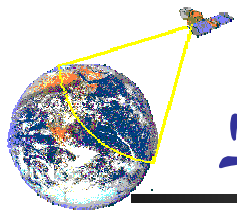


空域处理—模板滤波综合应用

■ 超限中值滤波

- 中值滤波是一种非线性滤波，它对消除脉冲噪声十分有用
- 和前面的超限邻域平均法一样，即当某个像素的灰度值超过窗口中像素灰度值排序中间的那个值，且达到一定水平时，则判断该点为噪声，用灰度值排序中间的那个值来代替；否则还是保持原来的灰度值。

■ 中值滤波实例



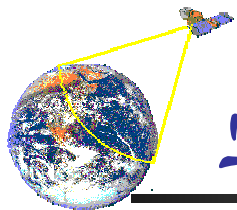
空域处理—模板滤波综合应用

中值滤波和邻域平均法的实验结果比较

	3%椒盐噪声干扰的噪声图像	3%随机值噪声干扰的噪声图像
邻域平均法	ISNR = 2.55dB	ISNR = - 0.37dB
超限邻域平均法	ISNR = 4.80dB	ISNR = 1.73dB
中值滤波(3×3)	ISNR = 8.83dB	ISNR = 5.52dB
超限中值滤波(3×3)	ISNR = 11.91dB	ISNR = 8.37dB

结论:

- 中值滤波的效果无论从客观指标还是主观视觉效果上都远远超过邻域平均法;
- 中值滤波后的图像边缘得到了较好的保护;
- 超限中值滤波比一般中值滤波的效果要好。



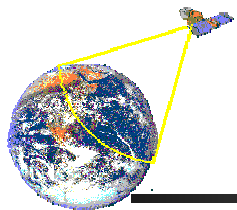
空域处理—模板滤波综合应用

■ 模板滤波的特殊应用—特种滤波器

➤ 偏置滤波器（Bias Filter）

- ✓ 结果图像的像素值完全取决于该像素周围各点，而与其直接点无关
- ✓ 偏置滤波使结果图像具有某种浅浮雕阴影效果，在调查某些细节时十分有用
- ✓ 实例

■ 多种增强方法的综合应用

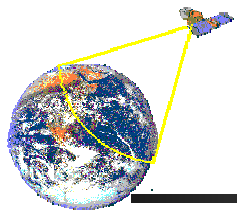


■ 思考题

- 已知一幅图像经过均值滤波之后，变得模糊了，问用锐化算法是否可以将其变的清晰一些？请说明你的观点。
- 直方图规定化处理的技术难点是什么？如何解决？

■ 习题1

- 教材 P.232: 4、5、6、7、14

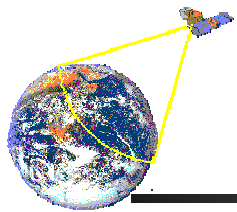


■ 习题1

➤ 已知图像为:

$$f = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 255 & 100 & 200 & 200 \\ 1 & 7 & 254 & 101 & 10 & 9 \\ 3 & 7 & 10 & 100 & 2 & 6 \\ 1 & 0 & 8 & 7 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 6 & 50 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 9 & 7 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

请对其进行边界保持的中值和均值滤波，并判断哪一点为噪声点

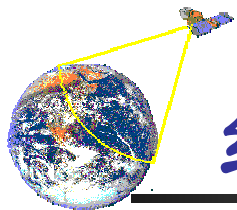


■ 上机实验

➤ 通过软件或编程，完成下述实验：

- ✓ 熟练掌握直方图均衡化和直方图规定化的计算过程
- ✓ 熟练掌握空域滤波中常用的平滑和锐化滤波器
- ✓ 熟练掌握低通和高通滤波器的使用方法，明确不同性质的滤波器对图像的影响和作用
- ✓ 掌握最简单的伪彩色变换方法，密度分割法的实施过程

➤ 其中滤波试验可采用所附的带椒盐噪声图像



结束

第五章 (2)

结束