



## 图像处理与识别

### ——Part 3 图像空域增强

主讲：张磊



# 图像空域增强

### ▶ 图像增强

➤ 空域增强: 直接对图像的像素域进行处理

✓ 灰度级变换(点运算)

✓ 直方图增强

✓ 空间模板滤波(平滑、锐化)

✓ 彩色图像增强

➤ 频域增强:

在图像的变换域内, 对变换系数进行运算, 然后逆变换后获得增强图像



## 图像空域增强

### ■ 图像增强的应用及其分类

- 图像处理最基本的目的之一是改善图像
- 改善图像最常用的技术就是图像增强
- 图像增强有两大类应用
  - ✓ 第一类是改善图像的视觉效果
  - ✓ 突出图像的特征，便于计算机处理

图像在传输过程中，由于通信信道带宽的限制，造成图像模糊  
如： $g = h(f)$

### ▶ 图像中的噪声：

- ✓ 加性噪声：与图像无关
- ✓ 乘性噪声：与图像有关
- ✓ 周期噪声、椒盐噪声
- ✓ 信号减弱、对比度下降
- ✓ 图像清晰度下降

### 图像质量退化：

- 1)对比度问题：局部偏低
- 2)噪声干扰问题：随机干扰和破坏
- 3)清晰度下降，图像模糊失真

图像增强是通过边缘锐化去模糊、平滑去噪声、直方图修正、对比度增强等方式求得平均地图像质量改进，而不是估计退化的过程



## 图像空域增强

### ■ 图像增强的定义

- 图像增强技术的主要目标是：
  - ✓ 通过对图像的**处理**，使图像比处理前**更适合**一个**特定的应用**
  - ✓ **突出**图像中的**“有用”信息**，**扩大**图像中不同物体**特征**间的**差别**，为图像**信息的识别与提取**奠定基础
- 可能的应用：显示、打印、印刷、识别、分析、创艺等
- 可能的处理：去除噪音、边缘增强、提高对比度、增加亮度、改善颜色效果、改善细微层次等——通常与改善视觉效果相一致
- 可能的处理方法：空域运算、变换域运算与处理



## 图像空域增强

### ► 图像的对比度增强(点运算或灰度级变换)

图像的成像过程中，由于环境因素影响，获得的图像往往对比度不足，视觉效果差。因此，可以采用灰度值变换方法，改变图像的灰度动态范围。

- 灰度变换的分类：线性变换、非线性变换
- 获取变换函数的方法：固定函数、插值、直方图



## 图像空域增强

### ► 图像的对比度增强(点运算或灰度级变换)

#### ■ 线性变换

原始图像:  $f(i, j)$ , 灰度范围:  $[a, b]$ ,  
变换后图像:  $f'(i, j)$ , 灰度范围:  $[a', b']$ , 存在以下关系:

$$f'(i, j) = a' + \frac{b' - a'}{b - a} (f(i, j) - a)$$

- 若  $[a, b] \subset [a', b']$ , 灰度动态范围变宽;
- 若  $[a, b] \supset [a', b']$ , 灰度动态范围变窄;



## 图像空域增强

### ► 图像的对比度增强(点运算或灰度级变换)

#### ■ 分段线性变换

拉伸图像中一些灰度细节，相对抑制不感兴趣的部分。这可以通过分段线性变换得到：

$$f'(i, j) = \begin{cases} \frac{c'-a'}{c-a}(f(i, j) - a) + a'; & a \leq f(i, j) < c \\ \frac{d'-c'}{d-c}(f(i, j) - c) + c'; & c \leq f(i, j) < d \\ \frac{b'-d'}{b-d}(f(i, j) - d) + d'; & d \leq f(i, j) < b \end{cases}$$

如果  $|a'-c'| > |a-c|$ ,  $|c'-d'| < |c-d|$ ,  $|d'-b'| = |d-b|$

则，扩展第一区间  $[a, c]$ ，压缩第二区间  $[c, d]$ ，维持第三区间  $[d, b]$ 。



## 图像空域增强

### ► 图像的对比度增强(点运算或灰度级变换)

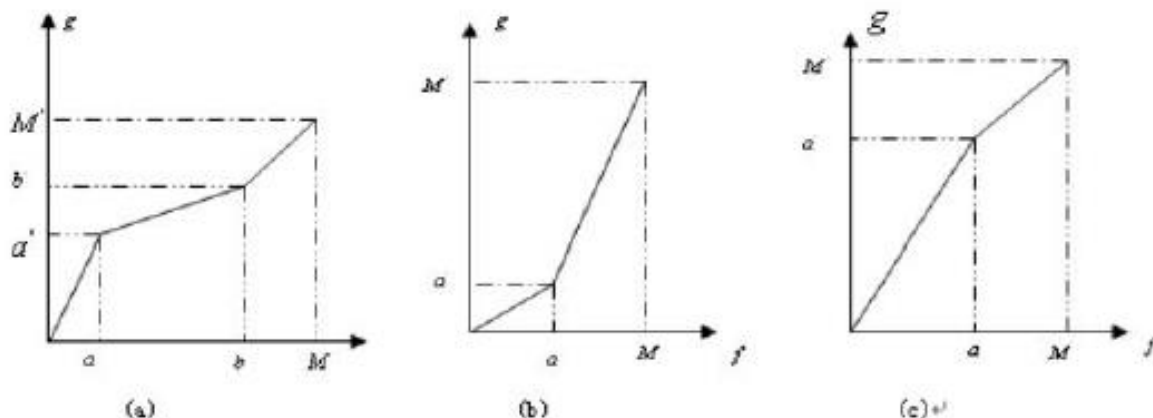


图 3-4 分段线性拉伸示例<sup>[4]</sup>

$$g(x,y) = \begin{cases} \frac{a'}{a} \cdot f(x,y), & 0 \leq f(x,y) < a \\ \frac{b'-a'}{b-a} \cdot (f(x,y)-a) + a', & a \leq f(x,y) < b \\ \frac{M'-a'}{M-a} \cdot (f(x,y)-b) + b', & b \leq f(x,y) < M \end{cases}$$





## 图像空域增强

### ► 图像的对比度增强(点运算或灰度级变换)

#### ■ 常用的两种非线性扩展方法

##### ► 对数扩展

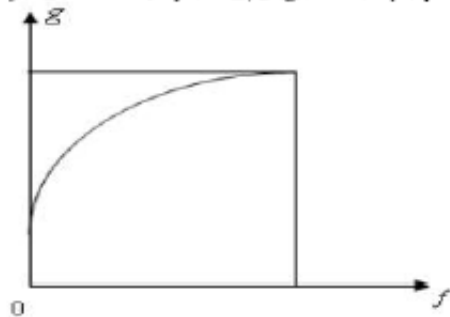
基本形式:  $g(x,y)=\log[f(x,y)]$

实际应用中一般取自然对数变换, 具体形式如下

$$g(x,y)=C \cdot \ln[f(x,y)+1]$$

$[f(x,y)+1]$ 是为了避免对零求对数,  $C$ 为尺度比例系数, 用于调节动态范围。

变换函数曲线:





## 图像空域增强

### ► 图像的对比度增强(点运算或灰度级变换)

#### ► 指数扩展:

基本形式:  $g(x,y)=b^{f(x,y)}$

实际应用中, 为了增加变换的动态范围, 一般需要加入一些调制参数。具体形式如下:

$$g(x,y)=b^{c[f(x,y)-a]}-1$$

参数 $a$ 可以改变曲线的起始位置;

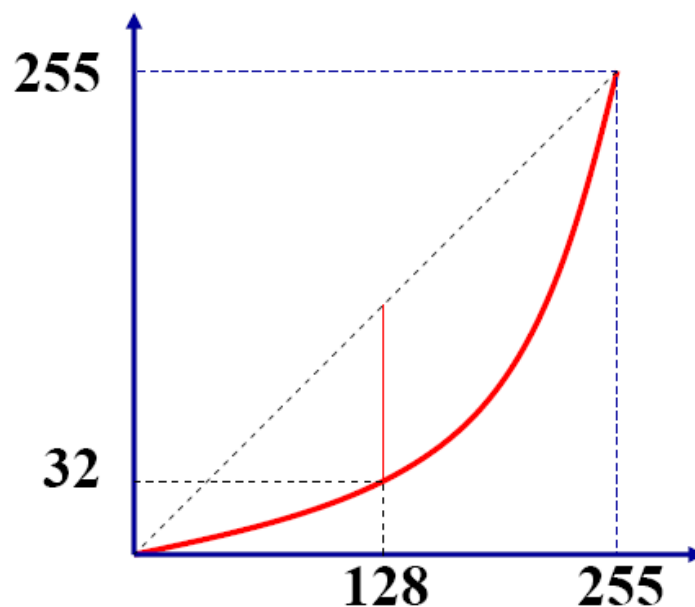
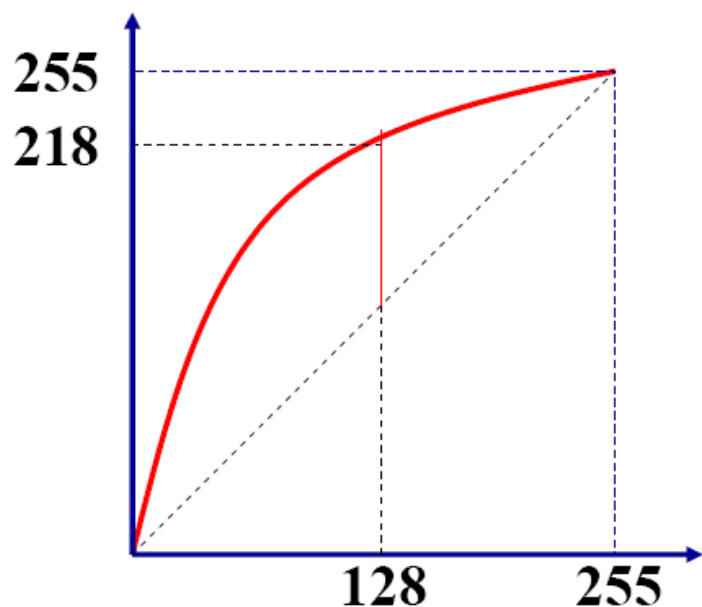
参数 $c$ 可以改变曲线的变化速率;

指数扩展可以对图像的高亮度区进行大幅扩展



## 图像空域增强

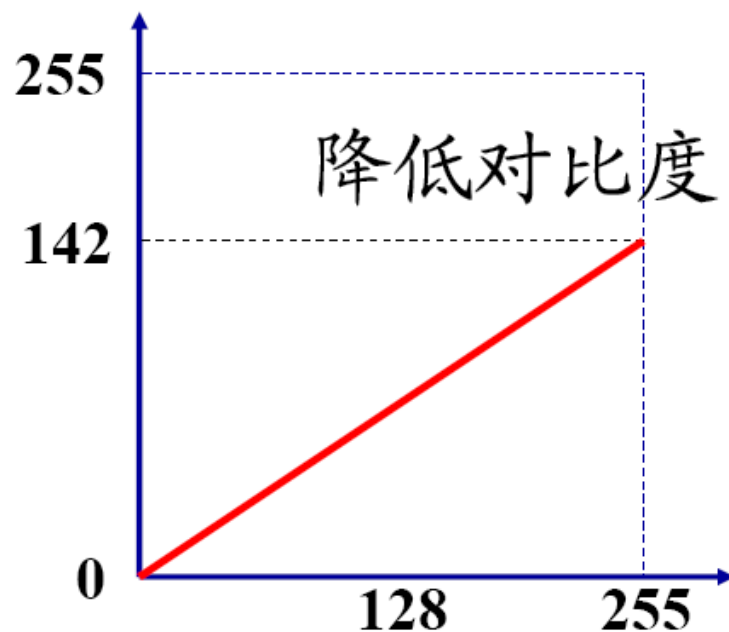
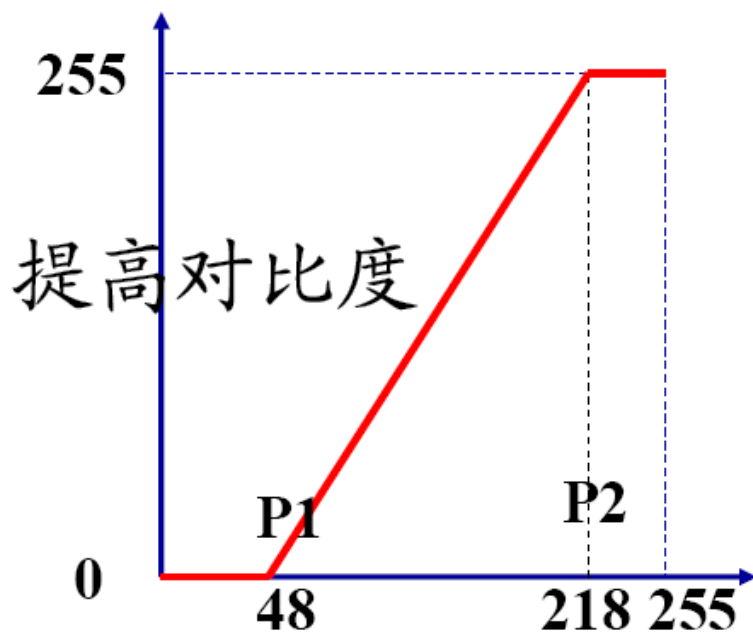
► 亮度调整——加亮、减暗图像





## 图像空域增强

➤ 对比度拉伸——提高、降低对比度





## 图像空域增强

---





## 图像空域增强

---





## 图像空域增强





## 图像空域增强

---

### ➤ 提高对比度

通常通过直方图得到两个拐点的位置

### ➤ 降低对比度

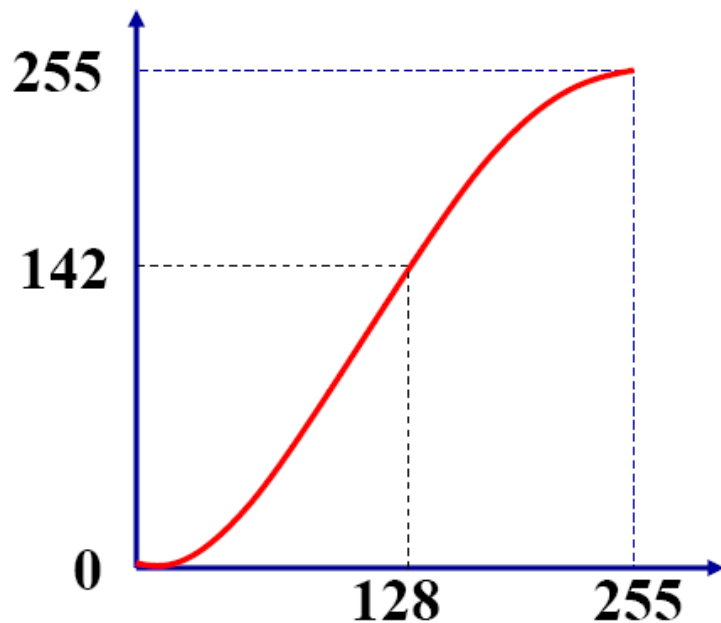
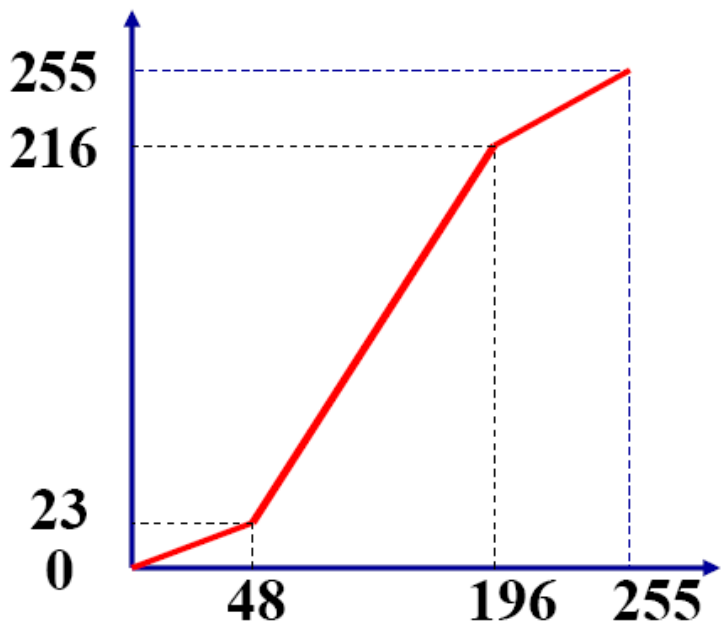
降低对比度一般用于输出设备的灰度级小于输入图像的灰度级的情况，如显示傅立叶频谱时





## 图像空域增强

### 局部提高、局部降低对比度

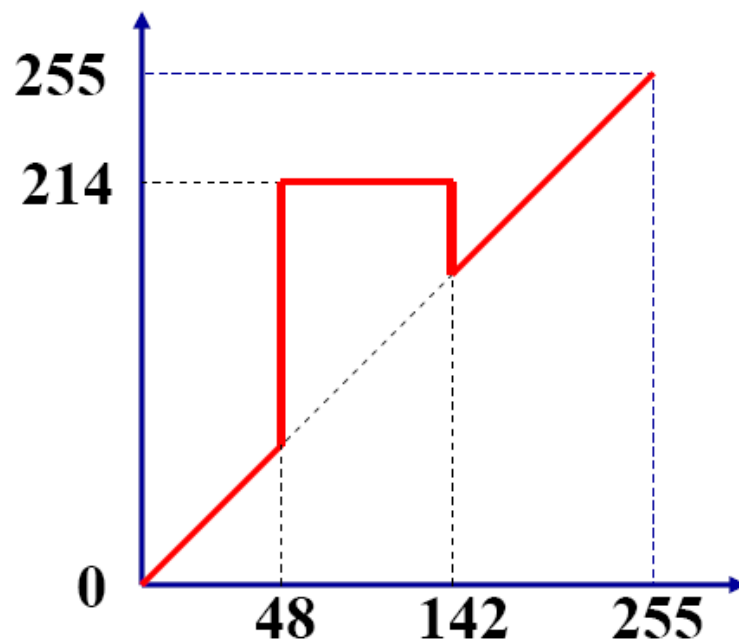
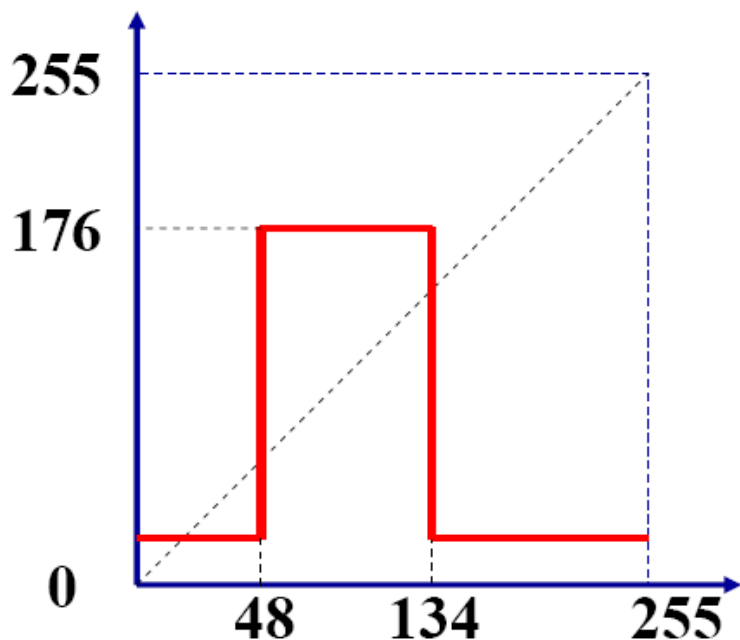




## 图像空域增强

### ➤ 灰度级切片

主要用于突出某个特定的灰度范围，从而增强某个专门的特征





## 图像空域增强

---





## 图像空域增强

---

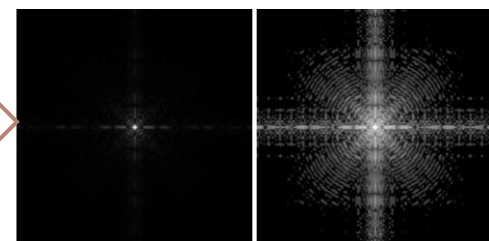
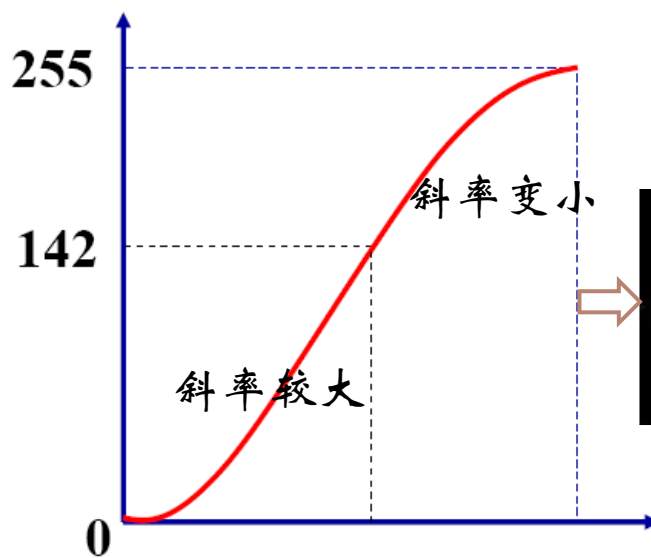
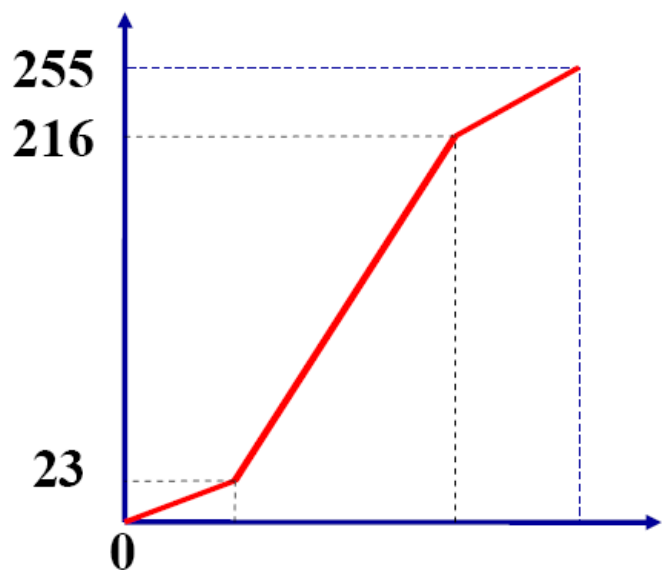




## 图像空域增强

### ► 获取变换函数

固定函数：正弦函数、分段直线、指数函数、对数函数，  
如显示傅立叶的  $s=c \log(1+|r|)$



原频谱 增强后的频谱



## 图像空域增强

---

### ▶ 灰度级变换的缺陷

- 灰度级变换对图像层次有负面影响
- 原因：由于变换是在有限个灰度级上进行的，因此会造成层次的减少
- 改进：通过输入较多层次（如 $>2^8$ ），保证在图像上进行灰度级变换后，其输出保留足够的层次



## 图像空域增强

### ► 直方图增强

#### ► 灰度直方图

数字图像中各灰度级与其出现的频次间的统计关系，表达为

$$P(r_k) = \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, \dots, L-1; \sum_{k=0}^{L-1} P(r_k) = 1$$

其中， $r_k$ 为图像 $f(x,y)$ 的第 $k$ 级灰度值， $n_k$ 为灰度值 $r_k$ 的像素个数， $n$ 为图像的总像素数， $L$ 为灰度级数。

**直方图性质：**

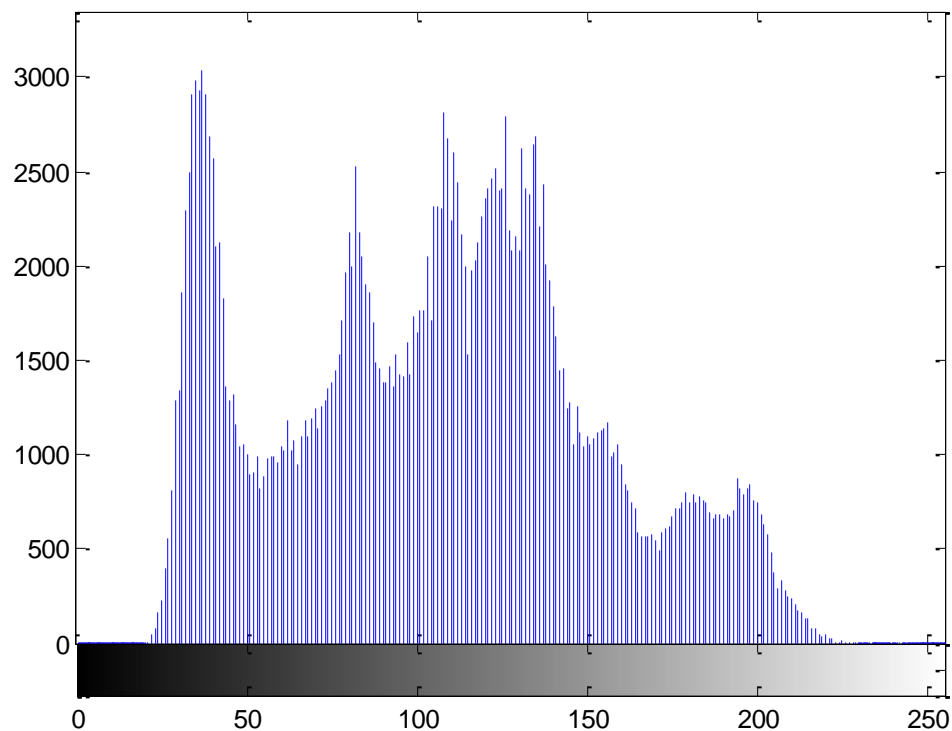
- 1) 位置缺失性
- 2) 直方图与图像的一对多特性：多幅图像可能对应同一个直方图
- 3) 直方图的叠加性：图像分块子直方图叠加后，相当于整图的直方图

直方图反映了图像的清晰程度，分布均匀时，对比度高，图像最清晰(见教材P66)



## 图像空域增强

直方图分布不均匀情况





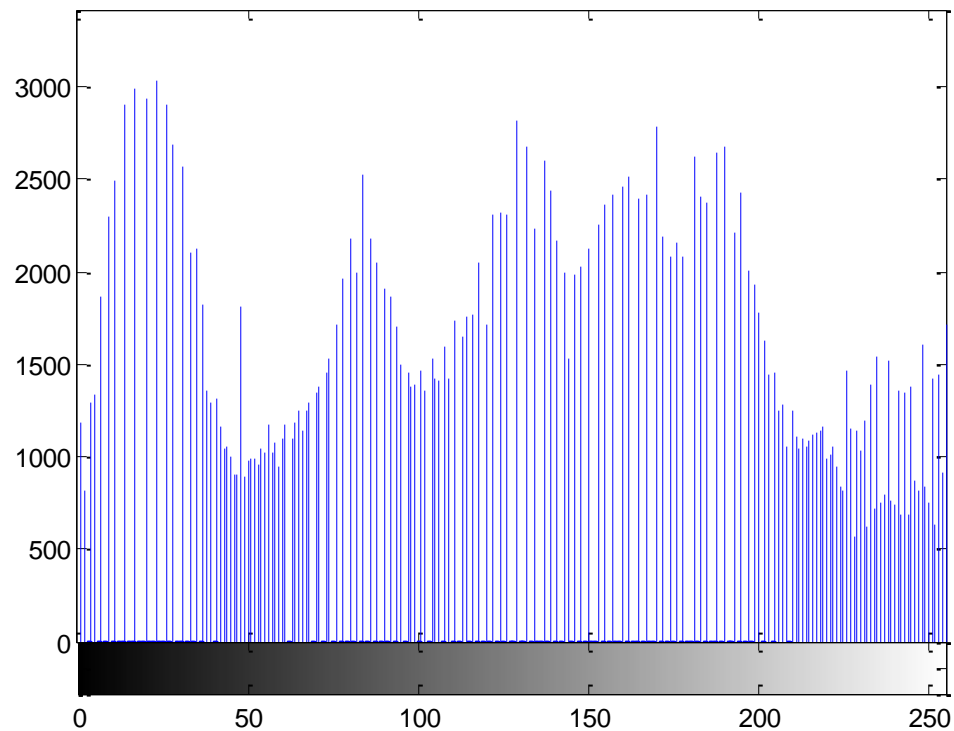


## 图像空域增强

均衡化后图像



直方图分布相对均匀情况





## 图像空域增强

### ► 直方图增强

### ► 直方图均衡化

通过原始图像的灰度非线性变换，使其直方图变成均匀分布，以增加图像灰度值的动态范围，从而提高图像整体对比度，使图像变清晰。

计算过程：

1) 计算原始图像的灰度直方图  $P(i) = \frac{n_i}{n}, i = 0, \dots, L - 1$

2) 计算累积直方图  $P_i = \sum_{k=0}^i P(k), i = 0, \dots, L - 1$

3) 理论灰度变换函数： $j = (L - 1) * P_i$  (四舍五入取整)

4) 确定变换关系  $i \rightarrow j$ , 将原图像灰度值  $f(x,y)=i$  修正为  $g(x,y)=j$

5) 计算变换后，图像的直方图  $P(j) = \frac{n_j}{n}$

### ► 见P69例4.1 (灰度级“简并”)



## 图像空域增强

- 例：对一幅 $8 \times 8$ 的图像，包含灰度值为 $0 \sim 7$ 的8灰度级数字图像，各个灰度级的像素个数见下表：

灰度级( $i$ )	0	1	2	3	4	5	6	7
像素数 $n_i$	8	14	12	8	6	6	6	4

请对该图像直方图均衡化。



## 图像空域增强

- 例：对一幅8x8的图像，包含灰度值为0~7的8灰度级数字图像，各个灰度级的像素个数见下表：

灰度级( $i$ )	0	1	2	3	4	5	6	7
像素数 $n_i$	8	14	12	8	6	6	6	4

原直方图	0.13	0.22	0.19	0.13	0.09	0.09	0.09	0.06
累积直方图	0.13	0.35	0.54	0.67	0.76	0.85	0.94	1

计算变换后的灰度值 $\text{int}[(L-1) * P_j + 0.5]$	1	3	4	5	6	6	7	7
变换关系 $i \rightarrow j$	$0 \rightarrow 1$	$1 \rightarrow 3$	$2 \rightarrow 4$	$3 \rightarrow 5$	$4, 5 \rightarrow 6$		$6, 7 \rightarrow 7$	



## 图像空域增强

---

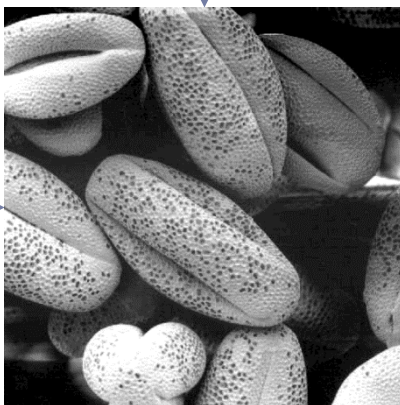
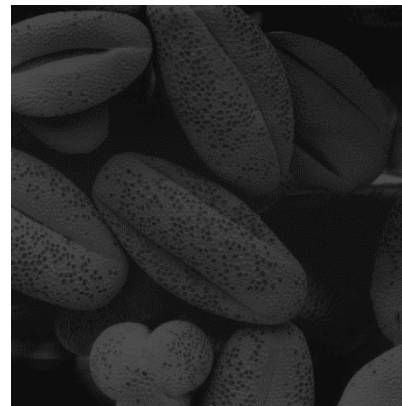
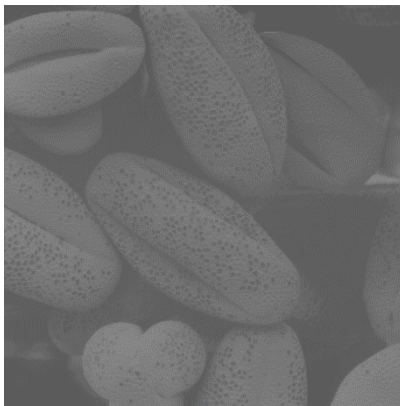
### ► 直方图增强

#### ■ 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。由此不改变图像的信息结构
- 力图使等长区间内出现的像素数接近相等
- 直方图均衡化实质上是减少图象的灰度级以换取对比度的加大。在均衡过程中，原来的直方图上频数较小的灰度级被归并为很少几个或一个灰度级内



## ► 直方图均衡





## 图像空域增强

### ▶ 直方图增强

### ▶ 直方图规定化(直方图匹配)

直方图均衡化是自动增强整个图像的对比度，得到全局均匀化的直方图，但增强效果不易控制。实际希望找到灰度增强函数 $T$ ，使原图像的直方图变成某个给定的形式(特定直方图)，从而有选择的增强某个局部灰度值范围内的对比度。该过程称为直方图规定化或直方图匹配。

➤ 算法基本思路：设：

✓  $\{r_k\}$ 是原图像的灰度

✓  $\{z_k\}$ 是符合指定直方图结果图像的灰度

我们的目标是：找到一个灰度变换 $H$ ：

$$z = H(r)$$

使得经过 $H$ 对原图像进行灰度变换后，结果图像 $z$ 具有期望的直方图。



## 图像空域增强

### ▶ 直方图增强

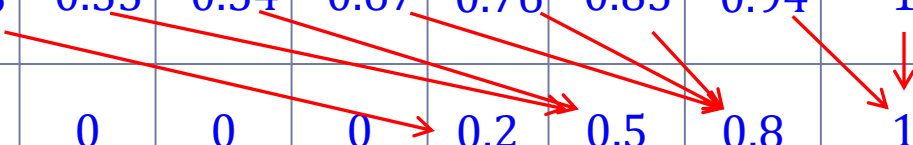
#### ▶ 直方图规定化步骤:

- 1) 计算原图直方图, 即求累积直方图  $P_i = \sum_{k=0}^i P_r(k), i = 0, \dots, L-1$
- 2) 计算参考图直方图, 即求累积直方图  $P_j = \sum_{k=0}^i P_z(k), j = 0, \dots, L-1$
- 3) 按  $P_i \rightarrow P_j$  **最靠近** 原则, 进行  $i \rightarrow j$  的变换, 求出变换函数  $T$
- 4) 对原图像进行灰度变换  $j=T(i)$
- 5) 求变换后的匹配直方图  $P(j)$



## ► 直方图规定化

灰度级	0	1	2	3	4	5	6	7
原直方图	0.13	0.22	0.19	0.13	0.09	0.09	0.09	0.06
规定直方图	0	0	0	0	0.2	0.3	0.3	0.2
累积直方图	0.13	0.35	0.54	0.67	0.76	0.85	0.94	1
累积直方图	0	0	0	0	0.2	0.5	0.8	1

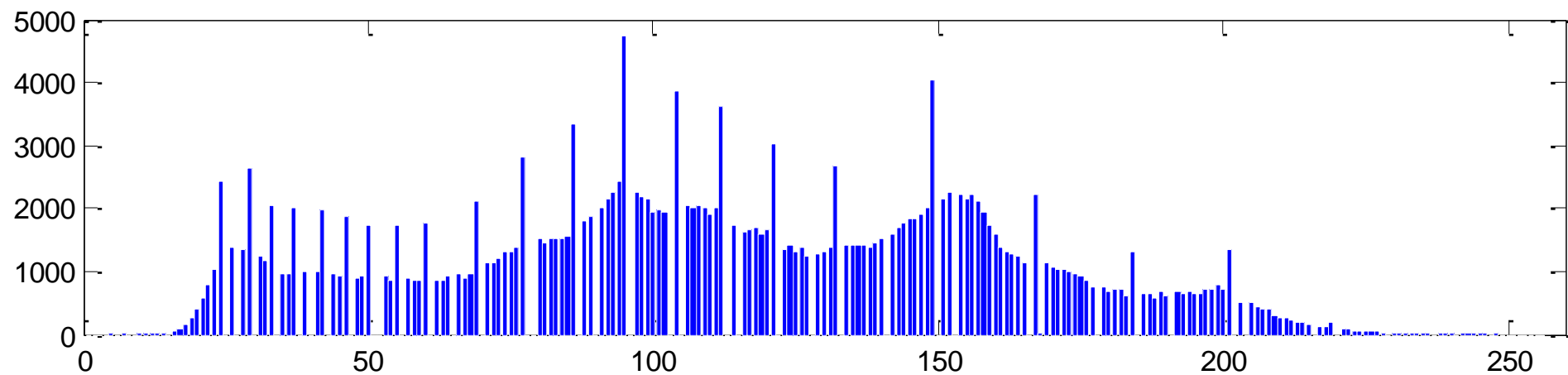


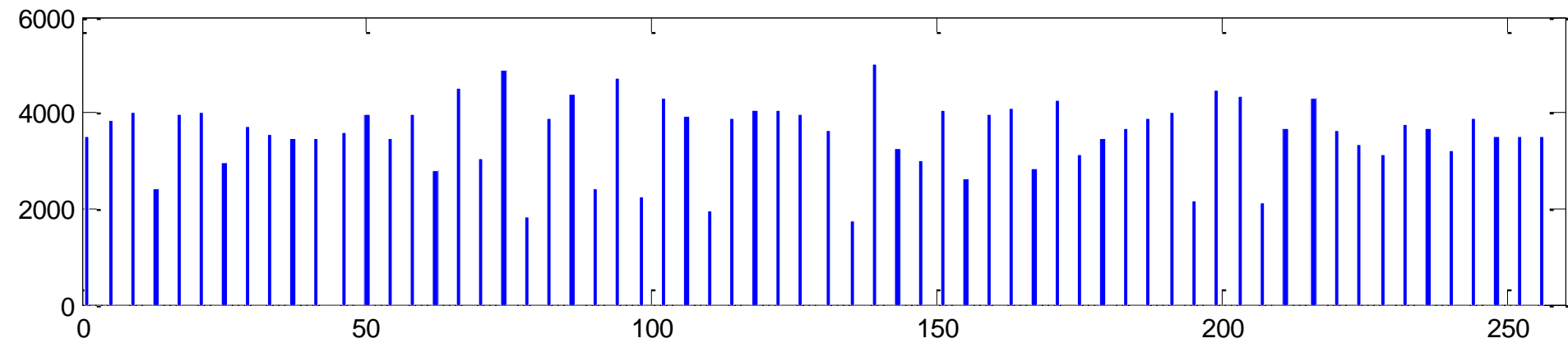
灰度级变换关系     $0 \rightarrow 4$          $1, 2 \rightarrow 5$          $3, 4, 5 \rightarrow 6$          $6, 7 \rightarrow 7$

匹配后的直方图    0      0      0      0      0.13    0.41    0.31    0.15



参考图









## 图像空域增强

---

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ■ 空域滤波——四方面内容

##### 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



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### 1) 空域滤波的基本概念

##### ■ 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



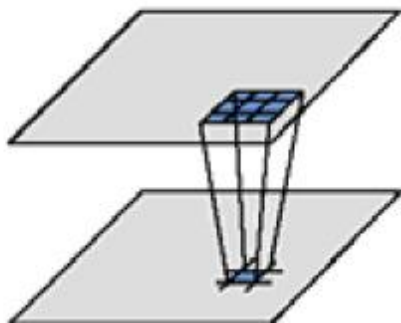
## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

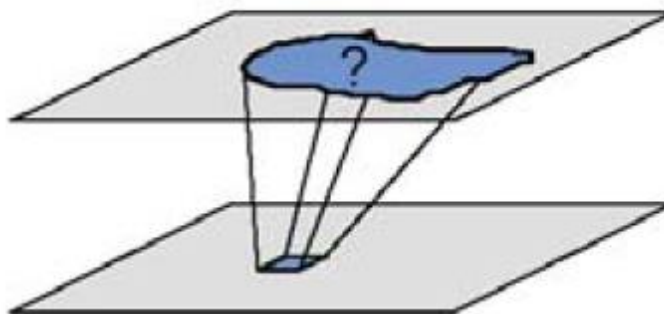
#### ■ 另一种角度

- ▶ 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



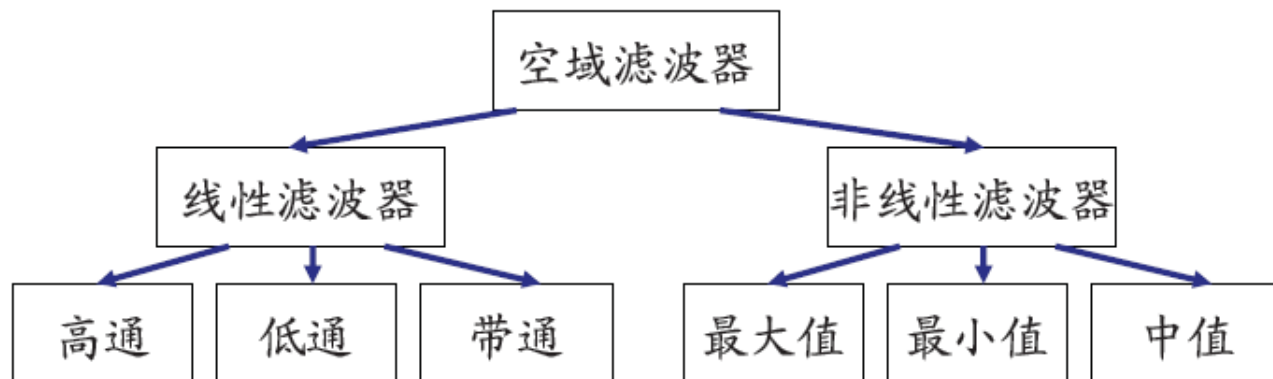


## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ■ 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





## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ➤ 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



## 图像空域增强

---

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ➤ 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



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ➤ 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

$$R \neq w_1z_1 + w_2z_2 + \dots + w_nz_n$$



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ➤ 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:  $R = \text{mid} \{z_k | k = 1, 2, \dots, 9\}$

##### ✓ 最大值滤波

❖ 主要用途: 寻找最亮点

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

##### ✓ 最小值滤波

❖ 主要用途: 寻找最暗点

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



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ▶ 平滑滤波器(低通滤波、中值滤波)

低通滤波器涉及到模板系数、模板尺寸的设计。

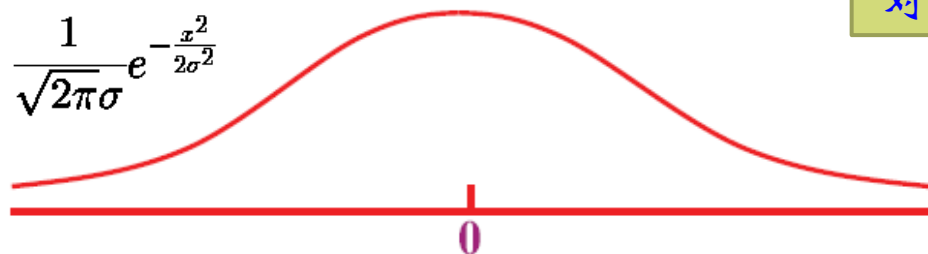
✓ 根据空域中低通冲激响应函数的图形来设计模板的系数

例如，选择高斯函数作为冲激函数

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

高斯滤波是常用的线性平滑滤波器，  
对处理具有正态分布的噪声非常有效。

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$





## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

### ▶ 平滑滤波器(低通滤波、中值滤波)

### ▶ 几种简单低通滤波器

#### ✓ 均值滤波器—局部平均法

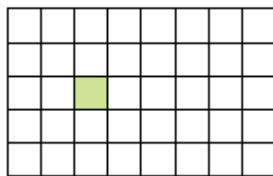
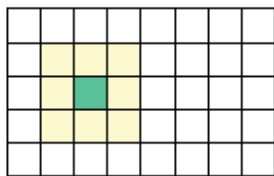
- ❖ 待处理像素点的值，等于其周围相邻像素的全体像素的平均值

$f(i, j)$  -- 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

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



### ▶ 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



## 图像空域增强

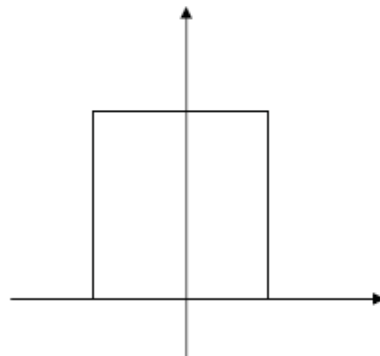
- ▶ 空间模板滤波增强
- ▶ 平滑滤波器(低通滤波、中值滤波)

✓ 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



## 图像空域增强

### 空间模板滤波增强

### 平滑滤波器(低通滤波、中值滤波)

常见：邻域平均、阈值平均、加权平均；见教材P77

#### 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

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

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

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

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

通过求均值，解决超出灰度范围问题

#### ✦ 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

利用模板对图像进行平滑处理时，一般从图像的第二行、第二列的像素点开始，逐点移动模板进行计算。图像的第一行、最后一行、第一列、最后一列不做处理





## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

#### ▶ 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

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

- ✓ 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）

##### ➤ 中值滤波算法的实现

- ✓ 将模板区域内的象素排序，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。

- ✓ 对于同值象素，连续排列后取中值。

如（10,15,20,20,20,20,25,100）

##### ➤ 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



## 图像空域增强

### ► 4邻和8邻平均滤波

过程：

1. 读图像 `I=imread('路径')`
2. 加噪声(高斯白噪声), `I=imnoise(I,'gaussian',0,0.05)`
3. 设计滤波模板h (4-邻或8-邻)

$$\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad \frac{1}{8} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

4. 滤波 `imfilter(I,h)`



## 图像空域增强

### ► 4邻和8邻平均滤波



*original*



$\sigma^2 = 0.005$



$\sigma^2 = 0.05$



## 图像空域增强

### ► 4邻和8邻平均滤波



*original*



$\sigma^2 = 0.005$







## 图像空域增强

### ► 4邻和8邻平均滤波



*original*



$\sigma^2 = 0.05$







## 图像空域增强

### ► 4幅噪声图像直接平均



$$\sigma^2 = 0.02$$



Filtered image



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

### ▶ 锐化滤波器(高通滤波、高增益滤波、微分滤波)

#### ● 高通滤波

##### ▶ 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

$$1/25 *$$

-1	-1	-1	-1	-1
-1	1	1	1	-1
-1	1	8	1	-1
-1	1	1	1	-1
-1	-1	-1	-1	-1

$$1/9 *$$

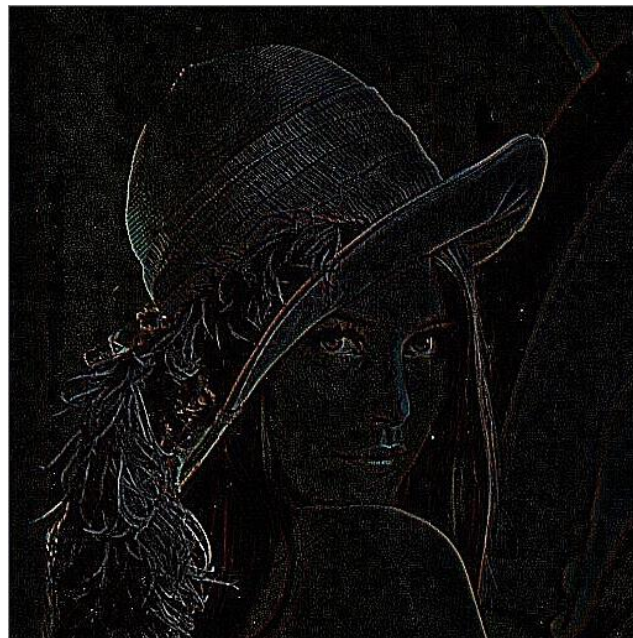
-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

高通滤波可看作为:

高通 = 原图 - 低通

##### ▶ 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





## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

### ▶ 锐化滤波器(高通滤波、高增益滤波、微分滤波)

### ● 高增益滤波

#### ▶ 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。

在原图上乘以一个扩大因子A

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。

#### ▶ 滤波器扩大因子及模板系数设计

- ✓ 对于3x3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

$$\frac{1}{9} * \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & w & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

#### ▶ 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。





## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

### ▶ 锐化滤波器(高通滤波、高增益滤波、微分滤波)

### ● 微分滤波器

微分运算相当于积分(平均)的反运算, 而积分(平均)运算相当于平滑滤波, 因此微分滤波属于锐化滤波器, 能够突出图像轮廓和细节。

✓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:

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

对于数字信号, 微分通常用差分来表示。

$$\frac{df}{dx} \rightarrow f'_n = f(n+1) - f(n)$$

$$\frac{d^2f}{dx^2} \rightarrow f''_n = [f(n+1) - f(n)] - [f(n) - f(n-1)] = f(n+1) + f(n-1) - 2f(n)$$

一维信号锐化公式

$$g(n) = f(n) - \alpha f''(n)$$



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

### ▶ 锐化滤波器(高通滤波、高增益滤波、微分滤波)

### ● 微分滤波器

在图像处理中，由于二维信号，希望找到一种各向同性的边缘检测算子，使不同走向的边缘都能达到一维信号的增强效果，那么这种算子叫做拉普拉斯算子。

该算子中，二阶梯度表示为x,y两个方向上：

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

因此，二维数字图像的锐化公式为

$$g(m, n) = f(m, n) + \alpha(-\nabla^2 f(m, n))$$

其中， $\alpha$ 为锐化强度系数，该值越大，锐化程度越强。

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \rightarrow f_m'' = f(m+1, n) + f(m-1, n) - 2f(m, n)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \rightarrow f_n'' = f(m, n+1) + f(m, n-1) - 2f(m, n)$$



## 图像空域增强

### ▶ 空间模板滤波增强

### ▶ 锐化滤波器(高通滤波、高增益滤波、微分滤波)

#### ● 微分滤波器

$$g(m, n) = f(m, n) - \alpha \nabla^2 f(m, n)$$

$$= f(m, n)$$

$$- \alpha [f(m+1, n) + f(m-1, n) + f(m, n+1) + f(m, n-1) - 4f(m, n)]$$

$$= (1 + 4\alpha)f(m, n) - \alpha f(m+1, n) - \alpha f(m-1, n) - \alpha f(m, n+1)$$

$$- \alpha f(m, n-1)$$

写成模板形式，有

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -\alpha & 0 \\ -\alpha & 1 + 4\alpha & -\alpha \\ 0 & -\alpha & 0 \end{bmatrix}$$

→ 4-邻锐化模板

注：该模板在水平和垂直方向具有锐化作用，在对角线方向无锐化。也可以设计对角线上的锐化。

8-邻锐化模板

如：
$$W = \begin{bmatrix} -\alpha & -\alpha & -\alpha \\ -\alpha & 1 + 4\alpha & -\alpha \\ -\alpha & -\alpha & -\alpha \end{bmatrix}$$

锐化实质：

锐化图像=原图像+加重的边缘(某像素点与其上、下、左、右像素点的灰度差值之和)

锐化的关键是求图像的边缘，即边缘检测



## 图像空域增强

### ▶ 锐化模板的特点

- ▶ 模板内的系数有正有负，表示差分运算
- ▶ 模板内系数之和为1，表示对一般图像而言，处理前后平均亮度基本保持不变
- ▶ 利用模板对图像进行锐化处理时，一般从图像的第二行和第二列的像素点开始，逐点移动模板进行计算（注：一直使用原图像）。为保证3x3的模板内都能采用图像的像素点计算，第一行/列、最后一行/列不处理。
- ▶ 与平滑模板一样，锐化等于锐化模板与图像的卷积（相关）。

$$G(m, n) = F(m, n) * \mathbf{W} = \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 f(m+i, n+j)w(i, j)$$



## 图像空域增强

### ► 锐化实现

1. 读取模糊图像；`imread('路径')`

2. 设计锐化模板  $W = \begin{bmatrix} 0 & -a & 0 \\ -a & 4a + 1 & -a \\ 0 & -a & 0 \end{bmatrix}$

3. 锐化滤波 `imfilter`

注：若模板  $W = \begin{bmatrix} 0 & -a & 0 \\ -a & 4a & -a \\ 0 & -a & 0 \end{bmatrix}$ ，则为提取边缘



## 图像空域增强

### ► 锐化实现



模糊图像



## 图像空域增强

### ► 锐化实现

$a=1$







## 图像空域增强

### ► 锐化实现

$a=2$

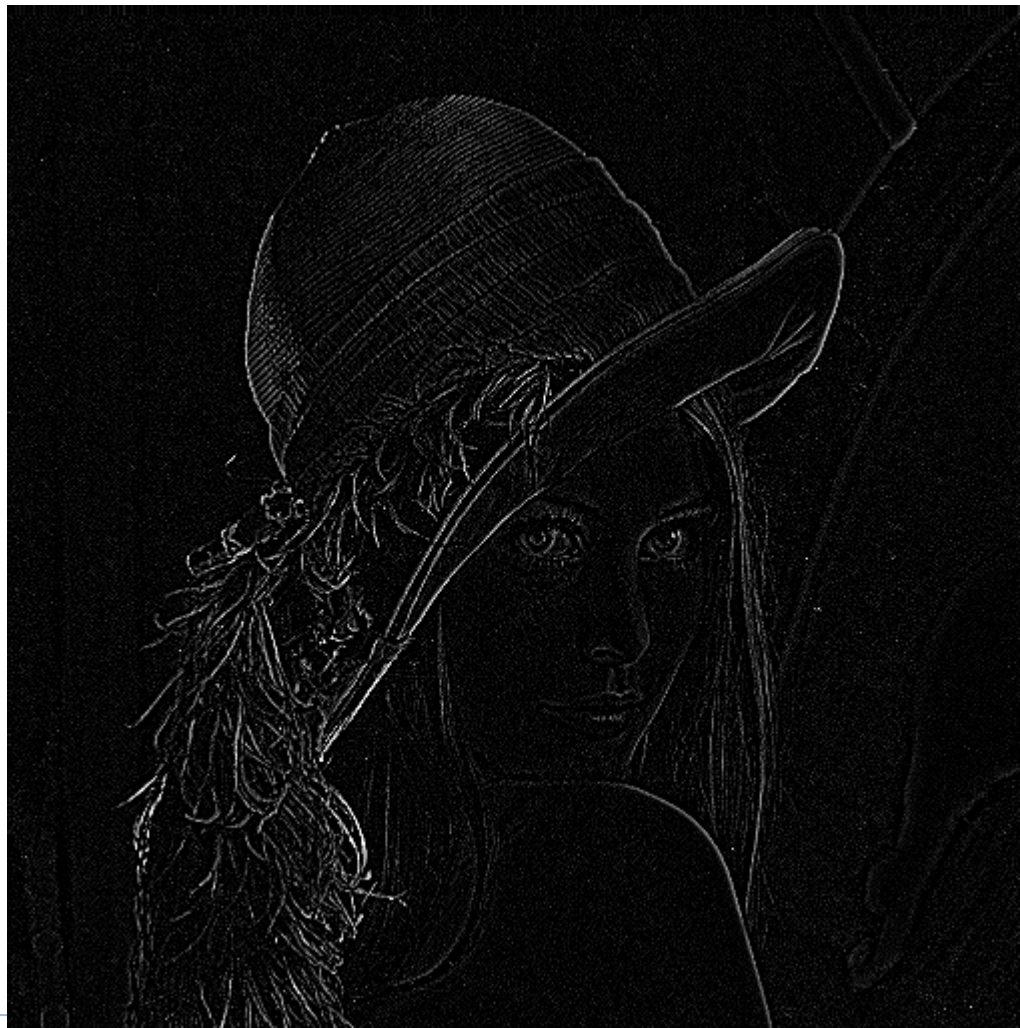






## 图像空域增强

### ► 边缘提取





## 图像空域增强

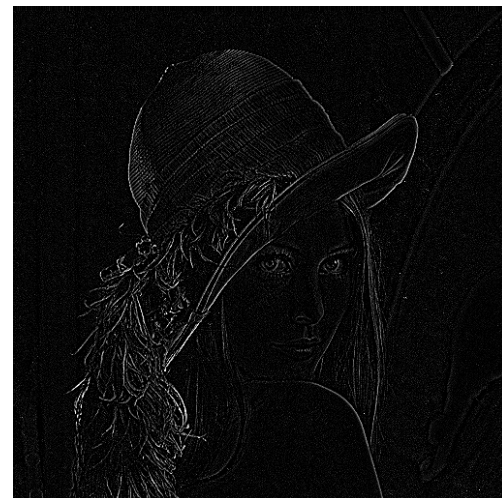
### ► 边缘提取



=



+





## 图像空域增强

### ► 一阶微分梯度算子（边缘检测）

#### ▣ Roberts梯度算子

由两个模板组成，一阶梯度  $\nabla f = |z_5 - z_9| + |z_6 - z_8|$

1	0
0	-1

0	1
-1	0

$z_1$	$z_2$	$z_3$
$z_4$	$z_5$	$z_6$
$z_7$	$z_8$	$z_9$

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

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

#### ▣ Prewitt梯度算子

一阶梯度  $\nabla f = |(z_7 + z_8 + z_9) - (z_1 + z_2 + z_3)| + |(z_3 + z_6 + z_9) - (z_1 + z_4 + z_7)|$

#### ▣ Sobel梯度算子(3x3模板)

一阶梯度  $\nabla f = |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$

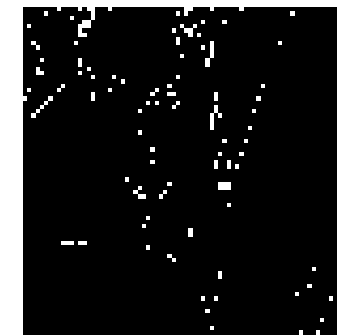
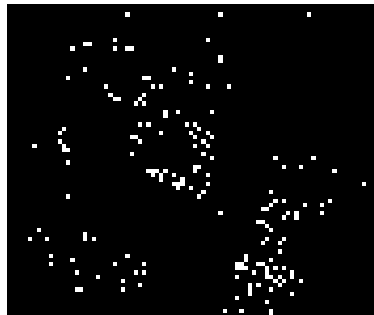
-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

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



## 图像空域增强

---





## 彩色图像增强

通常，人眼对灰度等级的区分不敏感(人眼能分辨的灰度级介于十几级至二十几级)，但可以分辨多种彩色。因此，将灰度图像转换成彩色图像或者改变彩色图像的分布，都可以改变图像的分辨率，即彩色图像增强。

真彩色图像增强：

### ► RGB模型增强

- ✓ 平滑和锐化
- ✓ 彩色平衡

### ► HSV(或HSI)模型增强

- ✓ 平滑和锐化
- ✓ 色调增强
- ✓ 饱和度增强
- ✓ 亮度增强



## 彩色图像增强

---

平滑和锐化：

- ✓ 灰度图像的增强方法依然适用于彩色图像。
- ✓ 通过设计平滑和锐化模板，对R,G,B分量或H,S,I分量分别进行空域处理。
- ✓ RGB模型增强会出现颜色失真；
- ✓ HSI模型增强可避免颜色失真。



## 彩色图像增强

### ▶ RGB模型增强

#### ✓ 彩色平衡

- ▶ **偏色**：采样过程中，由于设备、环境的原因会造成图像的三个颜色分量不同的变换关系，使图像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**。

- ▶ **彩色平衡**：纠正偏色的过程。

- ▶ **算法**：**1**、选取待匹配的基准分量(如G)，R和B为待修正分量。**2**、在图像中选取两个浅灰区域，计算这两个区域的R、G、B平均值，即 $F_1 = (R_1, G_1, B_1); F_2 = (R_2, G_2, B_2);$

- 3**、开始修正，使R，B分量等于G分量，即

$$\begin{cases} G_1 = k_1 R_1 + k_2 \\ G_2 = k_1 R_2 + k_2 \end{cases} \text{ 和 } \begin{cases} G_1 = c_1 B_1 + c_2 \\ G_2 = c_1 B_2 + c_2 \end{cases}$$

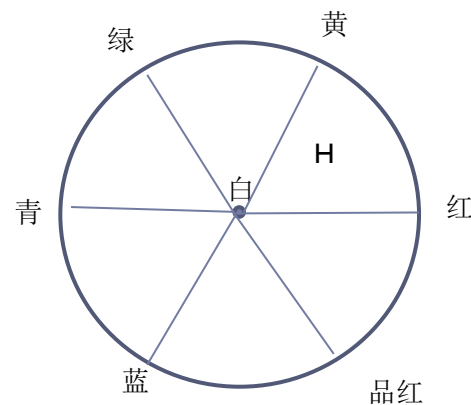
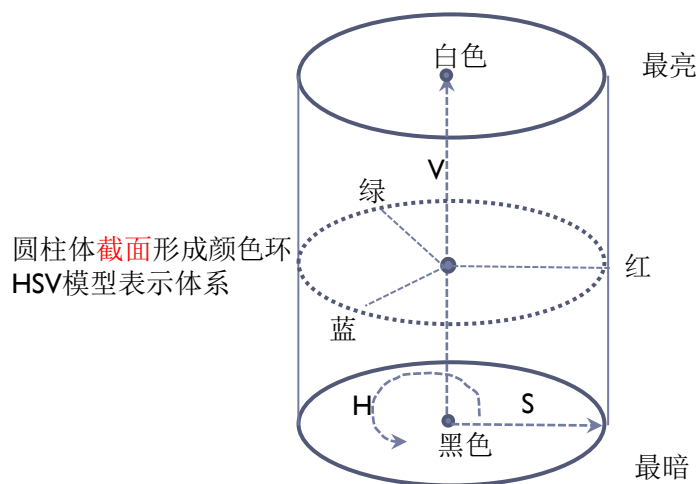
- 4**、利用 $k_1, k_2, c_1$ 和 $c_2$ 对R、G、B图像进行变换





## 彩色图像增强

- ▶ HSV模型增强
  - ✓ 色调处理
  - ✓ 亮度处理
  - ✓ 颜色饱和度处理







## 彩色图像增强

### ▶ HSV模型增强

#### ✓ 色调处理

基本思想：将图像转换到HSV色空间，对指定的色调值H进行调整， $H = H + \Delta h$

用途：改变图像的气氛，如冷暖色、换色(颜色更换)、去色。

#### ✓ 亮度处理

基本思想：将图像转换到HSV色空间，对指定亮度值I，乘上一个调整量 $\Delta I$ ， $I = I * \Delta I$

用途：增加( $\Delta I > 1$ )或降低( $\Delta I < 1$ )图像的亮度



## 彩色图像增强

### ▶ HSV模型增强

#### ✓ 颜色饱和度处理

基本思想：将图像转换到HSV空间，对指定饱和度值 $S$ ，  
乘以一个调整量 $\Delta S$ ，即 $S = S * \Delta S$

用途：调整颜色的鲜明度，或者有选择性的对某个色调进行饱和度调整。

真彩色图像增强一般利用HSV颜色表示模型。



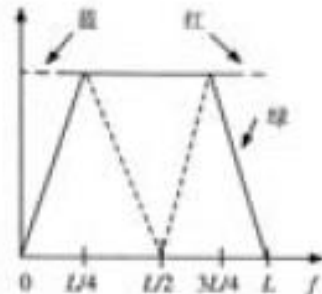
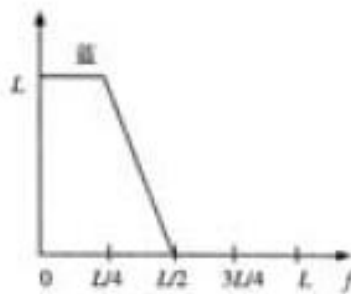
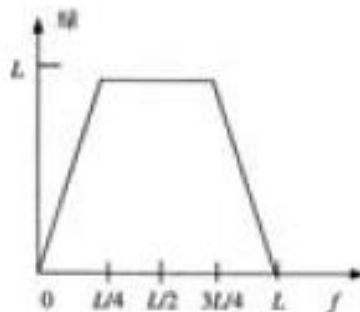
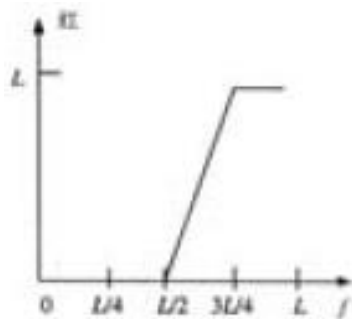
## 彩色图像增强

### ► 伪彩色图像增强

伪彩色图像增强是由灰度图像的各灰度级按照线性或者非线性的映射方法变换成不同的颜色，从而改善图像的视觉效果，提高分辨率，图像细节突出，识别性加强。

#### ► 增强方法

- ✓ 灰度分层法：将图像的灰度级分成多个不同的区域，给每个区域赋予一种彩色。
- ✓ 灰度变换彩色法：利用三基色原理，将灰度用3个独立的变换函数(分段线性变换)，映射成R、G、B三个分量，然后合成为彩色。

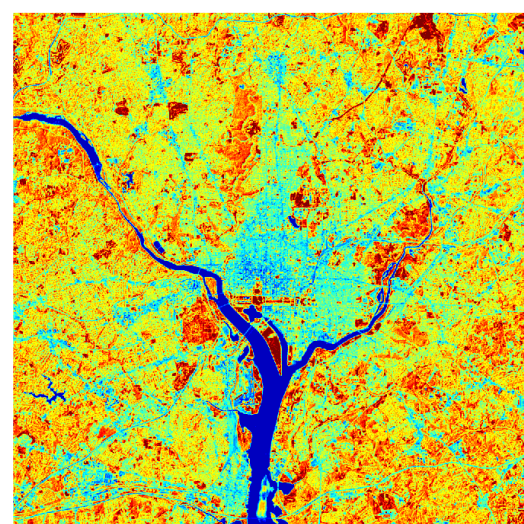
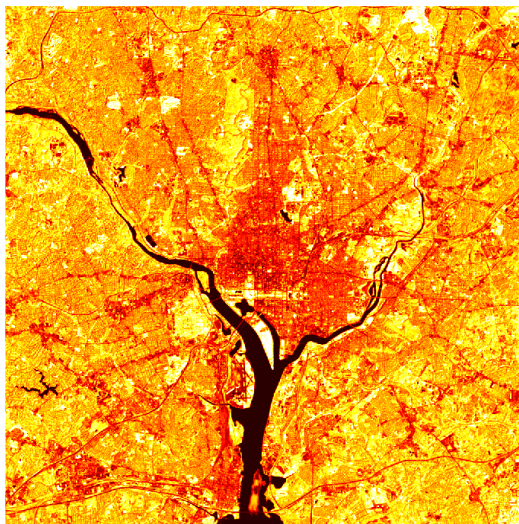
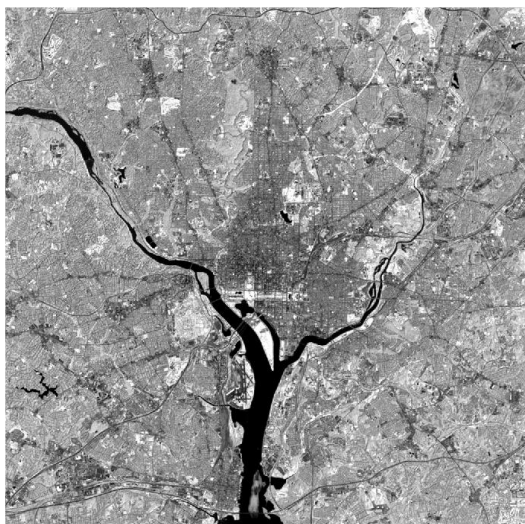




## 彩色图像增强

### ▶ 伪彩色图像增强

### ▶ 示例





## 彩色图像增强

### ▶ 假彩色图像增强

- ▶ **目的**：假彩色增强与伪彩色增强不同，其处理的是真实自然彩色图像，目的是将一种彩色变成另外一种彩色。
- ▶ **作用**：
  1. 把正常目标置于特定的彩色环境中，使目标更突出；
  2. 使正常目标具有与人眼颜色感觉的灵敏度相匹配的颜色。
  3. 把多光谱图像变成彩色图像，看起来真实、自然、逼真，易于识别。

▶ **方法**：映射

$$\begin{cases} R' = a_1R + b_1G + c_1B \\ G' = a_2R + b_2G + c_2B \\ B' = a_3R + b_3G + c_3B \end{cases} \rightarrow \begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$



## 彩色图像增强

- ▶ 假彩色图像增强
- ▶ 示例







## 小结

---

- 空域增强: 直接对图像的像素域进行处理
- ✓ 对比度增强: 灰度级变换(点运算)
- ✓ 直方图增强
- ✓ 空间模板滤波(平滑、锐化)
- ✓ 彩色图像增强