

图像处理-增强

谢斌

xiebin@csu.edu.cn

中南大学人工智能与机器人实验室

<http://airl.csu.edu.cn>



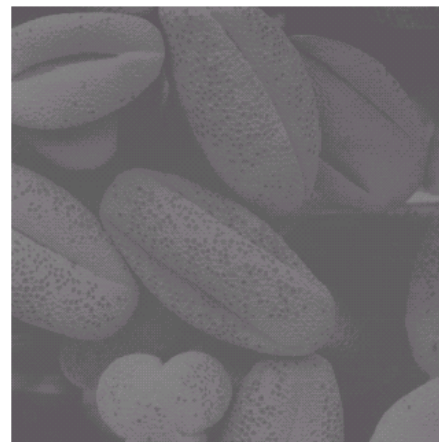
第三章 空域图像增强

- 背景知识和基本概念
- 基于点操作的图像增强
- 基于直方图的图像增强
- 基于空间滤波的图像增强

3.1 背景知识和基本概念

1. 什么是图像增强?

- 图像增强就是对输入图像进行某种处理,使得输出图像比输入图像更加适合特定的应用,主要是为了适合人眼理解图像



2. 为什么要图像增强?

- 图像质量差
- 图像质量好,但不便于人眼观察

3. 如何评估图像增强的效果?

- 人眼系统主观评价



3.1 背景知识和基本概念

1. 图像增强技术的分类

- 空间域图像增强
- 频率域图像增强

2. 空间域图像增强

- 基于像素点:灰度映射(对数变换 伽马调整)
- 基于直方图: 直方图均衡, 直方图规定化
- 基于邻域: 平滑, 锐化

3. 频率域图像增强

- 频率域平滑滤波器
- 频率域锐化滤波器
- 同态滤波

3.1 背景知识和基本概念

- 空间域图像增强(Spatial-domain)
 - 直接对输入图像的像素进行处理, 达到增强的目的

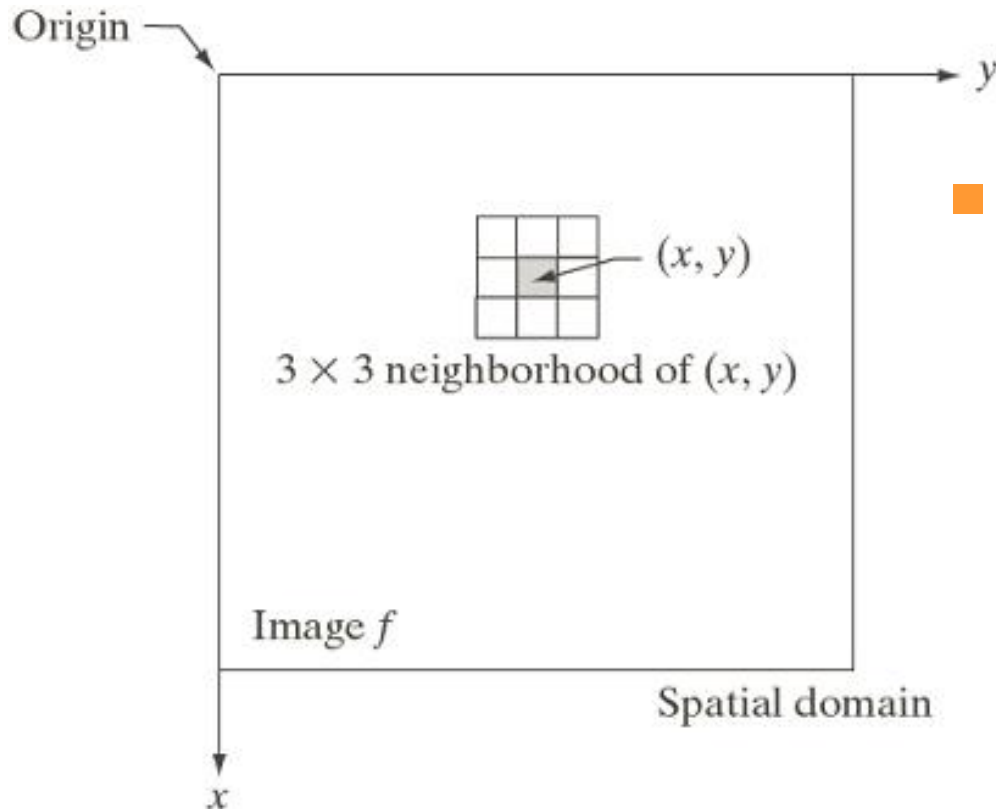
$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$

- $f(x, y)$: 输入图像
- $g(x, y)$: 增强后的图像
- $T[\bullet]$: 定义在 (x, y) 邻域的算子



3.1 背景知识和基本概念-邻域

- 像素 (x, y) 的邻域: 通常定义为以 (x, y) 为中心的矩形（8邻域的正方形居多）的子图像

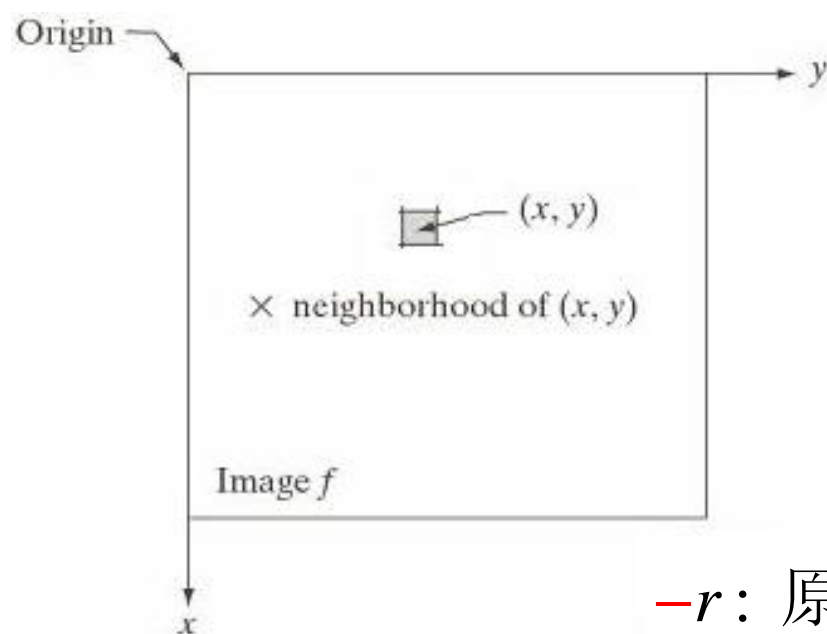


图像中 (x, y) 点的3x3邻域

■ 空间域增强技术

1. 邻域为 1×1 : 基于点操作的增强
2. 邻域 $n \times n$: 基于空间滤波的增强
3. 整幅图像的统计特性: 基于直方图的增强

- 点操作: T 的作用域是 1×1 , 即是当前单个像素。



$$g(x, y) = T[f(x, y)]$$



$$s = T[r]$$

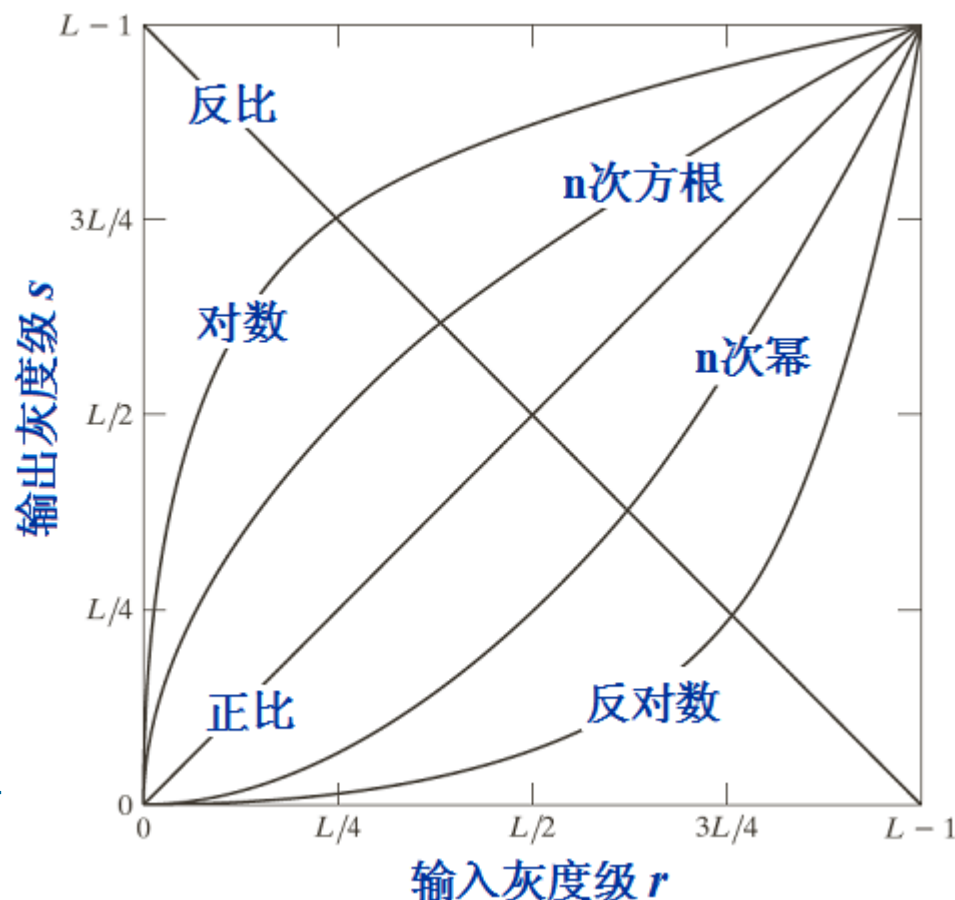
- r : 原图像 $f(x, y)$ 在 (x, y) 处的灰度值
- s : 增强图像 $g(x, y)$ 在 (x, y) 处的灰度值
- $T[\bullet]$: 增强算子

3.2 基于点操作的图像增强-灰度变换

$$s = T[r]$$

三类基本灰度变换技术

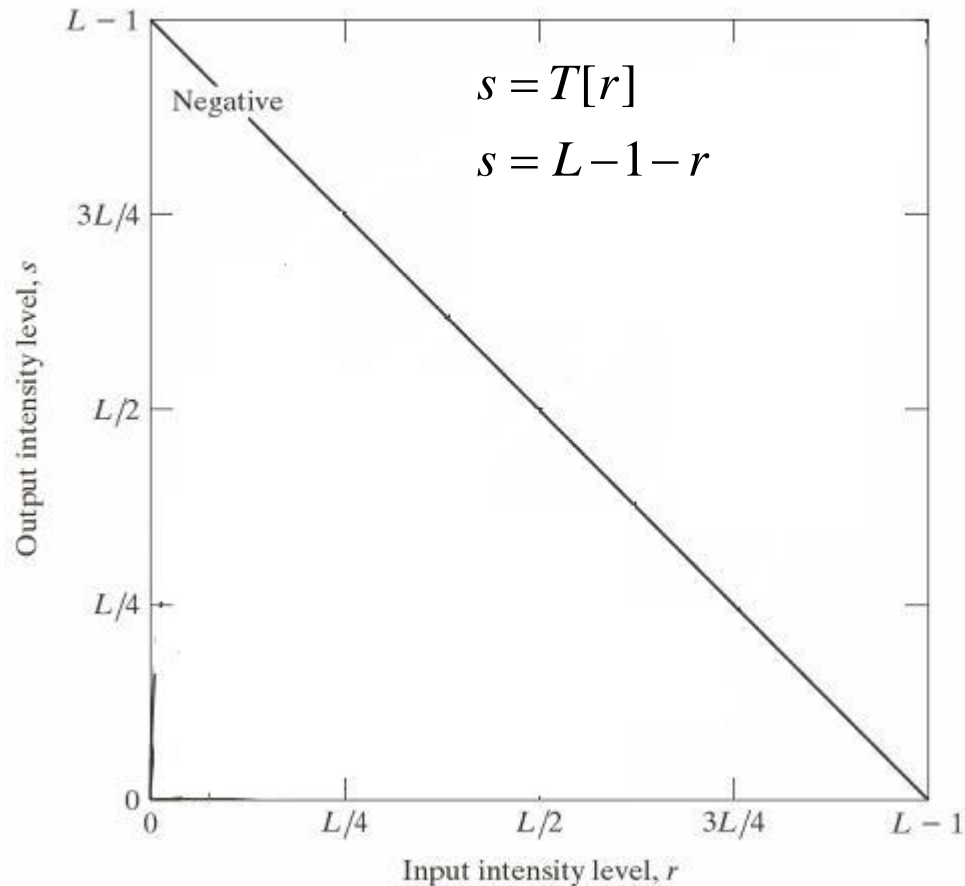
1. 线性: 正比, 反比
2. 对数: 对数, 反对数
3. 幂次: n 次幂, n 次方根





3.2 基于点操作的图像增强-图像反转

- 输入图像的灰度级 r 范围 $[0, L-1]$, 即 $0 \leq r \leq L-1$
- 输出图像的灰度为 $s = L-1-r$
- 灰度图像: “黑白颠倒”
彩色图像: 补色
- 适用于增强图像中暗色区域的灰色细节部分



3.2 基于点操作的图像增强-图像反转

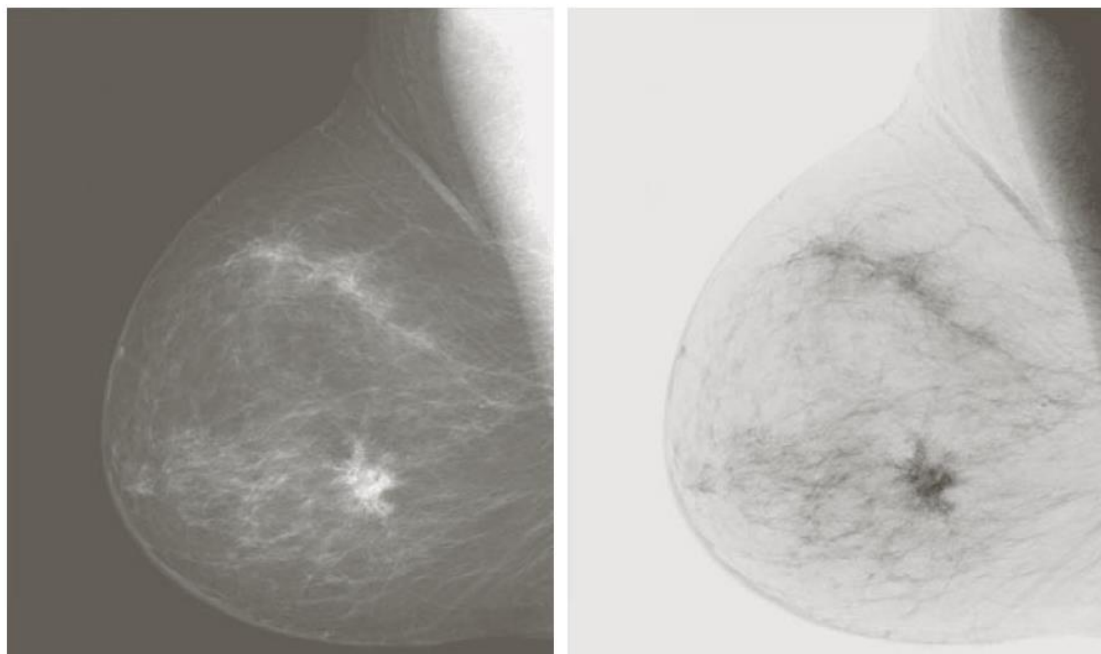


灰度图像



彩色图像

3.2 基于点操作的图像增强-图像反转



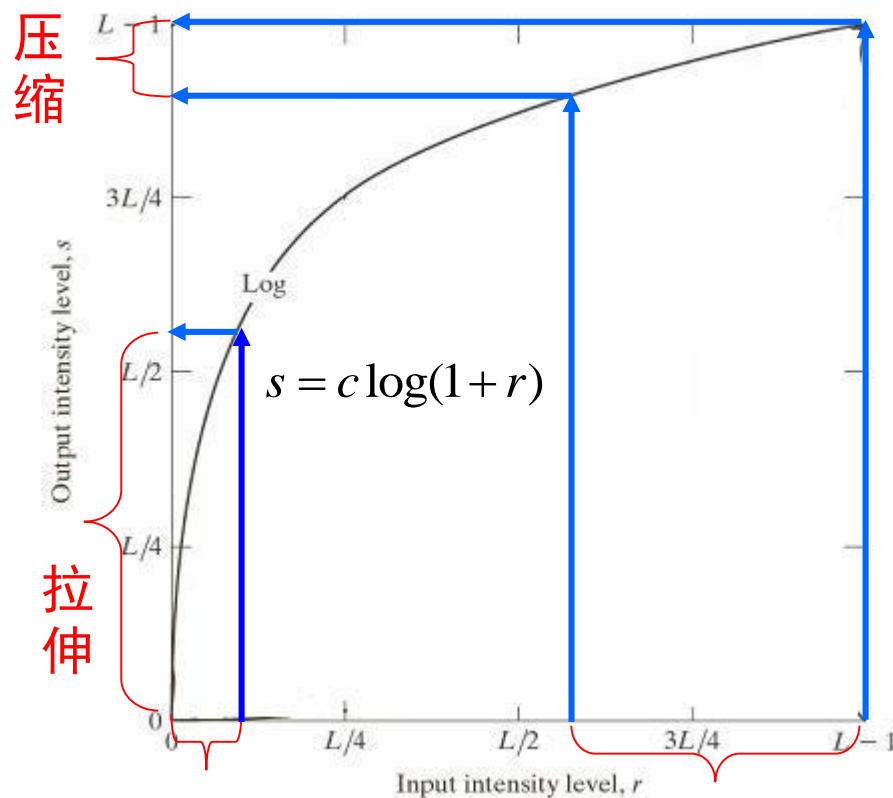


3.2 基于点操作的图像增强-对数变换

- 对数变换表达式

$$s = c \log(1+r)$$

- 把窄范围的低灰度级映射到宽范围的灰度级 (增强低灰度级)
- 把宽范围的高灰度级映射到低范围的灰度级 (抑制高灰度级)
- 应用: 压缩图像的动态范围, 显示图像的傅里叶频谱图像

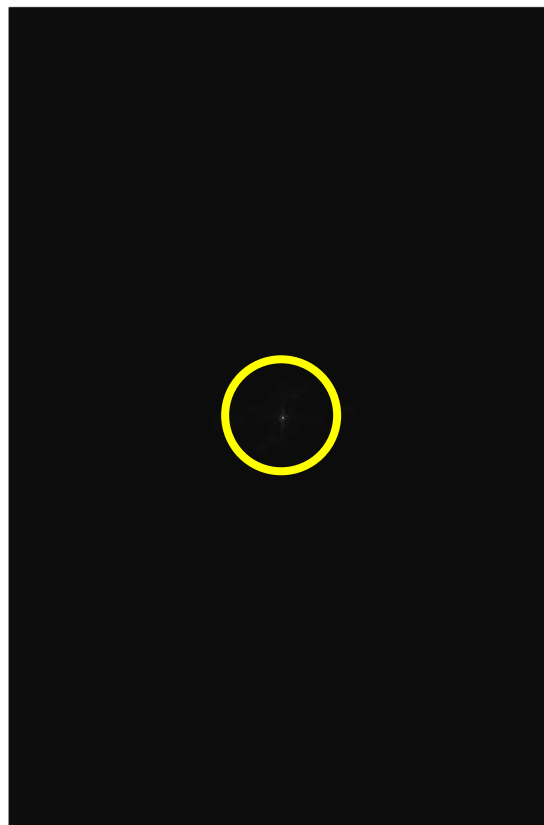


3.2 基于点操作的图像增强-对数变换

➤ 示例: 利用对数变换显示图像的傅里叶频谱



图像

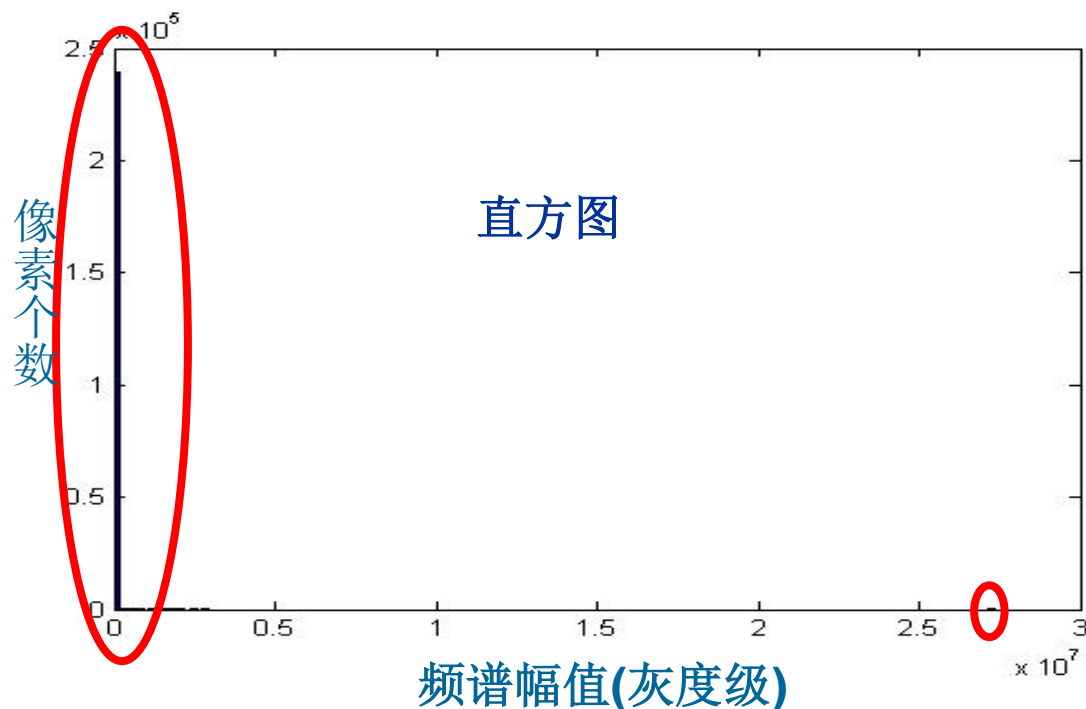
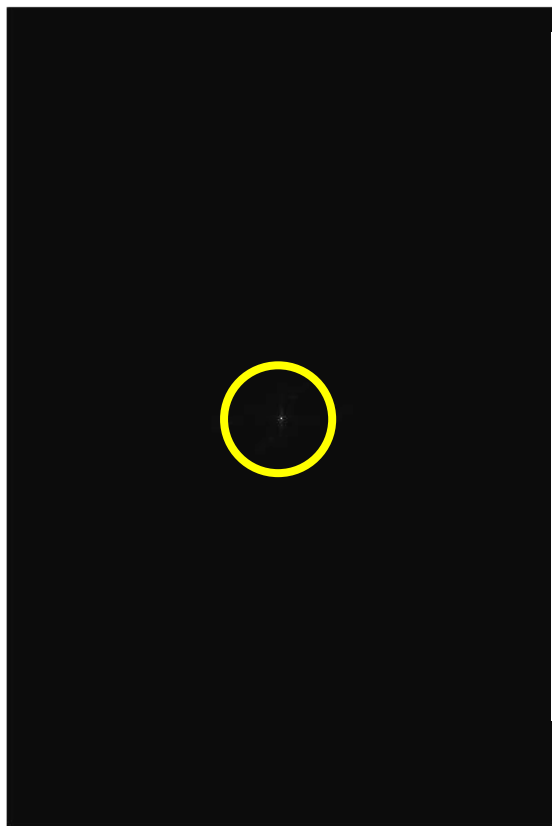


图像的傅里叶谱

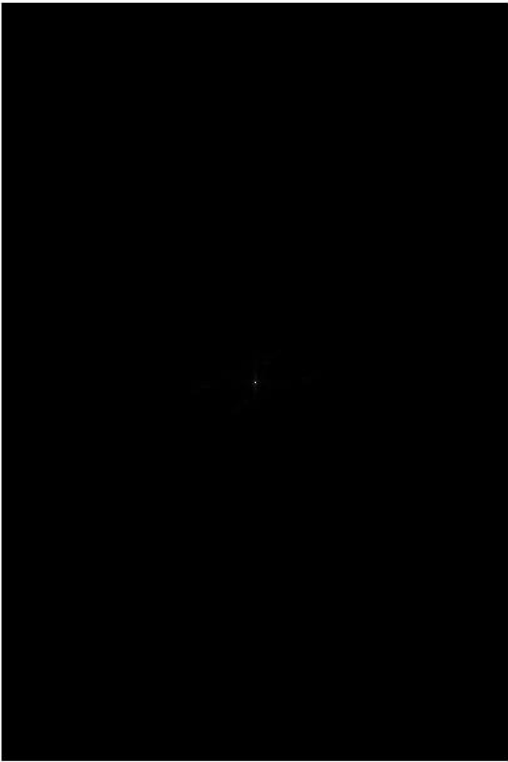
频谱幅值范围: $0 \sim 10^7$,
且低频能量最多

3.2 基于点操作的图像增强-对数变换

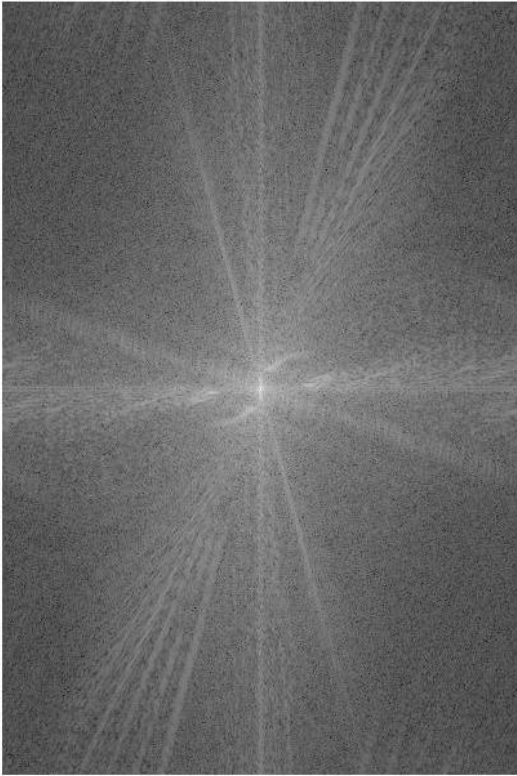
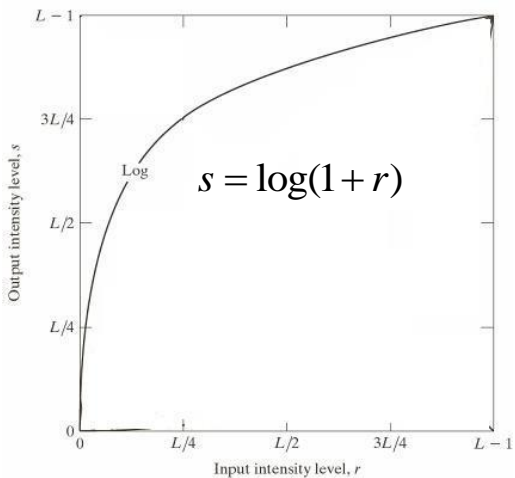
➤ 图像傅里叶谱的直方图



➤对数变换的应用：频谱显示



$s = 1 \cdot \log(1 + r)$



3.2 基于点操作的图像增强-幂次变换

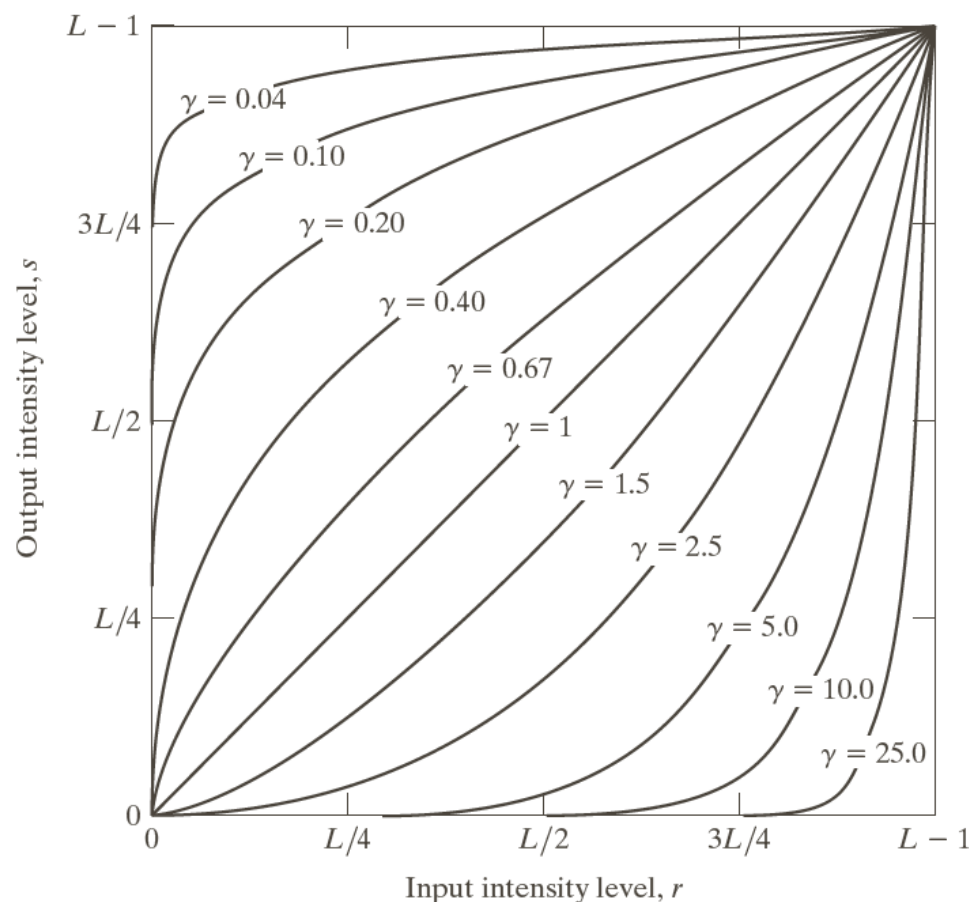
- 幂次变换表达式

$$s = cr^\gamma$$

- $\gamma < 1$: 扩展暗像素值, 压缩亮像素值

- $\gamma > 1$: 压缩暗像素值, 扩展亮像素值

- 应用: 用于各种图像获取、打印和显示等设备的伽马校正





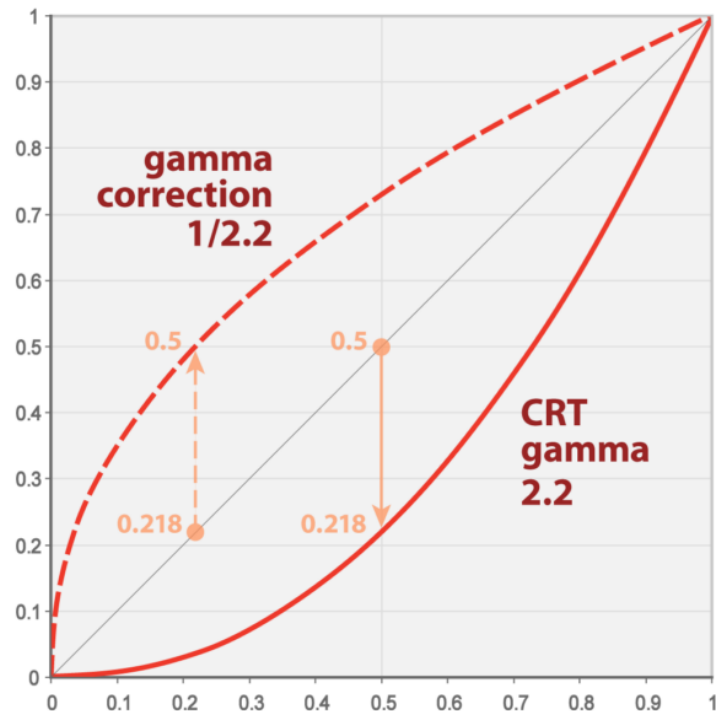
3.2 基于点操作的图像增强-伽马校正

- **CRT**(阴极射线管)设备的电压-亮度曲线近似为幂函数

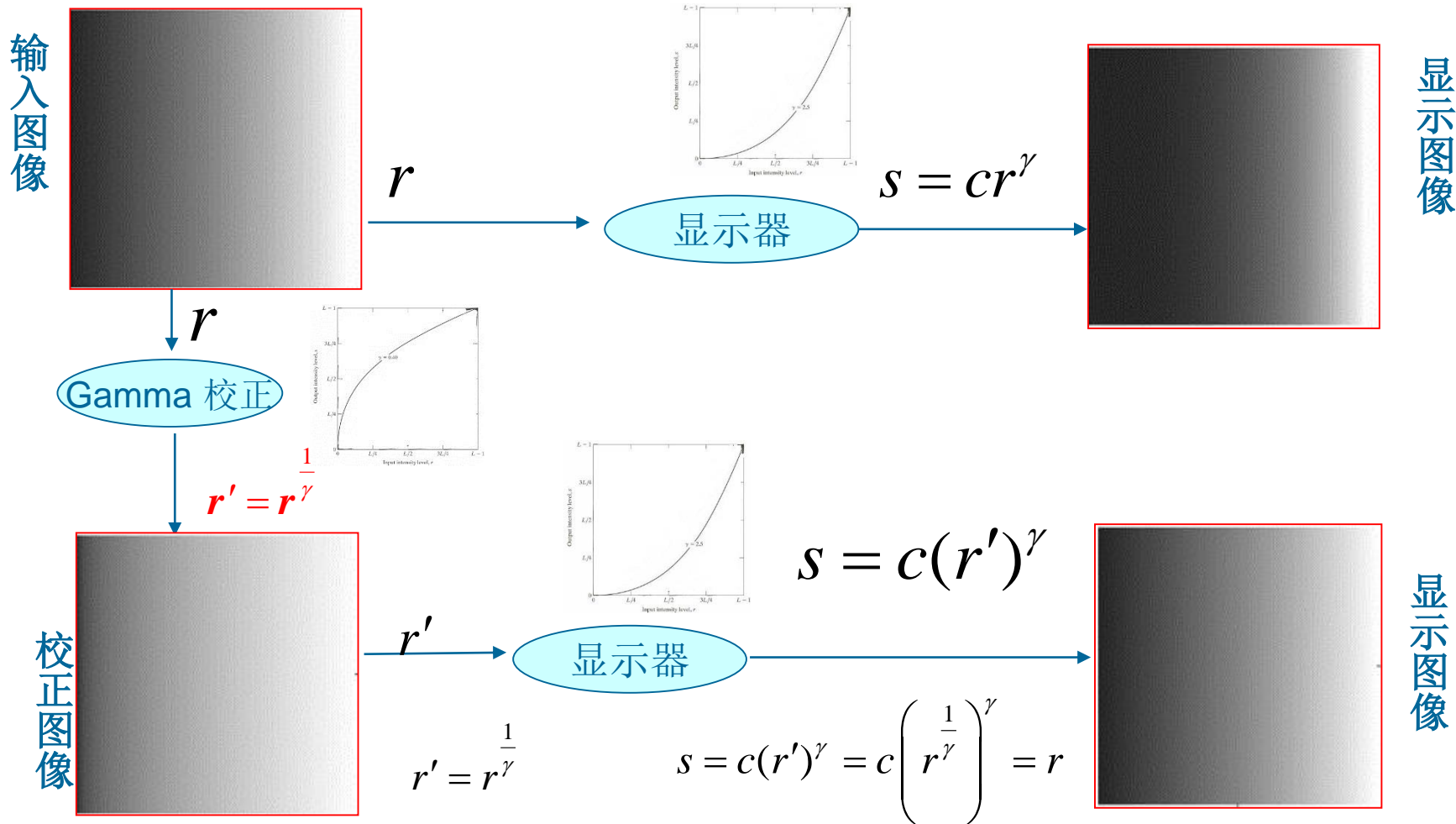
$$s = r^\gamma, \quad \gamma = 1.8 \sim 2.5$$

- 没有进行伽马校正的输出图像比输入图像暗,且暗区被压缩
- 将经过伽马校正后的图像 r' 作为输入,得到接近真实的显示效果

$$s = (r')^\gamma = r^{\frac{1}{\gamma} \times \gamma} = r$$



3.2 基于点操作的图像增强-伽马校正

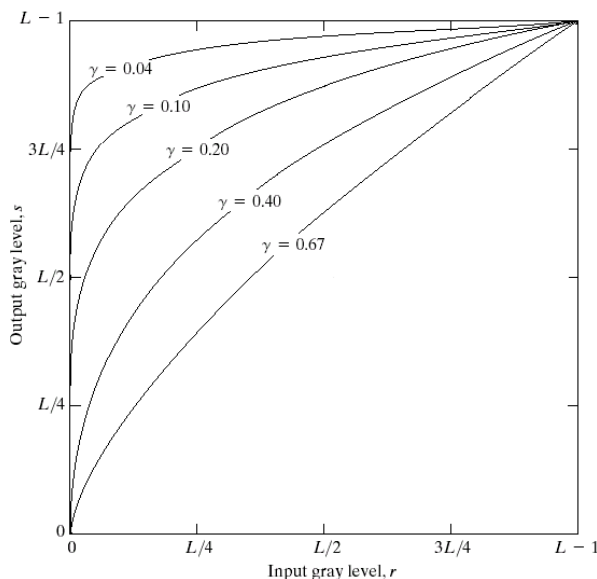


3.2 基于点操作的图像增强-对比图增强

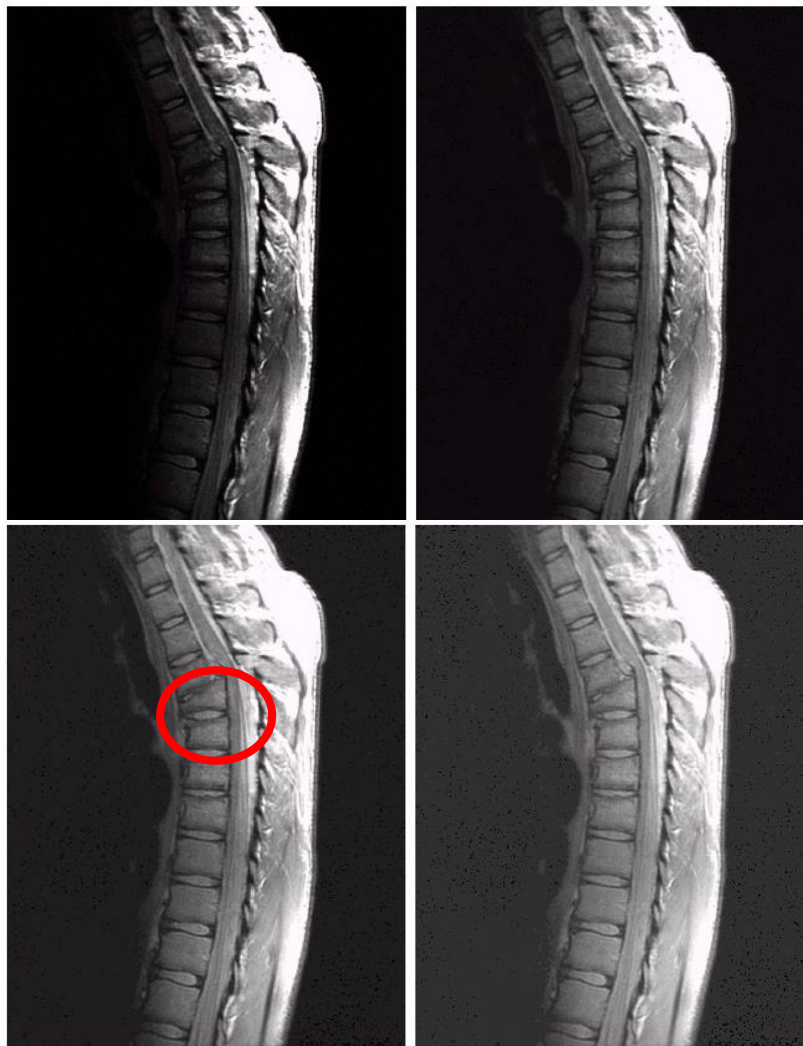
➤ 扩展暗灰度级:

MR图像增强

原始图像



$\gamma = 0.4$



$\gamma = 0.6$

$\gamma = 0.3$

背景冲淡，
对比度下降，
反而不清晰。

脊椎骨折错位，核磁共振图像

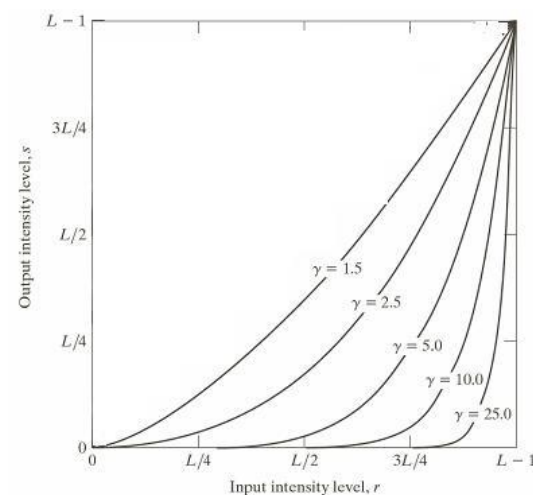
3.2 基于点操作的图像增强-对比图增强

➤ 压缩暗灰度级：航拍图像增强

原始航拍图像
(washed out)



$\gamma = 3$



$\gamma = 5$

图像本身有冲淡现象， $r=4$ 时效果最好

3.2 基于点操作的图像增强-分段线性变换

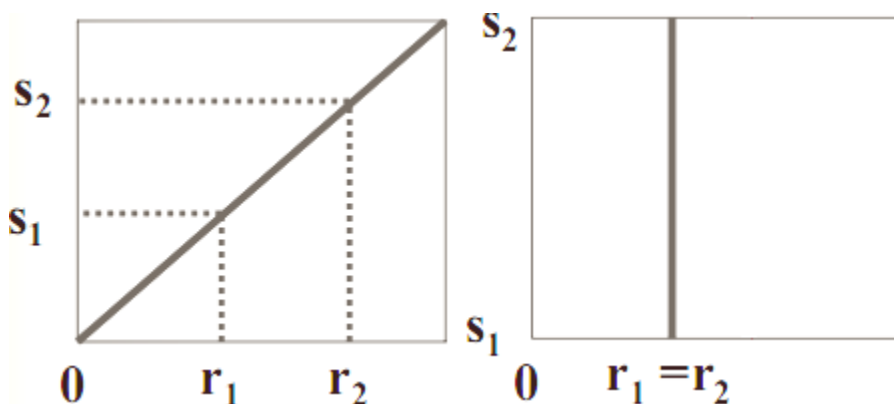
- **分段线性变换**: 将灰度级划归不同范围, 每个范围采用不同的线性变换
- 优点: 变换形式可根据需要任意合成
- 缺点: 需用户输入
- 主要形式:
 - 对比度拉伸
 - 灰度级分层(灰度切割)
 - 比特平面分层 (位图切割)



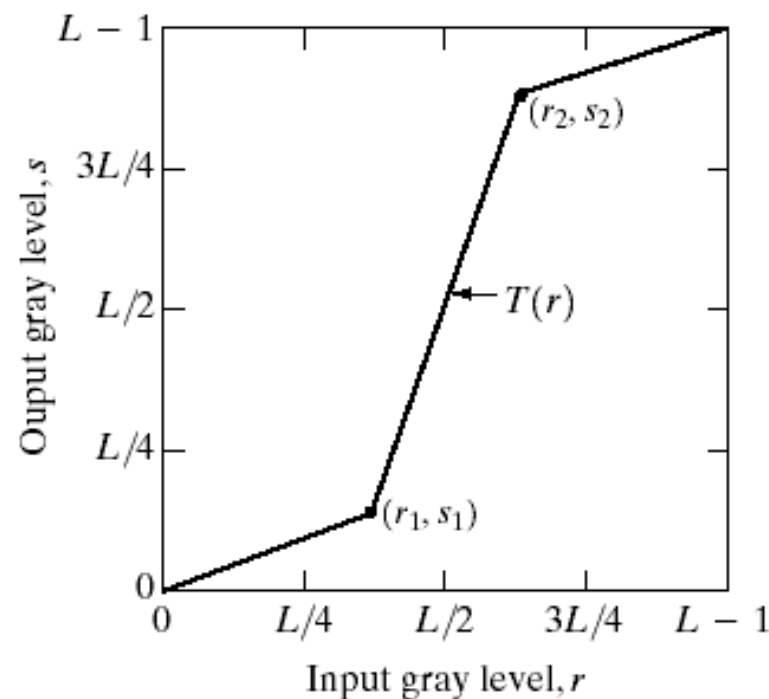
3.2 基于点操作的图像增强-分段线性变换

■ 对比度拉伸: 提高图像灰度级的动态范围

$$s = T(r) = \begin{cases} a_1 r & 0 \leq r < r_1 \\ a_2(r - r_1) + s_1 & r_1 \leq r < r_2 \\ a_3(r - r_2) + s_2 & r_2 \leq r \leq L-1 \end{cases}$$



$$s_1 = r_1, \quad s_2 = r_2$$

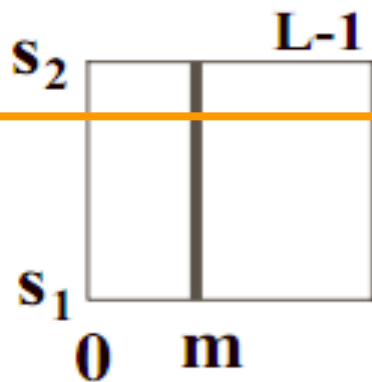
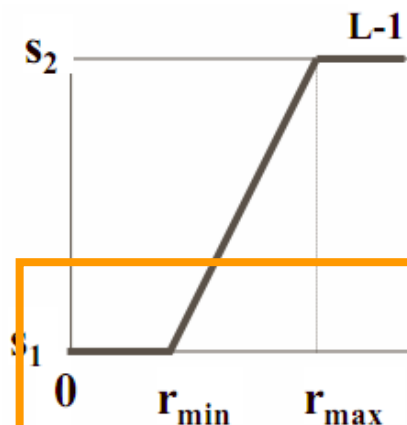
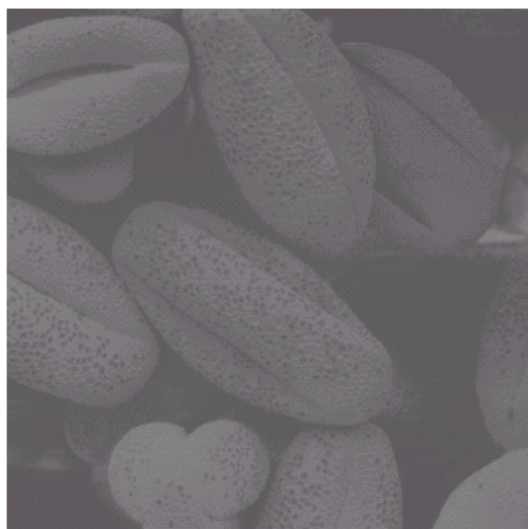




3.2 基于点操作的图像增强-分段线性变换

■ 对比度拉伸: 提高图像灰度级的动态范围

电子显微镜放大约
700倍的花粉图像

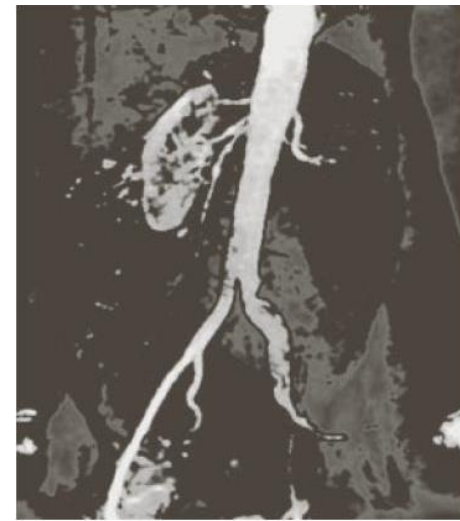
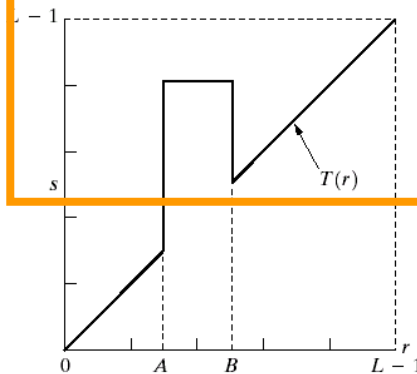
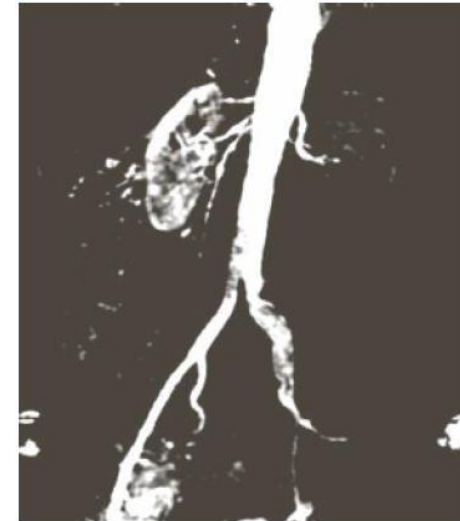
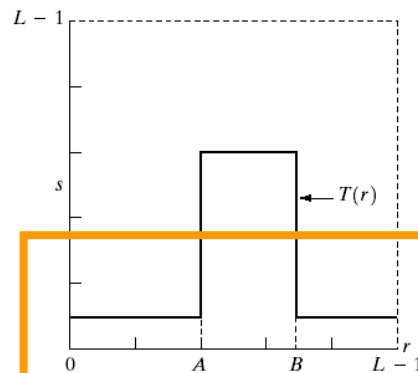


低对比度: 灰度仅存在于比较窄的范围里面;
导致原因: 照明不足、传感器动态范围小、光圈设置错误。

3.2 基于点操作的图像增强-分段线性变换

- **灰度级分层:** 突出图像中特定灰度范围的亮度

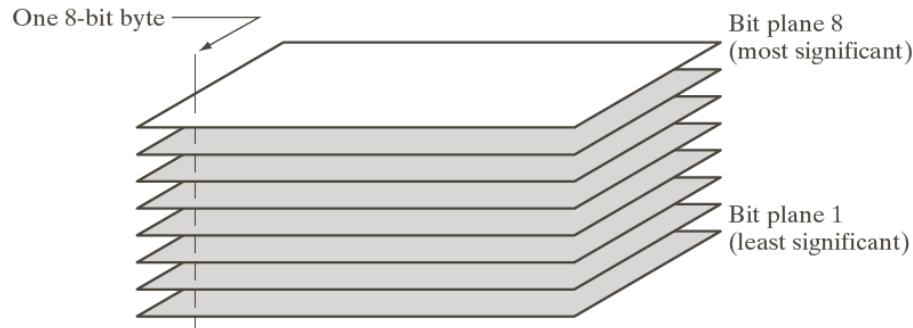
肾脏区域的大动脉
血管造影图





3.2 基于点操作的图像增强-分段线性变换

■ 比特平面分层: 分析图像每个比特的相对重要性



边缘灰度194

二进制: 11000010





3.2 基于点操作的图像增强-分段线性变换

- 比特平面分层: 分析图像每个比特的相对重要性



比特平面6



比特平面7



比特平面8



a b c

FIGURE 3.15 Images reconstructed using (a) bit planes 8 and 7; (b) bit planes 8, 7, and 6; and (c) bit planes 8, 7, 6, and 5. Compare (c) with Fig. 3.14(a).

3.3 基于直方图的图像增强

■ 直方图的定义

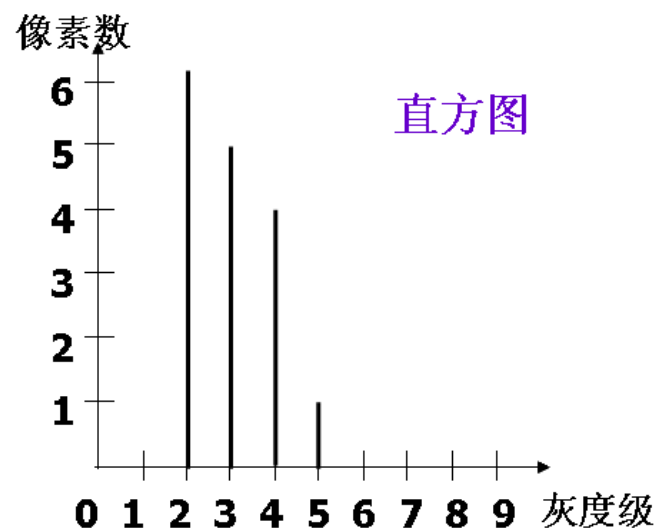
- 灰度级为 $[0, L-1]$ 范围的数字图像的直方图(Histogram)是离散函数 $h(r_k)=n_k(k=0,1,...,L-1)$
- r_k 是第 k 级灰度
- n_k 是图像中灰度级为 r_k 的像素的个数

- 直方图是表示具有不同灰度级的像素个数的条形图.把图像的灰度看作一个随机变量,则直方图是描述该随机变量的概率分布的一个近似.

■ 基于直方图的图像增强技术

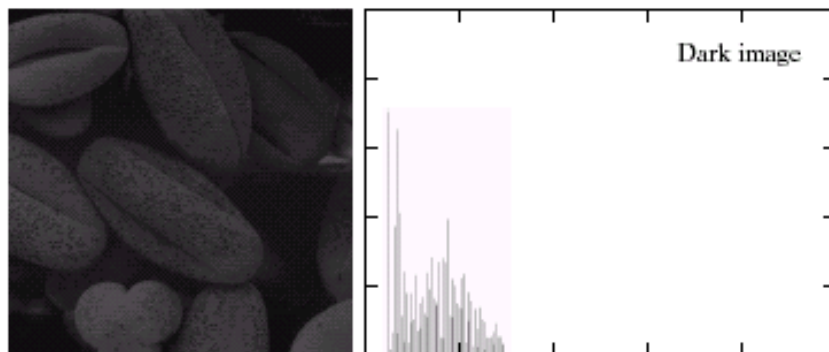
- 直方图均衡
- 直方图规定化
- 局部直方图处理

2	3	3	2
4	2	4	3
3	2	3	5
2	4	2	4

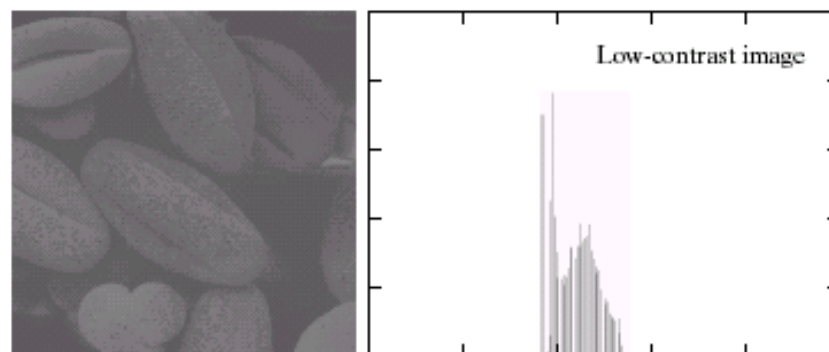


3.3 基于直方图的图像增强

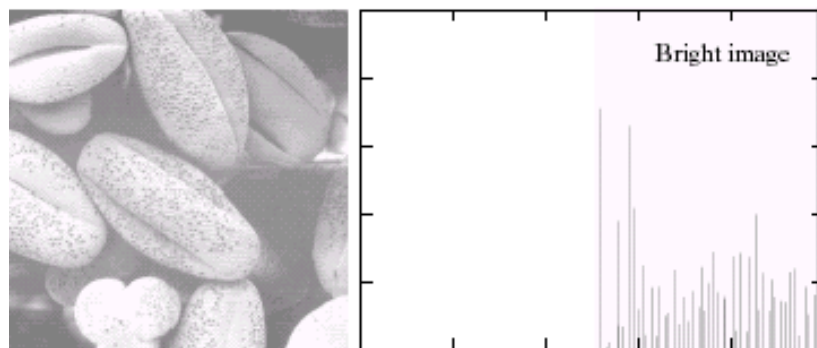
为什么要做直方图的均衡化



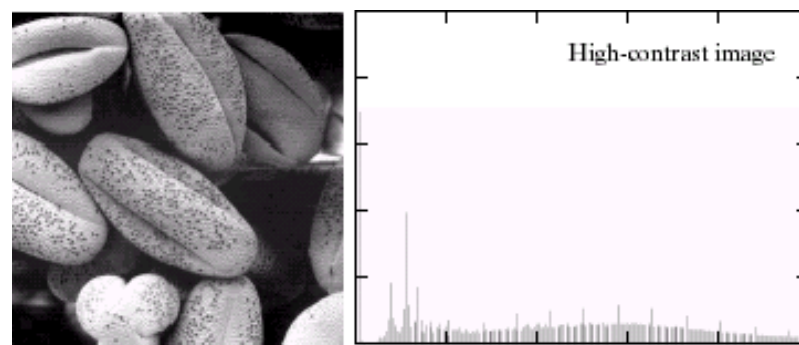
暗图像：直方图的组成成分集中在灰度级低的一侧



低对比度图像：直方图窄而且集中在灰度级的中间，好像图像被冲淡一样



亮图像：直方图的组成成分集中在灰度级高的一侧



高对比度图像：直方图覆盖了灰度级很宽的范围，分布较均匀



3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡

- **直方图均衡(Histogram Equalization)**
 - 使变换后的图像中各灰度级出现的几率相当, 变换后概率密度函数(pdf)为均匀分布。
- 灰度级是连续模拟数值情况, 对于直方图变换 $s=T(r)$, 变换函数 $T(r)$ 应满足:
 - 条件1. $T(r)$ 在区间 $0 \leq r < 1$ 中为**单调递增函数**;
 - 条件2. 当 $0 \leq r \leq 1$ 时, $0 \leq T(r) \leq 1$ 。
- 归一化直方图: $p(r_k)=n_k/n$ (n 为像素总数)
 - 归一化直方图给出了图像中各灰度级发生的概率估计值
 - 归一化直方图中所有部分的总和为1

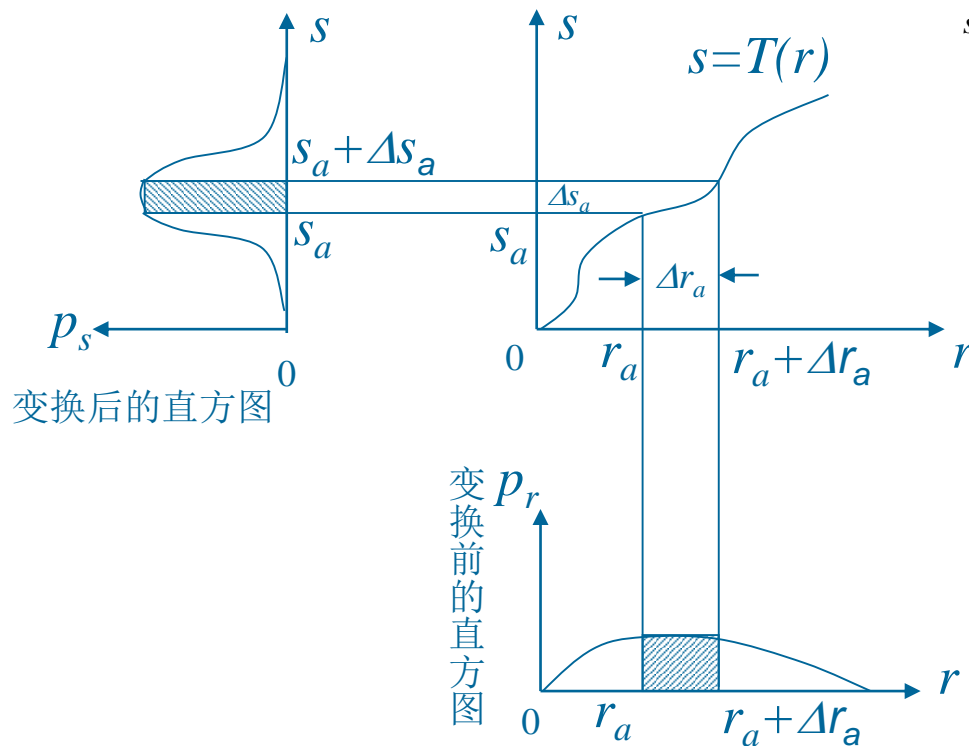


3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡

用 r 表示变换前的灰度, $p_r(w)$ 表示变换前的直方图

用 s 表示变换后的灰度, $p_s(w)$ 表示变换后的直方图

变换前后面积相等



$$\int_{s_a}^{s_a + \Delta s_a} p_s(w) dw = \int_{r_a}^{r_a + \Delta r_a} p_r(w) dw$$

如果 Δr_a 小, Δs_a 也小

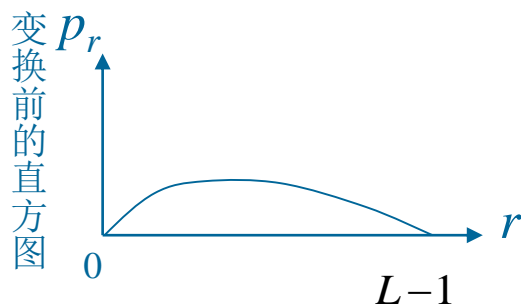
$$p_s(s_a) \Delta s_a = p_r(r_a) \Delta r_a$$

$$p_s(s_a) = \frac{p_r(r_a)}{\Delta s_a / \Delta r_a} = \frac{p_r(r_a)}{ds_a / dr_a}$$

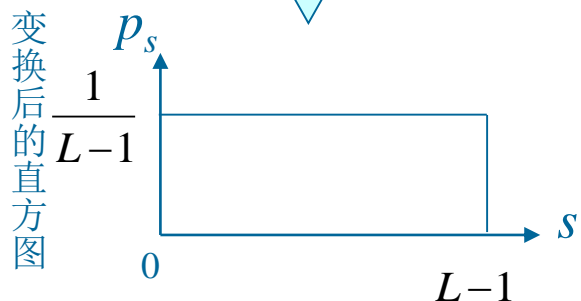
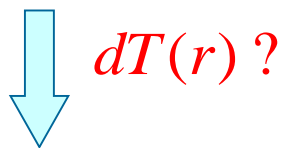
$$\text{其中 } \frac{ds_a}{dr_a} = \frac{dT(r_a)}{dr_a}$$

$$\text{故: } p_s(s_a) = p_r(r_a) \frac{1}{dT(r_a)/dr_a} \text{ 😊}$$

3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡



$$p_s(s) = p_r(r) \frac{1}{dT(r)/dr} = p_r(r) \frac{1}{(L-1)p_r(r)} = \frac{1}{(L-1)}$$



$$\frac{dT(r)}{dr} = \frac{d((L-1) \int_0^r p_r(w) dw)}{dr} = (L-1) p_r(r)$$

\therefore 累计分布函数(CDF): $s = T(r) = (L-1) \int_0^r p_r(w) dw$

是连续灰度级图像情况的直方图均衡化所需的变换函数



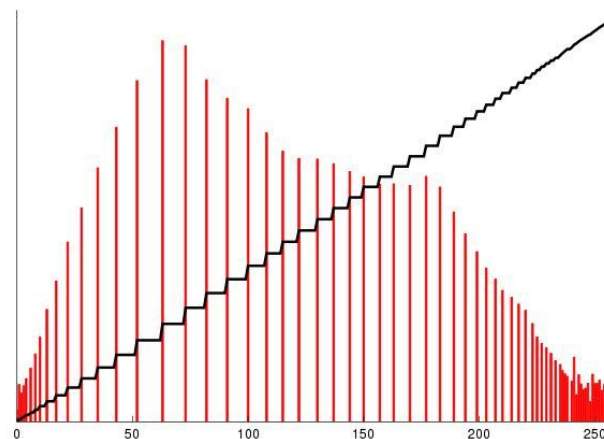
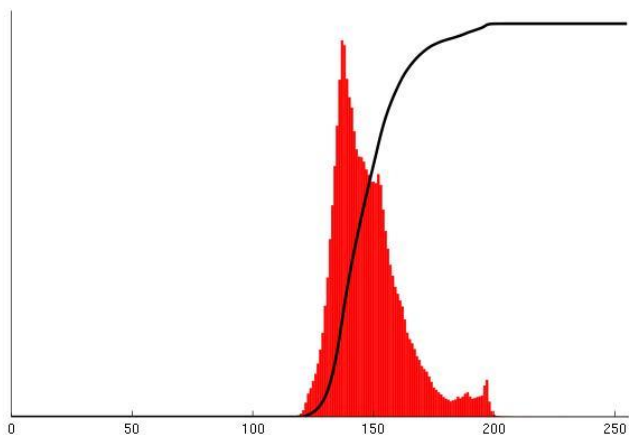
3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡

- 数字图像的灰度级不连续, 对应的变换函数为离散形式

$$p_k(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L-1$$

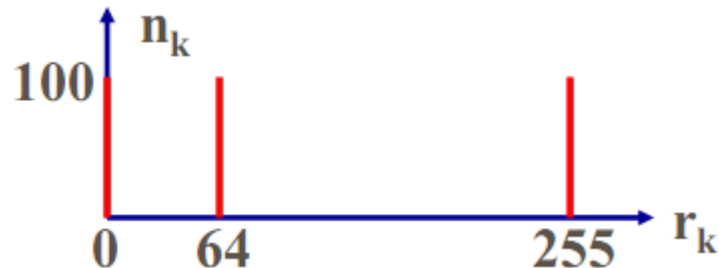
$$s_k = T(r_k) = (L-1) \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = (L-1) \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L-1$$

- 数字图像的直方图均衡结果一般不能产生完全均匀的 pdf, 但能有效展开直方图, 达到扩展灰度级范围的目的



3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡

- 直方图均衡示例: 高10个像素, 长30个像素



- 计算变换函数T

$$T(0) = 100 / 300 * 255 = 85$$

.....

$$T(63) = T(62) + 0/300 = 85$$

$$T(64) = (100 / 300 + 100 / 300) * 255 = 170$$

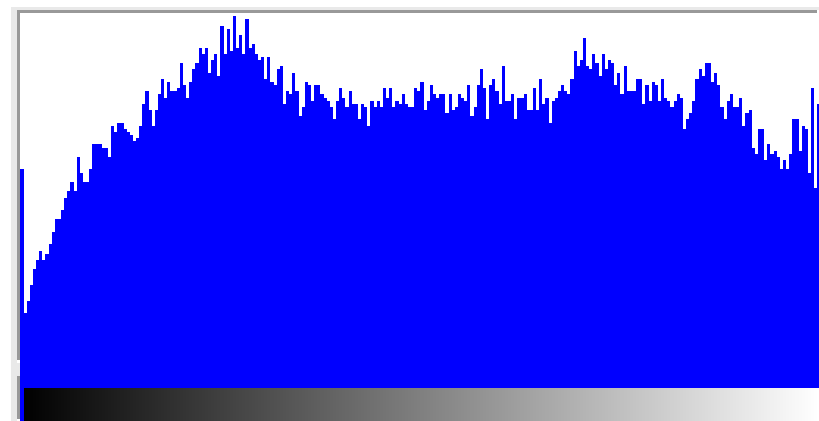
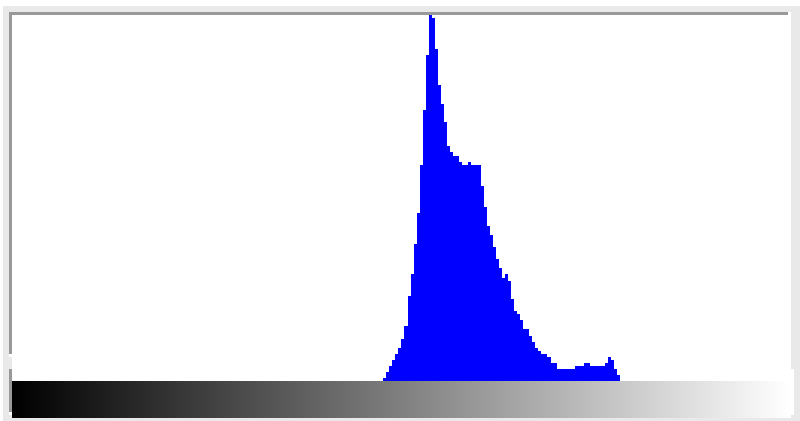
.....

$$T(254) = T(253) + 0/300 = 170$$

$$T(255) = (100 / 300 + 100 / 300 + 100 / 300) * 255 = 255$$

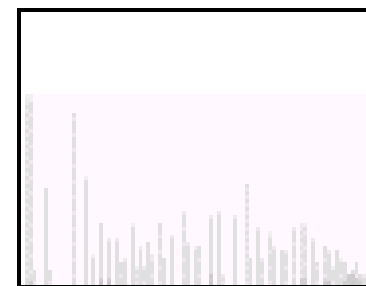
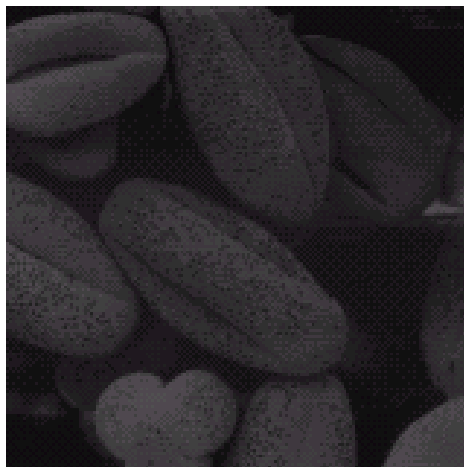
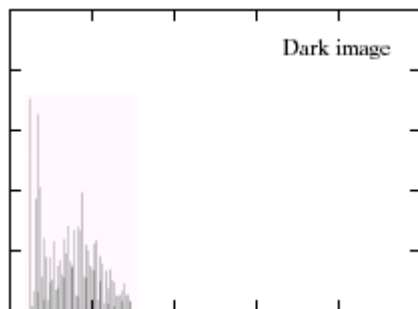


3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡

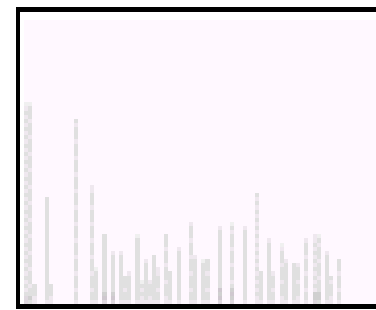
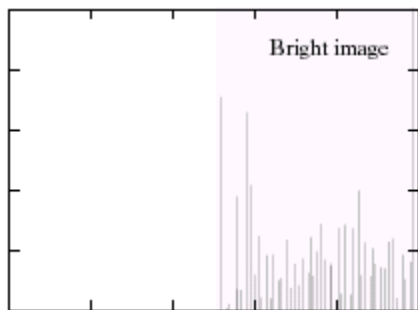


3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡

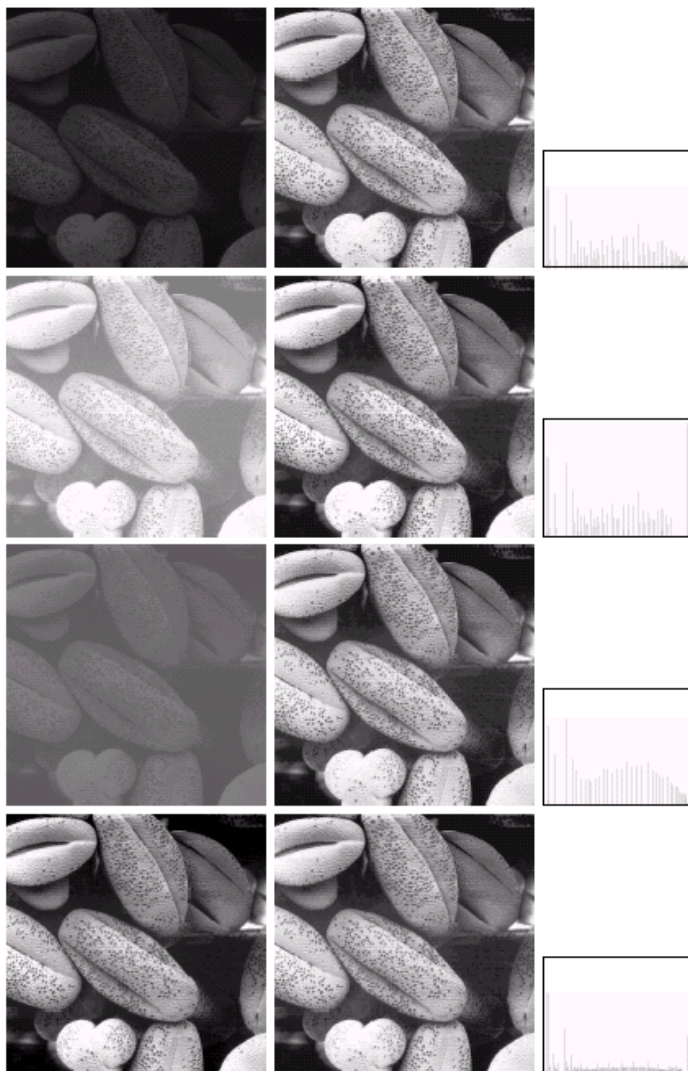
暗图像



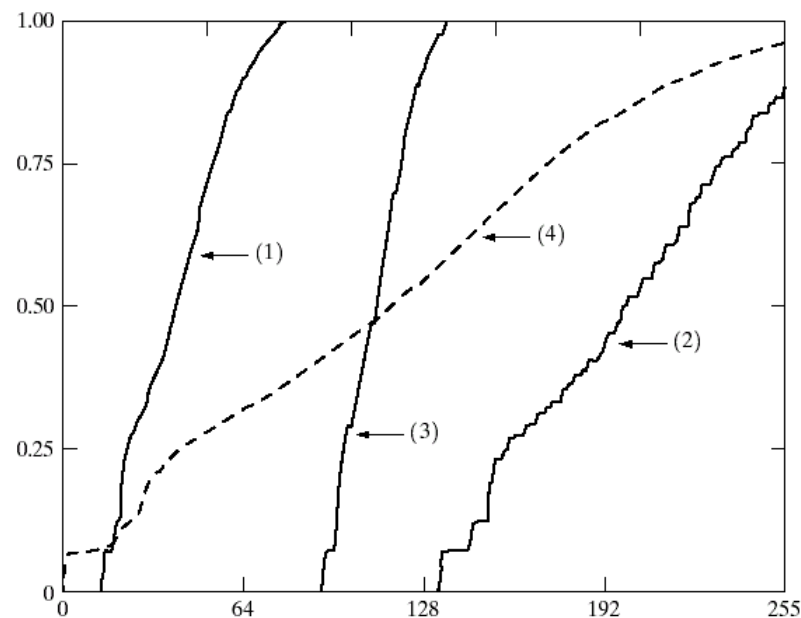
亮图像



3.3 基于直方图的图像增强-直方图均衡



- 原始图像差别很大, 经直方图均衡化后的图像视觉效果接近
- 高对比度图像经直方图均衡化后变化不大



3.3 基于直方图的图像增强-直方图规定化

- 直方图均衡的不足: 只能产生一个直方图近似平均的图像, 缺乏灵活性。
- **直方图规定化**(直方图匹配): 使处理后的直方图具有规定的形状。
- 实现方法: 利用图像直方图均衡化作为中间媒介, 把输入和输出图像分别进行直方图均衡处理, 进而得到规定化所需的变换。
- 直方图均衡可看作是直方图规定化的一种特定形式。



3.3 基于直方图的图像增强-直方图规定化

已知输入图像的直方图为 $p_r(r)$ ，规定输出图像的直方图为 $p_z(z)$

寻找一个变换 $r \mapsto z$ ，使得输出图像的直方图为 $p_z(z)$

考察使输入图像的直方图均衡化的变换函数： $T(r): r \mapsto s$

$$s = T(r) = \int_0^r p_r(w)dw$$

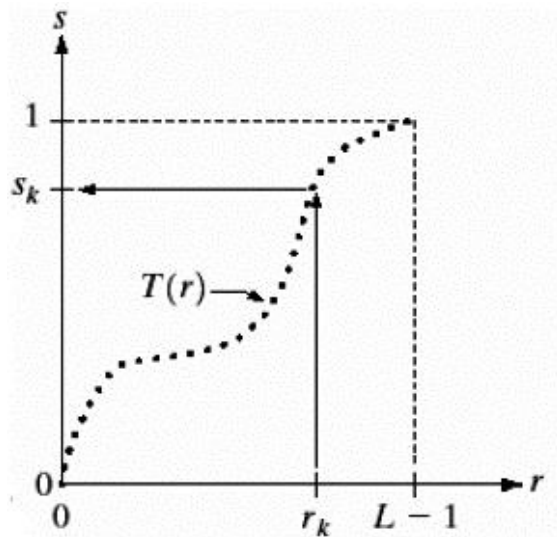
考察使输出图像的直方图均衡化的变换函数： $G(z): z \mapsto s$

$$G(z) = \int_0^z p_z(t)dt = s$$

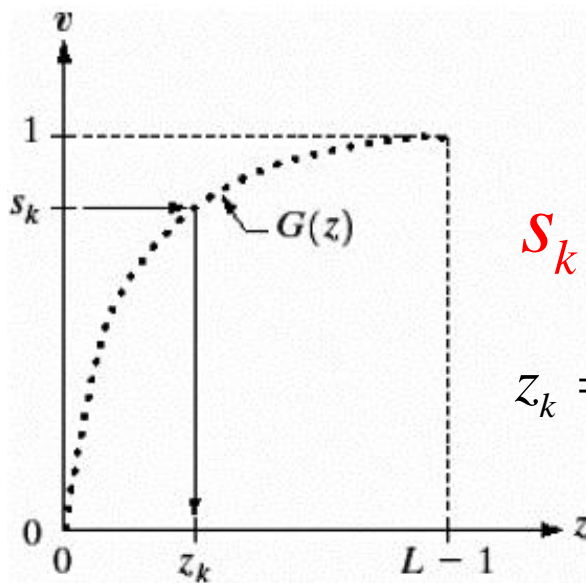
得到： $T(r) = \int_0^z p_z(t)dt = G(z) = s \implies z = G^{-1}(s) = G^{-1}[T(r)]$

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j), \quad s_k = G(z_k) = \sum_{i=0}^k p_z(z_i), \quad z_k = G^{-1}(s_k) = G^{-1}[T(r_k)]$$

3.3 基于直方图的图像增强-直方图规定化

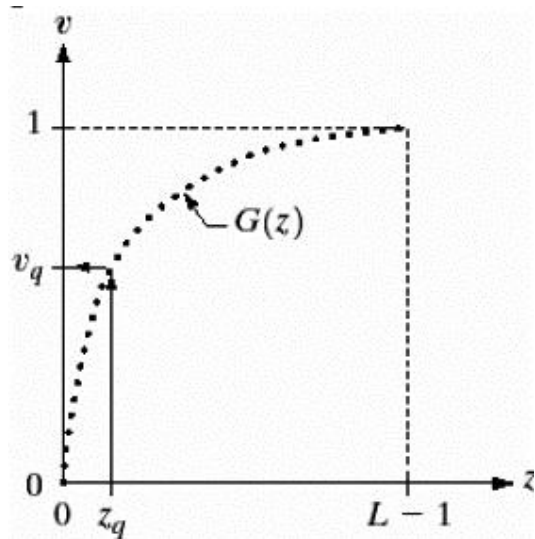


$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j)$$



$$s_k = v_k$$

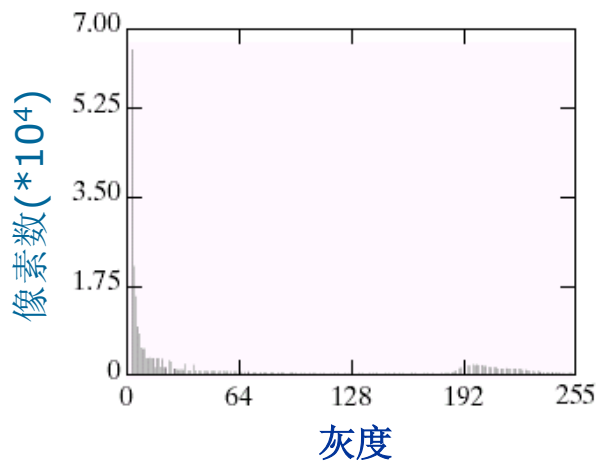
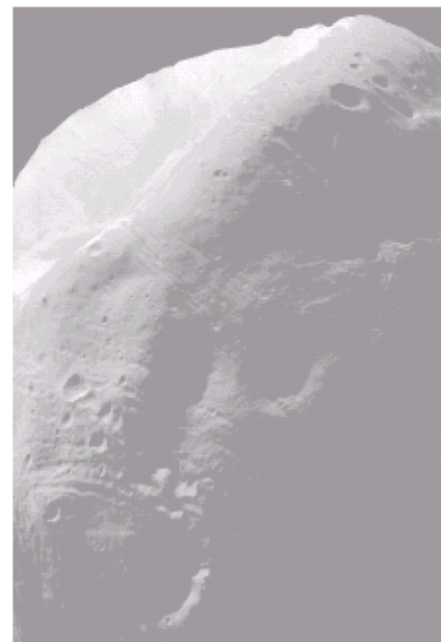
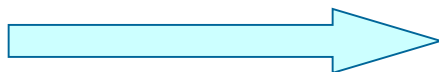
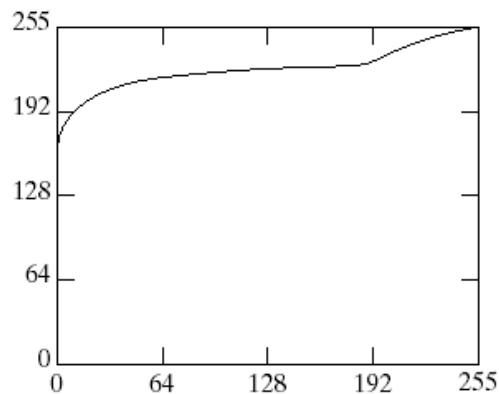
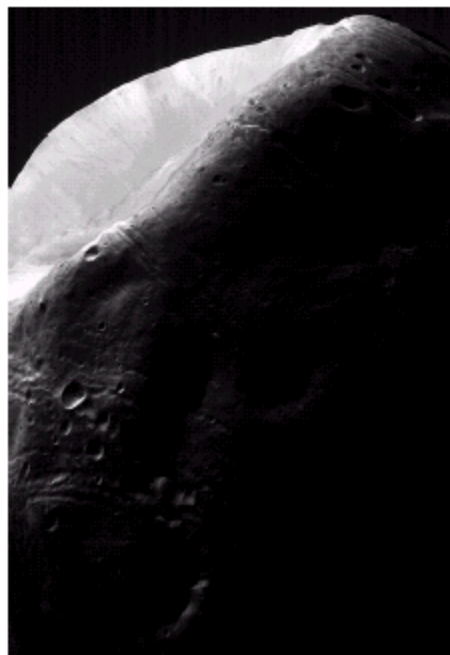
$$z_k = G^{-1}(s_k) = G^{-1}[T(r_k)]$$



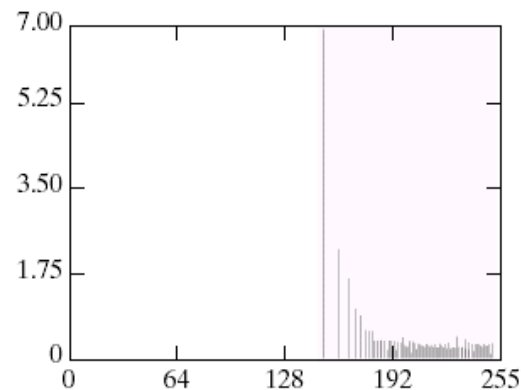
$$v_k = G(z_k) = \sum_{i=0}^k p_z(z_i) \approx s_k$$

3.3 基于直方图的图像增强-直方图规定化

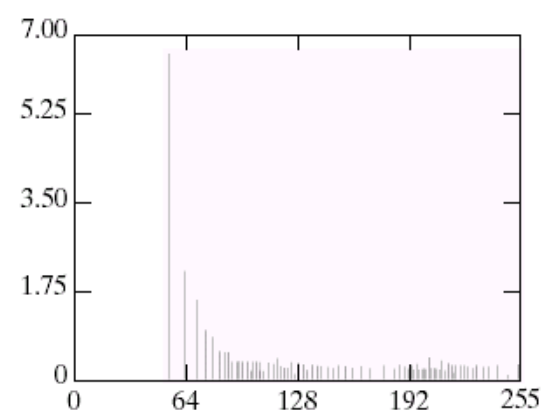
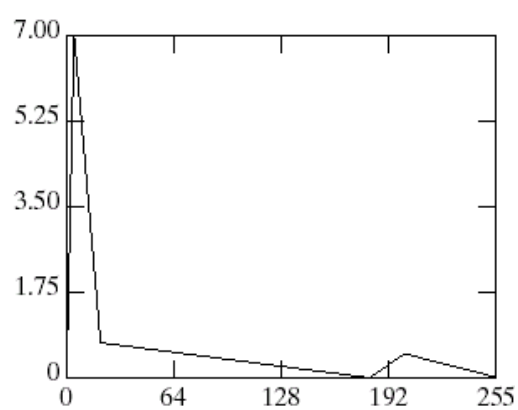
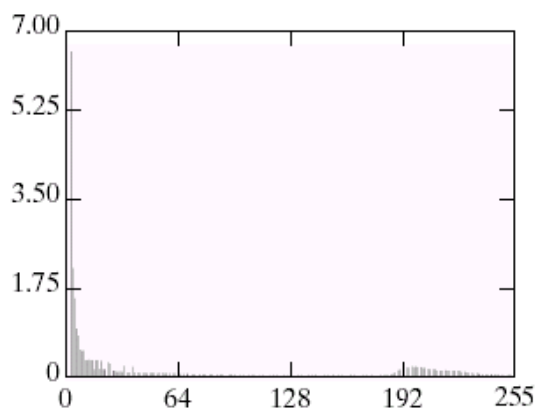
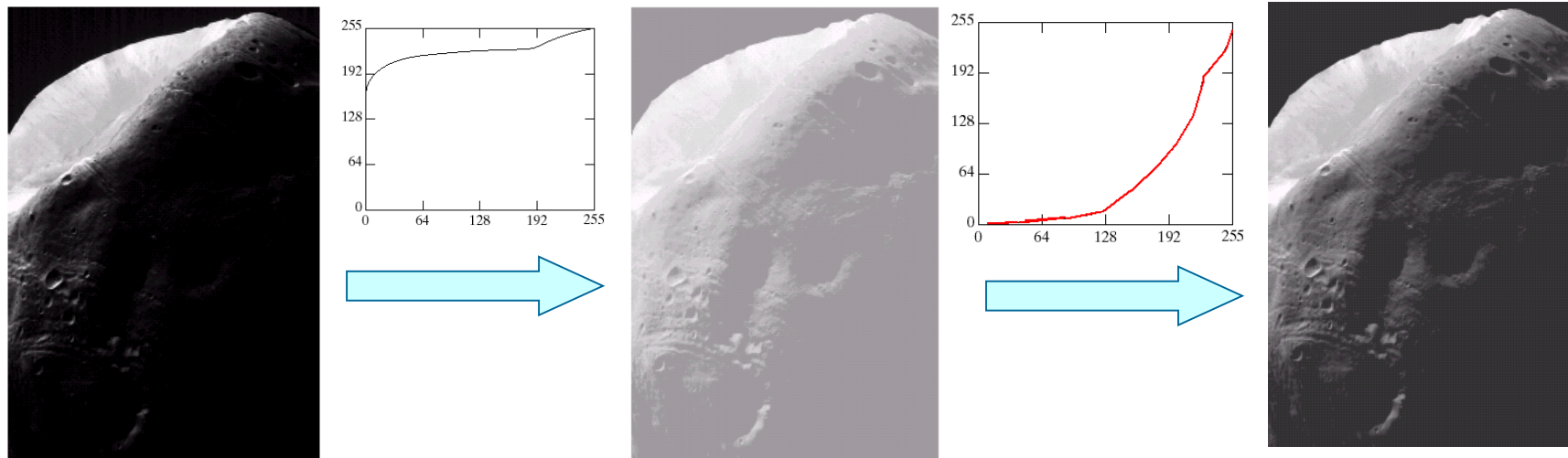
火星卫星图像



直方图均衡后的图像
亮度增加, 被冲淡
原因: 直方图向高灰
度级转移



3.3 基于直方图的图像增强-直方图规定化



一些像素的影响做全局变换的计算中可能被忽略了。

解决方法：以图像中每个像素的邻域中的灰度分布为基础设计变换函数。



a b c

FIGURE 3.26 (a) Original image. (b) Result of global histogram equalization. (c) Result of local histogram equalization applied to (a), using a neighborhood of size 3×3 .

图a有轻微噪声，黑色方块内有物体。图b则明显增加了噪声，重要细节没显示。

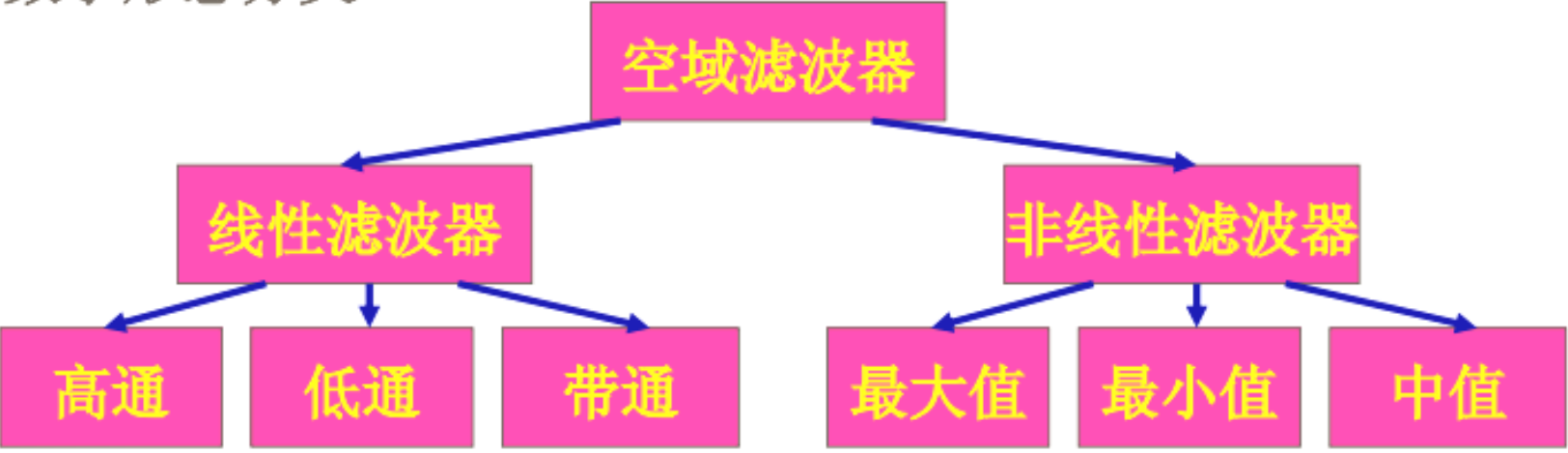
- 背景知识和基本概念
- 基于点操作的图像增强
- 基于直方图的图像增强
- 基于空间滤波的图像增强

3.4 基于空间滤波的图像增强

- 基于空间滤波的图像增强: 借助空间子图像掩模技术的图像增强
- 主要内容:
 1. 空间滤波基本概念
 2. 平滑空间滤波
 3. 锐化空间滤波
 4. 混合空间滤波

■ 空间滤波器分类

数学形态分类



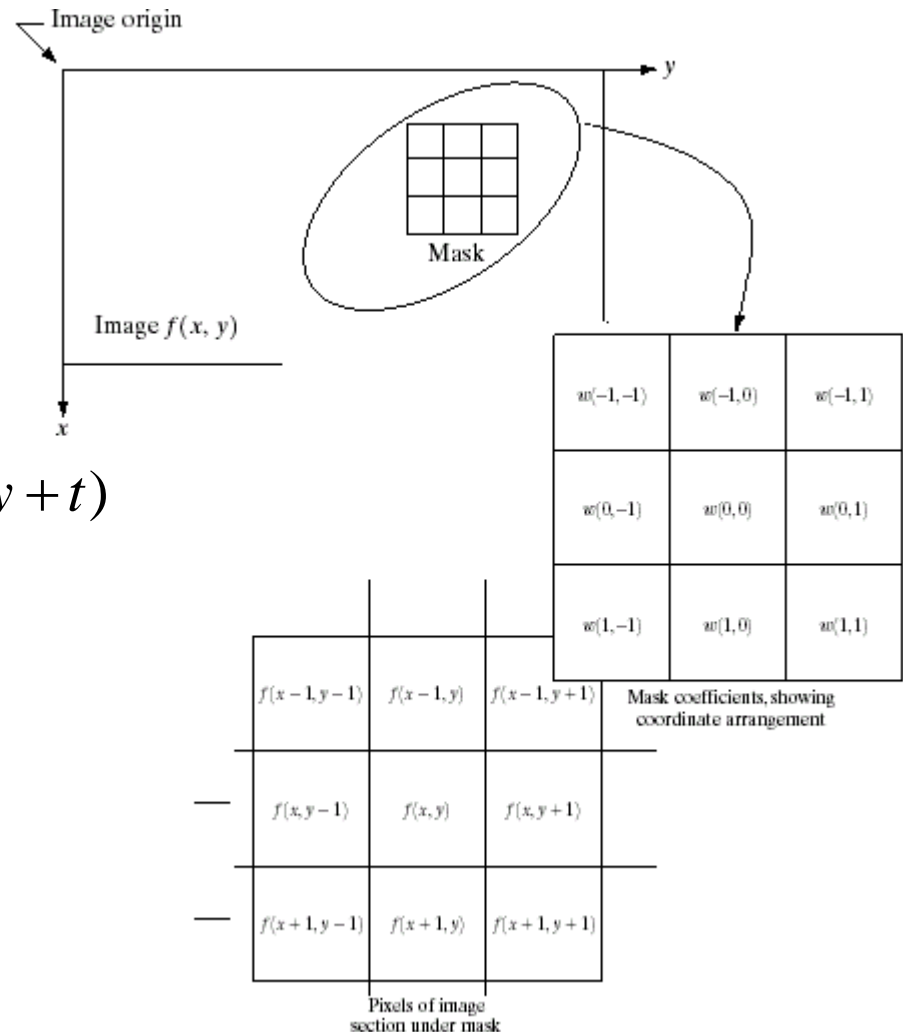
处理效果分类





3.4 基于空间滤波的图像增强

- 子图像又称滤波器、掩模、核、模板和窗口
- 模板大小通常取奇数，最常用的是**3×3**



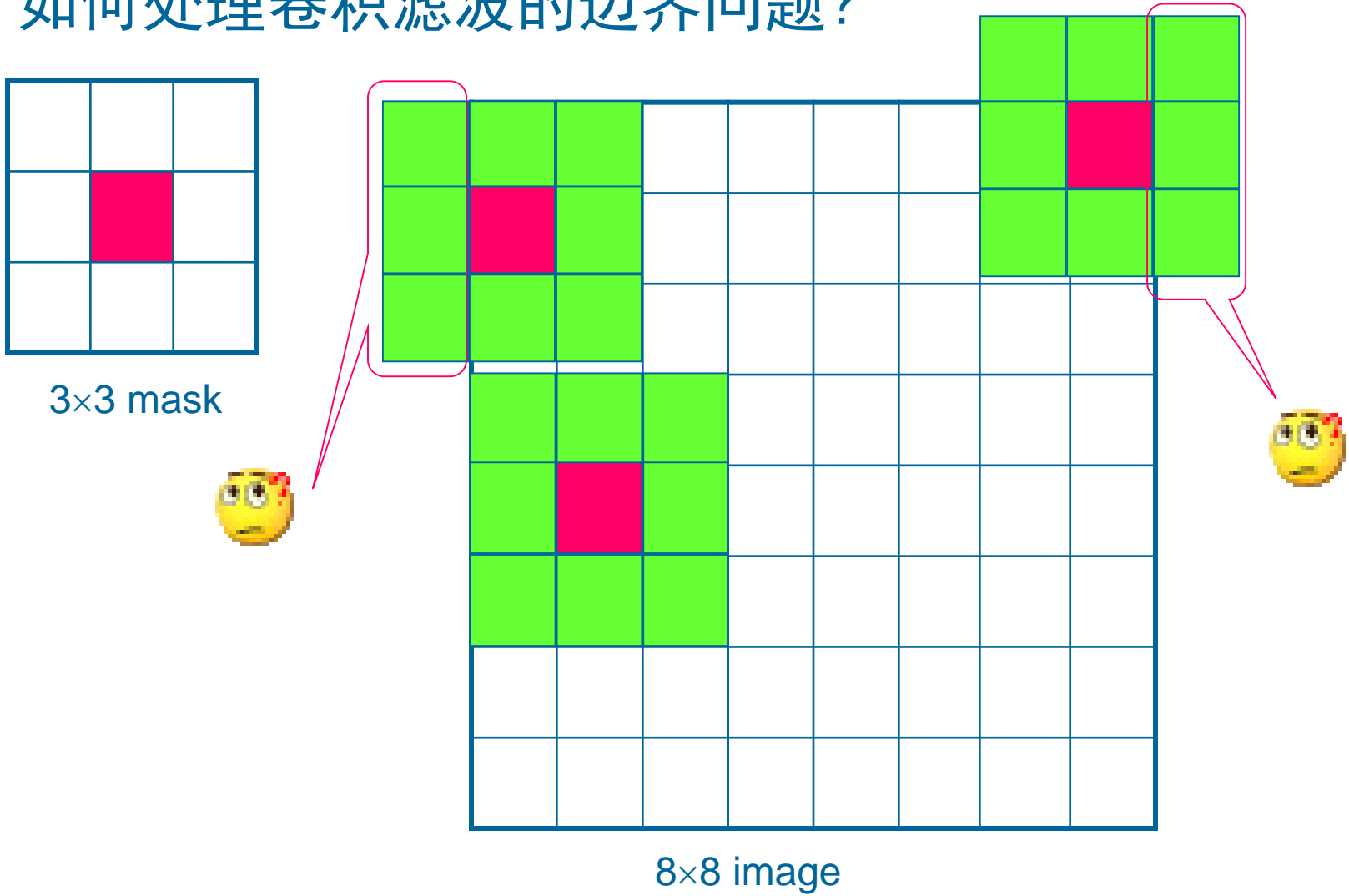
$$g(x, y) = \sum_{s=-a}^{s=a} \sum_{t=-b}^{t=b} w(s, t) f(x + s, y + t)$$

$$a = \frac{m-1}{2} \quad b = \frac{n-1}{2}$$

$$\begin{aligned} g(x, y) &= w(-1, -1) f(x-1, y-1) + \dots \\ &\quad + w(0, 0) f(x, y) + \dots \\ &\quad + w(1, 1) f(x+1, y+1) \\ &= \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 w(i, j) f(x-i, y-j) \end{aligned}$$

3.4 基于空间滤波的图像增强

如何处理卷积滤波的边界问题？

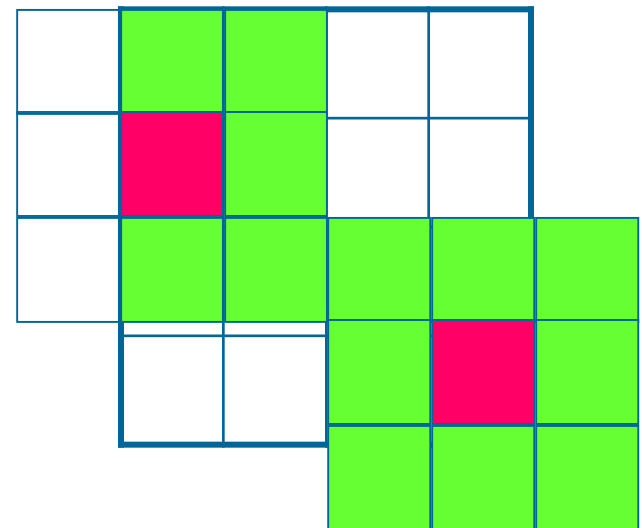
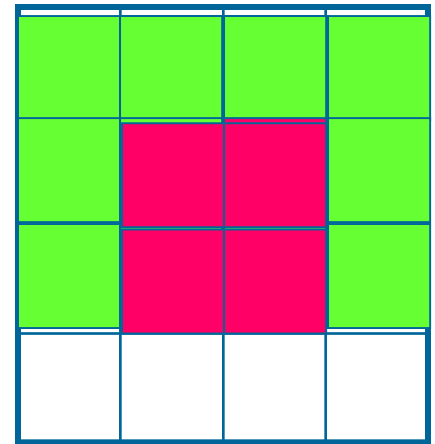




3.4 基于空间滤波的图像增强

处理边界问题的三种方法

- ① **丢弃法**: 对边界部分不予处理, 只对距离边界大于 $(n-1)/2$ 的像素滤波. 滤波后的图像比原始图像小.
- ② **填零法**: 对边界部分用模板的一半滤波, 滤波后的图像与原始图像大小相等
- ③ **延拓法**: 把图像向外延拓几个像素后, 再滤波



3.4 基于空间滤波的图像增强-空间平滑滤波器

- 平滑滤波器主要用于模糊处理和去噪
- 模糊处理常用于预处理, 在提取大的目标之前去除图像的细节, 弱化小物体
- 去噪:
 - 平滑线性滤波器
 - 统计排序滤波器(中值滤波器) 非线性



3.4 基于空间滤波的图像增强-平滑线性滤波器

- **平滑线性滤波器**的输出是包含在滤波模板邻域内所有像素的简单平均值, 是一种**低通滤波器**, 又称**均值滤波器**。
- 应用:
 - 去除图像中的不相干细节(主要应用)
 - 减少噪声
 - 伪轮廓的平滑处理
- 负面影响: 边缘模糊



3.4 基于空间滤波的图像增强-平滑线性滤波器

平滑线性滤波器的两种形式: 盒状/均值滤波器和加权平均滤波器

$$R = \sum_{i=1}^9 \frac{1}{9} z_i = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 z_i$$

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

1	1	1
1	1	1
1	1	1

盒状/均值滤波器: 滤波器所有系数相等, 处理结果是子区域内各像素的平均值

$$R = \sum_{i=1}^9 w_i z_i$$

 $\frac{1}{16} \times$

1	2	1
2	4	2
1	2	1

加权平均滤波器: 根据像素的重要程度对模板内的系数进行加权。

处于模板中心位置的像素最重要, 权值最高; 随着距离中心点的距离增加, 加权系数减小



3.4 基于空间滤波的图像增强-平滑线性滤波器

示例 500×500 图像

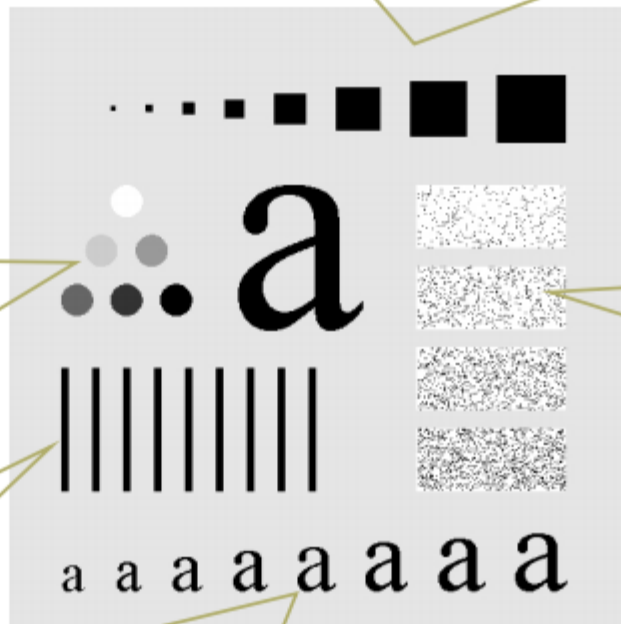
方形大小依次为 3, 5, 9, 15, 25, 35, 45, 55 像素
边缘相距 25 个像素

圆：直径为 25 个像素、相距15个像素，
灰度级在0~100%，
间隔20%。

垂条：
5 像素宽，100 像素
高，间隔20像素

噪声矩形
50×120 像素

字母从 10 号到 24 号，增长幅
度 2 号。





3.4 基于空间滤波的图像增强-平滑线性滤波器

原始图像

注意：滤波器越大，边界现象越明显，边界 0 值填充处理后的结果。

尺寸 $n=5$ 盒滤波器平滑的结果。

较小的字母、圆边缘和细的颗粒比其它部分更加模糊，但是噪声明显减少了。

尺寸 $n=15$ 盒滤波器平滑的结果。

极端情况，用来去除图像中的小物体。

尺寸 $n=3$ 盒滤波器平滑的结果。

图像细节和滤波器掩模近似相同，图像中的一些细节(颗粒)受到较大影响，图像中有轻微模糊(小字母)。

尺寸 $n=9$ 盒滤波器平滑的结果。

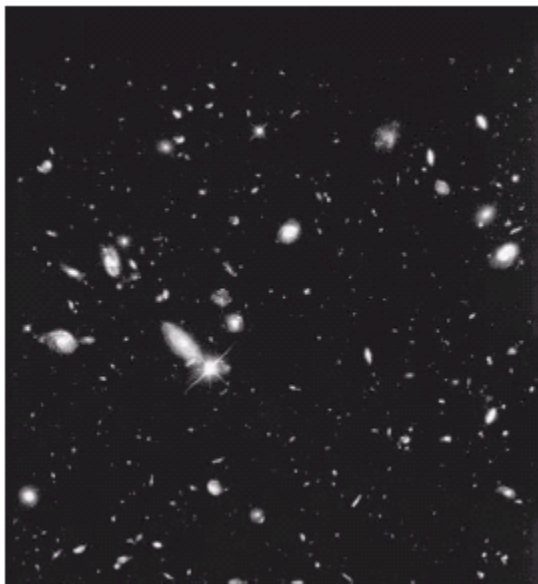
模糊程度有所增加，当目标和相邻像素的灰度相近时(第2个圆圈)，混合效果会导致目标模糊。

尺寸 $n=35$ 盒滤波器平滑的结果

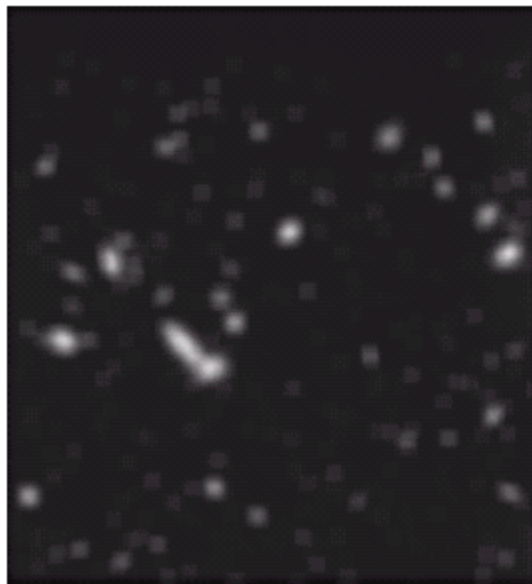
3个小方框，2个小圆以及大部分矩形噪声区域已经融入背景中。

3.4 基于空间滤波的图像增强-平滑线性滤波器

- 示例: 去除图像中小的细节(与滤波所用模板尺寸相比), 增强大物体



哈勃太空望远镜拍摄的太空图像



15×15均值模板处理后的图像



阈值处理后的图像
(以最高亮度的25%为阈值)



3.4 基于空间滤波的图像增强-统计排序滤波器

- **统计排序滤波器: 是一种非线性空间滤波器**
 - 首先对模板对应的子区域中像素进行排序, 然后用统计排序结果确定的值代替中心像素点的值
 - 类型: 中值滤波器, 最小值滤波器, 最大值滤波器
- **中值滤波器: 最常见的统计排序滤波器**
 - 用像素邻域内灰度值的中值代替该像素值
- **应用:**
 - 去除特定类型随机噪声(加性脉冲噪声, 又称椒盐噪声)的同时, 又能保持图像细节(边缘)



3.4 基于空间滤波的图像增强-中值滤波器

■ 示例: 中值滤波器

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

10	20	20
20	15	20
20	25	100

$\{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, z_8, z_9\}$

||

$\{10, 20, 20, 20, 15, 20, 20, 25, 100\}$

排序(从小到大)

$\{10, 15, 20, 20, 20, 20, 20, 25, 100\}$

求中值(第5个数的值)

$$R = \text{median}\{z_k\} = 20$$

滤波器的长度为奇数,形状任意



3.4 基于空间滤波的图像增强-中值滤波器

中
值
濾
波
結
果
示
例



original image



3px median filter

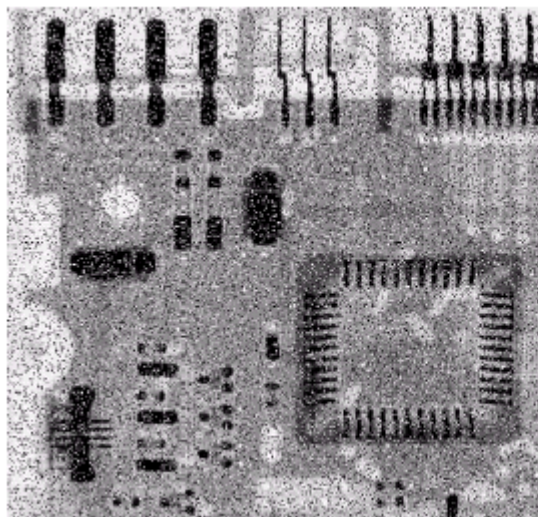


5px median filter

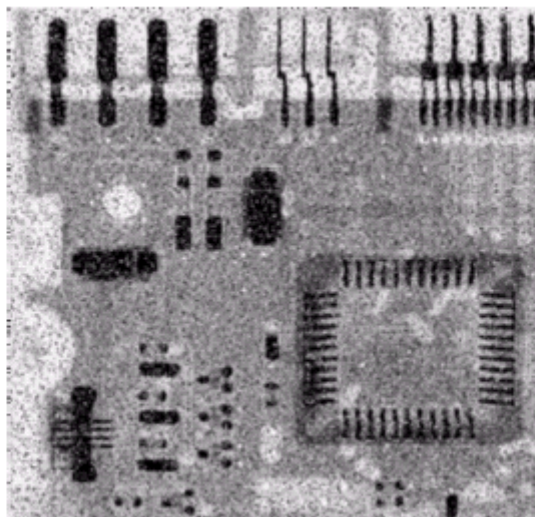


11px median filter

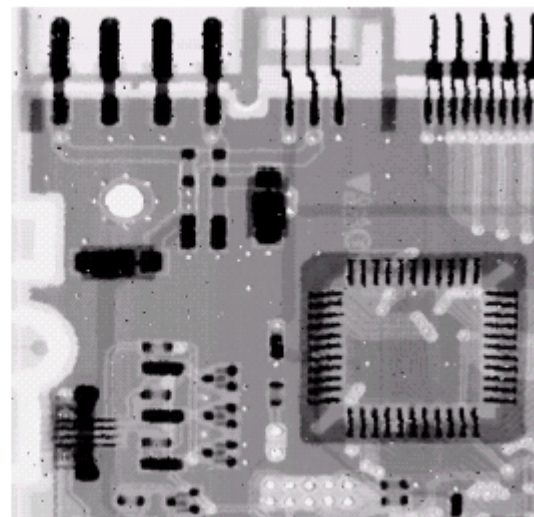
■ 示例: 中值滤波器 vs. 均值滤波器



(a) 被椒盐噪声污染的电路板X光图像



(b) 均值滤波结果
(3×3模板)



(c) 中值滤波结果
(3×3模板)

- 中值滤波器比均值滤波器更适于处理椒盐(pepper-salt)噪声
- 通常在空间域用中值滤波器滤除椒盐噪声.

3.4 基于空间滤波的图像增强-中值滤波器

- **Homework:**
- 请思考最大值滤波器和最小值滤波器适用的场合。



3.4 基于空间滤波的图像增强-锐化空间滤波器

- 锐化空间滤波器: 突出图像中的细节或增强被模糊的细节
- 应用: 电子成像, 工业检测, 军事系统制导
- 方法:
 - 一阶微分
 - 二阶微分

$$\frac{\partial f}{\partial x} = f(x+1) - f(x)$$

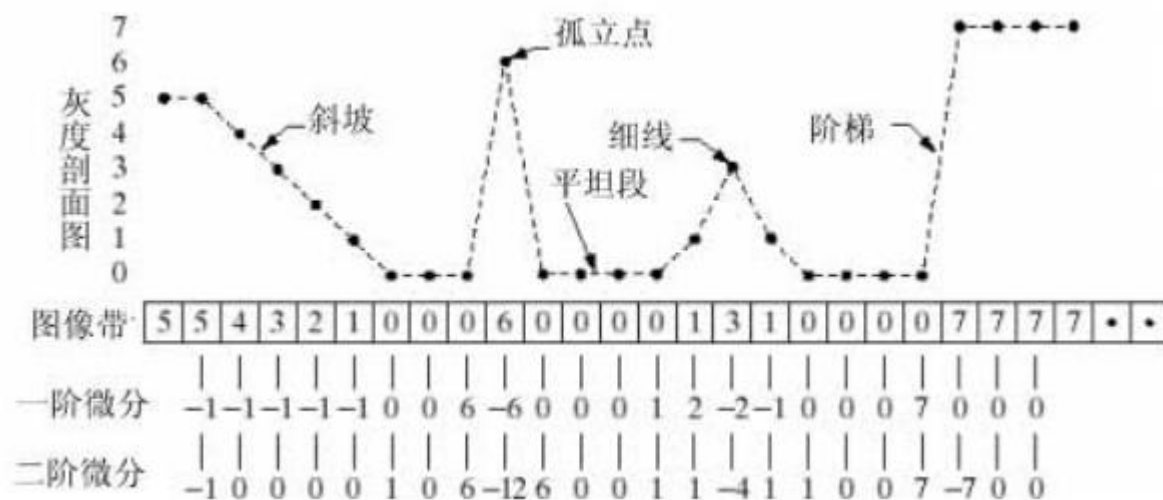
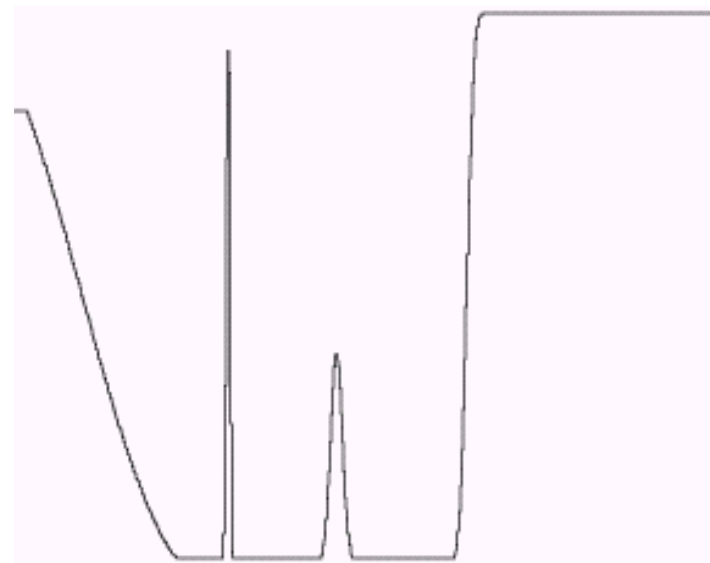
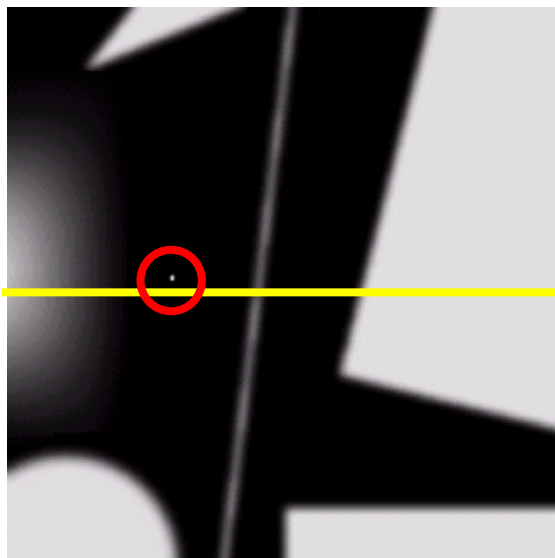
$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f'(x) - f'(x-1)$$

$$\begin{aligned} &= [f(x+1) - f(x)] - [f(x) - f(x-1)] \\ &= f(x+1) + f(x-1) - 2f(x) \end{aligned}$$

$f(x)$	$f(x+1)$
--------	----------

$f(x-1)$	$f(x)$	$f(x+1)$
----------	--------	----------

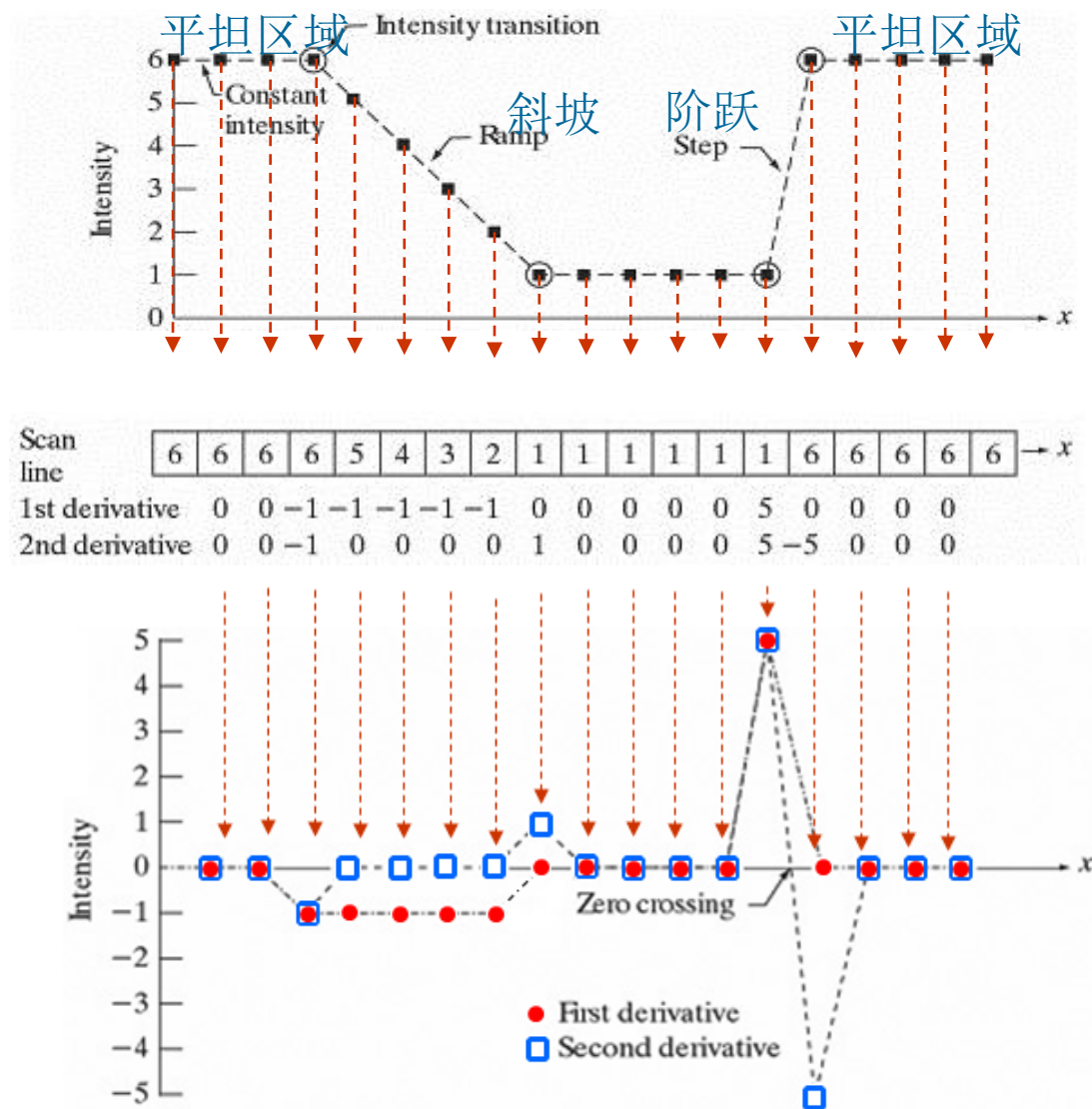
3.4 基于空间滤波的图像增强-锐化空间滤波器





3.4 基于空间滤波的图像增强-空间锐化滤波器

- 一阶微分和二阶微分的特点
- 平坦区域**: 一阶和二阶微分都为零
- 斜坡区域**: 一阶微分处处非零; 二阶微分只在斜坡两端非零, 其它部分均为零
- 阶梯区域**: 一阶微分有正突变; 二阶微分有一个从正的极值到负极值的快速过渡, 产生“双边边缘”效应

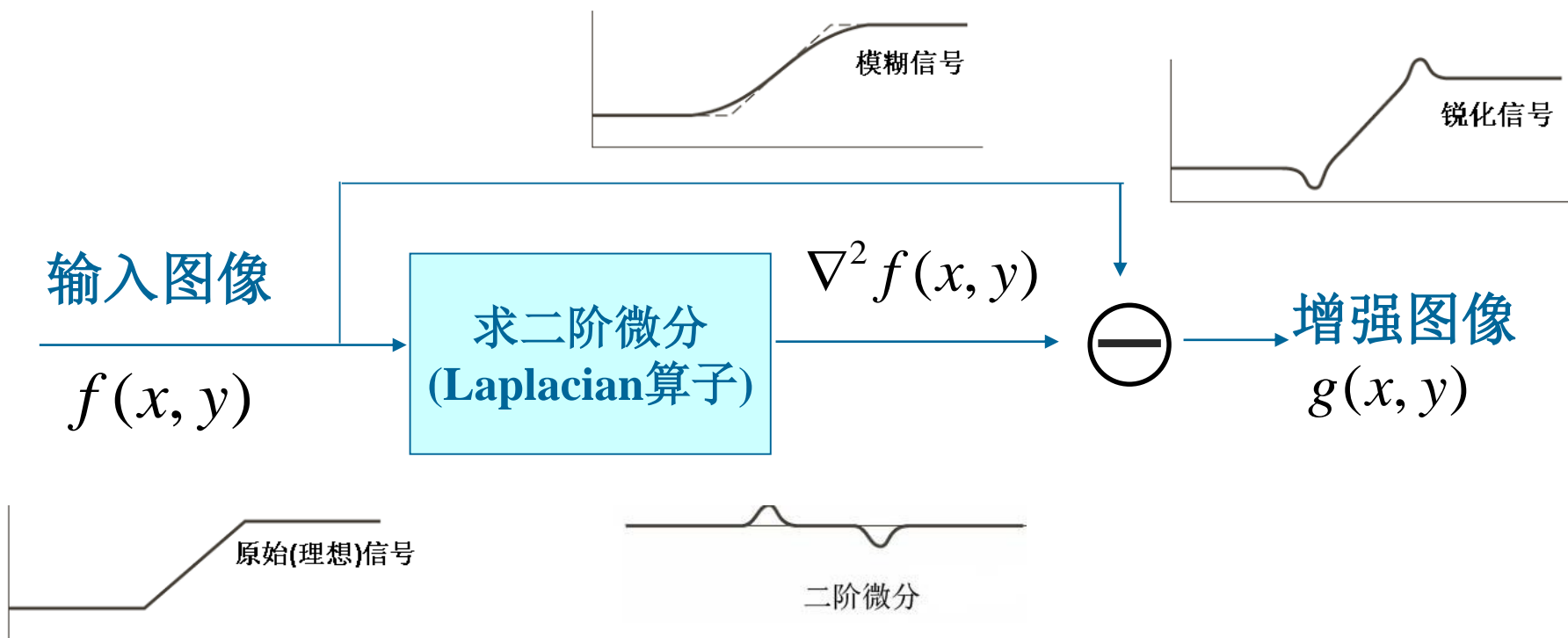


3.4 基于空间滤波的图像增强-锐化空间滤波器

- 比较:
 - 一阶微分处理会产生较宽的边缘(斜坡)
 - 一阶微分对阶梯有较强的响应
 - 二阶微分处理对细节有较强的响应, 如细线和孤立点
 - 二阶微分对阶梯变化产生“双边缘”效应
- 结论:
 - 对图像增强而言, 二阶微分对细节的增强能力强于一阶微分

3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

- 基于二阶微分算子增强的基本思想



如何计算 $\nabla^2 f(x, y)$?

3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

- Laplacian算子的推导 $\nabla^2 f(x, y)$

- 函数 $f(x, y)$ 的Laplacian算子定义为: $\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$

- 数字图像的二阶偏微分定义为:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)$$

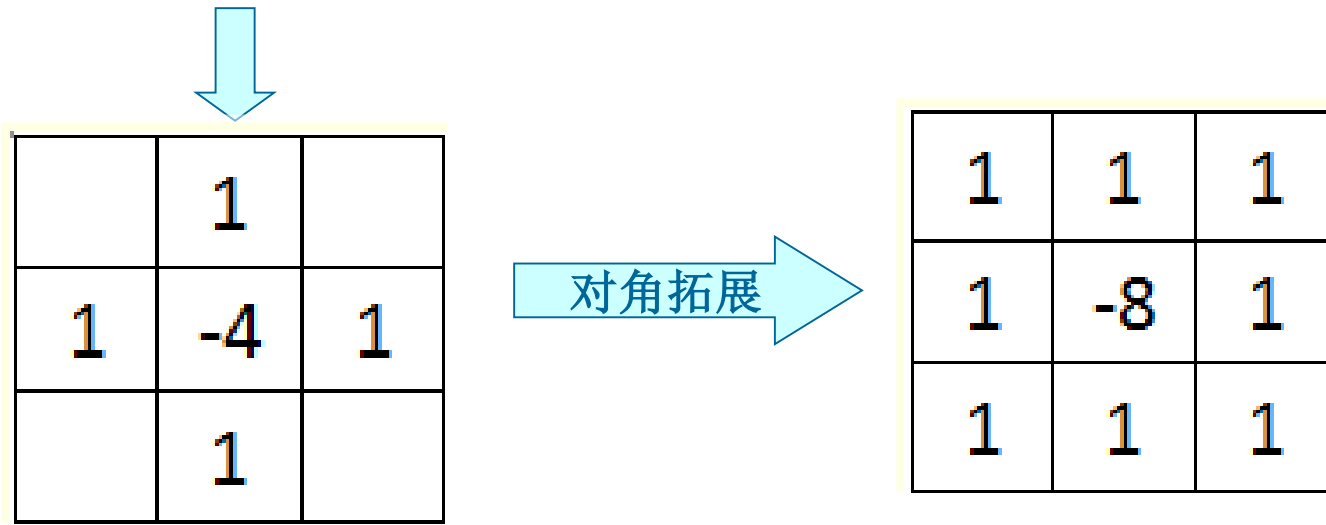
$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)$$

- 数字图像的Laplacian算子定义为:

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

3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

- Laplacian算子的模板



$$\nabla^2 f = \begin{matrix} \text{水平方向} \\ \text{二阶微分} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{垂直方向} \\ \text{二阶微分} \end{matrix}$$

$$\nabla^2 f = \begin{matrix} \text{水平方向} \\ \text{二阶微分} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{垂直方向} \\ \text{二阶微分} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{45}^\circ \text{方向} \\ \text{二阶微分} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{135}^\circ \text{方向} \\ \text{二阶微分} \end{matrix}$$

3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

- 使用Laplacian算子对图像增强的基本方法

$$g(x, y) = f(x, y) + c[\nabla^2 f(x, y)]$$

滤波器模板中心像素为负时, $c=-1$;

滤波器模板中心像素为正时, $c=1$;

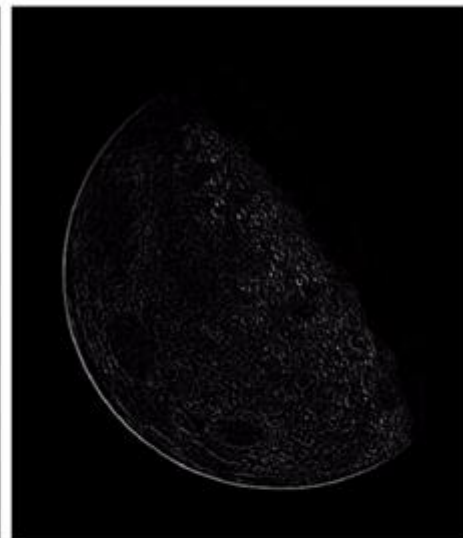
$$\begin{aligned} g(x, y) &= f(x, y) - \{[f(x+1, y) + f(x-1, y) - 2f(x, y)] + [f(x, y+1) + f(x, y-1) - 2f(x, y)]\} \\ &= 5f(x, y) - [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] \end{aligned}$$

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

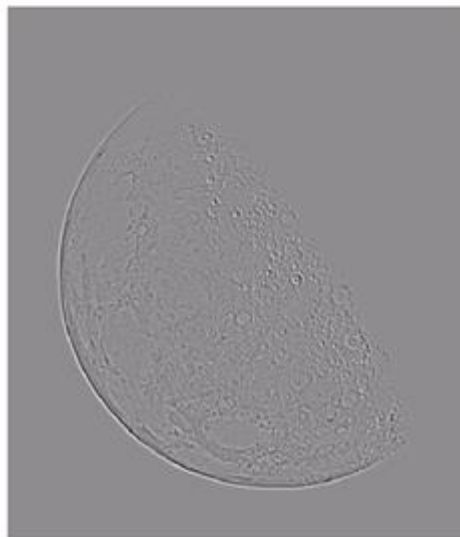
-1	-1	-1
-1	9	-1
-1	-1	-1

3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

	1	
1	-4	1
	1	



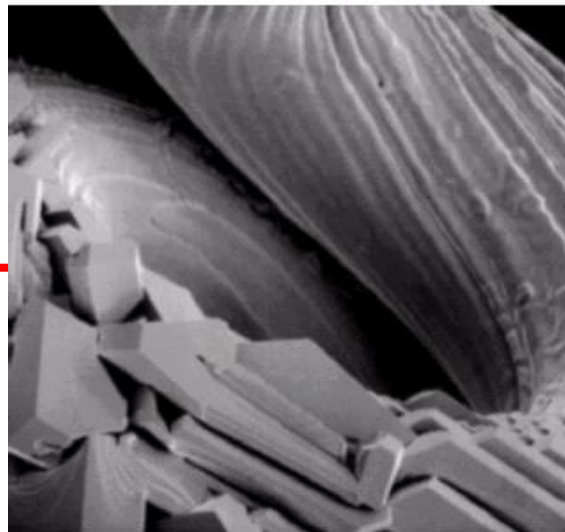
Laplacian图像中的负值被强行设为0，图像的大部分会变黑，因此需要标定。



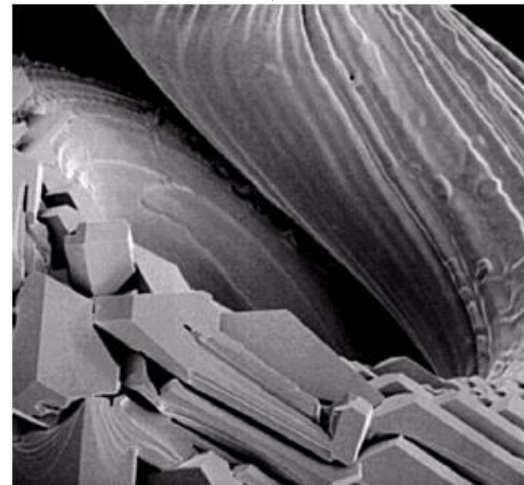
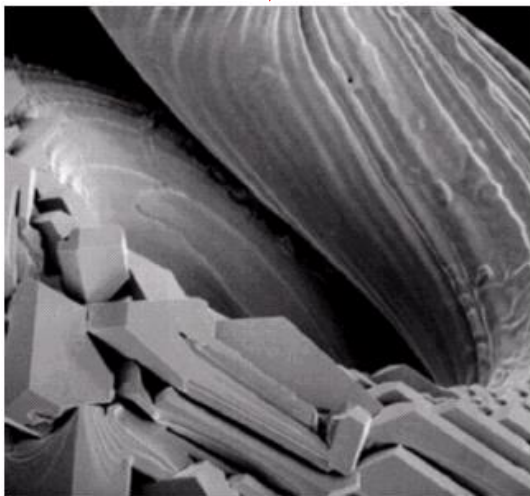
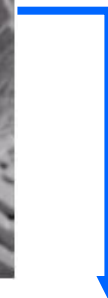
标定：使Laplacian图像灰度范围在 $[0, L-1]$

3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

	1	
1	-4	1
	1	

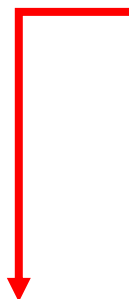


1	1	1
1	-8	1
1	1	1



3.4 基于空间滤波的图像增强-Laplacian算子

	1	
1	-4	1
	1	



1	1	1
1	-8	1
1	1	1

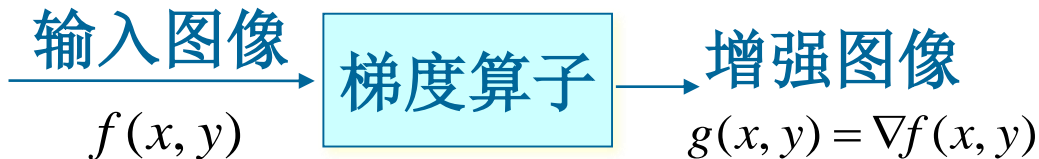


经有对角分量的掩模处理后的图像，比基本掩模处理后的图像更加锐化



3.4 基于空间滤波的图像增强-梯度算子

- 用梯度增强图像的边缘信息



■ 梯度的定义:

- (1) 函数的梯度是一个向量:

$$\nabla \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}^T$$

- (2) 用梯度的幅度代替梯度:

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

- (3) 常用绝对值代替平方

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla \mathbf{f}) \approx \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right|$$



3.4 基于空间滤波的图像增强-梯度算子

- 梯度算子:
 1. Roberts交叉算子
 2. Sobel算子
 3. Prewitt算子

$$\nabla f \approx \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right|$$

$$= |G_x| + |G_y|$$

z_1	z_2	z_3
z_4	z_5	z_6
z_7	z_8	z_9

(2) Sobel算子

(1) Roberts算子 (交叉梯度)

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

-1	0	0	-1
0	1	1	0

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

$$+ |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$$

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

注意：模板的系数中和为0，使灰度恒定区域的响应为0。

- 基于梯度算子的边缘增强示例(Sobel算子):
 - 突出图像中的小缺陷, 去除缓慢变化的背景, 用于工业检测、辅助人工缺陷检测

