

图像增强

Image Enhancement

动机/目标： 提高图像质量（视觉感受）

途径： 分析图像质量下降/视觉感受不好的原因，对症下药

学习方法：

- 避免单纯学习算法（如同死背“验方”）
- 学会分析图像特性（如同诊断）
- 掌握算法的构思（动机）（如同掌握各味药的药性）
- 学会根据图像特性设计（组合）算法（如同调配中药方）

# 图像质量因素1： 灰度分布



曝光不足  
图像过暗



曝光过度  
图像过亮



逆光  
图像明暗对比过大

## 图像质量因素2：噪声



## 图像质量因素3： 细节/对比度



# 图像质量问题的分类以及应对方法

图像灰度分布不合理 ← 灰度映射

图像噪声干扰 ← 噪声抑制

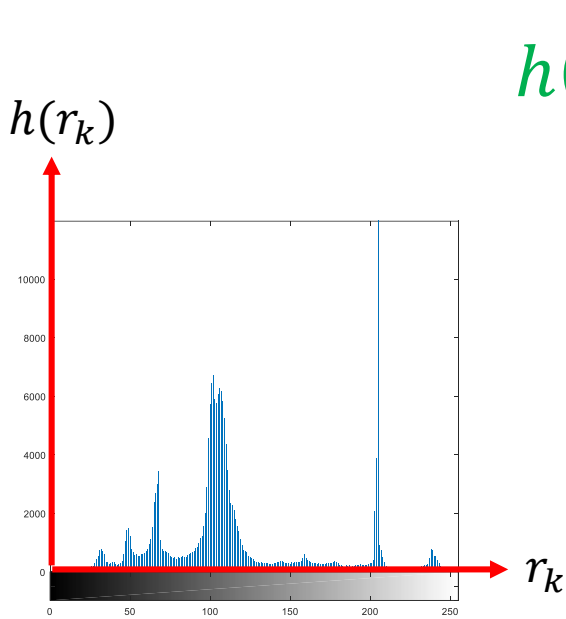
图像模糊/低对比度 ← 细节增强/对比度增强



# 灰度直方图变换



# 灰度直方图 (Gray Histogram)



$$h(r_k) = n_k$$

$$n_k = \underset{(x,y)}{\overset{\text{cardinality in a set}}{\text{card}}} \{I(x, y) = r_k\} \quad (\text{灰度等于 } r_k \text{ 的像素总数})$$

$$r_k = [0, K - 1] \quad (\text{图像灰度范围})$$

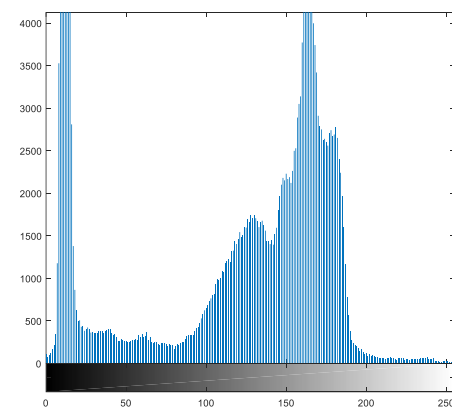
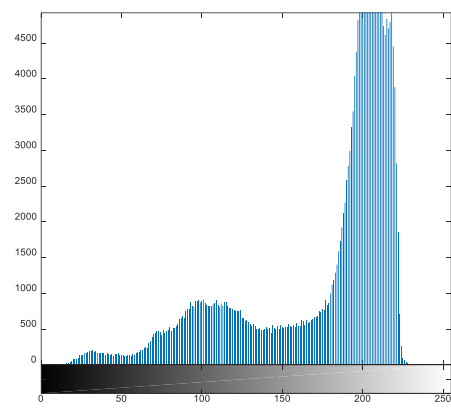
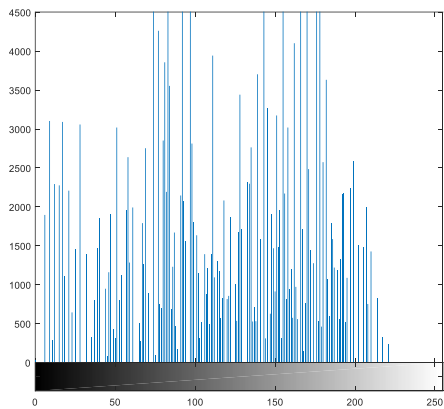
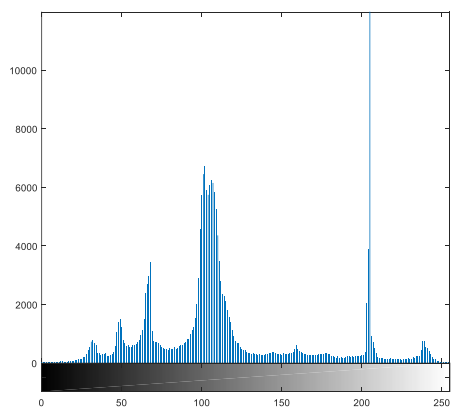
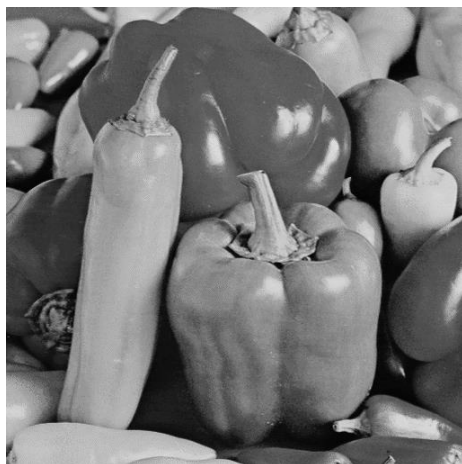
$$\sum_k h(r_k) = \sum_k n_k = n \quad (\text{图像面积})$$

归化直方图(normalized histogram):  $p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} = \frac{n_k}{n}$

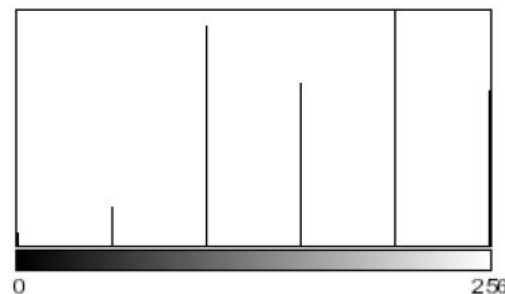
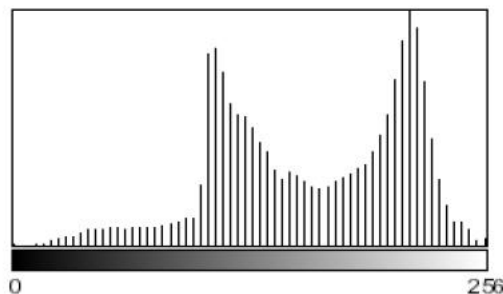
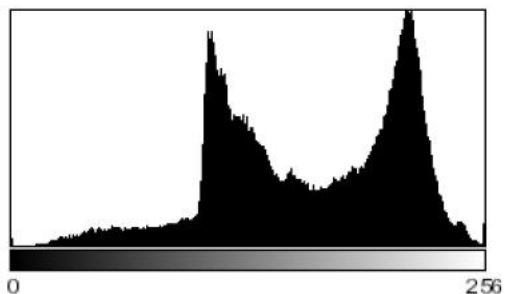
$$0 \leq p(r_k) \leq 1$$

$$\sum_k p(r_k) = 1$$

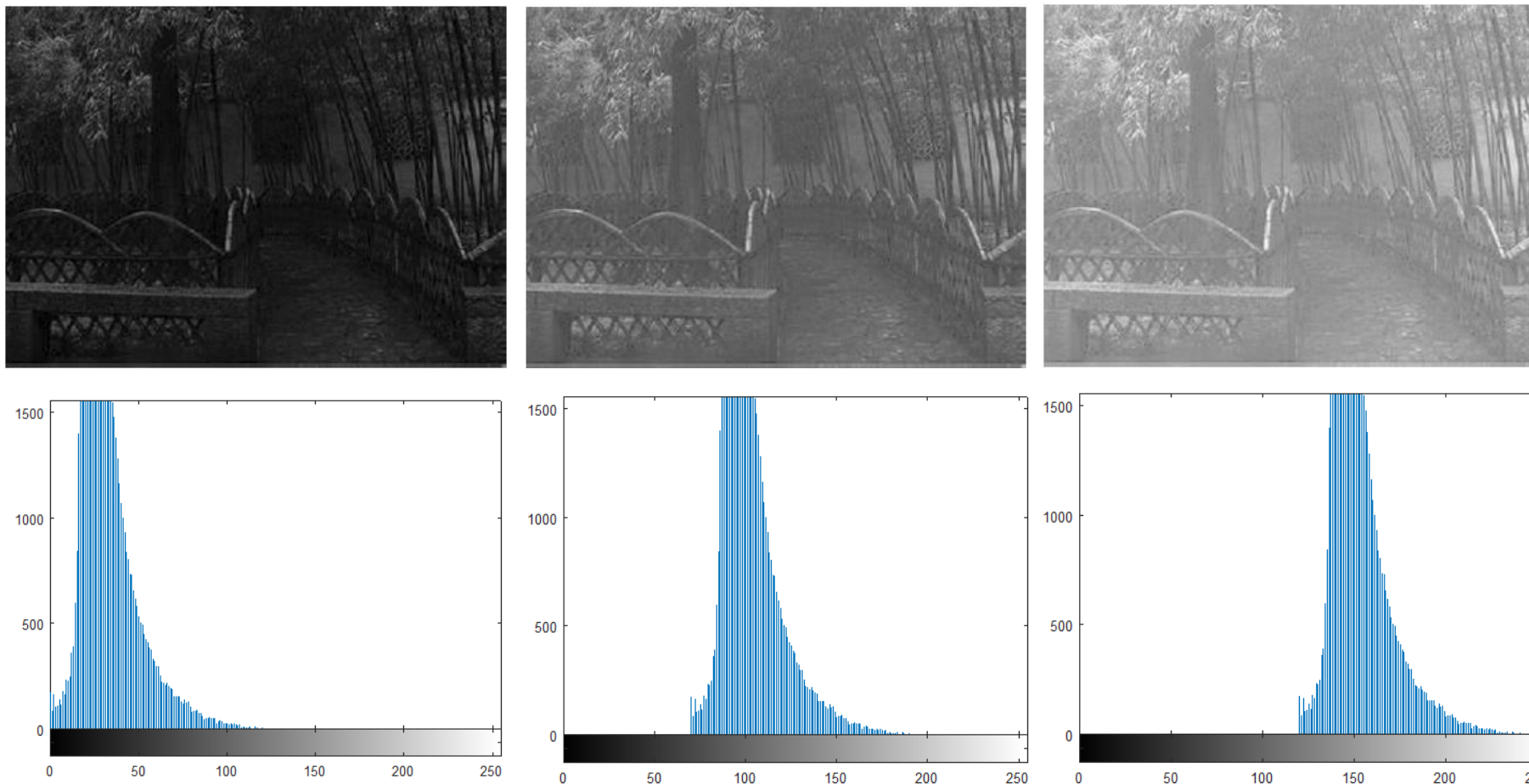
# 理解灰度直方图



# 视觉特性：有效灰度级与视觉质量

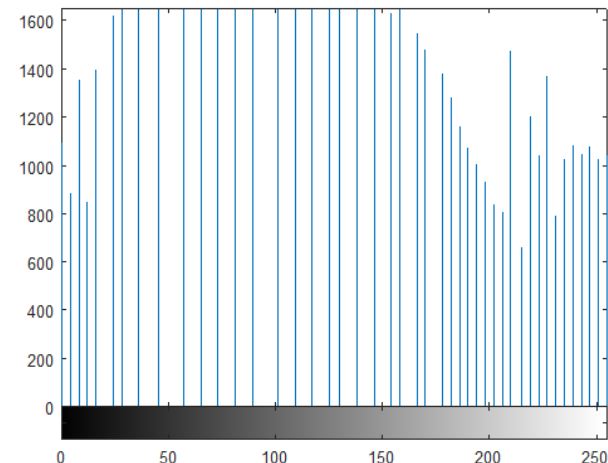
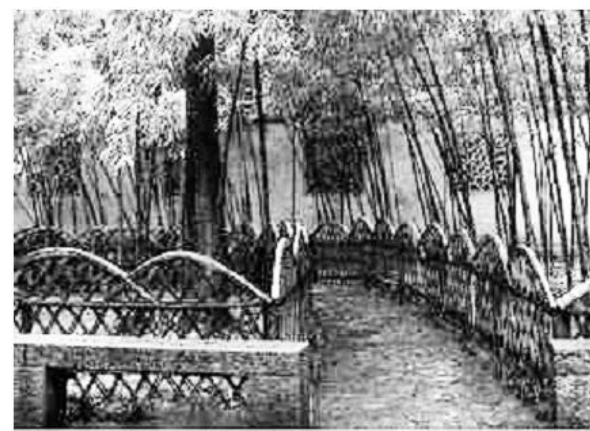
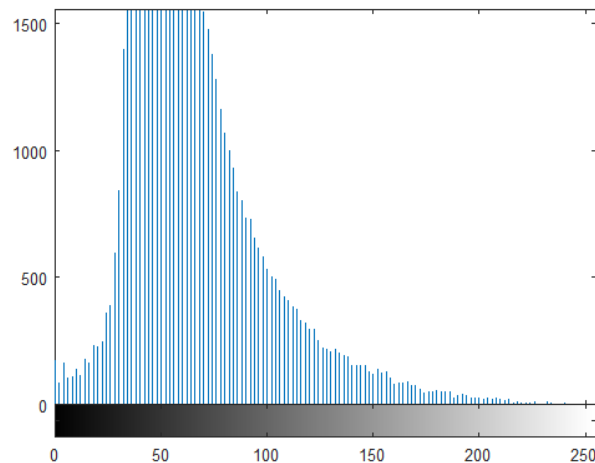
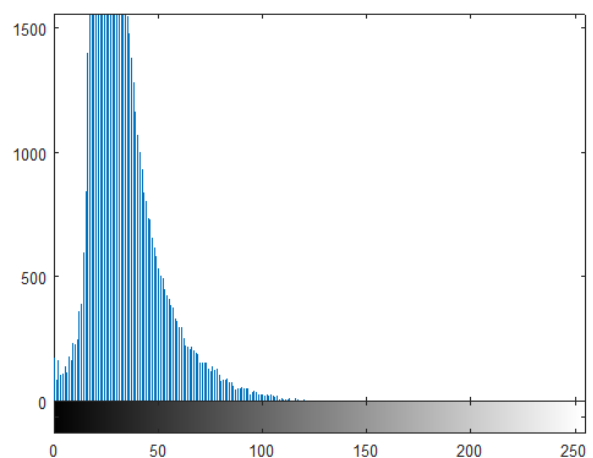


# 视觉特性： 灰度范围与视觉质量





# 视觉特性： 灰度分布与视觉质量



# 灰度映射

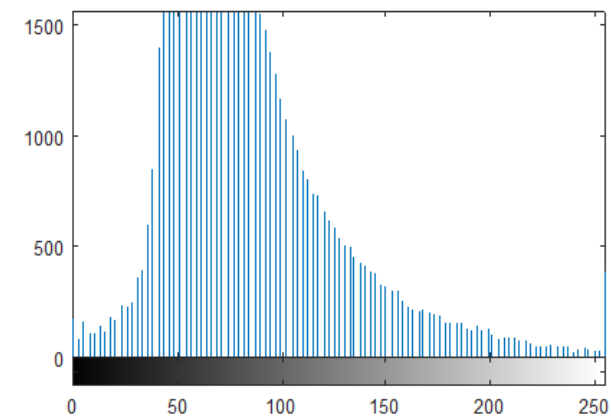
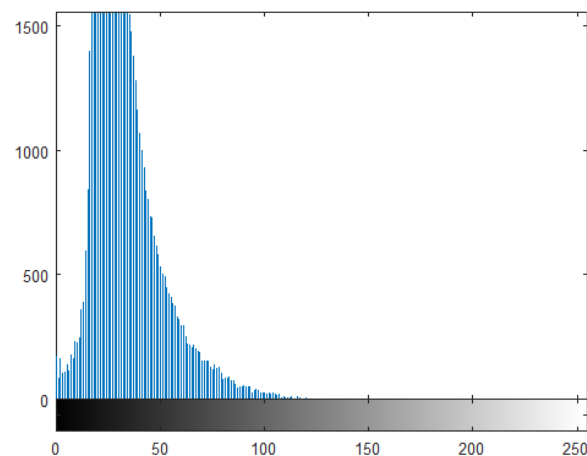
## Gray Mapping

# 灰度分段线性映射

目标图像灰度 $s$

原始图像灰度 $r$

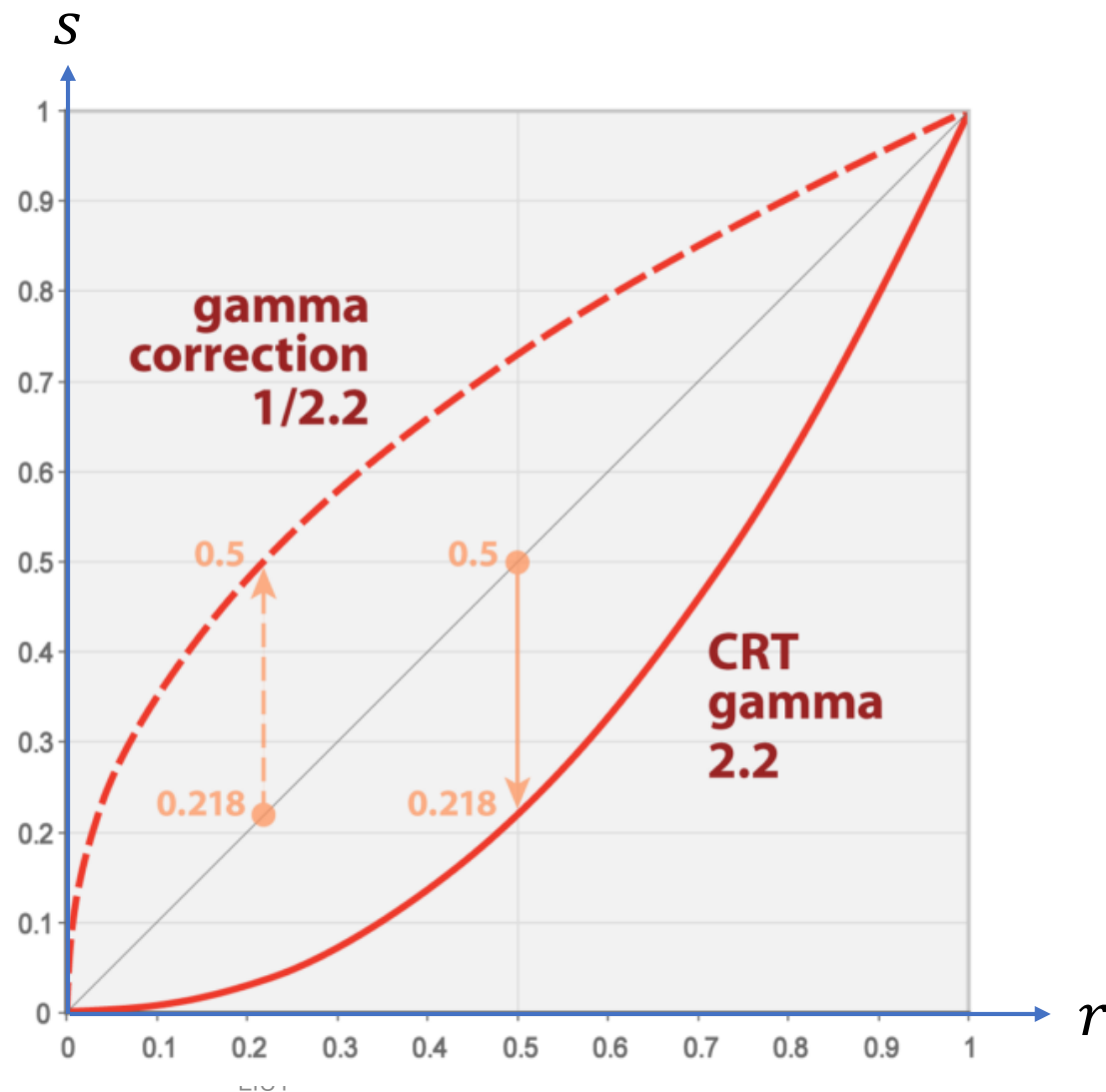
$$s = T(r)$$

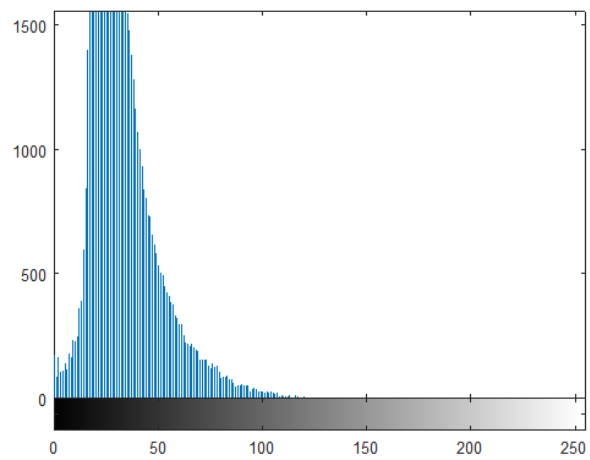




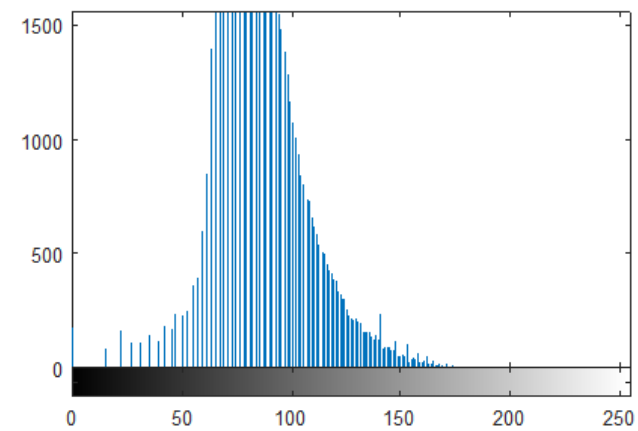
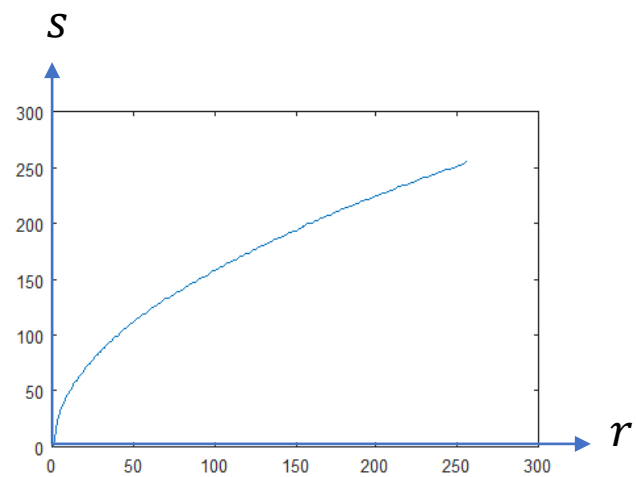
# 伽玛校正 (Gamma Correction)

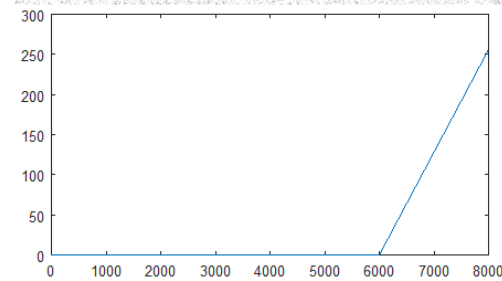
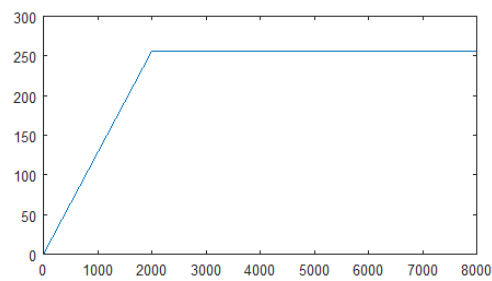
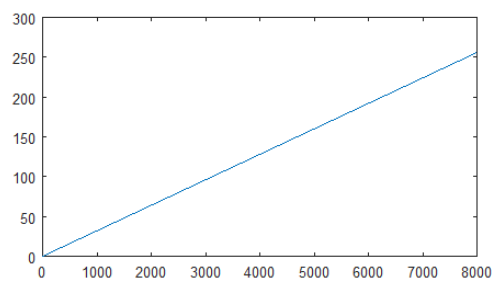
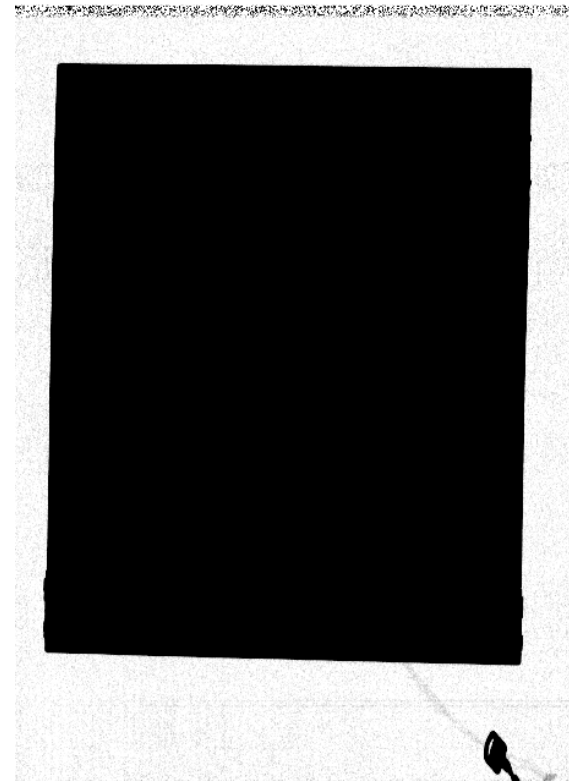
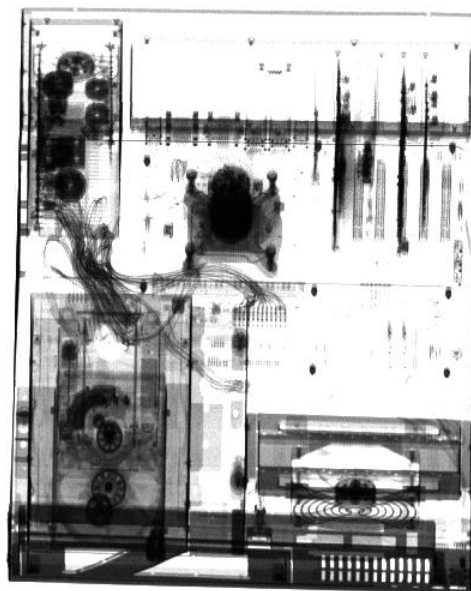
$$s = r^\gamma$$





$$s = r^{0.5}$$



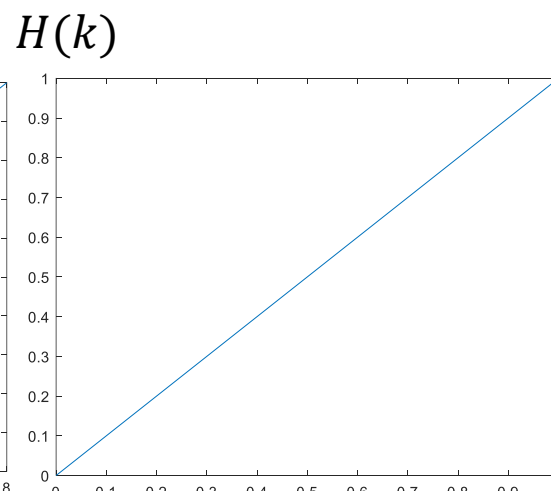
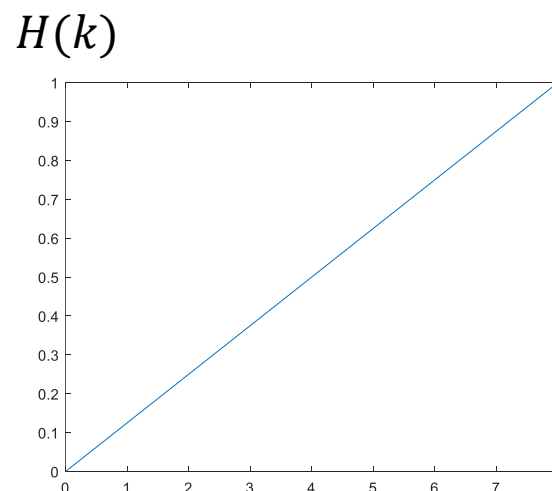
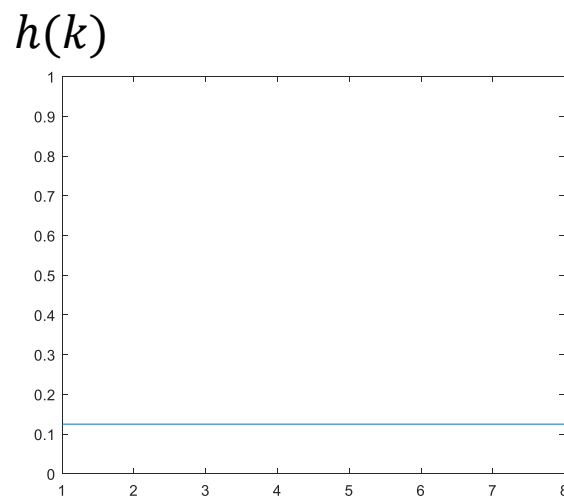
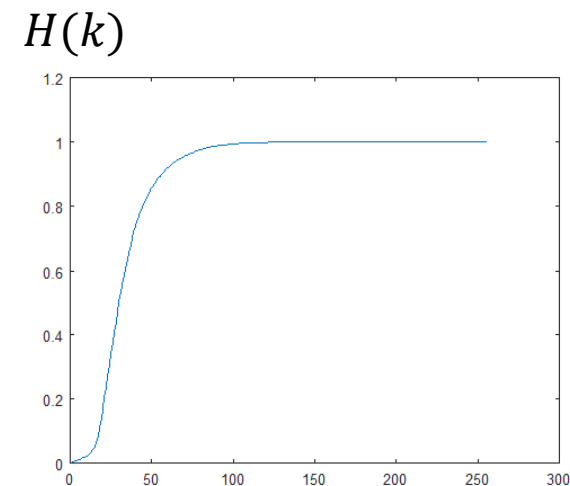
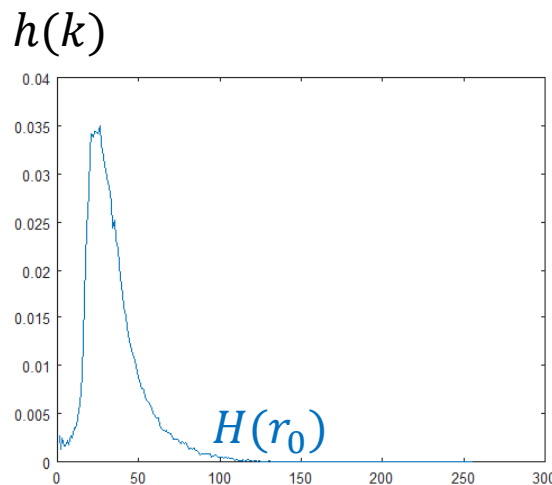


灰度窗调整 (窗宽窗位调整)

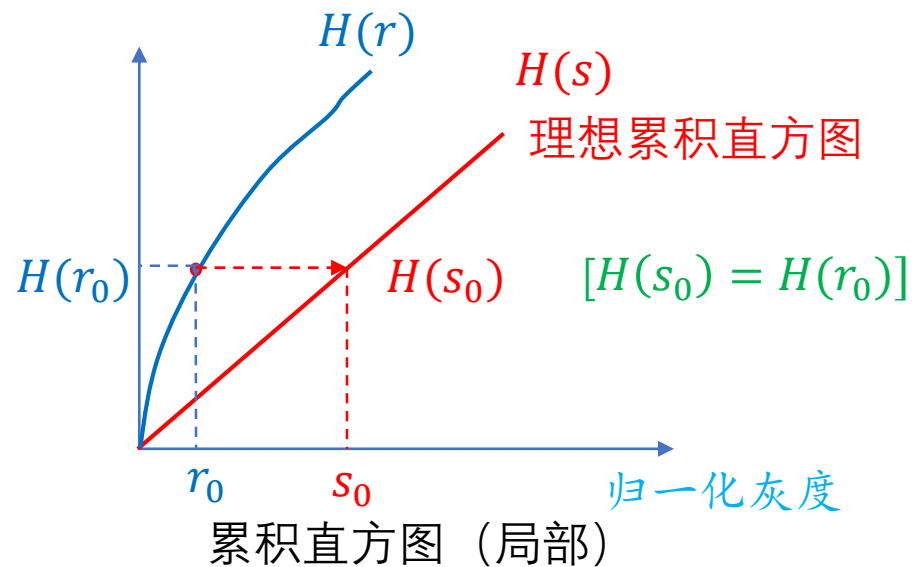
# 累积直方图 (Cumulative Histogram)

$$H(k) = \sum_{i=1}^k h(i)$$

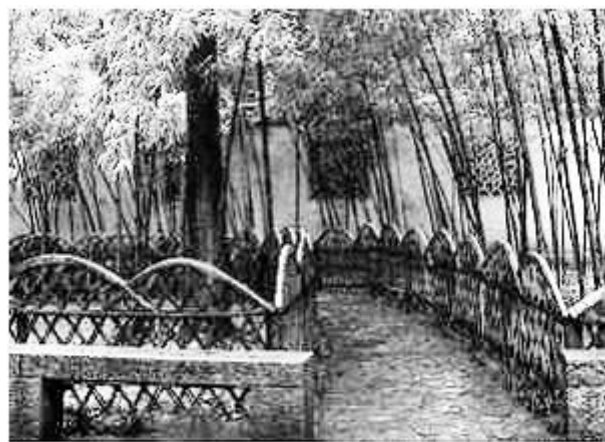
$$H(k) = \begin{cases} h(1) & (k = 1) \\ H(k-1) + h(k) & \text{otherwise} \end{cases}$$



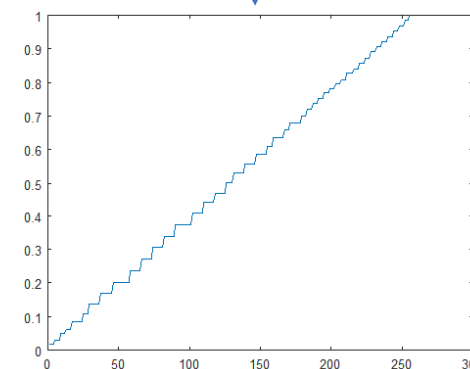
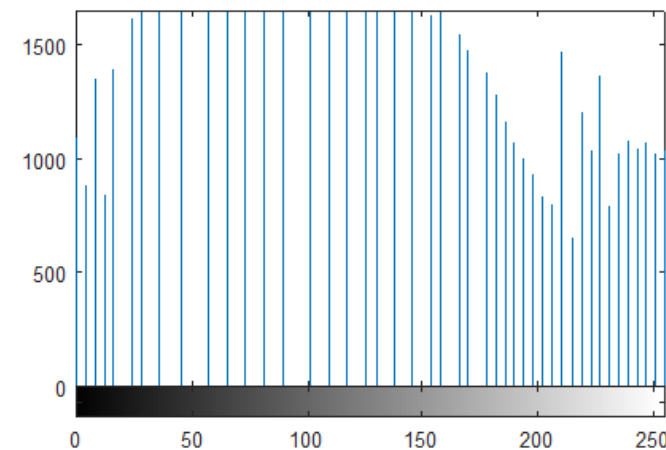
# 直方图均衡算法原理



因为理想累积直方图  $H(s) = s \rightarrow s = H(r)$

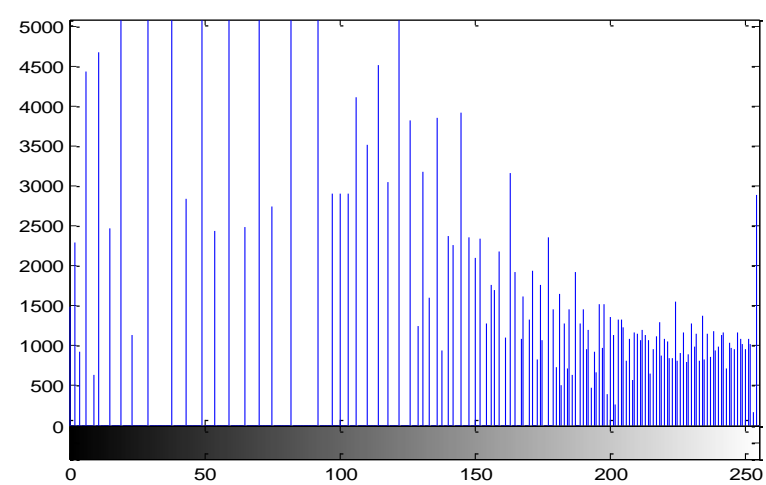
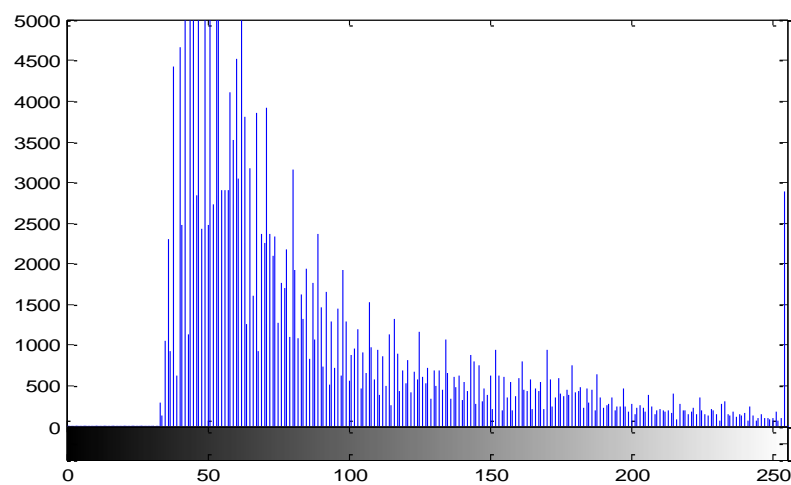


灰度直方图



累积灰度直方图

灰度	0	1	2	3	4	5	6	7	[0,7]
k	1	2	3	4	5	6	7	8	[1,8]
$h(k)$	0.05	0.10	0.35	0.30	0.10	0.05	0.05	0.00	
$H(k)$	0.05	0.15	0.50	0.80	0.90	0.95	1.00	1.00	
s	0.05	0.15	0.50	0.80	0.90	0.95	1.00	1.00	
S	0.4	1.2	4.0	6.4	7.2	7.6	8.0	8.0	
	0	1	4	6	7	8	8	8	[1,8]
灰度	0	0	3	5	6	7	7	7	[0,7]





## 练习5：图像灰度映射

1. 目标：实现直方图均衡算法，直观了解此算法的性能
2. 要求：
  - a) 程序设计语言不限，可以借用工具库完成图像的读/写、显示等辅助功能，直方图统计、直方图均衡算法、图像灰度映射等核心处理必须自行编程实现，不允许使用工具库
  - b) 实验图像文件：meteor.bmp
3. 上交材料：以下材料压缩后上交（压缩文件名：学号\_姓名\_5）
  - a) 合并实验结果的文件（可以是pdf、jpg等格式，不要doc文件），包含：原始图像、原始图像灰度直方图、实验结果图像和结果图像的灰度直方图。
  - b) 源程序（仅源程序，不需要其它工程文件）



图像平滑（降噪）

Denoising

# 图像平滑方法分类

- 空间域

- 线性方法（线性滤波器）

- ✓均值滤波器, 高斯滤波器, 维纳滤波器, ...

- 非线性方法

- ✓中值滤波器, 全变分, 非局部均值, 双边滤波, 非均匀扩散, ...

- 结合线性与非线性方法

- 基于形态学运算的方法

- 基于模糊理论的方法

- 基于人工神经网络的方法

- 基于统计的方法

- 变换域的方法

- 小波域, 主成份分析（PCA）, ...

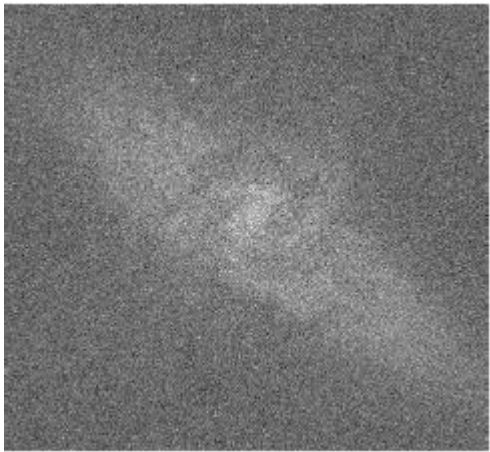
# 图像平均 (Image Averaging)

原始图像 (无噪声的理想图像) :  $I$

采样图像 (包含噪声) :  $I(t)$ , ( $t=1, \dots, N$ )

$$I(t) = I + n(t) \quad n(t) \rightarrow \text{服从高斯分布}$$

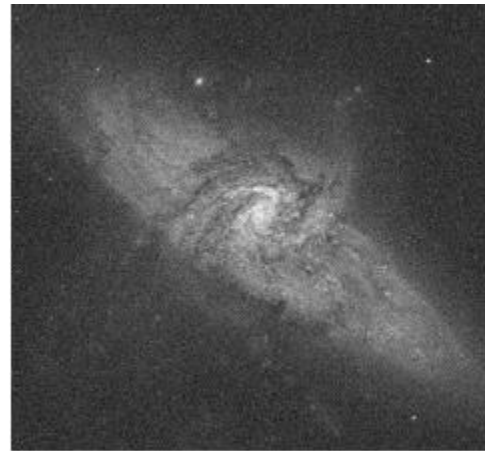
$$\hat{I} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I(t) = I + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n(t)$$



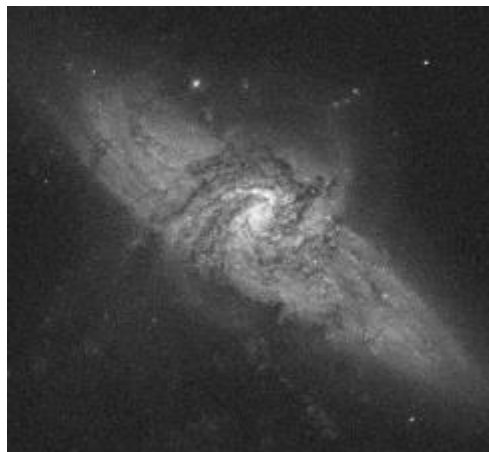
sample



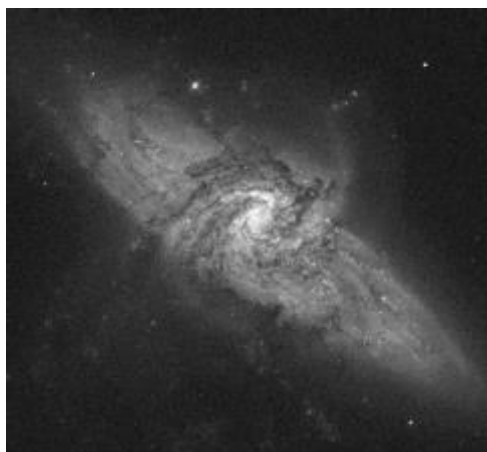
8 frames averaging



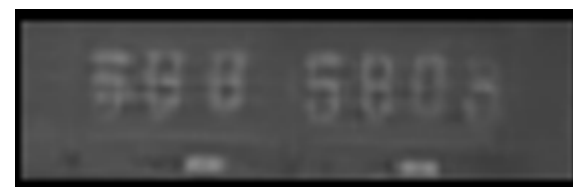
16 frames averaging



64frames averaging



128frames averaging



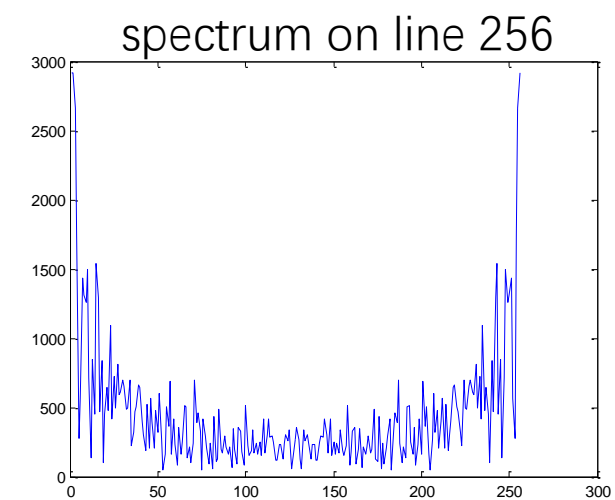
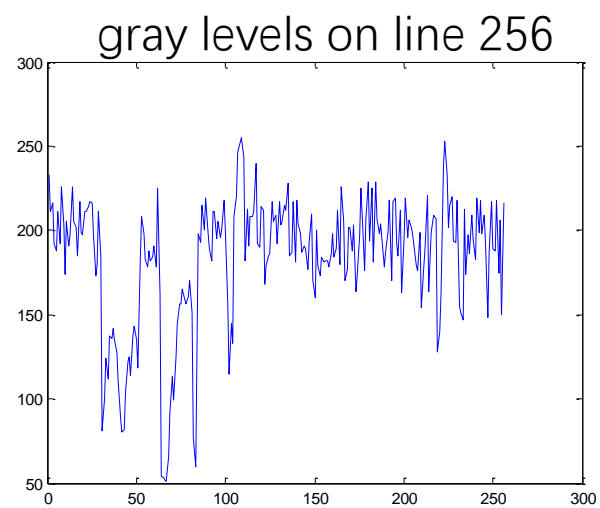
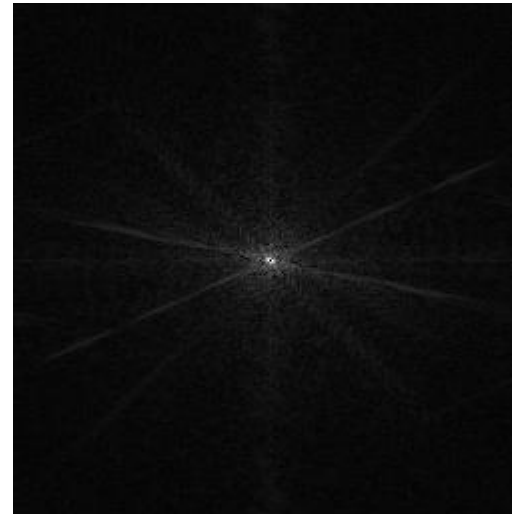
# 邻域像素的平均

$$\hat{I}(x, y) = \frac{1}{(2W + 1)^2} \sum_{-W}^W \sum_{-W}^W I(x + i, y + j)$$

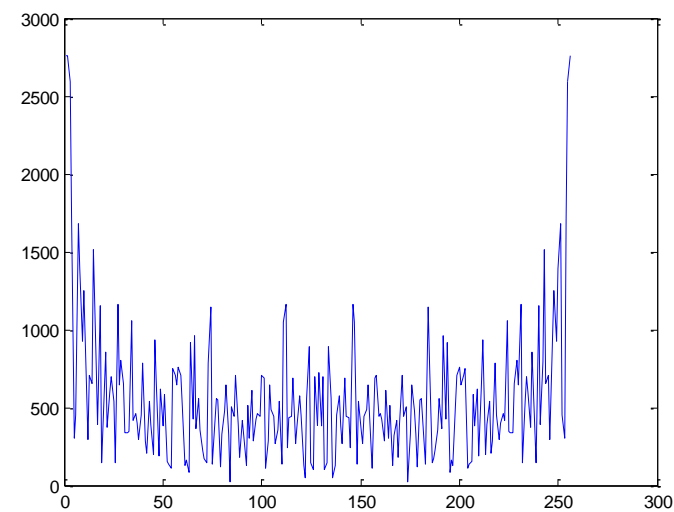
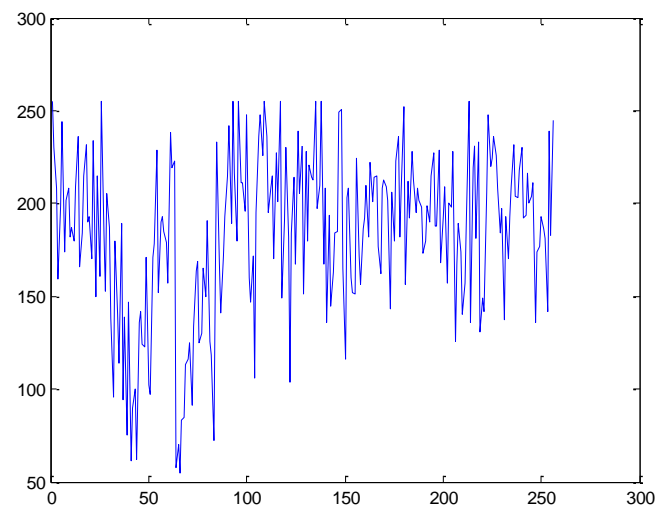
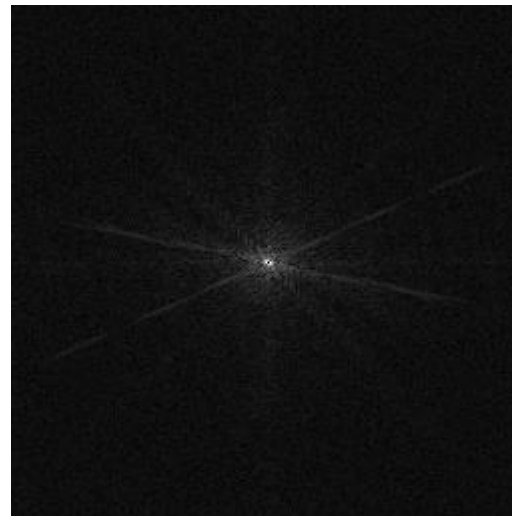
加权平均

$$\hat{I}(x, y) = \sum_{-W}^W \sum_{-W}^W h(i, j) I(x - i, y - j)$$

# 频谱特性

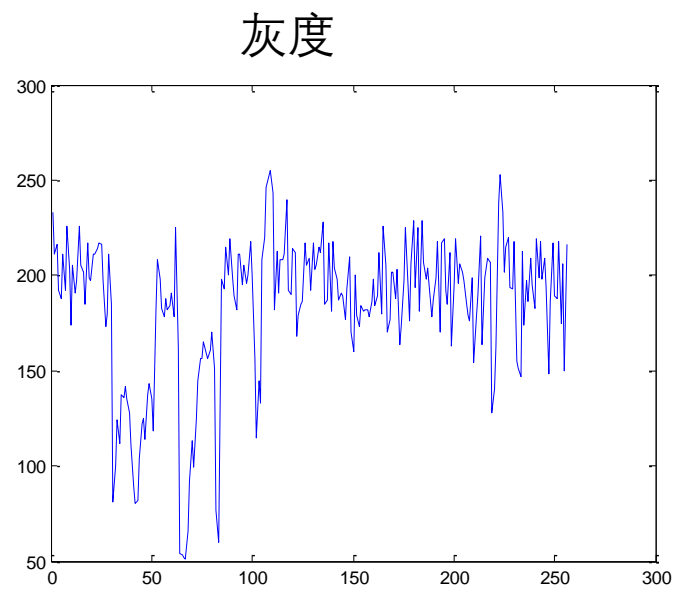


# 频谱特性

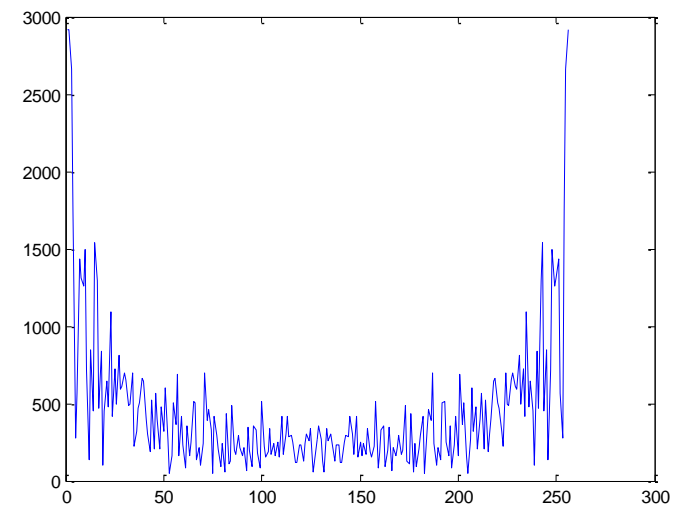




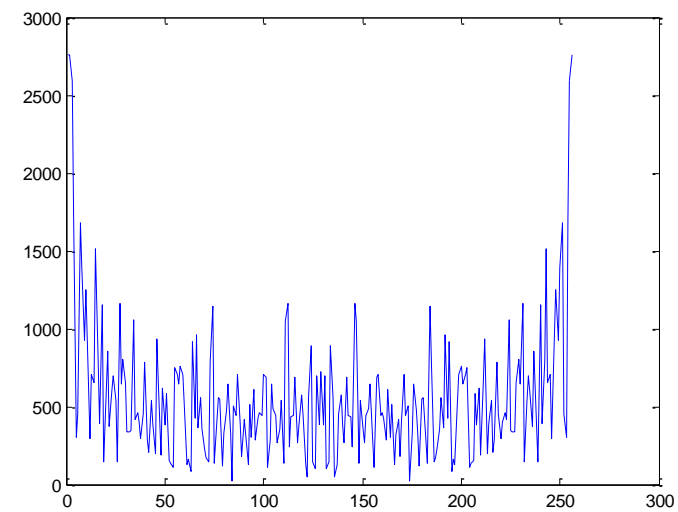
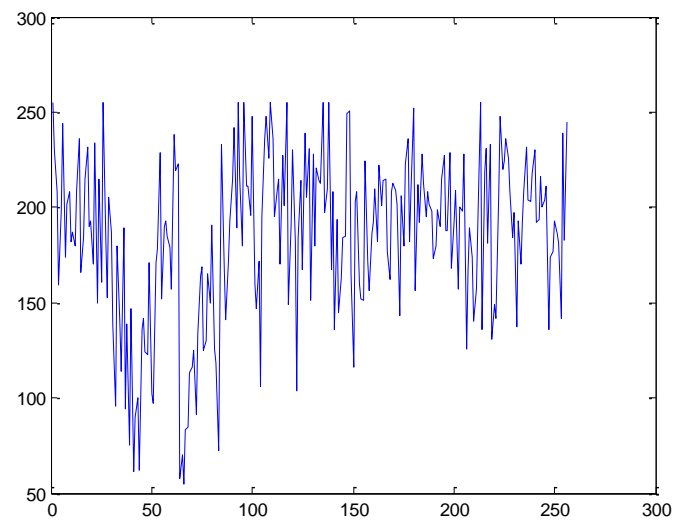
原始图像



频谱

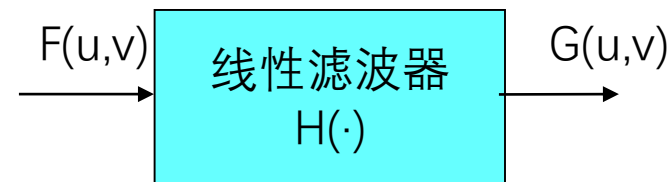


加噪声后图像



# 低通滤波器 (Lowpass Filter)

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



$H(u,v)$  : 传递函数

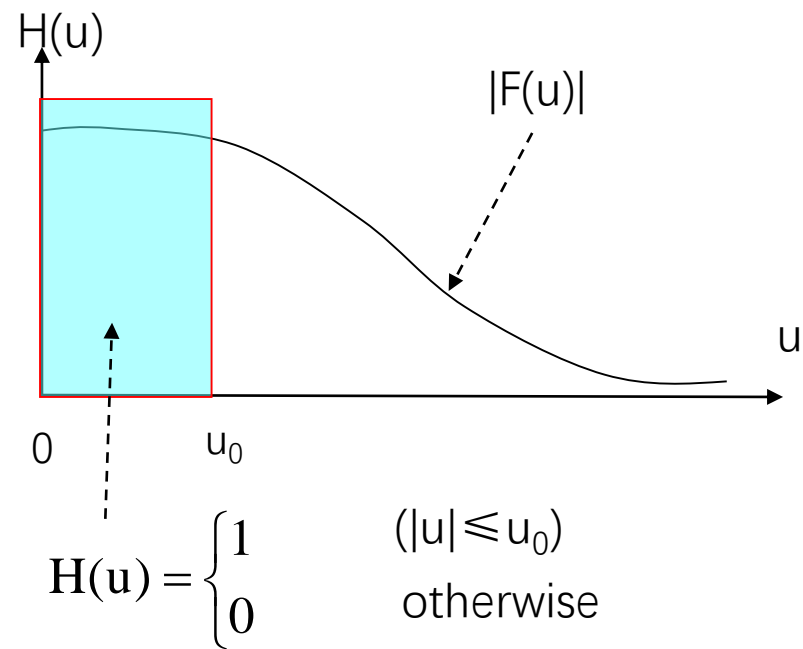
$F(u,v)$  : 输入图像的频域特性

$G(u,v)$  : 输出图像的频域特性

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

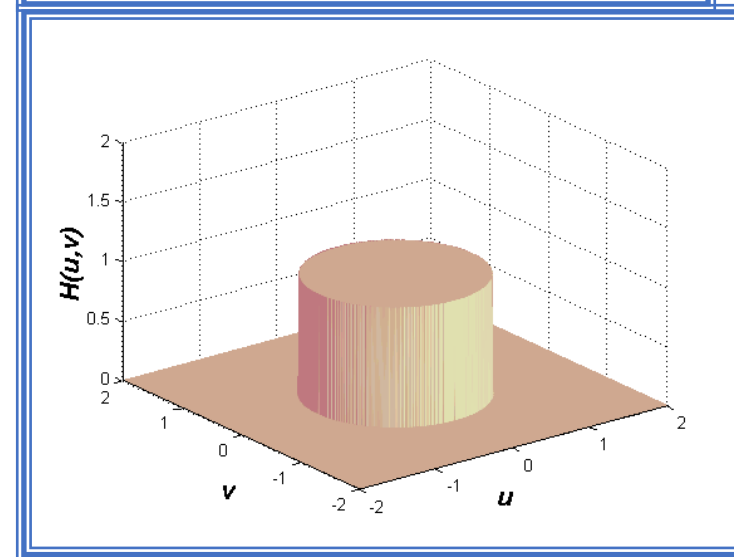
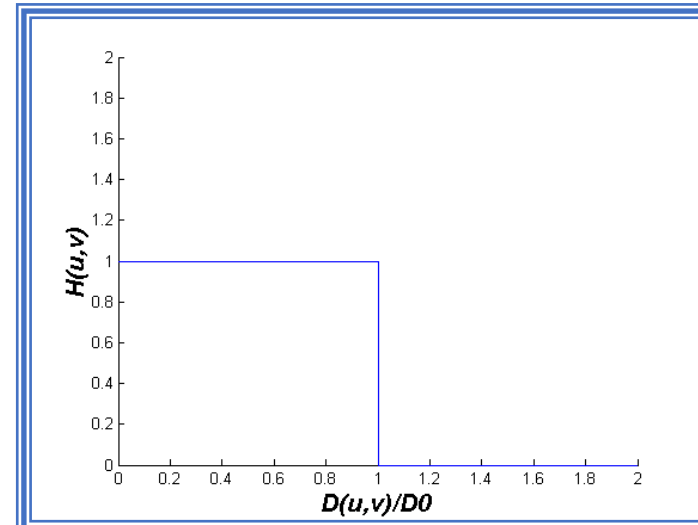
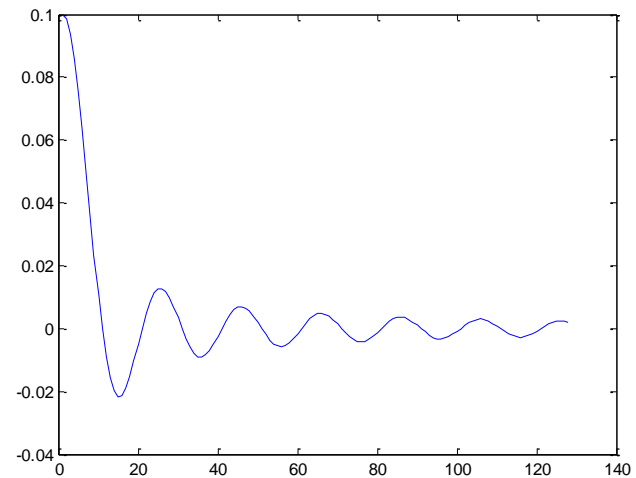
$h(x,y)$  : 点扩展函数 (Point Spread Function)

Noise ↔ Edge



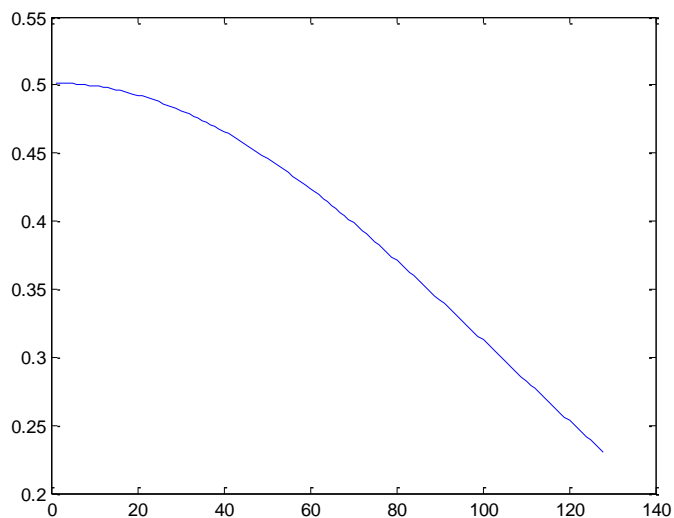
# 理想低通滤波器 (Ideal Lowpass Filter)

点扩展函数 $h(r)$

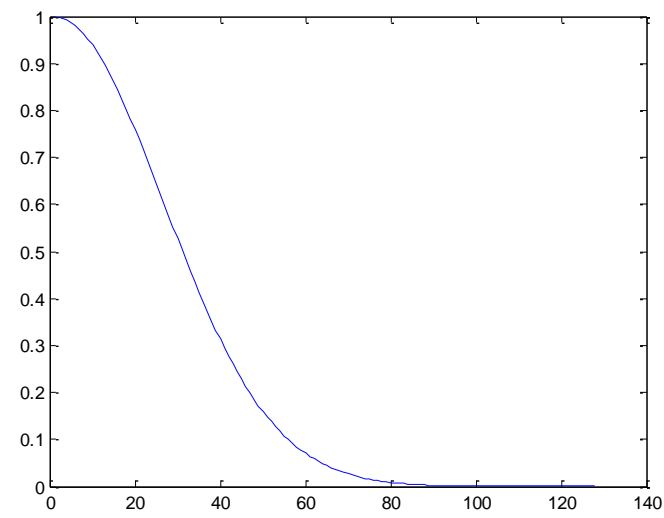


# 高斯滤波器(Gaussian Lowpass Filter)

$$h(x) = \sqrt{2\pi}\sigma A e^{-2\pi^2\sigma^2 x^2}$$

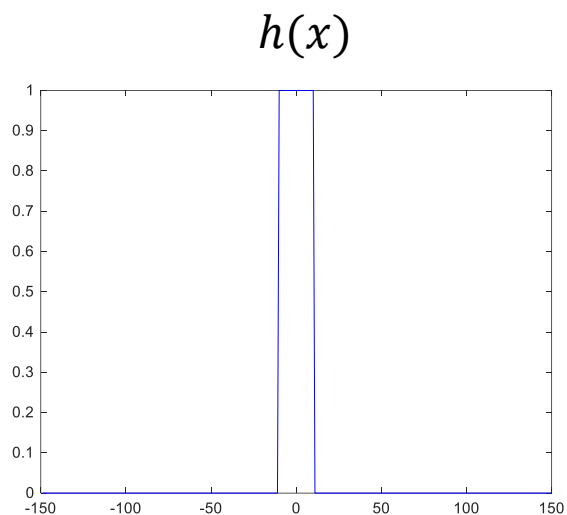


$$H(u) = A e^{-u^2/2\sigma^2}$$

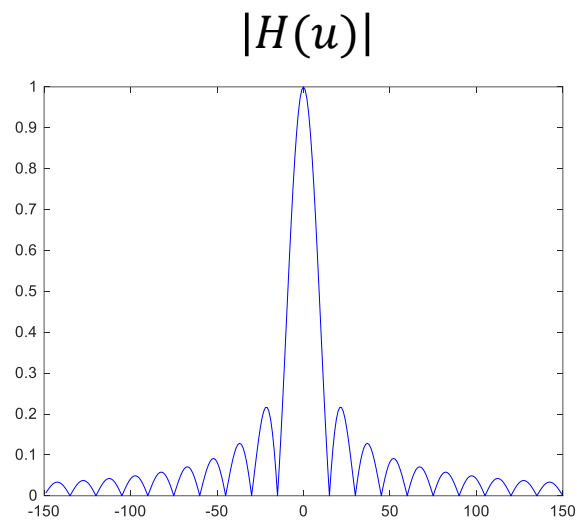


# 均值滤波器 (Averaging filter)

$$h(x) = \begin{cases} 1 & (-a/2 \leq x \leq a/2) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



$$\begin{aligned} H(u) &= \int_{-a/2}^{a/2} e^{-j2\pi ux} dx \\ &= \frac{e^{-j\pi au} - e^{j\pi au}}{-j2\pi u} \\ &= \frac{\sin(\pi au)}{\pi u} \end{aligned}$$



# 均值滤波器

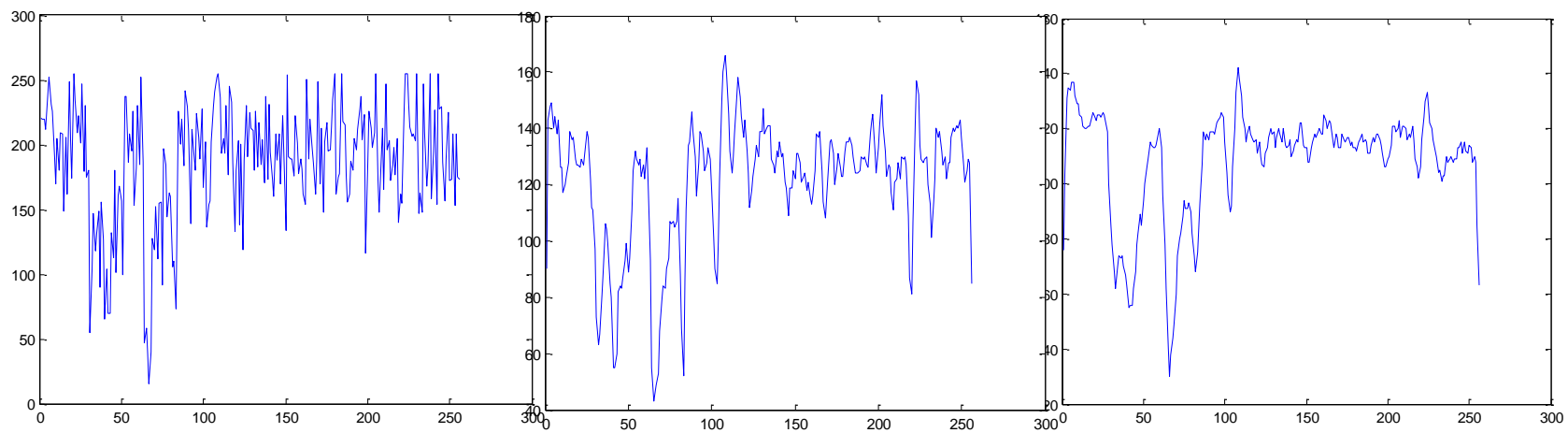
输入图像



3x3



5x5



# 高斯滤波器

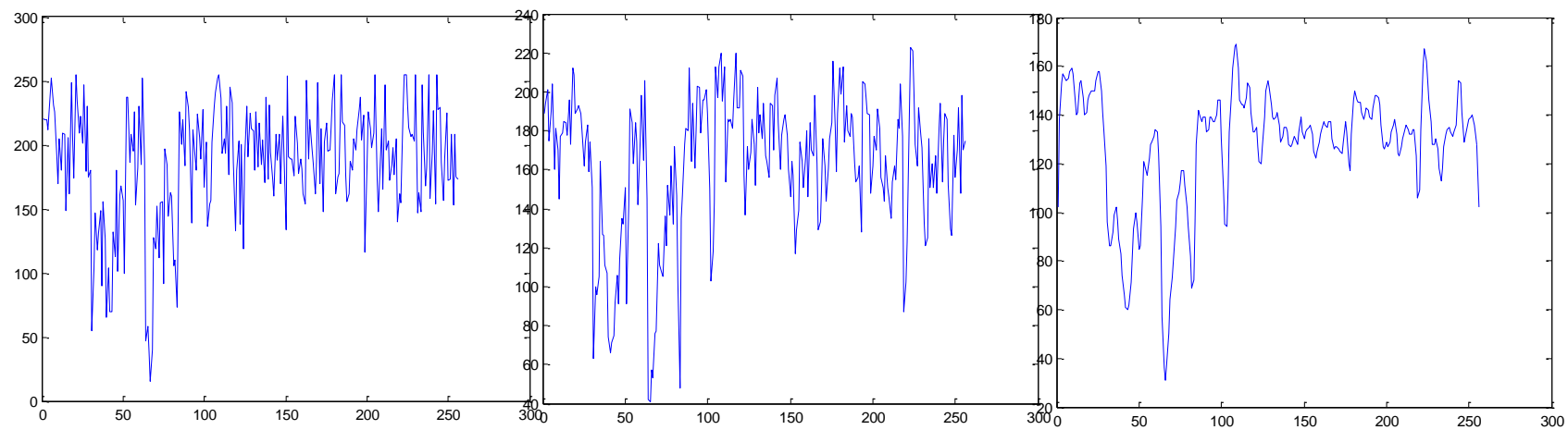
输入图像



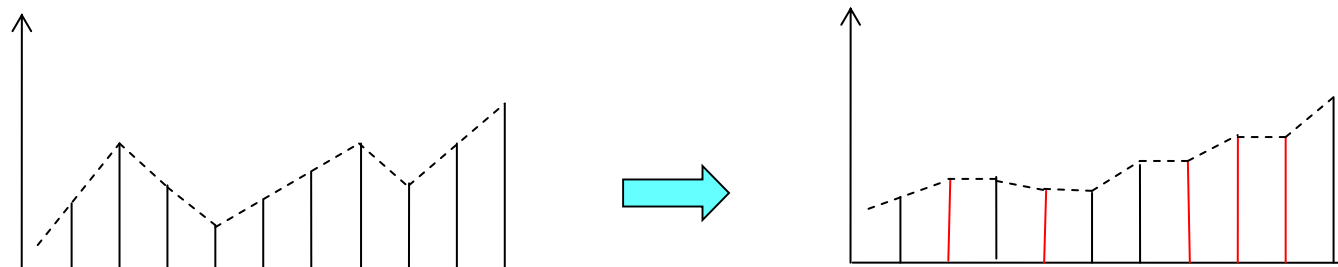
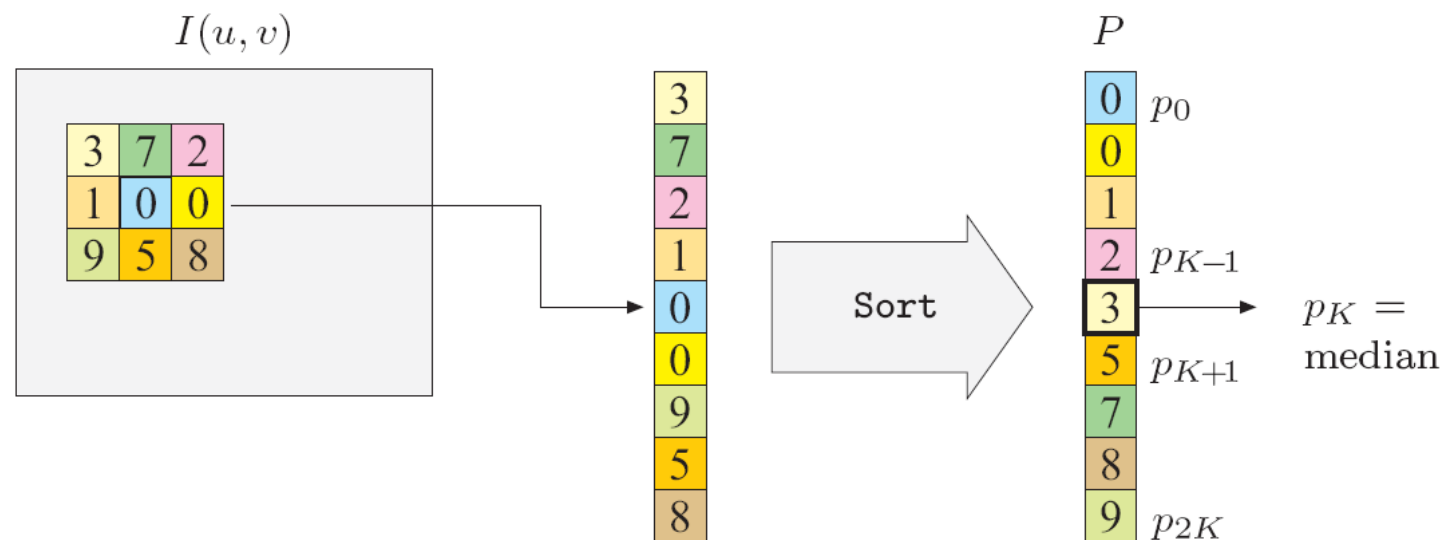
$\sigma=0.5$



$\sigma=1.0$



# 中值滤波器 (Median Filter)





## 中值滤波器

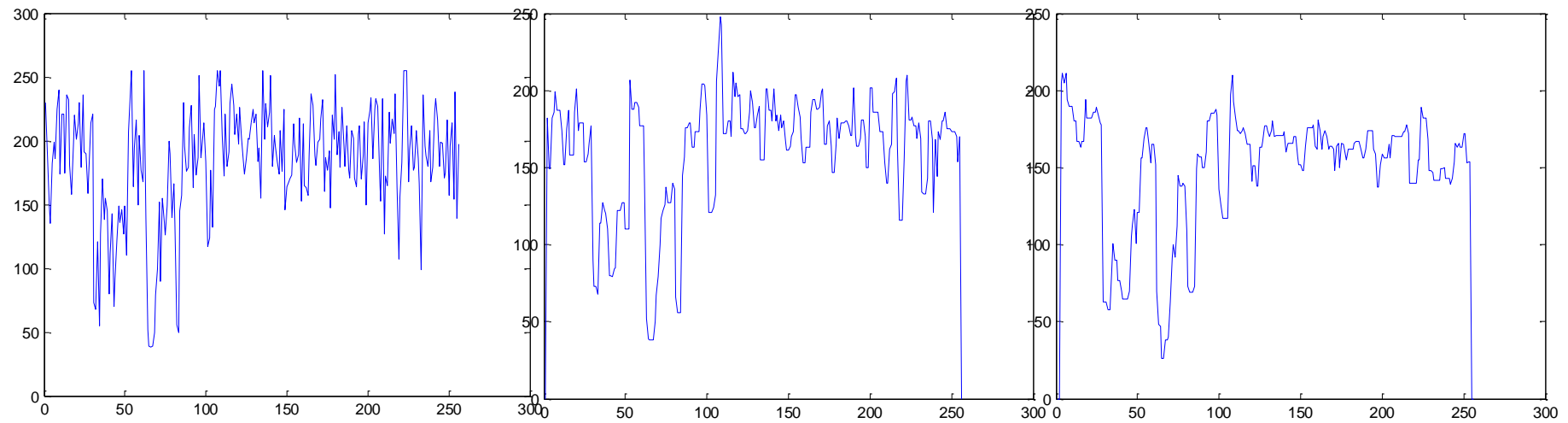
输入图像



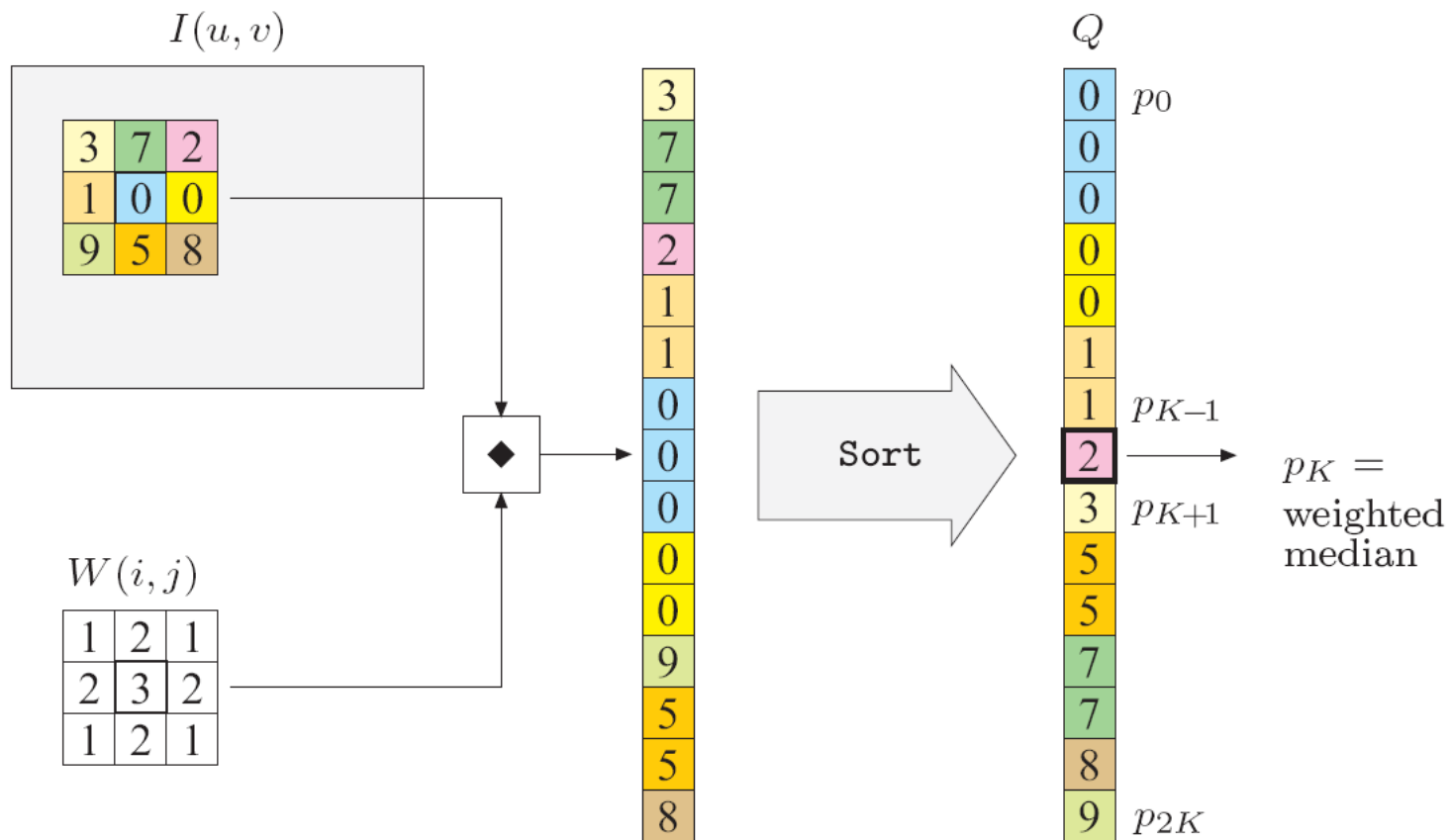
3x3 窗口输出图像



5x5 窗口输出图像



# 加权中值滤波器 (Weighted Median Filter)



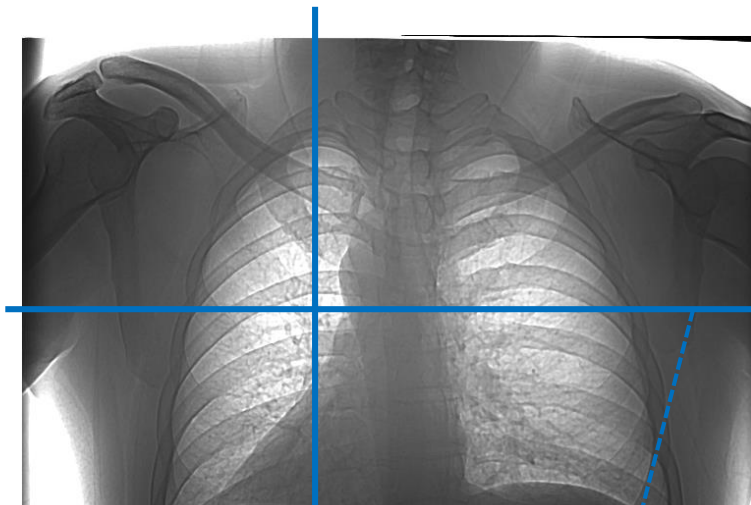
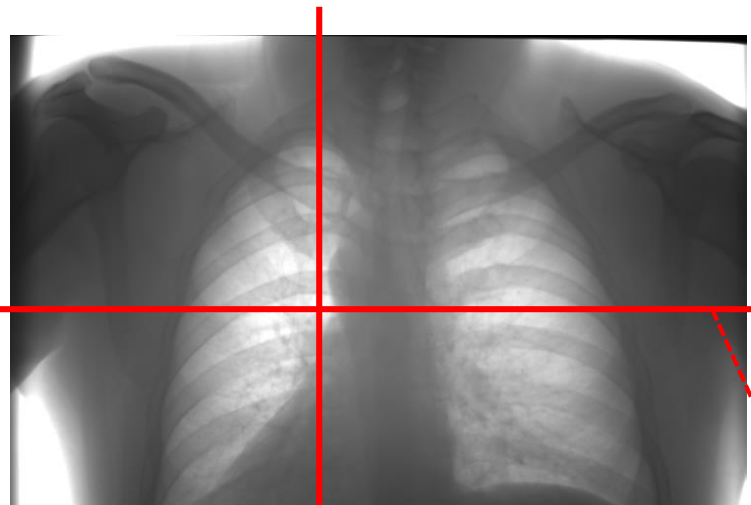
## 练习6：图像平滑

1. 目标：实现中值滤波器，直观了解此算法的性能
2. 要求：
  - a) 程序设计语言不限，可以借用工具库完成图像的读/写、显示等辅助功能，中值滤波过程必须自行编程实现（滤波窗口及尺寸自行选择），不允许使用工具库
  - b) 实验图像文件：Img\_Denoise.bmp
3. 上交材料：以下材料压缩后上交（压缩文件名：学号\_姓名\_6）
  - a) 合并实验结果的文件（可以是pdf、jpg等格式），包含：原始图像、实验结果图像和选择的中值滤波器窗口及尺寸。
  - b) 源程序（仅源程序，不需要其它工程文件）

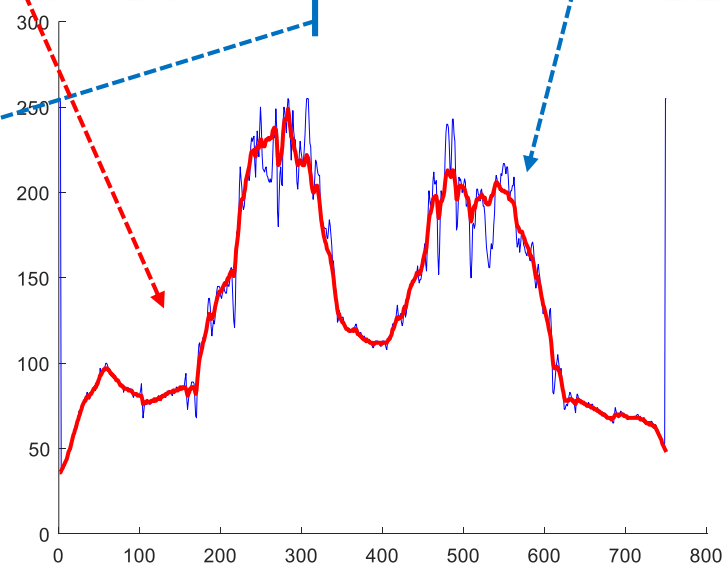
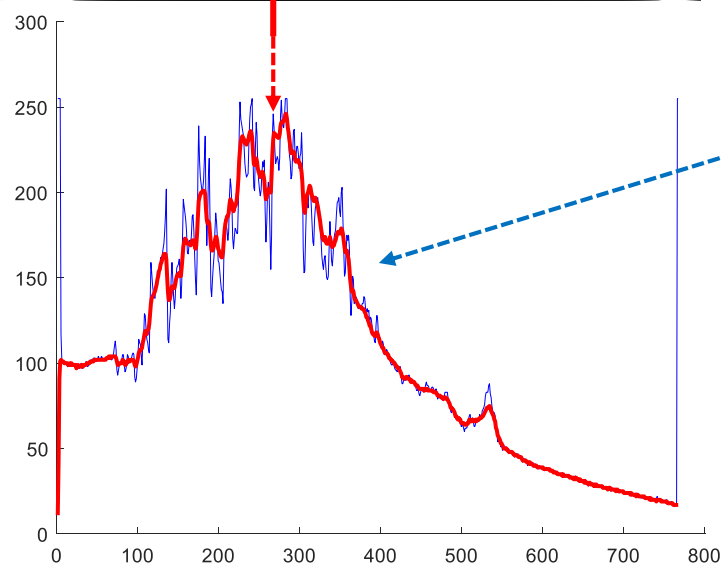
# 图像锐化 & 对比度增强

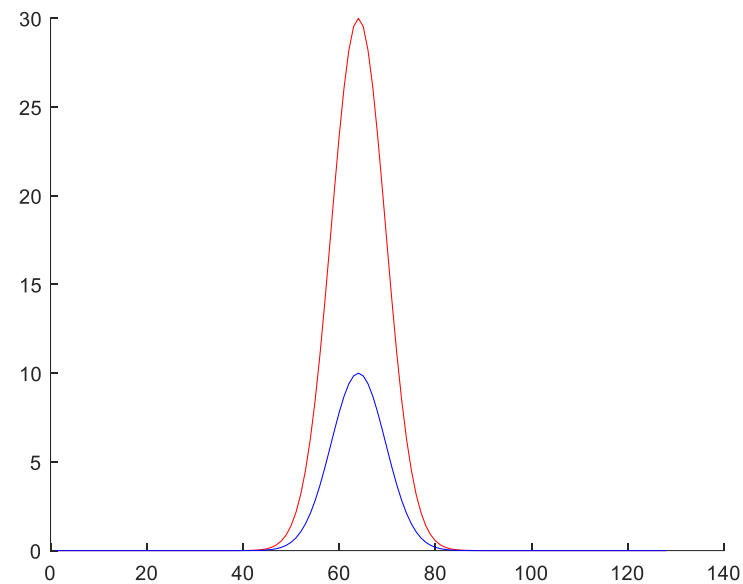
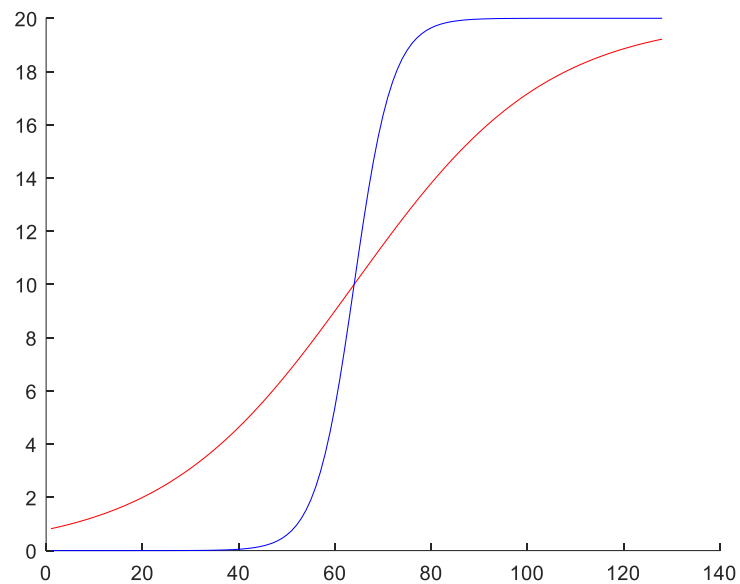
## Image Sharpening

## Contrast Enhancement



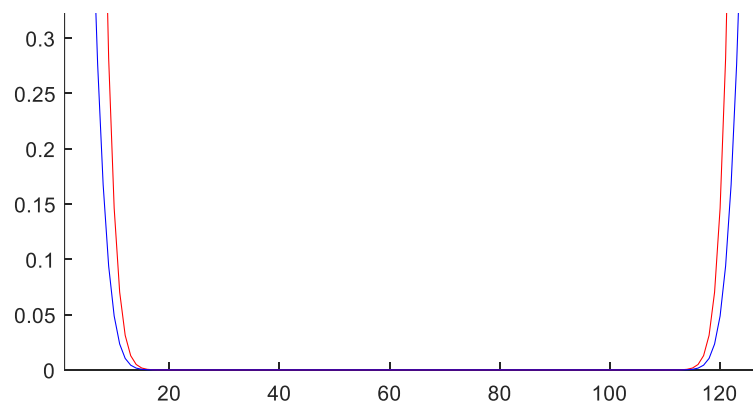
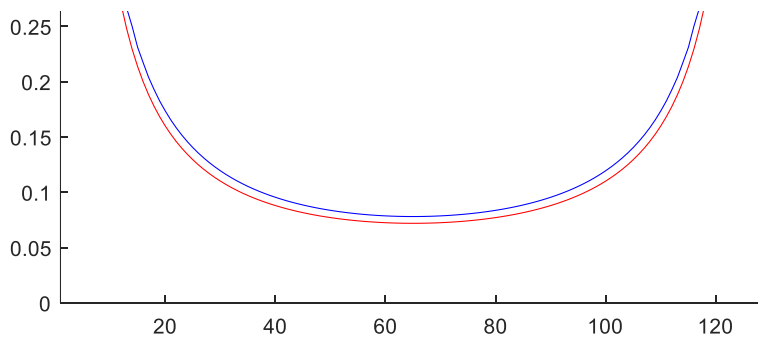
图像锐化：图像边界处灰度值变化更加陡峭  
对比度增强：提升图像细节与周围区域的灰度差



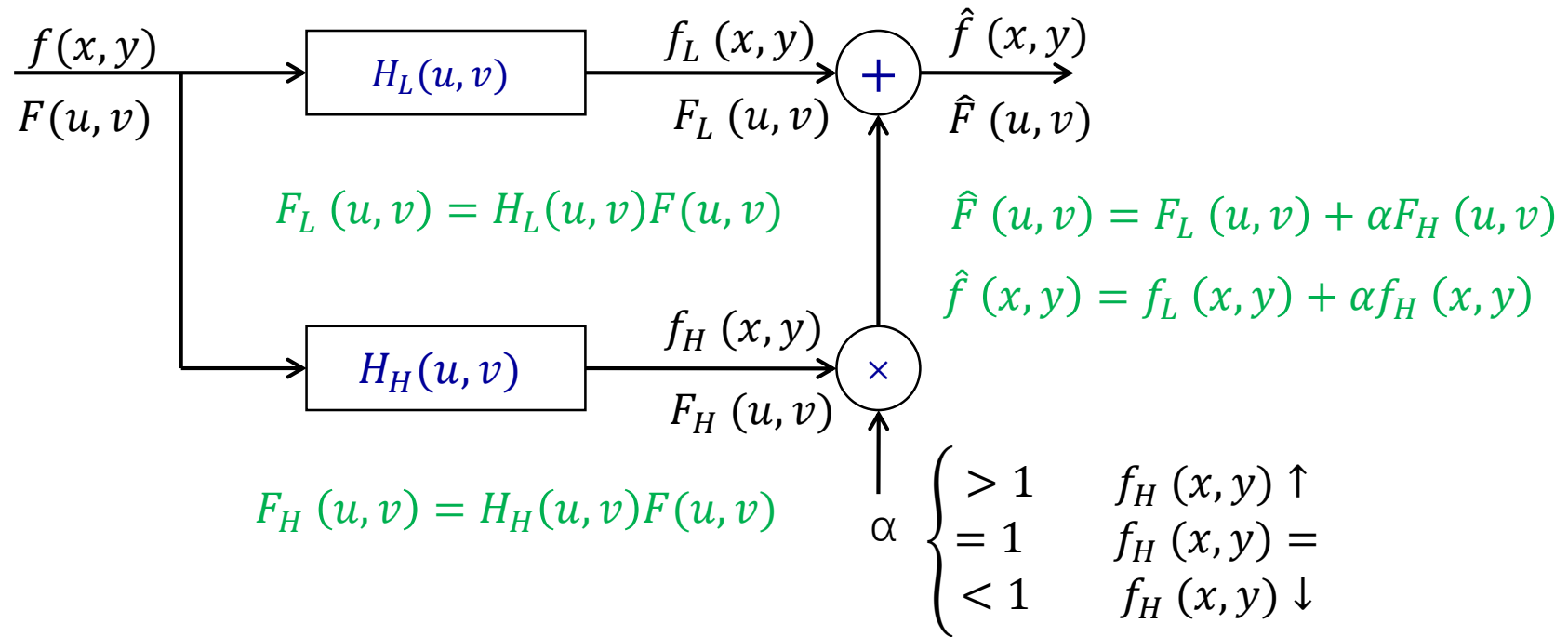


陡峭的边缘具有更多的高频分量

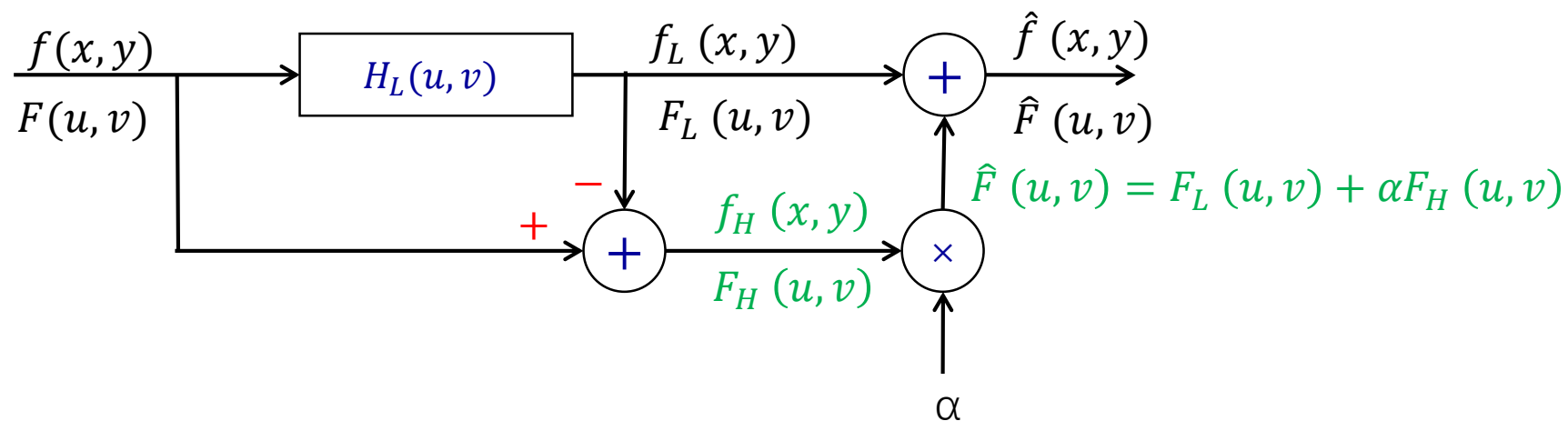
高对比度具有更多的高频分量



# Unsharp Masking

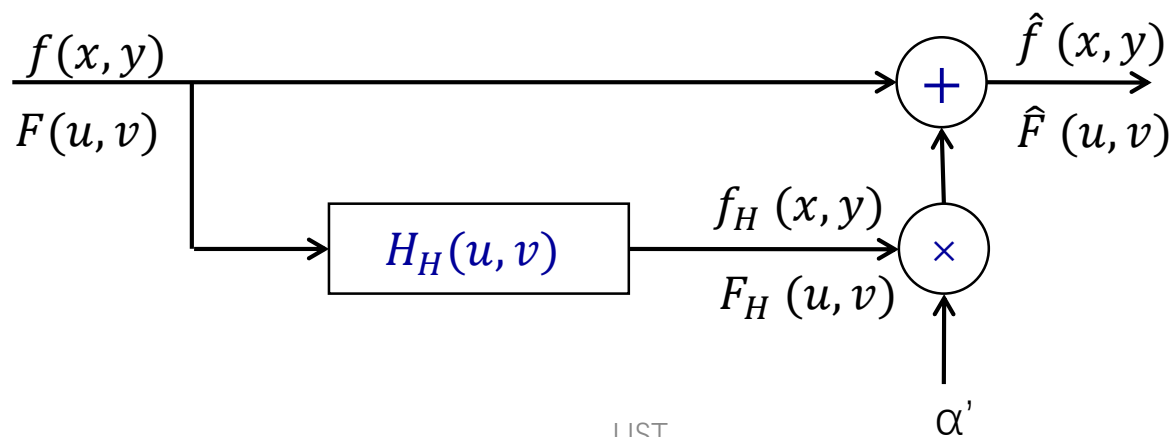


$$H_L(u, v) + H_H(u, v) = 1 \rightarrow H_H(u, v) = 1 - H_L(u, v)$$



$$\text{记 } \alpha = \alpha' + 1 \rightarrow \hat{F}(u, v) = H_L(u, v)F(u, v) + H_H(u, v)F(u, v) + \alpha' H_H(u, v)F(u, v)$$

$$\hat{F}(u, v) = [1 + \alpha' H_H(u, v)]F(u, v)$$

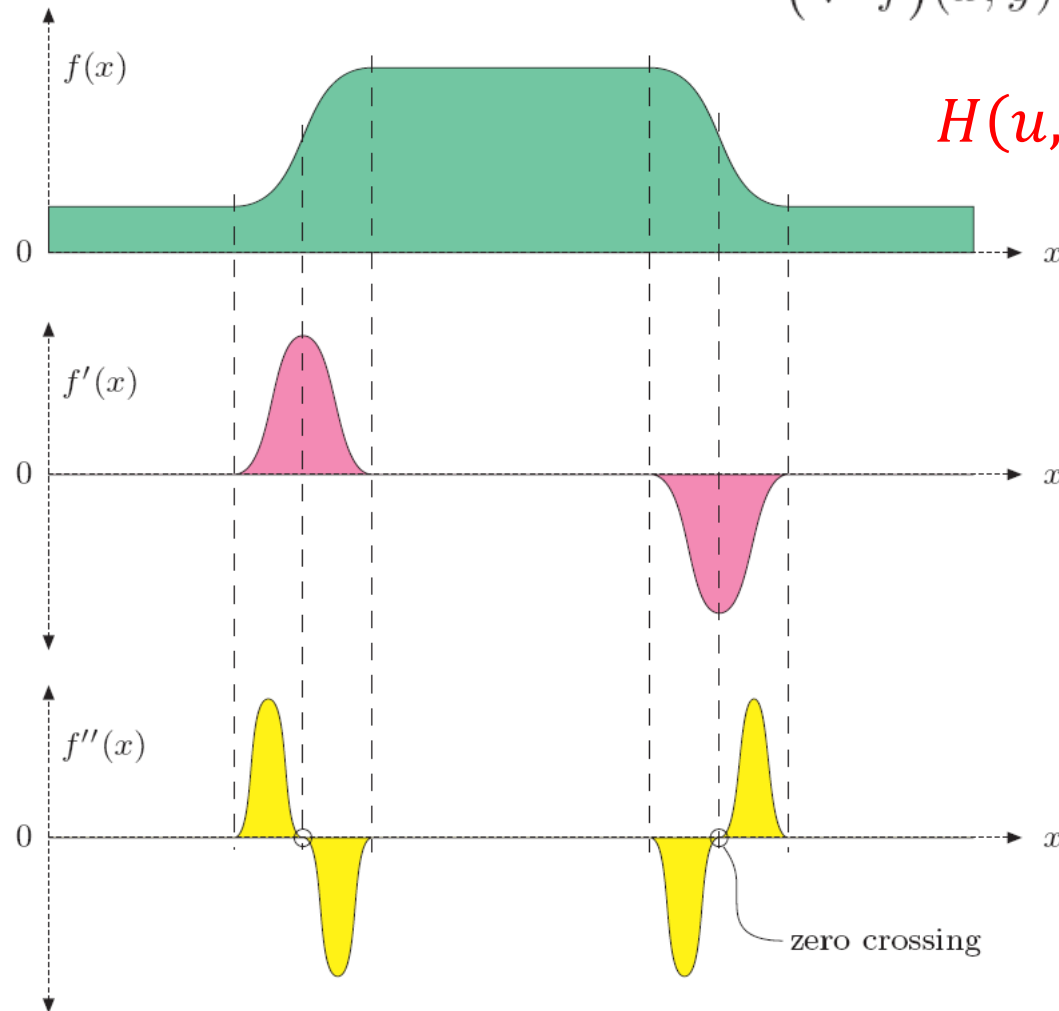


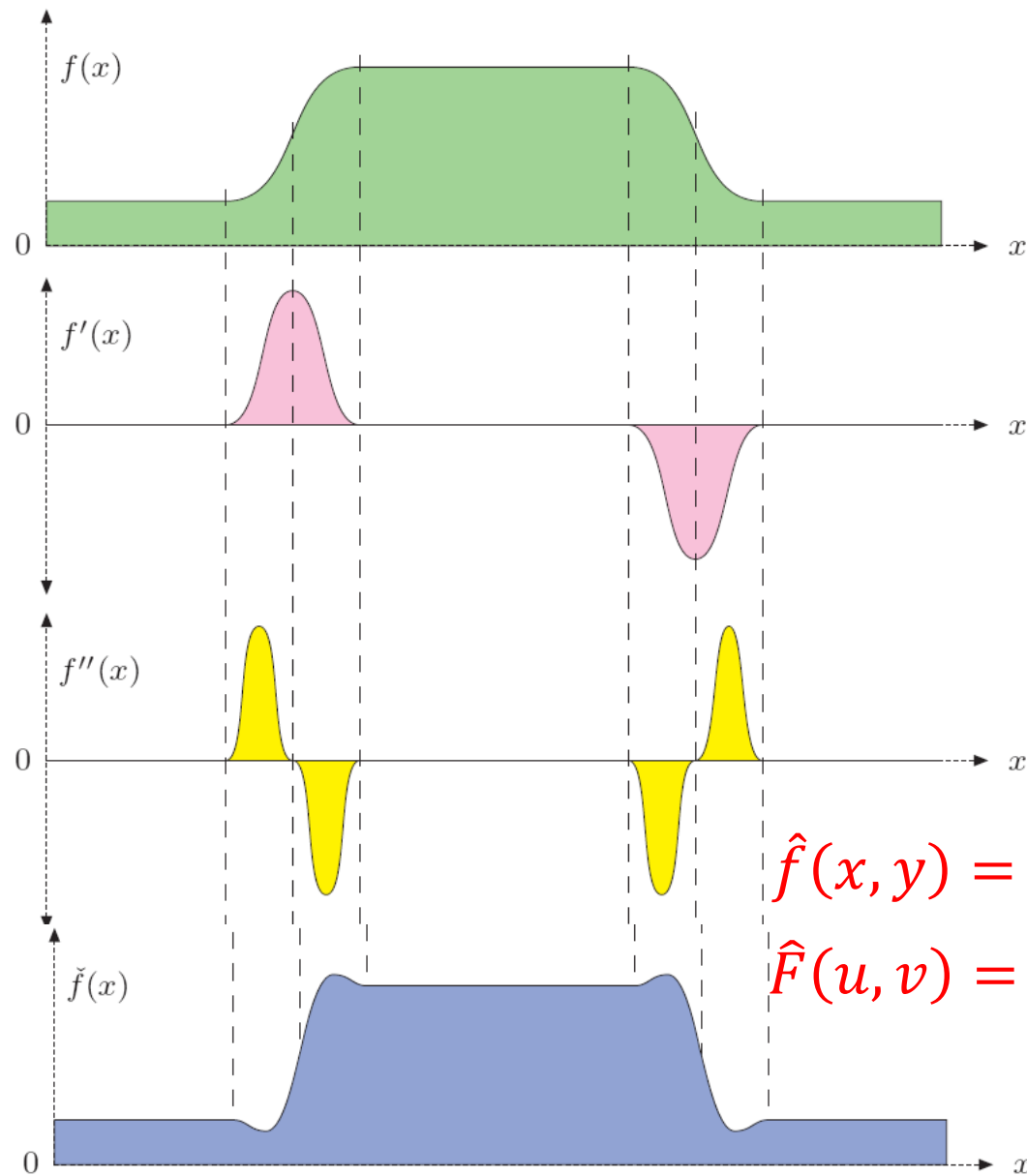


# Laplacian

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

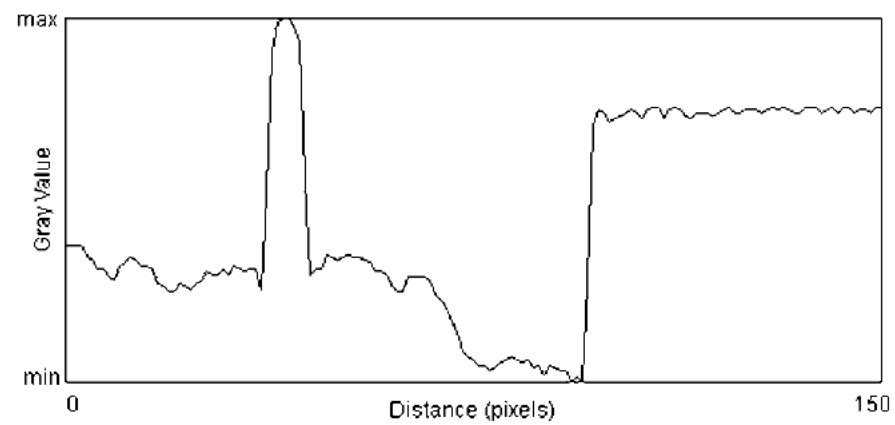
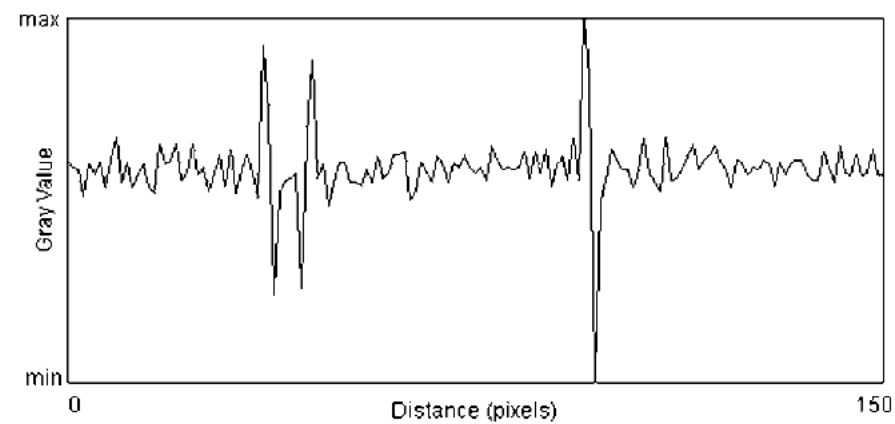
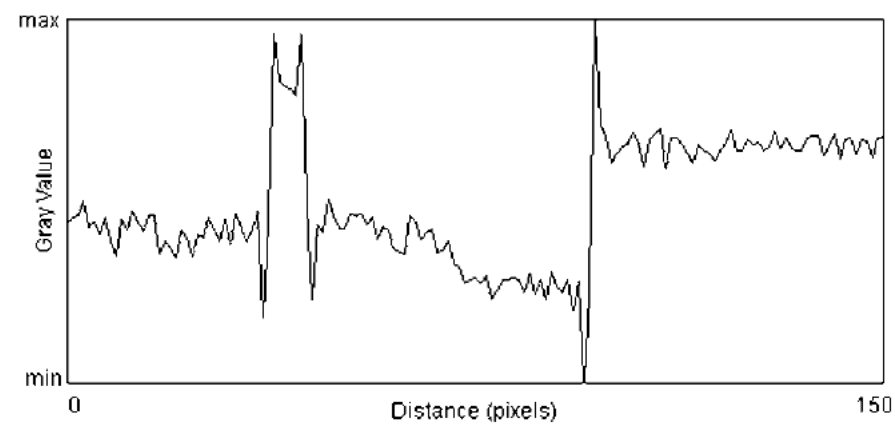
$$H(u, v) = -(u^2 + v^2)$$



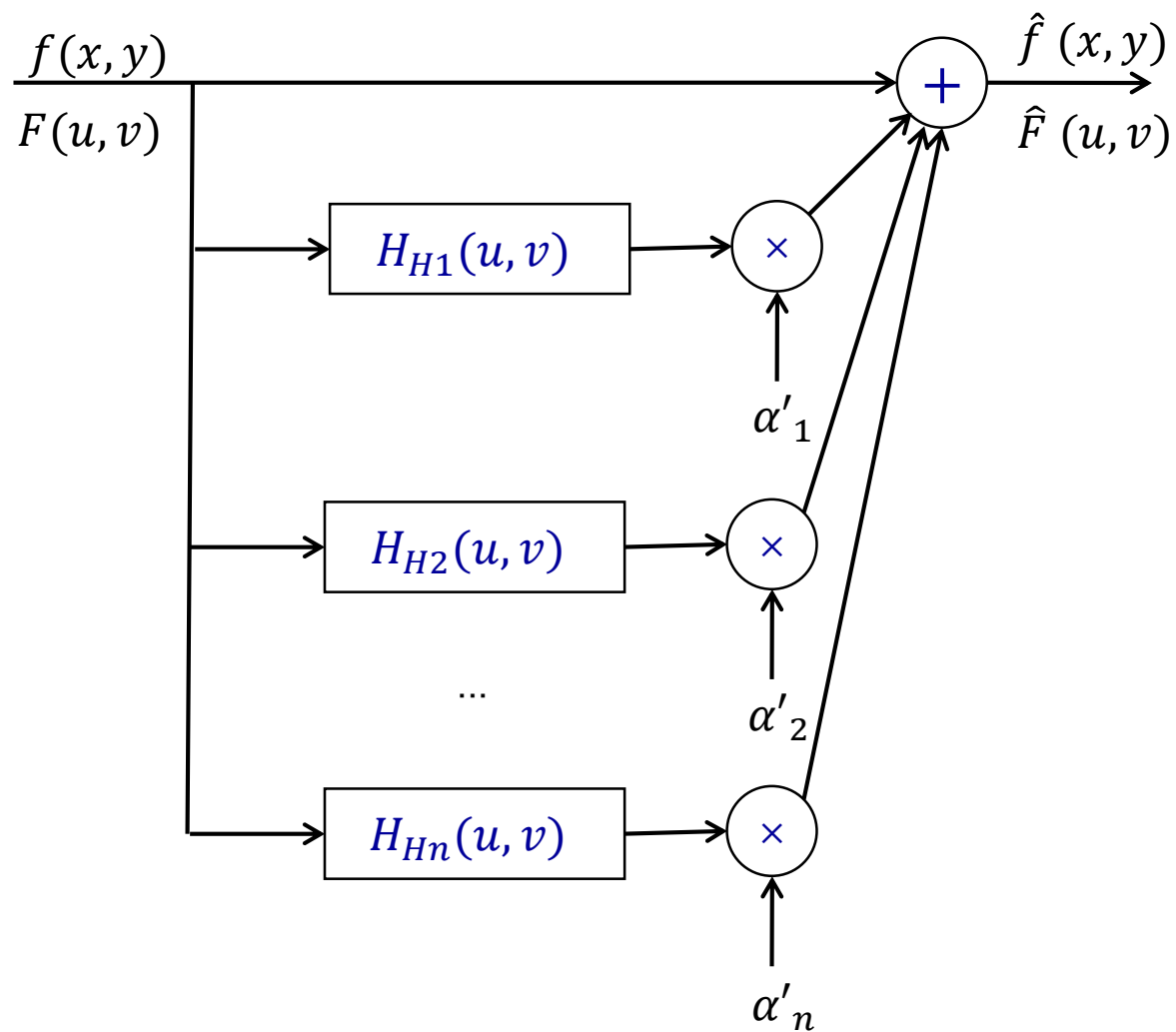


$$\hat{f}(x, y) = f(x, y) - \alpha \nabla^2 f(x, y)$$

$$\hat{F}(u, v) = [1 + \alpha(u^2 + v^2)] F(u, v)$$

$f$  $\nabla^2 f$  $f - \nabla^2 f$ 

# 多分辨Unsharp Masking



# 同态滤波器 (Homomorphic Filter)

Retinex

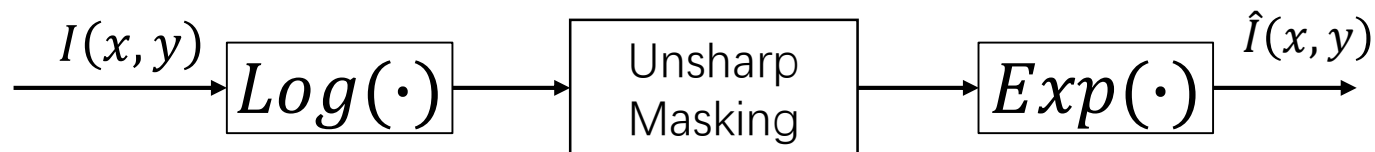
对比度增强算法

光反射模型:  $I(x, y) = L(x, y)R(x, y)$

↑  
光源 (低频, 无效信息)

↑  
反射系数 (高频, 有效信息)

$$\log I(x, y) = \log L(x, y) + \log R(x, y)$$



# 综合实验（练习7）

目的：综合运用图像增强的知识，实现图像的对比度增强

要求：

1. 在分析图像特性的基础上，独立设计处理流程（包括选择/设计处理算法、合理安排算法顺序），  
经处理后的图像对比度得到明显提高（可以清晰地显示图像中的解剖结构和组织细节），图像  
噪声没有明显的放大；
2. 实验图像的灰度动态范围为[0,4095]，要求处理结果图像的灰度动态范围不变，即仍为[0,4095]。  
所有实验图像的处理过程均无需人工干预（即可以自动运行，输入图像文件名除外），不可以  
对实验图像单独设置处理参数（即算法的参数必须适用于所有图像）；
3. 需要撰写实验报告，实验报告至少必须包含以下内容：a)图像特性分析；b)总体模块框图以及  
简要描述；c)算法参数选择；d)实验结果（处理前、后图像）；e)总结（实验结果分析）。实  
验报告保存为pdf格式文件。
4. 程序设计语言不限，平台不限，处理流程中的算法必须自行编程实现，其余部分（如图像读写、  
图像显示等）可以调用库工具实现。
5. 实验图像文件名：DR1.tif, DR2.tif, DR3.tif, DR4.tif,共四幅图像

上交材料：以下材料压缩后上交（压缩文件名：学号\_姓名\_7）

1. 实验报告；
2. 实验结果图像（命名方式：OUT\_DR1.TIF, OUT\_DR2.TIF,...）；
3. 源程序