



# 第七章 图像恢复

图像恢复也称图像复原，是图像处理中的一大类技术。

图像恢复与图像增强的异同点：

**相同点：**

图像增强与图像恢复都是改善给定图像的质量。

**不同点：**

(1) 图像恢复是利用退化过程的先验知识，来建立图像的退化模型，再采用与退化相反的过程来恢复图像，而图像增强一般无需对图像降质过程建立模型。

(2) 图像恢复是针对图像整体，以改善图像的整体质量。而图像增强是针对图像的局部，以改善图像的局部特性，如图像的平滑和锐化。

(3) 图像恢复主要是利用图像退化过程来恢复图像的本来面目，它是一个客观过程，最终的结果必须要有一个客观的评价准则。而图像增强主要是用各种技术来改善图像的视觉效果，以适应人的心理、生理需要，而不考虑处理后图像是否与原图像相符，也就很少涉及统一的客观评价准则。

# 第七章 图像恢复

## 7.1 图像退化和噪声

## 7.2 空域噪声滤波器

## 7.3 组合滤波器



# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

宇航、卫星、航空测绘、遥感、天文学中所得照片，由于大气湍流，光学系统的相差及摄像机与物体之间的相对运动等，会使图像降质。

一般用图像退化来表示和描述图像工程中各种图像质量的下降过程和下降因素。

在图像采集过程中产生的许多种退化常被称为**模糊**，它对目标的频谱宽度有带限作用。在图像记录过程中产生的主要退化常被称为**噪声**，它可来源于测量误差，记数误差等。

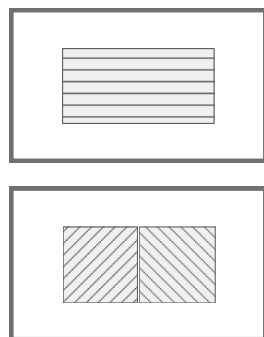
## 7.1.1 基本退化的示例

(a)表示一种非线性的退化

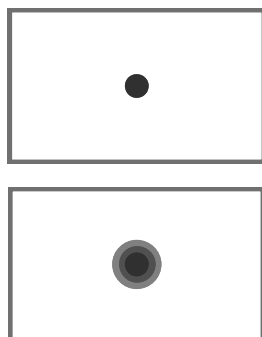
(b)表示一种模糊造成的退化（针对光学成像系统）

(c)表示一种场景中目标运动造成的模糊退化

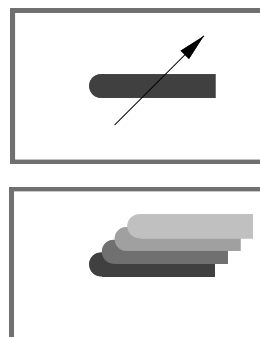
(d)表示的是随机噪声的迭加退化



(a)



(b)



(c)



(d)



# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

**乘性噪声：**一般由信道不理想引起，**它们与信号的关系是相乘**，信号在它在，信号不在他也就不在。普遍存在于现实世界的图像应用当中，如合成孔径雷达、超声波、激光等相干图像系统当中。有效地处理乘性噪声图像比较困难，因为乘性噪声起伏较剧烈，均匀度较低。

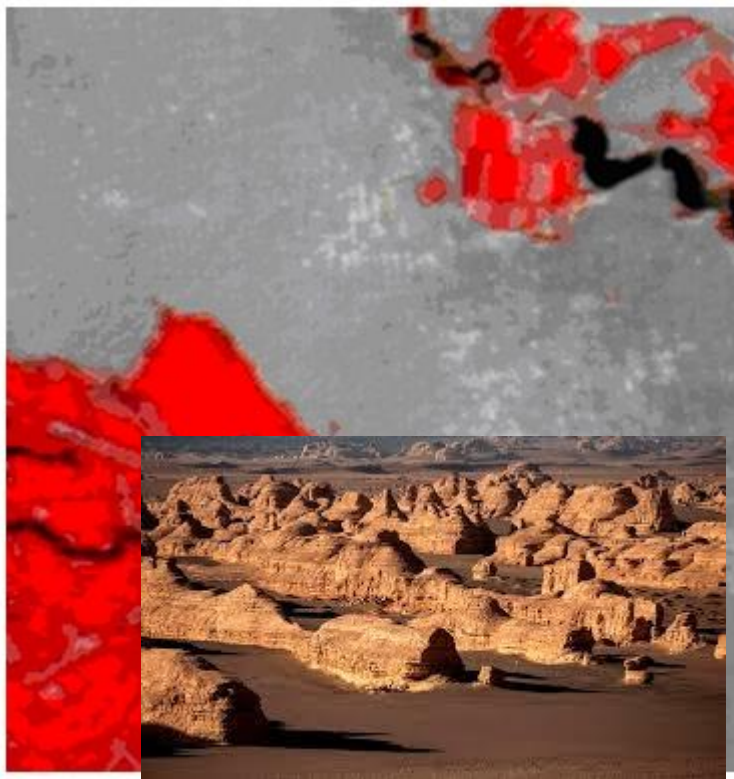
**加性噪声：**一般指热噪声、散弹噪声等，**它们与信号的关系是相加**，不管有没有信号，噪声都存在。一般通信中把加性随机性看成是系统的背景噪声。



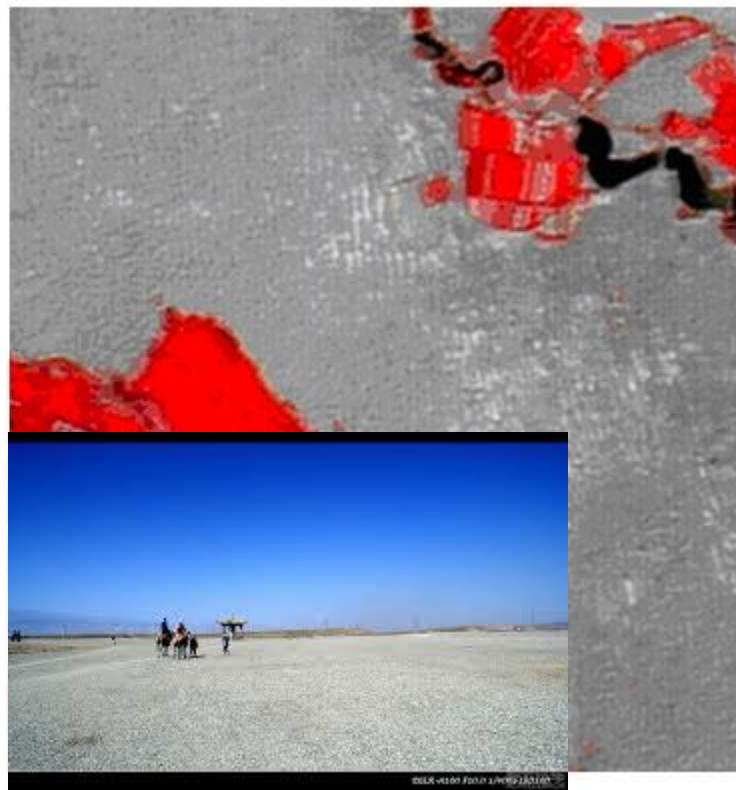
# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

卫星遥感图像的获取是一个复杂的过程，受到大气衰减、遥感器光学系统、传感器、电子线路及卫星运动等多方面的影响。这一复杂的影响过程可用系统MTF表示。通过对图像进行MTF补偿与恢复，图像清晰度有了较大改善。



图a 原始图像



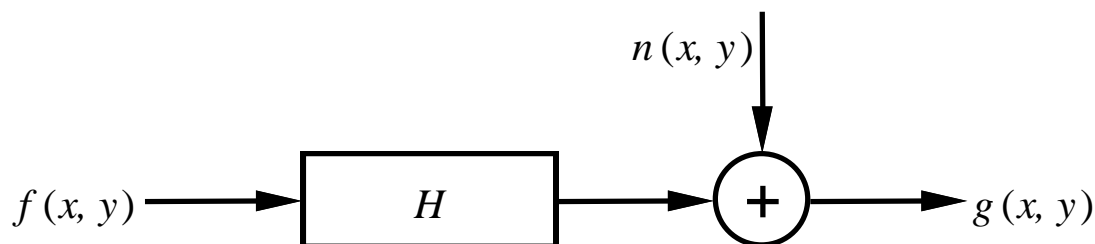
图b 基于MTF恢复的图像



# 第七章 图像恢复

## 7.1.2 基本退化模型退化

图像退化过程被模型化为一个作用在输入图像  $f(x, y)$  上的系统  $H$ 。它与一个加性噪声  $n(x, y)$  的联合作用导致产生退化图像  $g(x, y)$ 。



恢复图像就是要在给定  $g(x, y)$  和代表退化的  $H$  的基础上得到对  $f(x, y)$  某个近似的过程。



## 7.1.2 基本退化模型退化

输入和输出具有如下关系：

$$g(x, y) = H[f(x, y)] + n(x, y)$$

如果退化系统H满足下式则称为线性系统：

$$H[k_1 f_1(x, y) + k_2 f_2(x, y)] = k_1 H[f_1(x, y)] + k_2 H[f_2(x, y)]$$





# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

### 7.1.3 噪声介绍

图像中的噪声可定义为图像中不希望有的部分，或图像中不需要的部分。

对信号来说，噪声是一种外部干扰。但噪声本身也是一种信号，它携带了噪声源的信息。

**信噪比 (SNR)** 就反映了噪声相对于信号的强度比值，用能量比（或电压平方比）定义：

$$SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{V_s^2}{V_n^2} \right)$$

ALOS : PRISM 传感器  $SNR > 70$ , AVNIR-2 传感器  $SNR > 200$



# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

**对于播放器来说**，信噪比指音源产生最大不失真声音信号强度与同时发出噪音强度之间的比率称为信号噪声比。

**对于图像来说，图像信噪比**可以用信号与噪声的方差之比近似估算：首先计算图像所有像素的局部方差，将其最大值认为是信号方差，最小值是噪声方差，求出他们的比值。



# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声





# 第七章 图像恢复

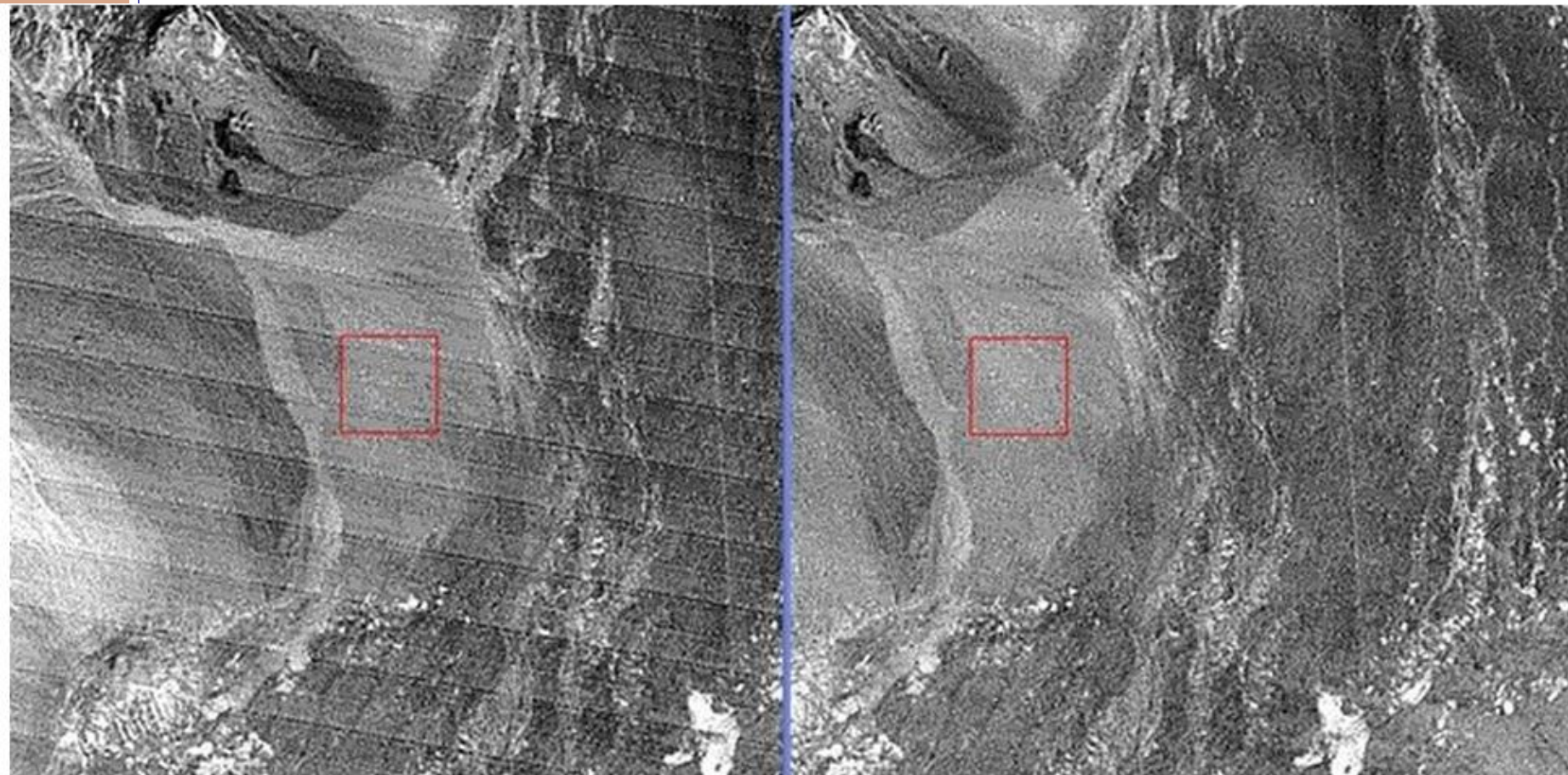
## 第一节 图像退化和噪声



信噪比高的图像



# 第七章 图像恢复



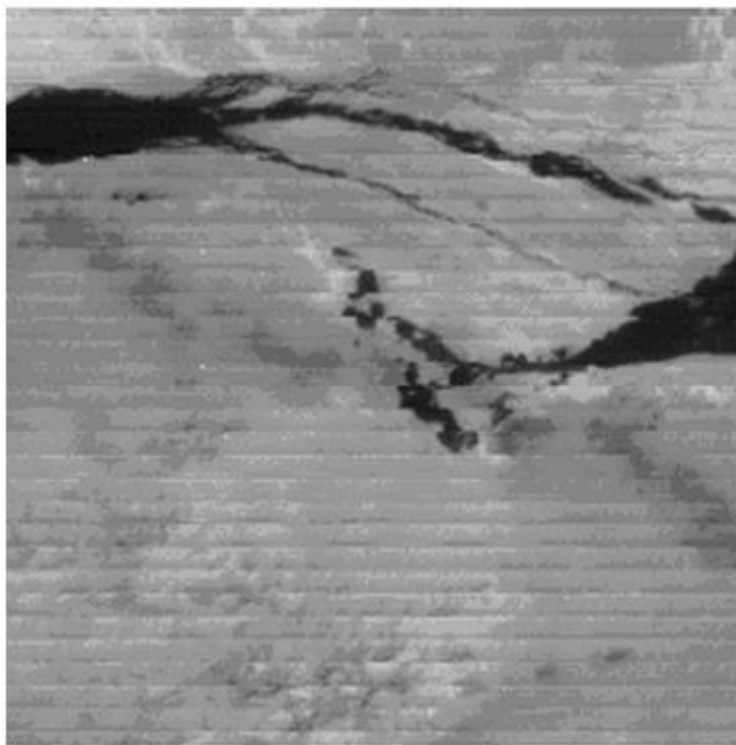
信噪比低的图像（左）与噪声消除后的图像（右）



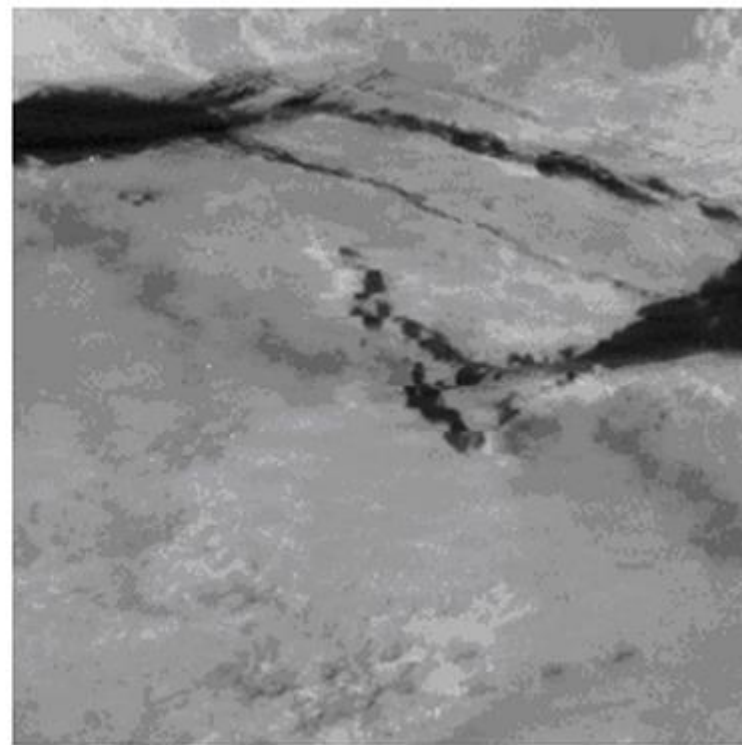
# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

**CBERS-01/02星IRMSS图像存在一定的非平稳周期噪声，这些噪声使图像的幅值、相位或频率发生一定的变化。通过大量实验和方法比较，设计出一种频域分析方法，较好地改善了IRMSS图像的质量。怎么设计？？？**



图a 原始图像



图b 去除干扰后像

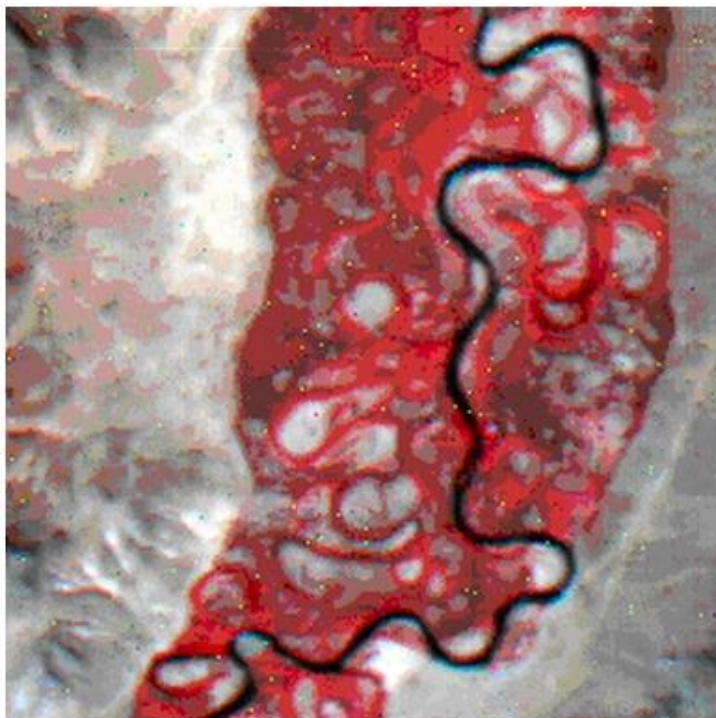




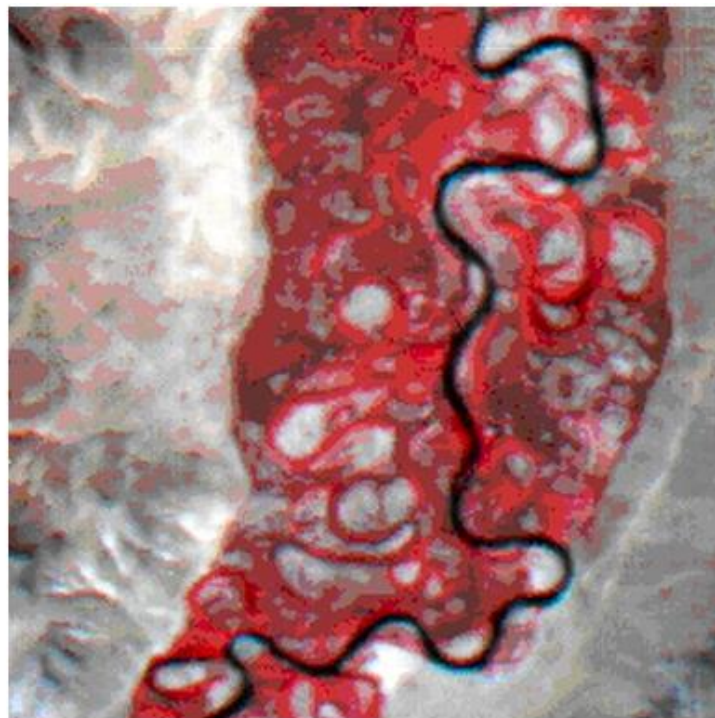
# 第七章 图像恢复

## 第一节 图像退化和噪声

部分CCD图像存在颗粒噪声。通过采用先判断后去噪的方法很好地去除了颗粒噪声，大大提高了图像处理效率和精度。



图a 原始图像



图b 去噪图像



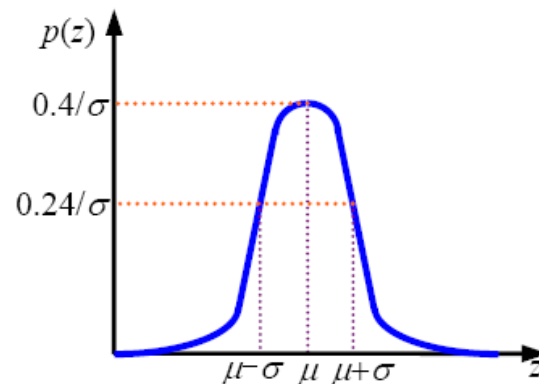


## 7.1.4 噪声概率密度函数

噪声本身的灰度可看做随机变量，其分布可用**概率密度函数 (PDF)** 来刻画。

### 1. 高斯噪声

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$



如电子设备或者传感器的噪声。许多接近高斯分布的噪声也可用高斯噪声模型近似地处理。高斯噪声是随机分布，受其作用的每个像素都有可能受高斯噪声影响而改变灰度值，改变的灰度值多在均值附近。

## 7.1.4 噪声概率密度函数

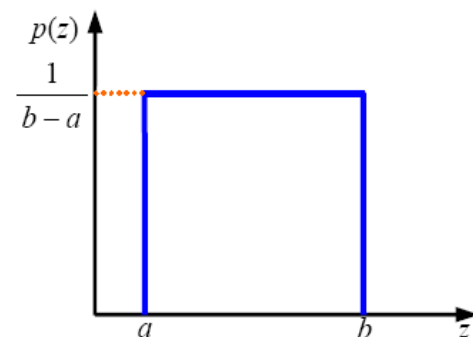
噪声本身的灰度可看做随机变量，其分布可用**概率密度函数 (PDF)** 来刻画。

### 2. 均匀噪声

$$p(z) = \begin{cases} 1/(b-a) & \text{如果 } a \leq z \leq b \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

$$\mu = (a+b)/2$$

$$\sigma^2 = (b-a)^2 / 12$$



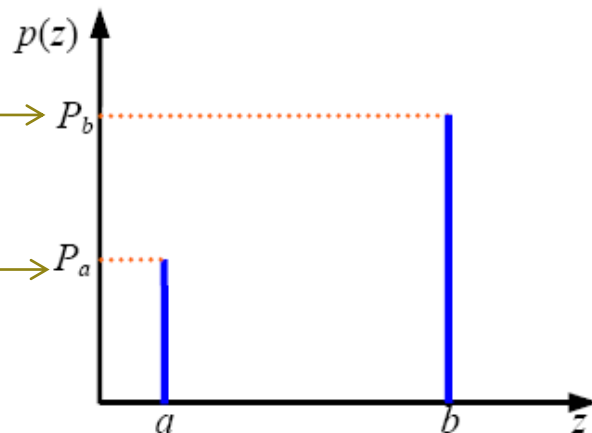
该噪声密度常作为许多随机数发生器的基础，如可用它根据大数定理来产生高斯噪声。该噪声也是随机分布，即受其作用的每个像素都有可能受到影响而改变灰度值，对整幅图像这个改变值在噪声灰度值范围内有相同的概率。

## 3. 脉冲（椒盐）噪声

$$p(z) = \begin{cases} P_a & \text{如果 } z = a \\ P_b & \text{如果 } z = b \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

盐噪声

椒噪声



若 $P_a$ 和 $P_b$ 大小接近时，脉冲噪声就像椒盐粒随机撒在图像上，此时称双极性脉冲或者椒盐噪声。**图像显示时负脉冲为黑色（椒）正脉冲显示为白色（盐）。**

该噪声也是随机分布，但这个改变值都取饱和值。实际中，在受脉冲噪声图像影响的图像中只有一部分像素会受到影响，故用其所占百分比来表示脉冲噪声的强弱。

## 1. 均值滤波器

### 1.1 算术均值滤波器

$$\bar{f}(x,y) = \frac{1}{mn} \sum_{(p,q) \in W} f(p,q)$$

消除噪声的同时会模糊图像。

### 1.2 几何均值滤波器

$$\hat{f}(x,y) = \left[ \prod_{(p,q) \in W} g(p,q) \right]^{\frac{1}{mn}}$$

对图像的平滑作用与算术平均值相当，但它相比算术均值滤波器**能在恢复图像中保持更多的细节。**

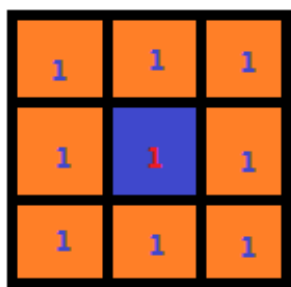


# 第七章 图像恢复

## 第二节 空域噪声滤波器

### 1. 均值滤波器

从频率域观点来看均值滤波是一种低通滤波器，高频信号将会去掉。理想的均值滤波是用每个像素和它周围像素计算出来的平均值替换图像中每个像素。采样Kernel数据通常是3X3的矩阵：



蓝色为中心像素，周围八个像素，计算九个像素的平均值，替换中心蓝色像素值。

从左到右从上到下计算图像中的每个像素，最终得到处理后的图像

均值滤波可以加上**两个参数：迭代次数，Kernel大小**。一个相同的Kernel，但是多次迭代就会效果越来越好。同样，迭代次数相同，Kernel矩阵越大，均值滤波的效果就越明显。



## 1. 均值滤波器

### 1.3 谐波均值滤波器

$$\hat{f}(x, y) = \frac{mn}{\sum_{(p,q) \in W} \frac{1}{g(p, q)}}$$

对高斯噪声有较好的滤除效果。对盐噪声的滤除效果要比对椒噪声好许多。

### 1.4 逆谐波均值滤波器

K为滤波器的阶数。

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(p,q) \in W} g(p, q)^{k+1}}{\sum_{(p,q) \in W} g(p, q)^k}$$

对椒盐类噪声有较好的滤除效果，但不能同时滤除椒和盐噪声。当 $k > 0$ 时，可滤除椒噪声；当 $k < 0$ 时，可滤除盐噪声； $k = 0$ 时，变为算术均值滤波器； $k = -1$ 时，退化为谐波均值滤波器。



# 第七章 图像恢复

## 第二节 空域噪声滤波器

### 【例】均值滤波器效果示例。

P60, 3.5-3.6

**总结：**一般情况下，使用均值滤波器滤除高斯噪声的效果比滤除脉冲噪声的效果好！

### 【例】谐波均值滤波器滤除椒噪声和盐噪声的不同效果。

**总结：**谐波均值滤波器滤对盐噪声的滤除效果比对椒噪声要好很多！





## 2. 排序统计滤波器

也称百分比滤波器，在工作时均基于对模板所覆盖像素的灰度值的排序，其输出根据某一个确定的百分比选取排序后序列中相应的像素值而得到。

### 2.1 中值滤波器

$$\hat{f}(x, y) = \text{median} \{g(p, q)\}_{(p, q) \in W}$$

**对消除椒盐噪声比较有效，效果比均值滤波更好。**

**P66. 3.8**



# 第七章 图像恢复

## 第二节 空域噪声滤波器

### 2.2 最大值和最小值滤波器

与中值滤波类似，首先要排序周围像素和中心像素值，然后将中心像素值与最小和最大像素值比较，如果比最小值小，则替换中心像素为最小值，如果中心像素比最大值大，则替换中心像素为最大值。

123	124	108
122	150	98
112	135	144

排序以后为：

98, 108, 112, 122,

123, 124, 135, 144

中心像素为：150

最大最小值滤波以后，中心

像素值为：**144**

最大值滤波器对消除**椒噪声**比较有效。

最小值滤波器对消除**盐噪声**比较有效。



## 2.2 最大值和最小值滤波器



3X3中值滤波以后效果

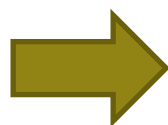


3X3操作数，迭代次数为3，均值滤波以后效果



## 2.3 中点滤波器

P1	P2	P3
P4	P0	P5
P6	P7	P8



$$P_{\min} = \text{Min}(P1, P2 \dots P8)$$

$$P_{\max} = \text{Max}(P1, P2 \dots P8)$$

$$P0 = \frac{(P_{\min} + P_{\max})}{2}$$

中点滤波器结合了顺序统计和求平均，因此对消除多种随机分布的噪声，如高斯噪声和均匀随机分布噪声都比较有效。



## 3. 自适应滤波器 (Adaptive filter)

前面介绍的空域滤波器对图像中所有像素采用同样的处理方式。

**自适应滤波器**则根据滤波器模板所覆盖像素集合的统计特性进行调整，所以有可能取得更好的滤波效果。

P68. 3.10

**自适应中值滤波器**



# 第七章 图像恢复

## 自适应中值滤波器

中值滤波器，在噪声的密度不是很大的情况下（噪声出现的概率小于0.2），效果不错。但是当概率出现的概率较高时，常规的中值滤波的效果就不是很好了。有一个选择就是增大滤波器的窗口大小，这虽然在一定程度上能解决上述的问题，但是会给图像造成较大的模糊。

**常规的中值滤波器的窗口尺寸是固定大小不变的，就不能同时兼顾去噪和保护图像的细节。**

**怎么办？？？**





# 第七章 图像恢复

## 自适应中值滤波器

### 寻求改变：

根据预先设定好的条件，在滤波的过程中，动态的改变滤波器的窗口尺寸大小，这就是**自适应中值滤波器** (Adaptive Median Filter)。

在滤波的过程中，自适应中值滤波器会根据预先设定好的条件，改变滤波窗口的尺寸大小，同时还会根据一定的条件判断当前像素是不是噪声，如果是则用邻域中值替换掉当前像素；不是，则不作改变。





# 第七章 图像恢复

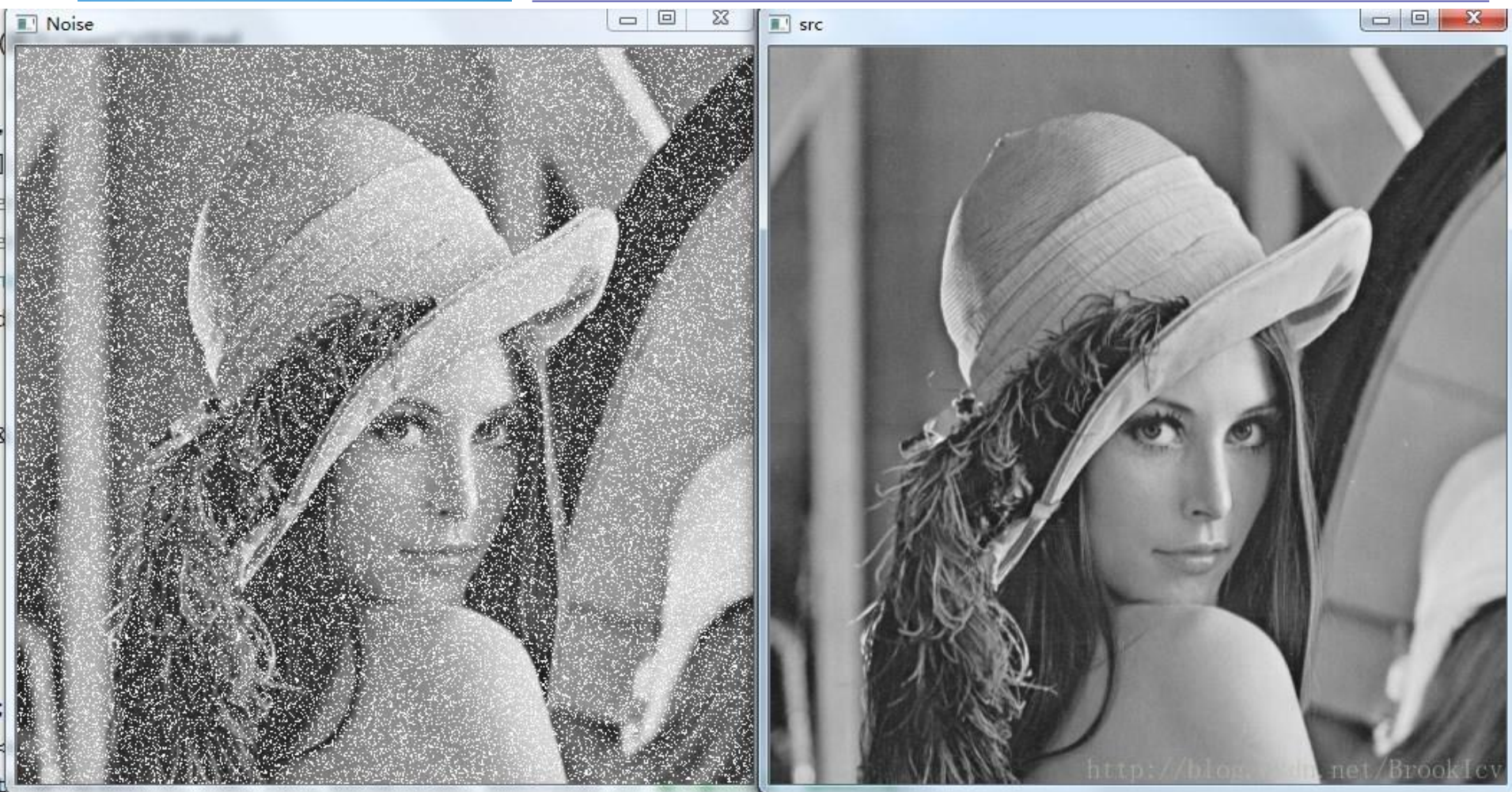
## 自适应中值滤波器

寻求改变——达到三个目的：

- 滤除椒盐噪声
- 平滑其他非脉冲噪声
- 尽可能的保护图像中细节信息，避免图像边缘的细化或者粗化

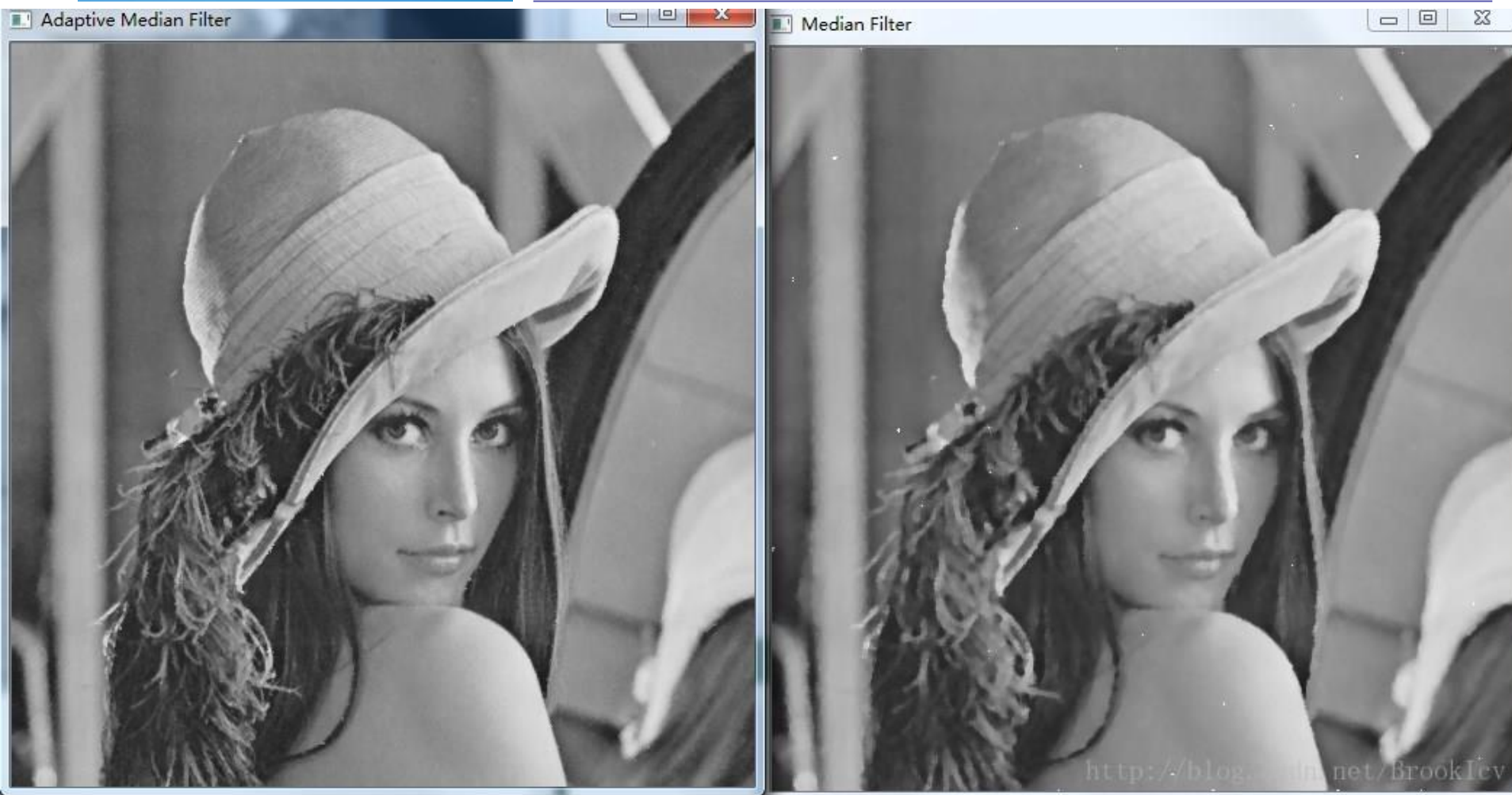
常规的中值滤波做不到！！

# 第七章 图像恢复



左图：添加概率为0.2的椒盐噪声；右边是原图

# 第七章 图像恢复

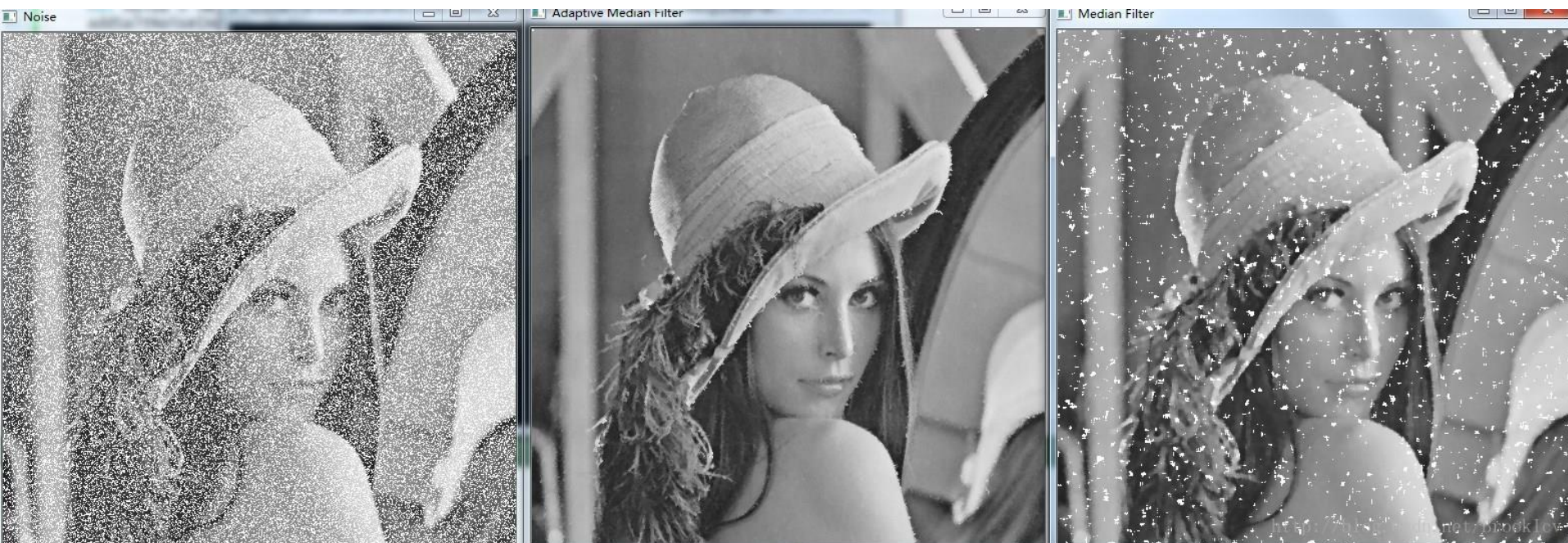


左图：自适应中值滤波器（最小窗口为3，最大窗口为7）的结果  
右图是常规中值滤波器<sup>32</sup>（窗口大小为5）的结果



# 第七章 图像恢复

测试更大概率噪声下，两种滤波器的工作情况。噪声概率为0.4时



左图：自适应中值滤波器的结果；右图是常规中值滤波器的结果



# 第七章 图像恢复

## 第三节 组合滤波器

### 1. 混合滤波器

将快速的滤波器（特别是线性滤波器）和排序统计滤波器组合构成混合滤波器，使这样得到的滤波器在效果上接近所期望的要求。

在线性和中值混合滤波中，常将线性滤波器和中值滤波器混合串联起来，用计算量较小的线性滤波操作作用在较大的模板上，而把线性滤波器输出的中值作为混合滤波器的最终输出。



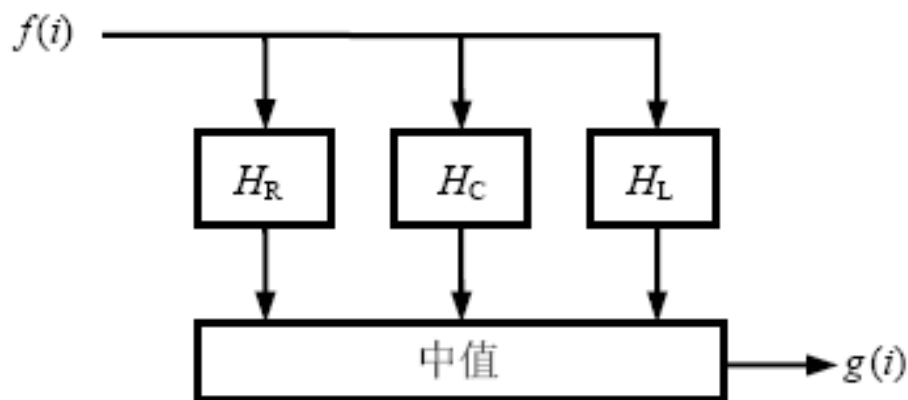
# 第七章 图像恢复

## 第三节 组合滤波器

### 1. 混合滤波器

考虑1个1D信号 $f(i)$ ，用子结构 $H$ ...组成的线性中值混合滤波定义为：

$$g(i) = \text{MED}[H_L(f(i)), H_C(f(i)), H_R(f(i))]$$



$$g(i) = \text{MED} \left[ \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k f(i-j), f(i), \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k f(i+j) \right]$$



# 第七章 图像恢复

## 第三节 组合滤波器

### 2. 选择性滤波器

当图像同时受到高斯、均匀分布或者脉冲噪声等不同噪声影响时，可以采用选择滤波的方式，在受到不同噪声影响的位置选择不同的滤波器，以发挥不同滤波器的各自特点，取得较好的综合效果。

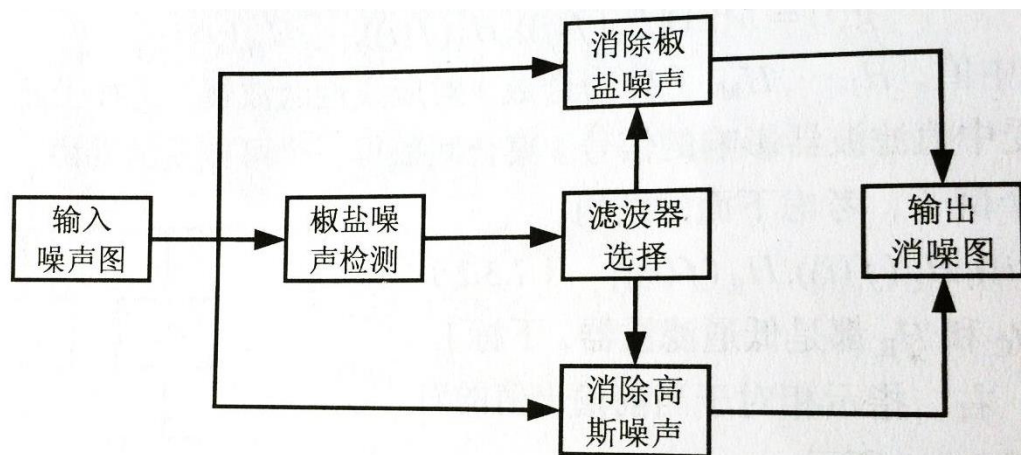


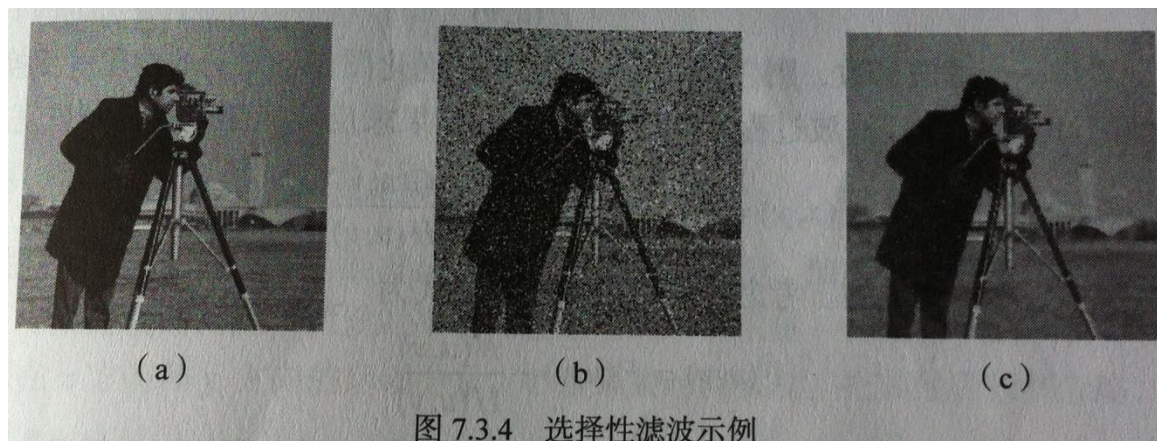
图 7.3.3 选择性滤波器框图





## 2. 选择性滤波器

### 2.2 滤波器的选择



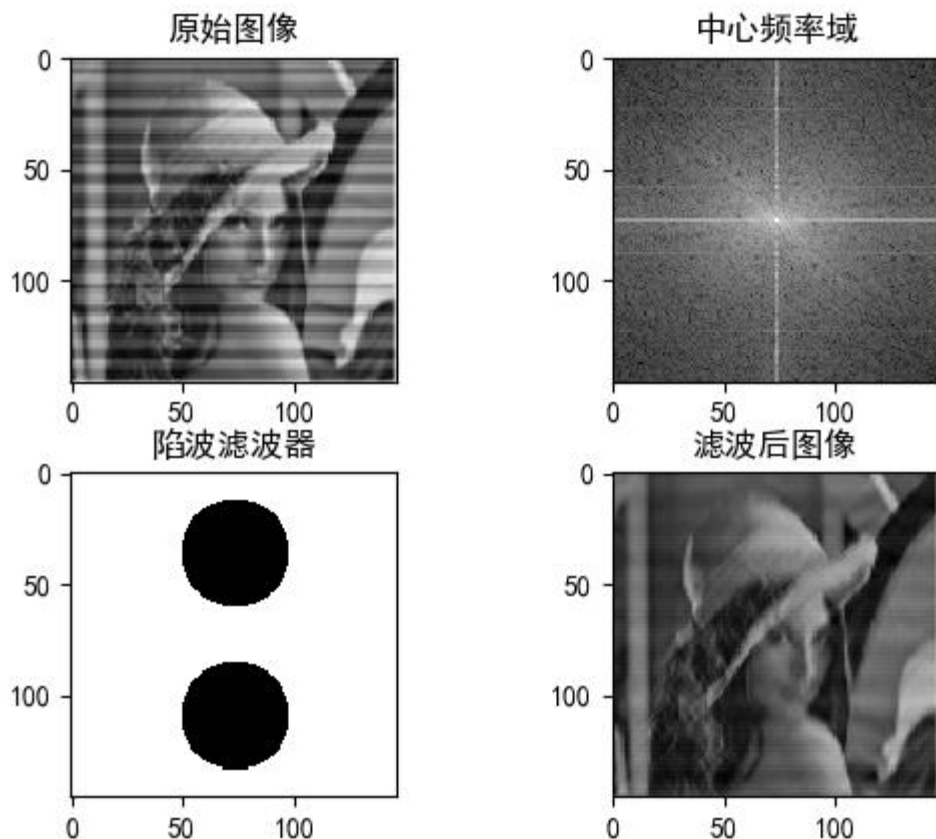
b是受到混合噪声影响的图像（高斯噪声均值为0，方差为162；椒盐噪声的比例为20%）

使用选择性滤波器的效果比单独使用任何一个滤波器的效果都要好。



# 第七章 图像恢复

## 第三节 组合滤波器



大部分的莫尔波纹已经被过滤，但是图片也因为滤波失去信息而变得平滑模糊。

这时候我们可以选用不同数量和不同的单个滤波器种类来达到更好的效果。