

# 第八章 图像增强

## 主要内容

直方图修改技术的图像增强

图像平滑

图像锐化



# 图像平滑

---

**定义：**把消除或减少图像中各种噪声的处理方法叫做图像平滑。

**目的：**消除或减少图像中各种干扰噪声的影响，使受干扰噪声污染质量下降的图像得到改善。

这类噪声的特点是离散性和随机性。



# 图像平滑



## 空域法

- 多图像平均法
- 邻域平均法
- 中值滤波法
- 梯度倒数加权法
- 最大均匀法
- 自适应滤波
- 局部统计滤波法

## 频域法

- 理想低通滤波器
- Butterworth滤波器
- 指数形滤波器
- 梯形滤波器

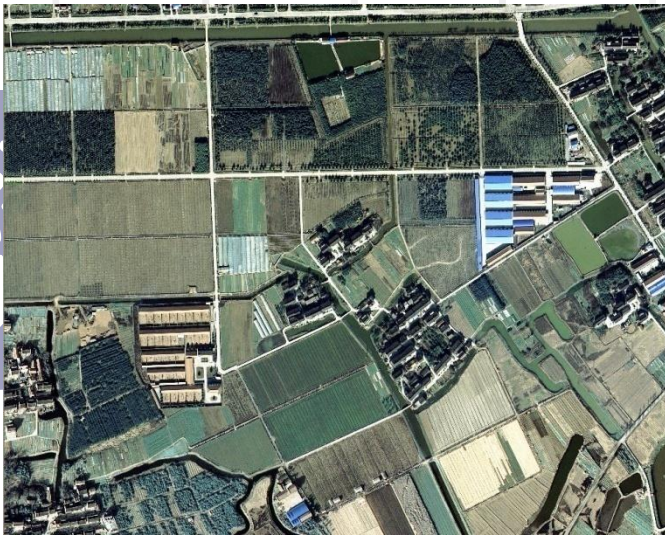
# 一、空域平滑方法

## 1、多图像平均法

## 2、邻域平均法

**前提：** 图像是由许多灰度相似的小区域组成的，相邻像素间存在很高的空间相关性，而噪声则是统计独立的。  
图像的相似性和不连续性

**定义：** 可用像素邻域内的各像素的平均灰度值代替该像素原来的灰度值。

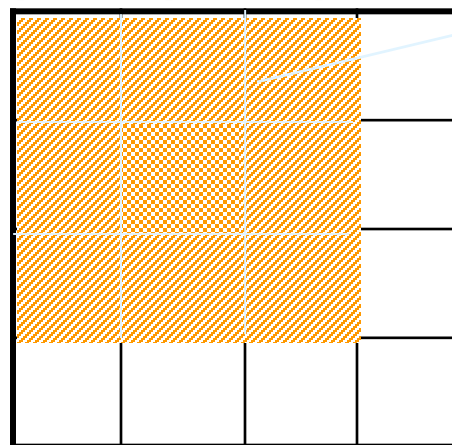


a	b	c
h	$f(x,y)$	d
g	f	e

# 卷积模板空间滤波的主要步骤

- ❖ 将模板中心与图中某个像素位置重合；
- ❖ 将模板上系数与模板下对应像素相乘；
- ❖ 将所有乘机相加；
- ❖ 将和（模板的输出响应）赋给图中对应模板中心位置的像素。
- ❖ 将模板在图中游历，求出图像上各点的灰度值

模板



滤波器：低通滤波，  
掩模，

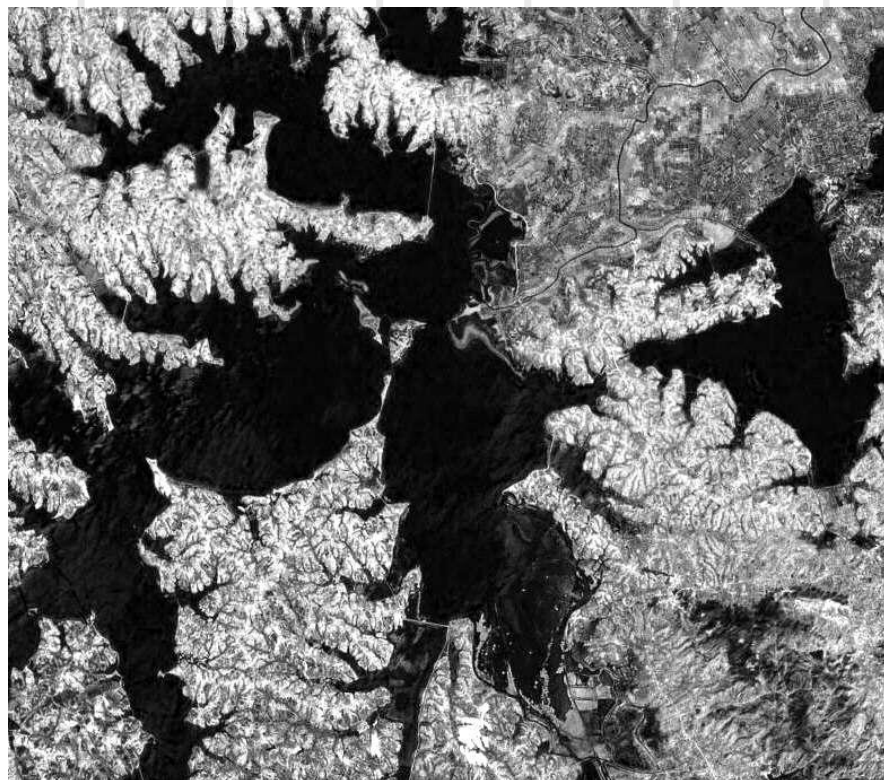
设图像中某像素的灰度值为 $f(x, y)$ ，它的邻域 $S$ 为 $M \times N$ 点的方形窗口，点集的总点数为 $M$ ，则平滑后这点的灰度值为：

$$\hat{f}_1(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{i, j \in S} f(i, j)$$

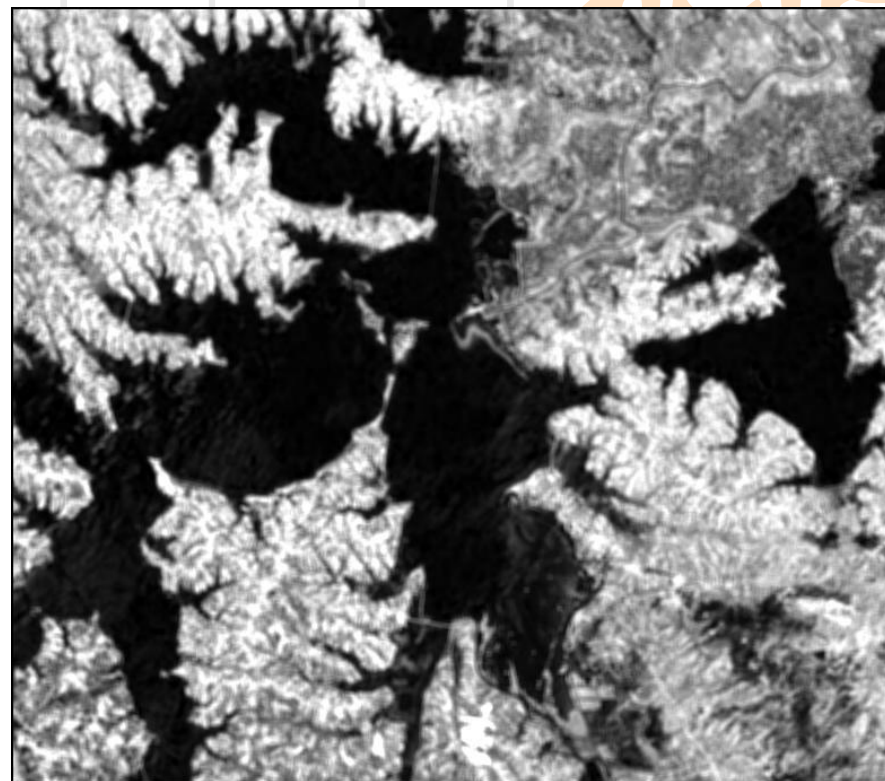
说明： 1、线性平滑滤波器；  
2、图像邻域有 $3 \times 3$ 、 $5 \times 5$ 、 $7 \times 7$ 等。







原图



•邻域平均

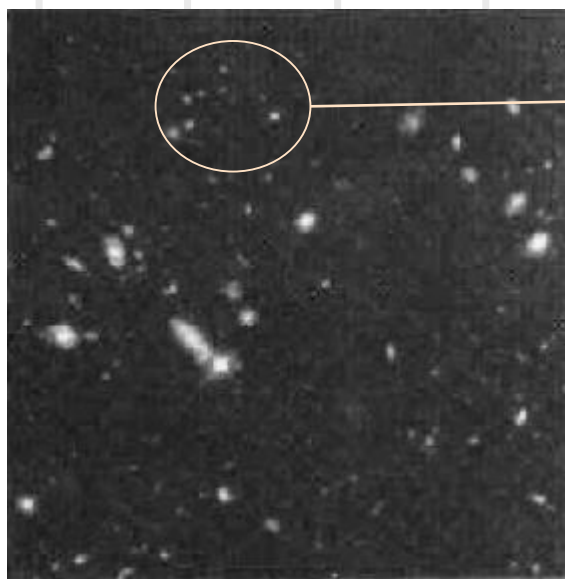


原图

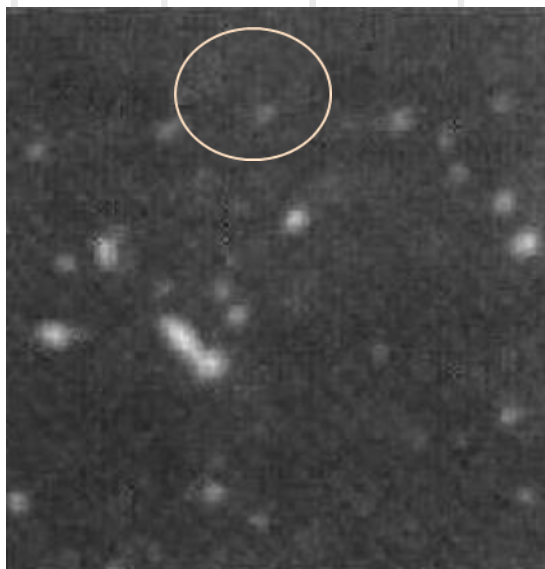


•邻域平均

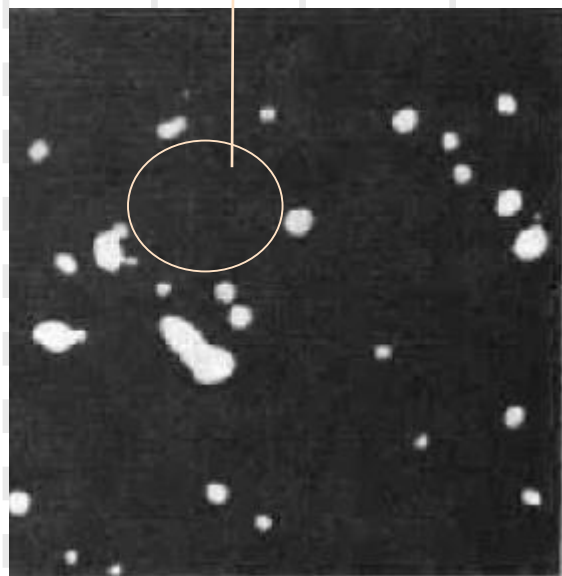




噪声



去除噪声



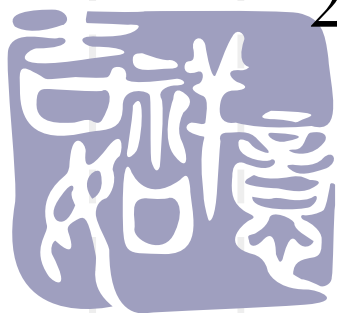
图像边缘处理时要注意  
对图像边缘产生模糊的效果。整幅图像也模糊。图像边缘处理时要注意

### 3、中值滤波法

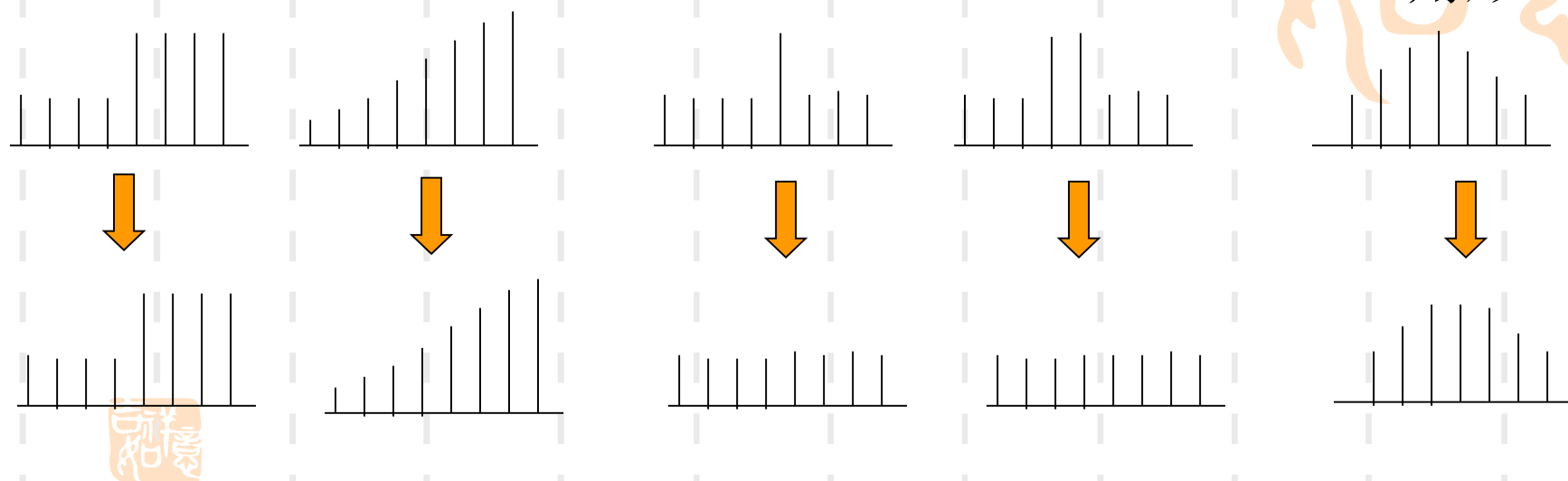
**优点：** 在消除和减少噪声的同时，保持边缘少受损失。

**定义：** 用像素邻域内的中间灰度值代替该像素原来的灰度值。是一种非线性平滑的方法。

**说明：** 1、对图像中有用的脉冲跳跃信息，损失不大。  
2、图像邻域有 $3\times 3$ 、 $5\times 5$ 、 $7\times 7$ 等。



# 一维中值滤波示例 (窗口尺寸 $N=5$ )



➤ 中值滤波的方法可以实现抑制随机噪声的同时能够保持边沿少受模糊。

➤ 正确选择窗口尺寸的大小是用好中值滤波器的重要环节。

原始  
图像



加入  
10%的  
噪声



$3 \times 3$   
中值  
滤波



# 中值滤波和邻域平均方法的比较



(a) 邻域平均  $3 \times 3$

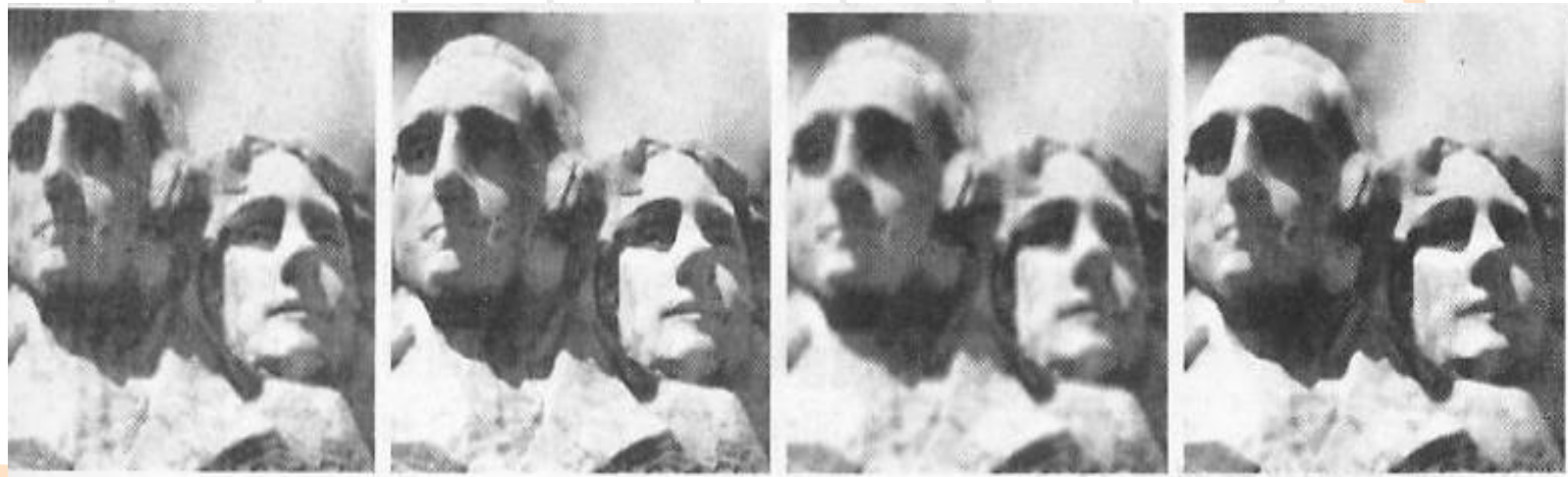


(b) 中值滤波  $3 \times 3$





# 中值滤波和邻域平均方法的比较



(a)

(b)

(c)

(d)

(a) (c) 邻域平均:  $3 \times 3$ ;  $5 \times 5$

(b) (d) 中值滤波:  $3 \times 3$ ;  $5 \times 5$



## 二、频域滤波

图像经过二维Fourier变换后，噪声频率一般位于空间频域较高的区域，而图像本身的频率分量处于空间频率较低的区域，因此可以通过低通滤波的方法，使高频分量受到抑制，而让低频分量通过，实现图像的平滑。

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

$F(u, v)$ ：是原始图像的Fourier频谱；

$G(u, v)$ ：是平滑后图像的Fourier频谱；

$H(u, v)$ ：滤波器的频响函数

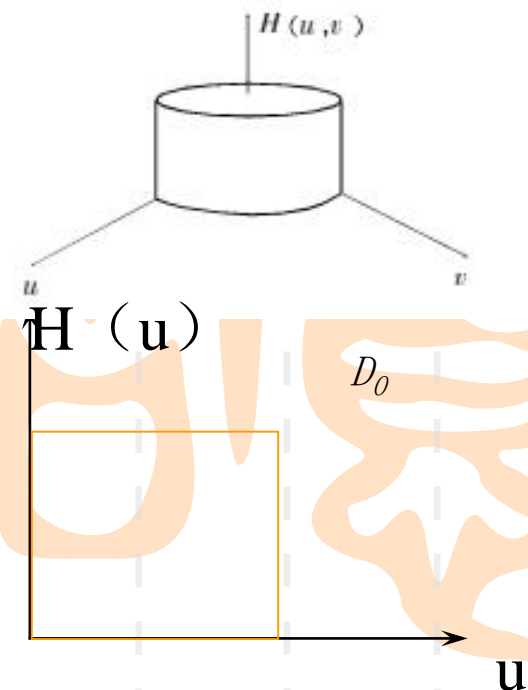
# 1、理想低通滤波器

二维转移函数是：

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) \leq D_0 \\ 0, & D(u, v) > D_0 \end{cases}$$

$D_0$ ：是截止频率；

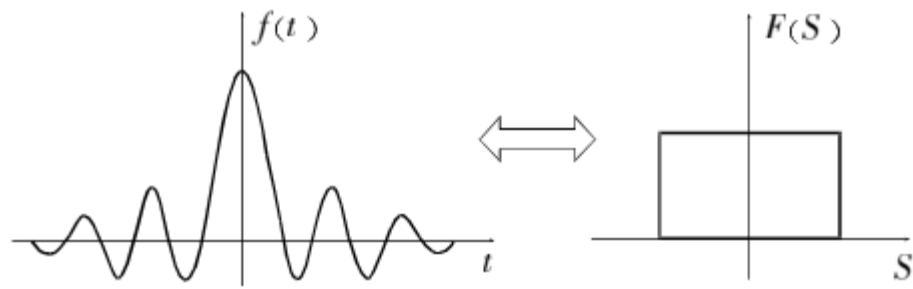
$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$ ，是点  $(u, v)$  到频率平面原点的距离



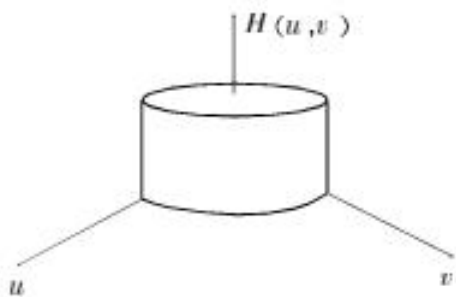
**问题：** 1、理想低通滤波器有陡峭的截止特性，处理效果并不好，产生振铃效应。

2、图像模糊

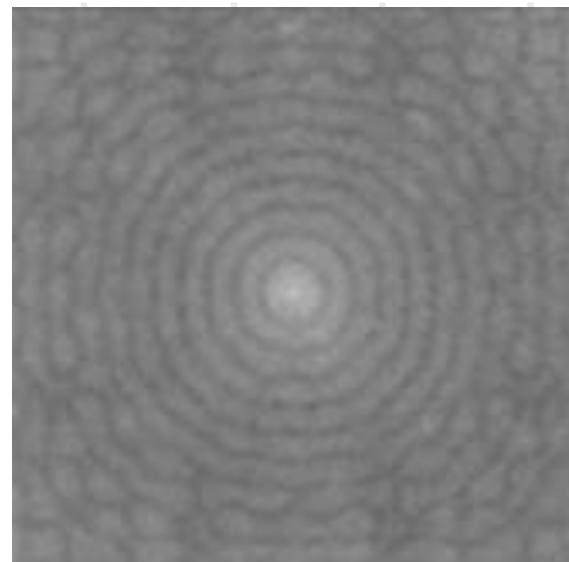
# 振铃现象



理想低通滤波器的空、频对应曲线

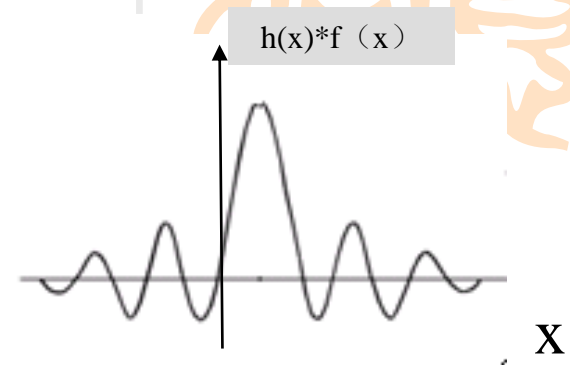
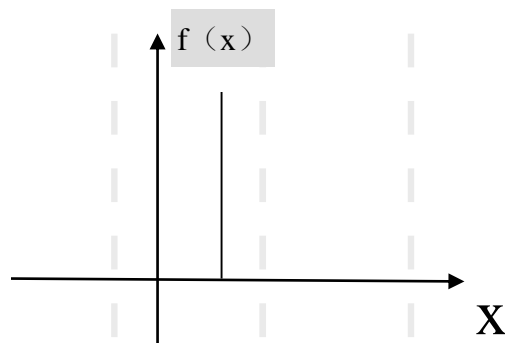
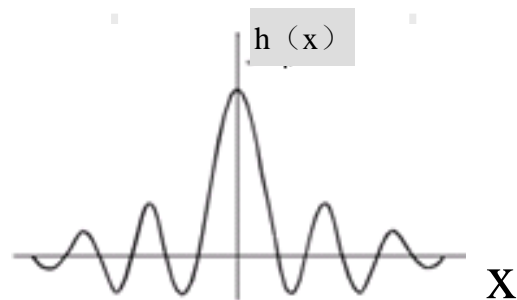


●理想低通滤波器

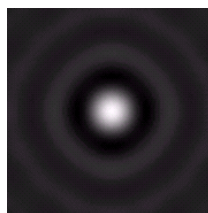
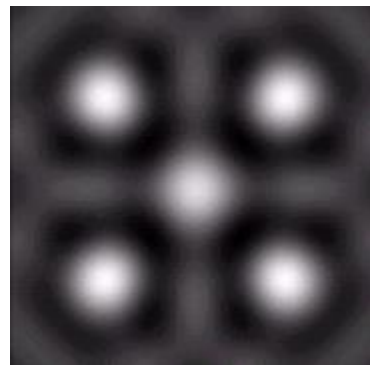
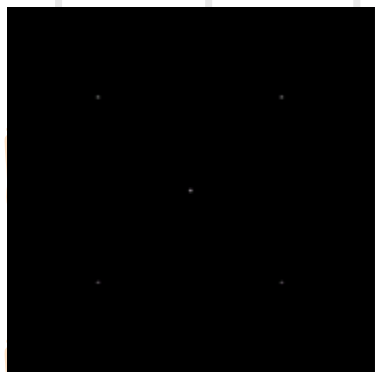


振铃现象

# 振铃现象



图像上只有一个像素点



$h(x, y)$  对应的空间模版



Origin  $f(x, y)$

0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0

$w(x, y)$

1	2	3
4	5	6
7	8	9

(a)

Padded  $f$

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

(b)

Initial position for  $w$

1	2	3
4	5	6
7	8	9

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

(c)

Full correlation result

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	9	8	7	0	0	0
0	0	0	6	5	4	0	0	0
0	0	0	3	2	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

(d)

Cropped correlation result

0	0	0	0	0
0	9	8	7	0
0	6	5	4	0
0	3	2	1	0
0	0	0	0	0

(e)

Rotated  $w$

9	8	7
6	5	4
3	2	1

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

(f)

Full convolution result

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	2	3	0	0	0
0	0	0	4	5	6	0	0	0
0	0	0	7	8	9	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

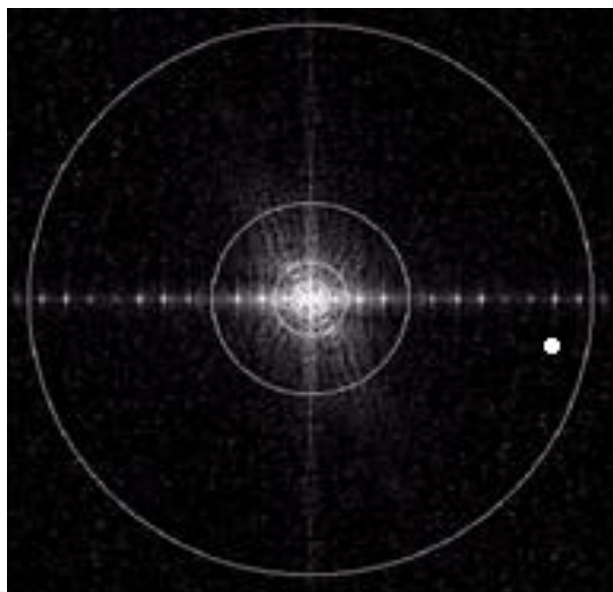
(g)

Cropped convolution result

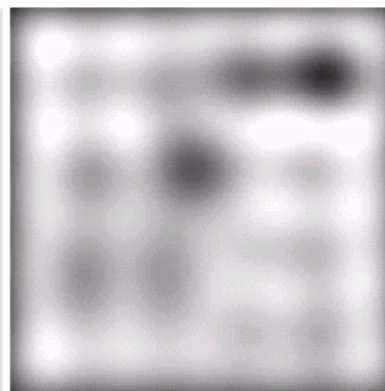
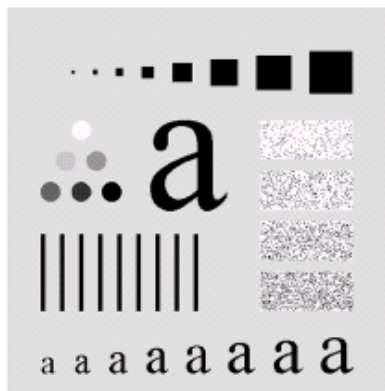
0	0	0	0	0
0	1	2	3	0
0	4	5	6	0
0	7	8	9	0
0	0	0	0	0

(h)

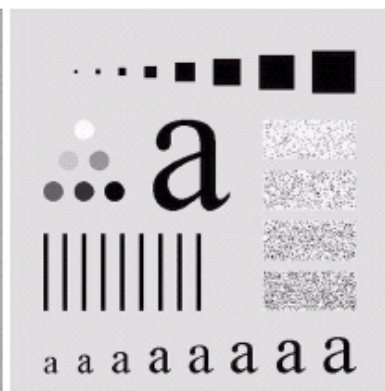
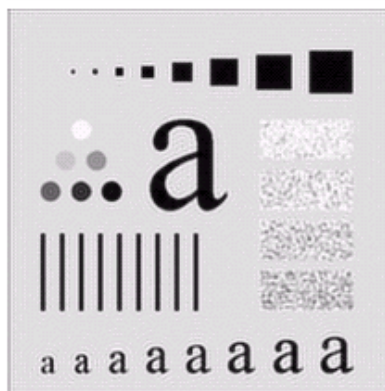
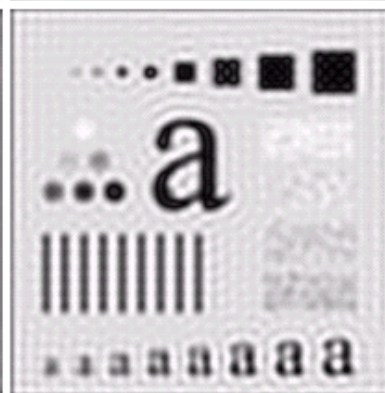
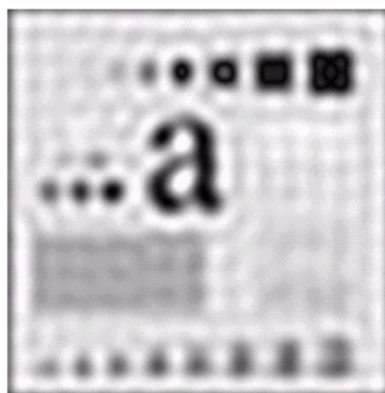
1	2	3
4	5	6
7	8	9



同心圆环的半径反比  
与截至频率



$D_0$   
最小



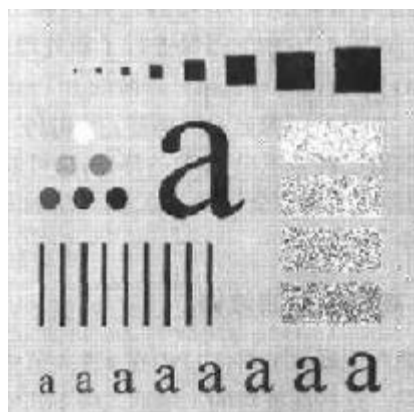
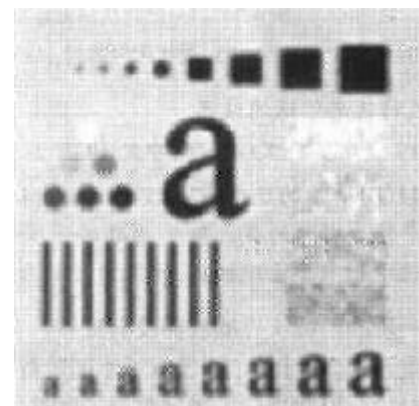
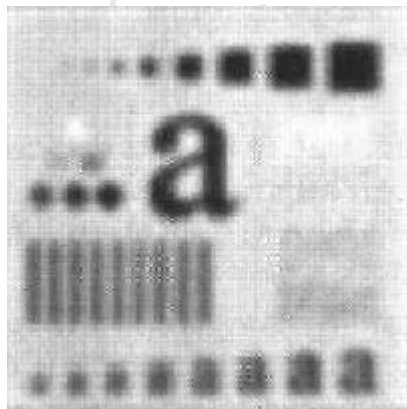
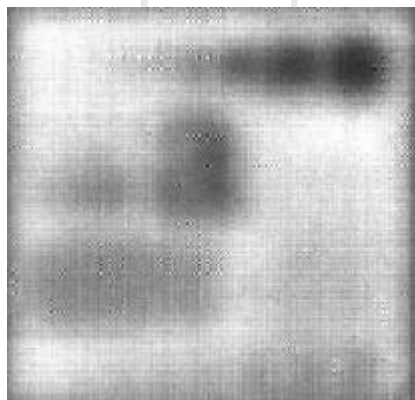
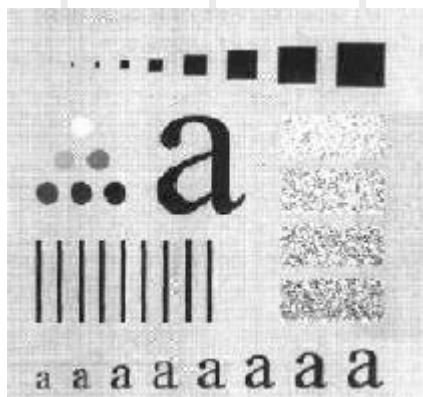
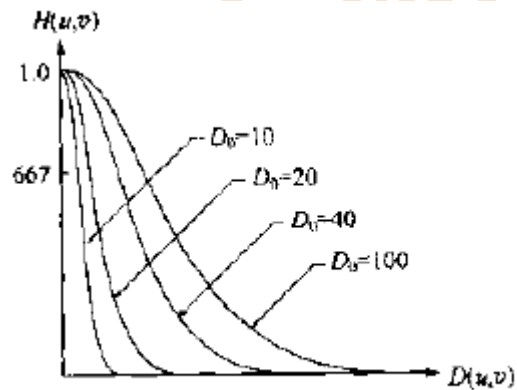
$D_0$   
最大



因此，实际图像滤波处理时是不采用理想滤波器的。

## 2、高斯滤波器

$$H(u, v) = e^{-D^2(u, v) / 2D_0^2}$$



5, 15,  
 $D_0=30, 80,$   
230

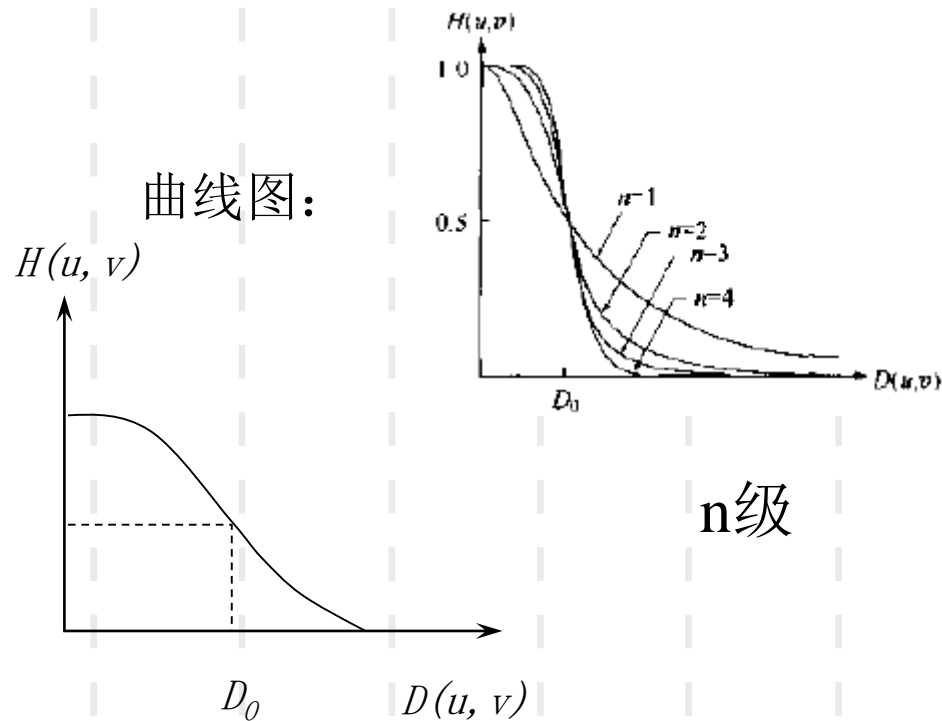
它的通频带的两边是缓变的。不会引起振铃现象

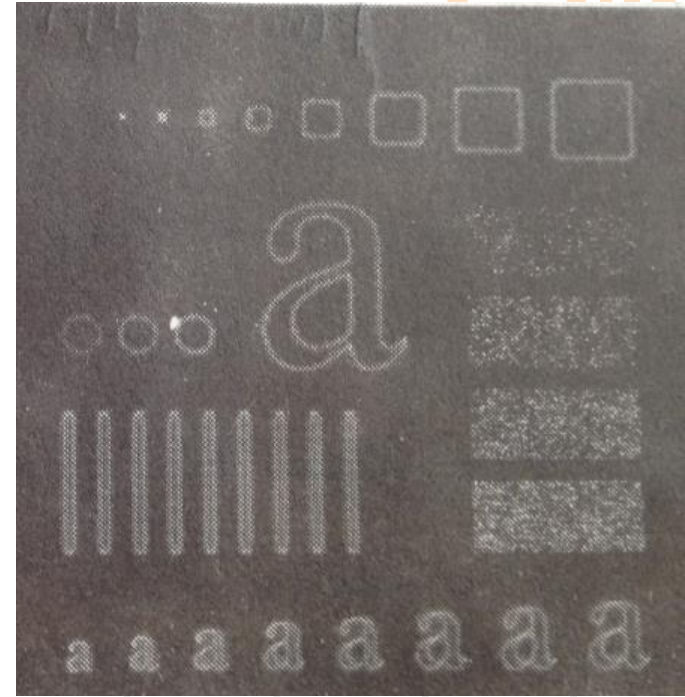
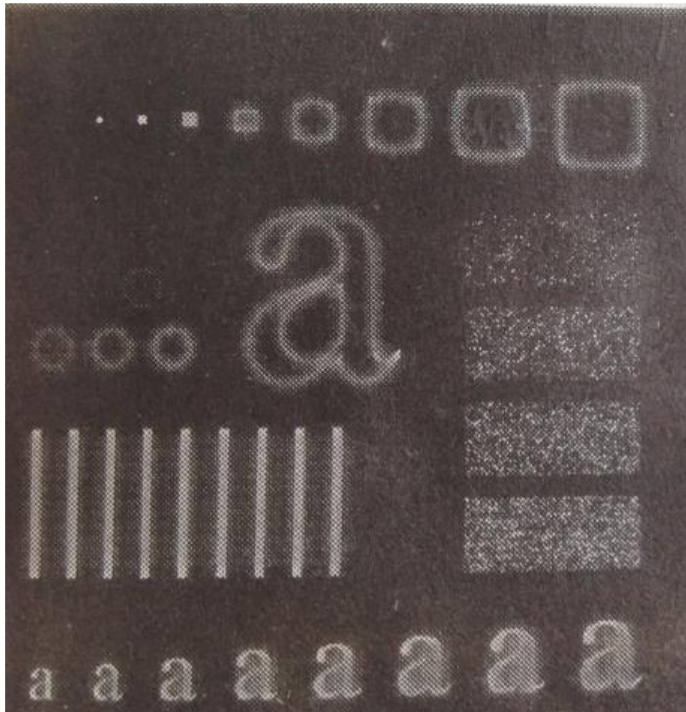
### 3、 Butterworth滤波器

二维函数是：

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{D(u, v)}{D_0} \right]^{2n}}$$

曲线图：





说明:

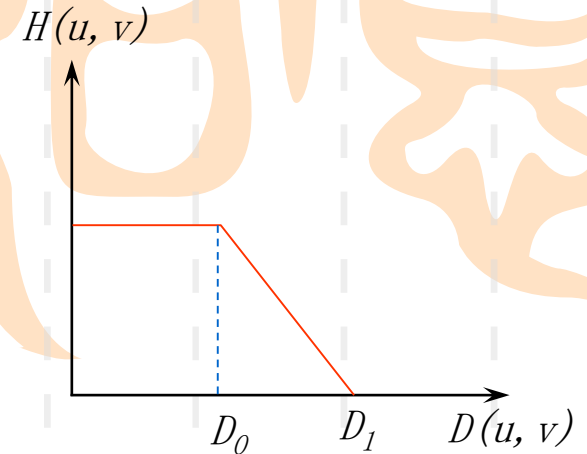
- 1、 $n$  控制曲线形状。
- 2、一阶函数曲线较平滑，没有振铃效应，图像模糊减少。 $n$ 大则变化大

### 3、 梯形滤波器

二维转移函数是：

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) < D_0 \\ \frac{D(u, v) - D_1}{D_0 - D_1}, & D_0 \leq D(u, v) \leq D_1 \\ 0, & D(u, v) > D_1 \end{cases}$$

曲线图：



说明：1、性能介于理想低通滤波器与完全平滑滤波器之间。

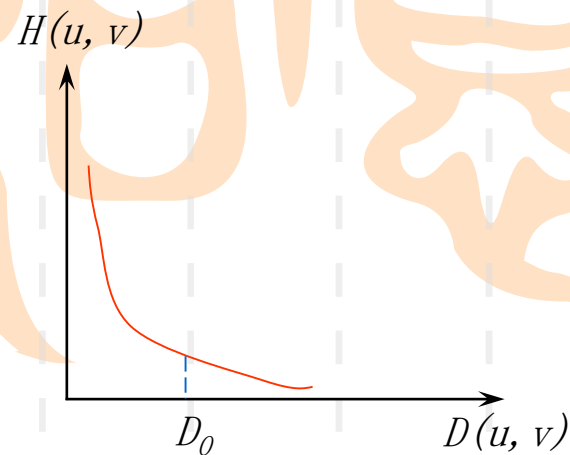
2、图像有一定的模糊和振铃效应。

#### 4、指数形滤波器

二维转移函数是：

$$H(u, v) = e^{-\left[\frac{D(u, v)}{D_0}\right]^n}$$

曲线图：



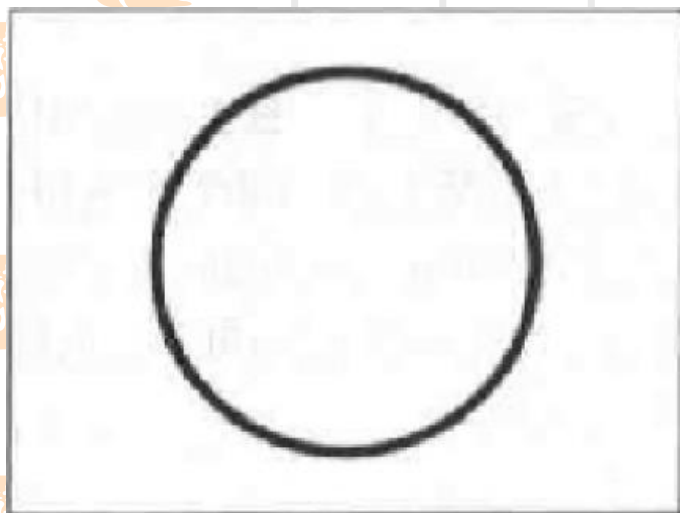
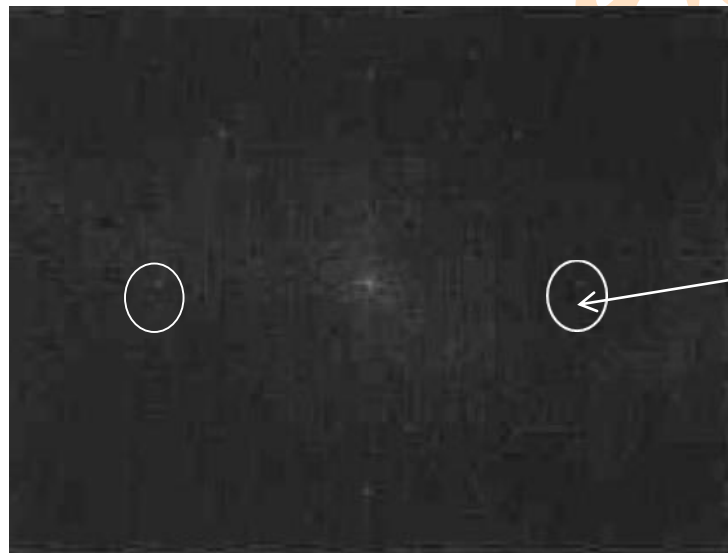
说明：1、图像模糊较Butterworth 更严重。  
2、图像无振铃效应。



# 带阻滤波



周期性噪声



Butterworth带阻滤波器





• 4种滤波器的性能比较:

	低通滤波器类型	振铃	平滑效果	模糊
理想	ILPF	严重	最好	严重
梯形	TLPF	较轻	好	轻
指数	ELPF	无	一般	较轻
巴氏	BLPF	无	一般	很轻

# 图像锐化

---

目的：突出图像中边缘信息，增强图像与轮廓特征，便于人眼和机器的识别。图像锐化处理方法和图像平滑处理方法相反。

方法：有空域和频域两种方法。



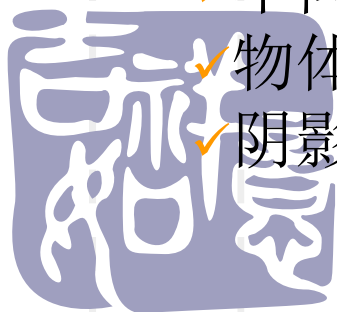
# 一、空域锐化方法：边缘检测

平滑  $\implies$  “积分”

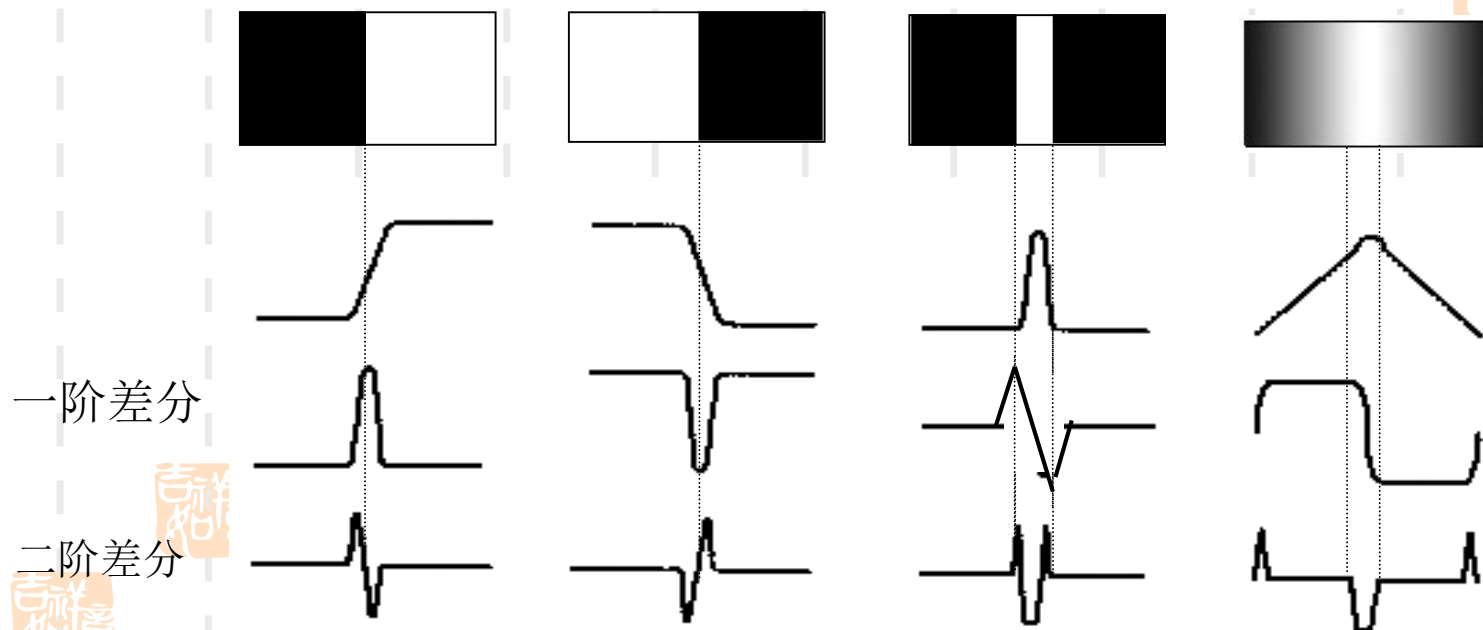
锐化  $\implies$  “微分”

## 边缘的物理意义：

- ✓ 不同材料或不同颜色
- ✓ 物体与背景的分界线
- ✓ 阴影引起的边缘



# 边缘检测原理



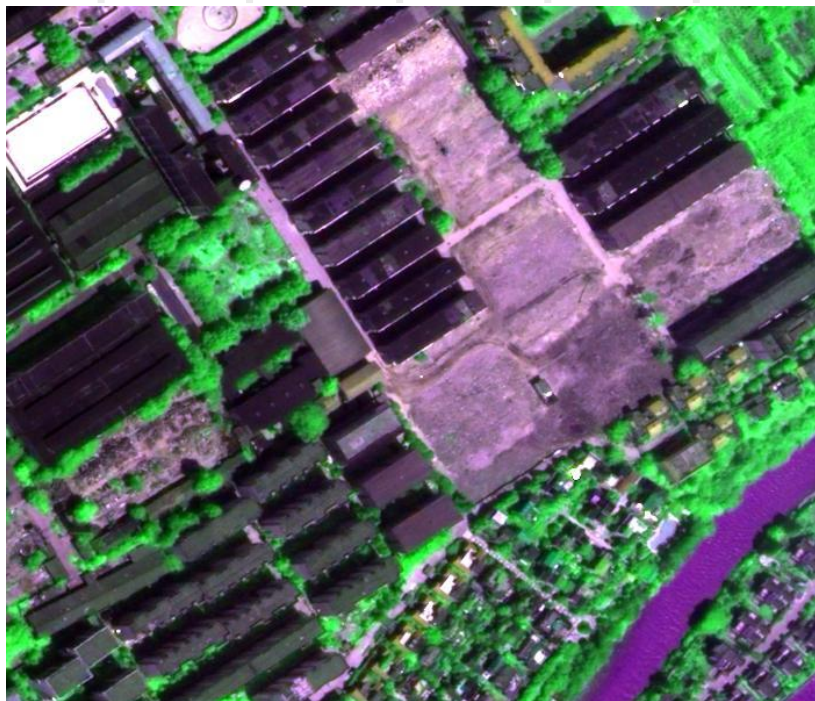
一阶差分极大值；二阶差分过零点

近似公式:

$$|\nabla f(x, y)| \approx \max[|f(x, y) - f(x+1, y)|, |f(x, y) - f(x, y+1)|]$$

$|\nabla f(x, y)|$  为水平方向相邻像素之差的绝对值和垂直方向相邻像素差的绝对值中的最大值。

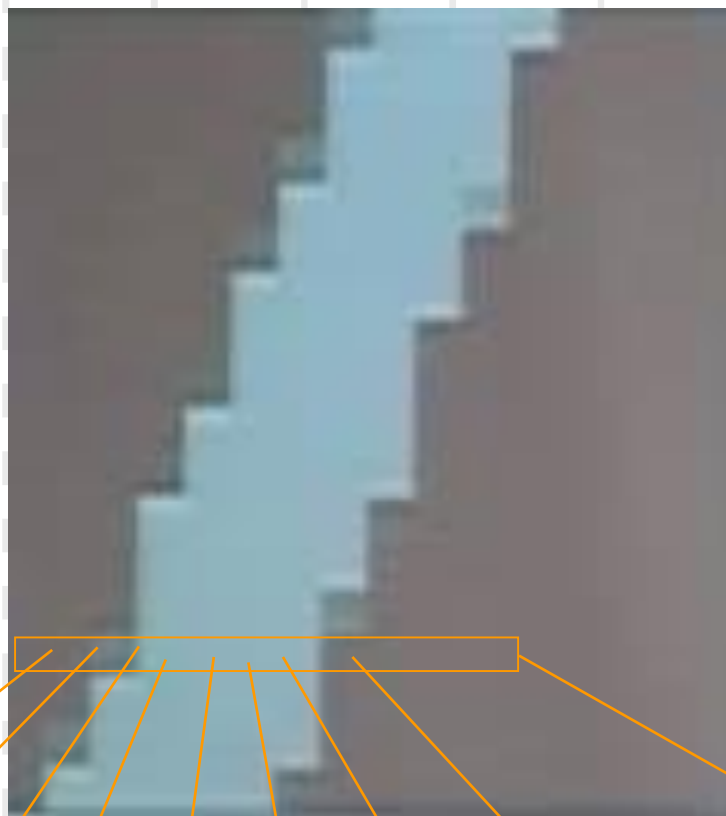
在一幅图像中，灰度变化大的区域梯度值大。灰度变化比较大的地方是图像内物体的边界，因此只要求出图像的梯度图像就能够获得图像中物体的边界情况。



梯度幅度图像



吉祥如意



32	112	251	252	252	252	252	31	30	30	29
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	----	----

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
31	112	251	252	252	252	252	31	30	30	29

原始灰度

81	139	1	0	0	0	-221	-1	0	-1
----	-----	---	---	---	---	------	----	---	----

一阶差分

最大

最大

58	-138	-1	0	0	-221	220	1	-1
----	------	----	---	---	------	-----	---	----

二阶差分

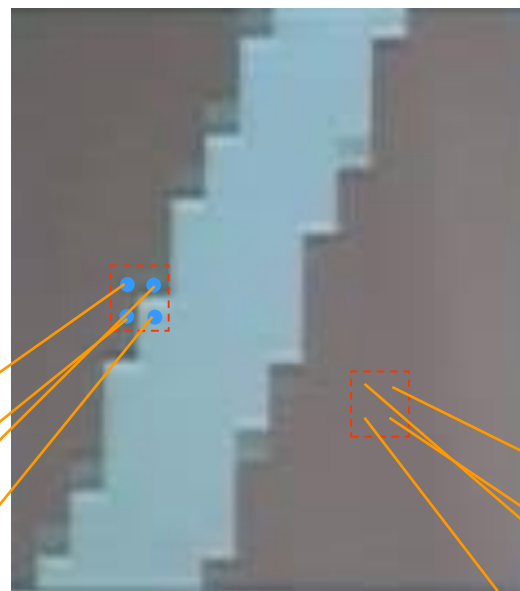
过零

过零



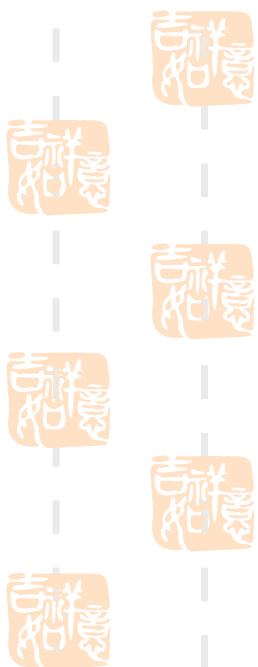
吉祥如意

## 四个点的灰度值



22	25
48	89

23	24
25	24



# Robert算子

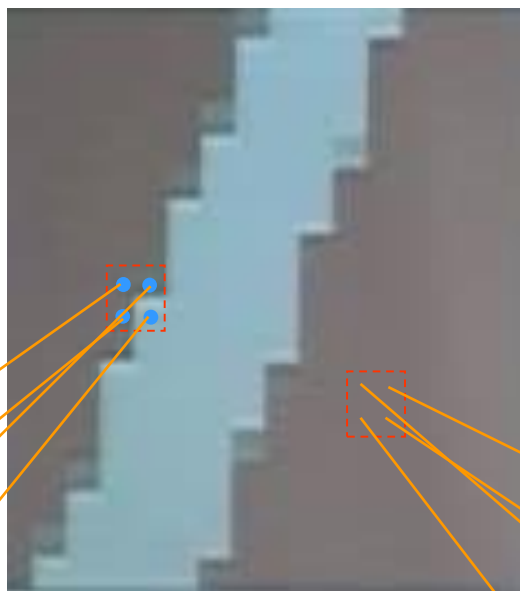
梯度算子

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

取最大值, 23, 67

取阈值



22	25
48	89

23	24
25	24

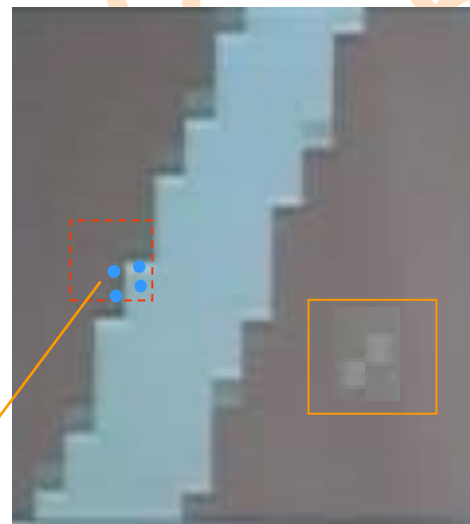
## Sobel算子

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

绝对值求和，考察上下左右  
邻近点的加权差

35	39	89
37	48	250
38	88	251



## Prewitt算子

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

算子名	$H_1$	$H_2$	特点
Roberts	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	边缘定位准， 对噪声敏感
Prewitt	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	平均、微分对 噪声有抑制作用
Sobel	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	加权平均
Isotropic Sobel	$\begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	权值反比于邻 点与中心点的 距离，检测沿 不同方向边缘 时梯度幅度一 致



# 拉普拉斯算子

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

- $3 \times 3$ 邻域:

0	-1	0
-1	4	-1
0	-1	0

$$\nabla^2 f(i, j) = f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j)$$

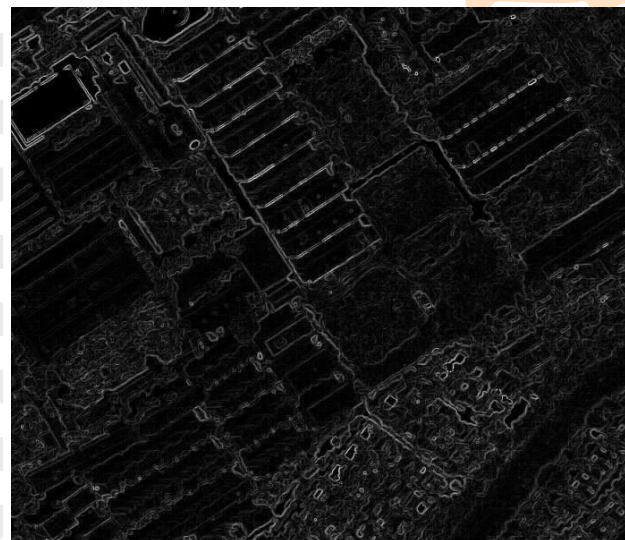
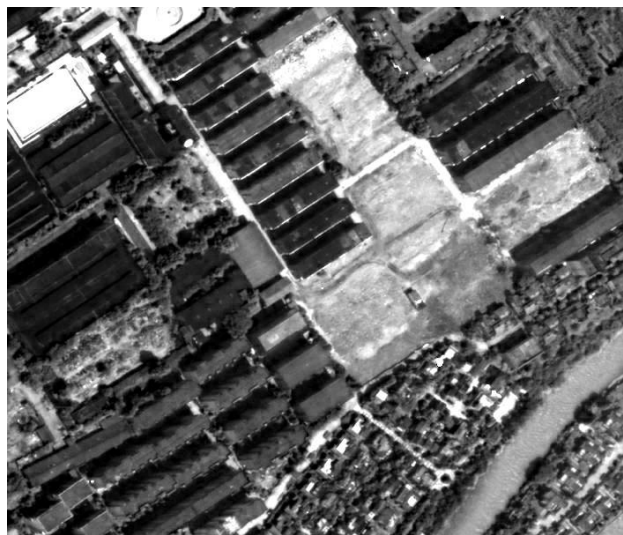
-1	1	0
----	---	---

-

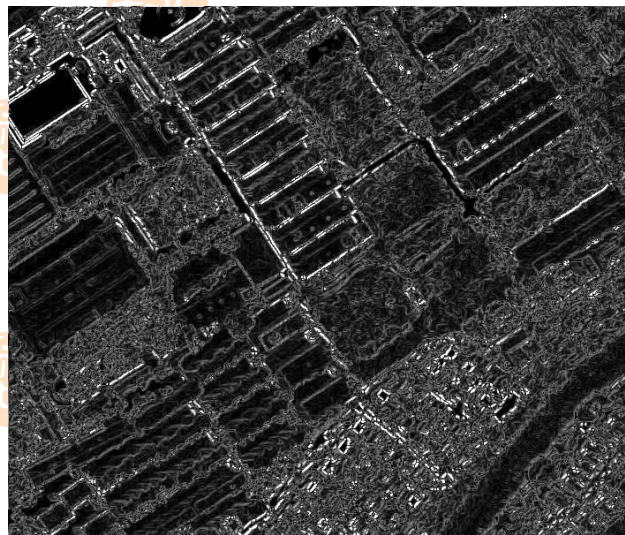
0	-1	1
---	----	---

=

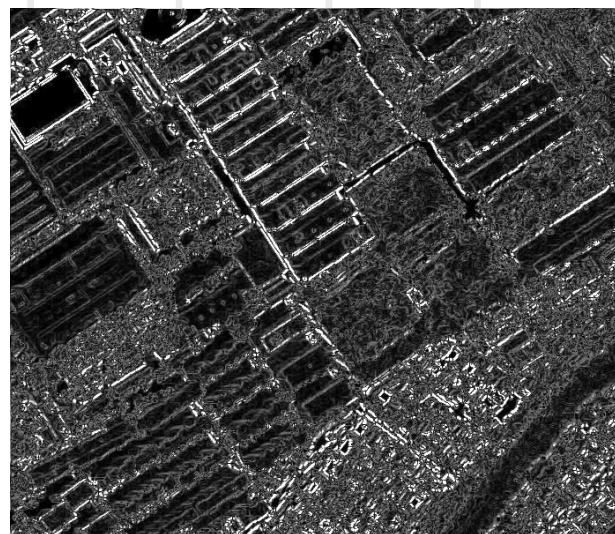
-1	2	-1
----	---	----



罗伯特算子



Prewitt算子



Sobel算子



罗伯特算子



Prewitt算子



Sobel算子





Prewitt

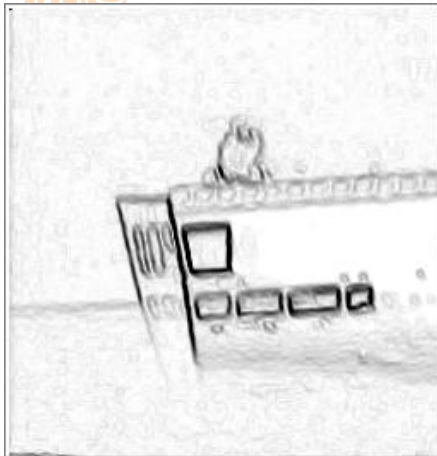
Sobel

Laplacian

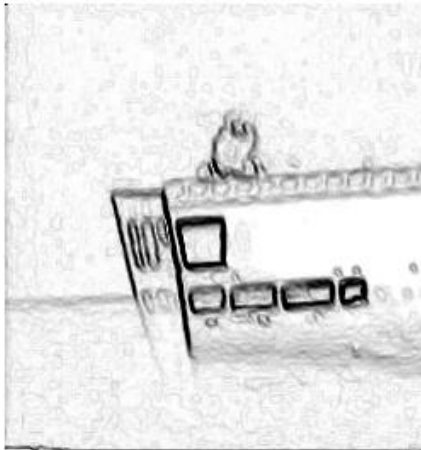
吉祥如意



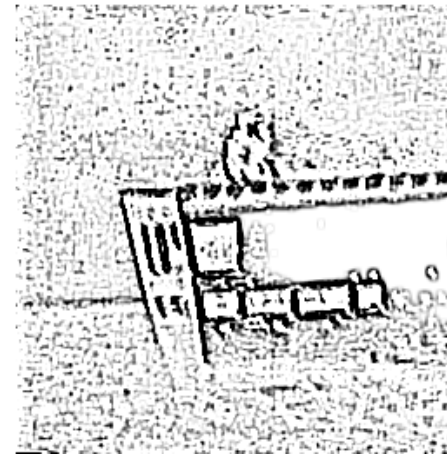
吉祥



Prewitt



Sobel



Laplacian

- 由于Prewitt、Sobel算子是一阶微分算子，对噪声有一定的抑止作用，其中Sobel算子比Prewitt算子对梯度的灵敏度高些，检测效果要好。而Laplacian算子是二阶微分算子，对梯度变化很敏感同时对噪声也非常敏感，如图所知，边缘检测后，噪声和边缘混在一起。所以在使用Laplacian算子之前要对图像进行滤波降噪。



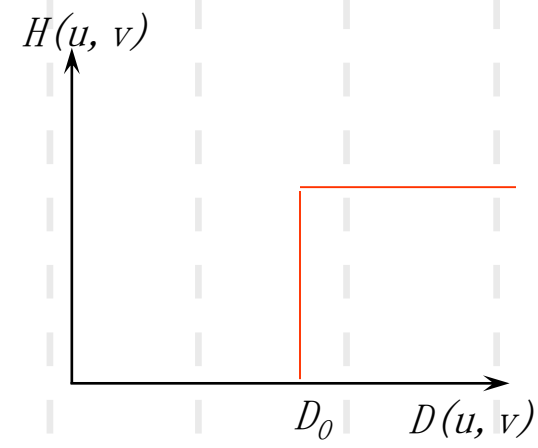


## 二、频域锐化方法

### ■ 1、理想高通滤波器

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) \geq D_0 \\ 0, & D(u, v) < D_0 \end{cases}$$

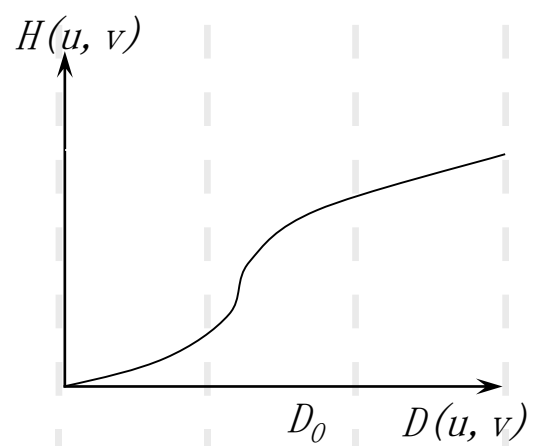
曲线图：



### 2 butterworth 高通滤波器

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{D(u, v)}{D_0} \right]^{2n}}$$

曲线图：



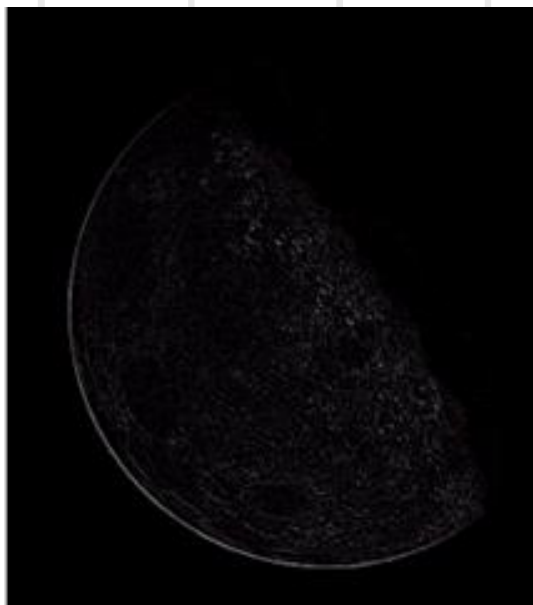
3、带通滤波器、带阻滤波器以及同态滤波器等



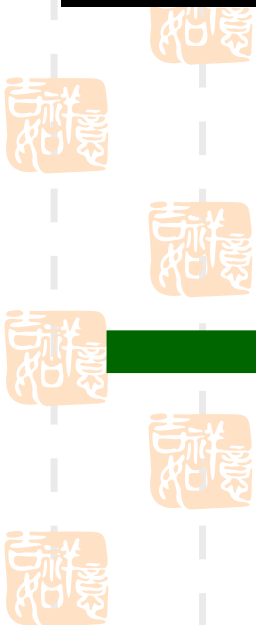
## 高通滤波实现图像的锐化

高通滤波器衰减了图像信号的低频成分，也就相对强调了图像的高频成分，因为图像中的边缘和细节都是高频成分，因此通过高通滤波后的图像已经实现对图像的锐化，如果期望图像更完整与清晰，可利用滤波后的影像与原始图像相叠加等方法进一步完善图像的锐化效果

吉祥如意



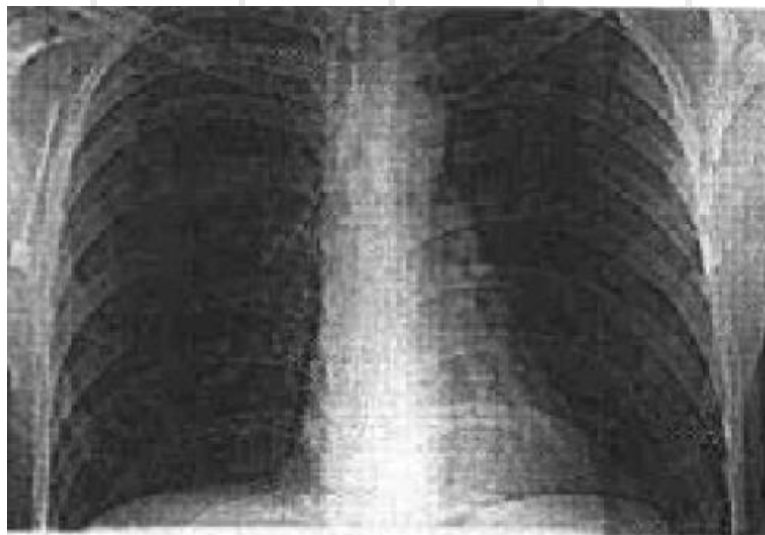
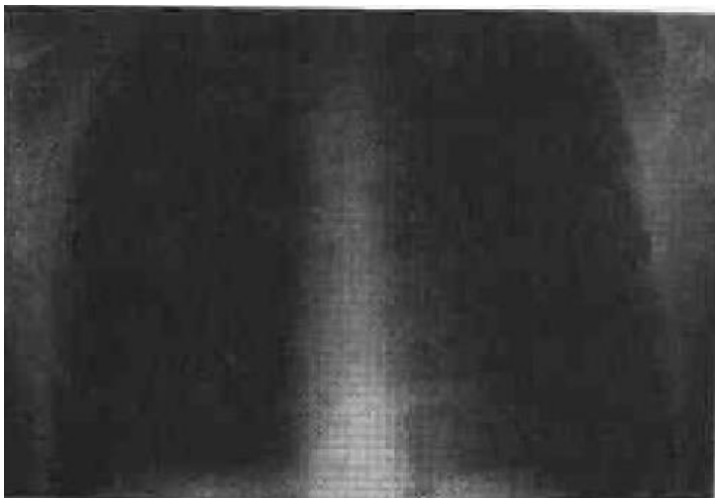
高通滤波



锐化结果



吉祥



# 作业

1、滤波器在空域里的函数如果有负值时，滤波后的图像如何重新标定

2、计算梯度的一种基本方法是计算 $f(x, y)$ 和 $f(x+1, y)$ 的差。

给出在频率域进行等价计算所用的滤波器函数 $H(u, v)$ ；  
证明这个运算相当于一个高通滤波器的功能。

（了解空间滤波和频率滤波的对应关系）

3、高斯高通滤波可实现图像的锐化，但往往效果不是很明显，而与直方图均衡相结合则是更有效的方法，  
那么改变高斯滤波和均衡的顺序，是否对影响增强的效果。