

数字图像处理

武汉理工大学 信息学院





第6章 图像恢复

6.1 退化模型及恢复技术基础

6.2 空间域滤波恢复

6.3 频率域滤波恢复

6.4 逆滤波

6.5 最小均方误差滤波器-维纳滤波





前言

- 图像恢复和图像增强一样，都是为了改善图像视觉效果，以及便于后续处理。只是图像增强方法更偏向主观判断，而图像恢复则是根据图像畸变或退化原因，进行模型化处理。本章安排如下：首先介绍退化模型及恢复技术基础；随后分析空间域滤波恢复技术；最后介绍频率域图像恢复技术及应用。





6.1退化模型及恢复技术基础- 退化的原因

- 成象系统的象差、畸变、带宽有限等造成图像图像失真；
- 由于成象器件拍摄姿态和扫描非线性引起的图像几何失真；
- 运动模糊，成象传感器与被拍摄景物之间的相对运动，引起所成图像的运动模糊；
- 灰度失真，光学系统或成象传感器本身特性不均匀，造成同样亮度景物成象灰度不同；
- 辐射失真，由于场景能量传输通道中的介质特性如大气湍流效应、大气成分变化引起图像失真；
- **(6)** 图像在成象、数字化、采集和处理过程中引入的噪声等。





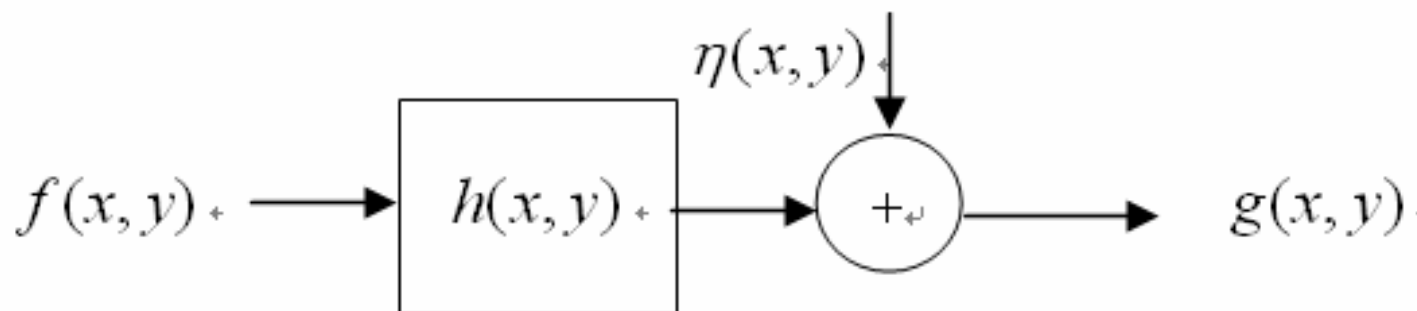
6.1 退化模型及恢复技术基础-退化模型

- 实际所得退化图像

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

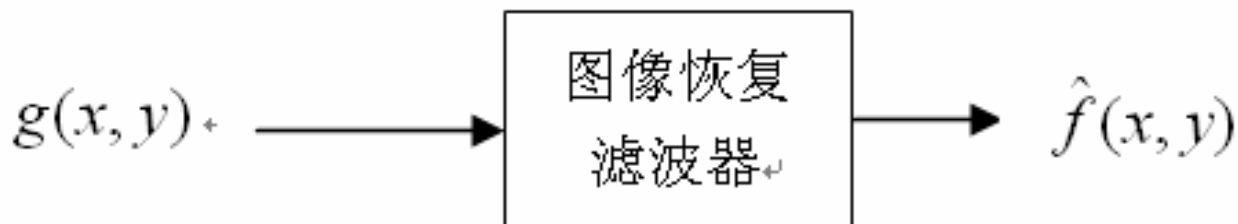
- 可简化为

$$\begin{aligned} g(x, y) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\alpha, \beta) h(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta + n(x, y) \\ &= f(x, y) * h(x, y) + n(x, y) \end{aligned}$$



6.1 退化模型及恢复技术基础- 恢复技术的概念及分类

- 定义：图像恢复是根据退化原因，建立相应的数学模型，从被污染或畸变的图像信号中提取所需要的信息，沿着使图像降质的逆过程恢复图像本来面貌。



6.1 退化模型及恢复技术基础- 恢复技术的概念及分类

■ 图像恢复技术的分类:

- (1) 在给定退化模型条件下，分为无约束和有约束两大类;
- (2) 根据是否需要外界干预，分为自动和交互两大类;
- (3) 根据处理所在域，分为频域和空域两大类。





6.2 空间域滤波恢复

- 定义:

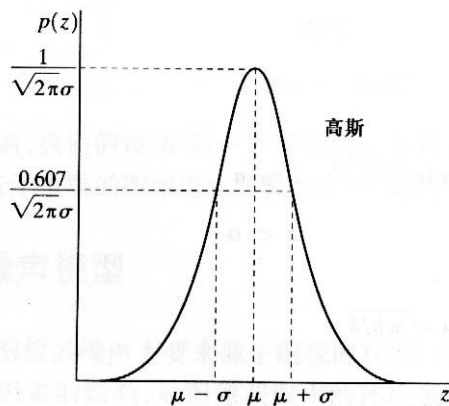
空间域滤波恢复即是在已知噪声模型的基础上，对噪声的空域滤波



6.2.1 噪声类型-高斯噪声

- 定义:

$$p(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(z-\mu)^2/2\sigma^2}$$

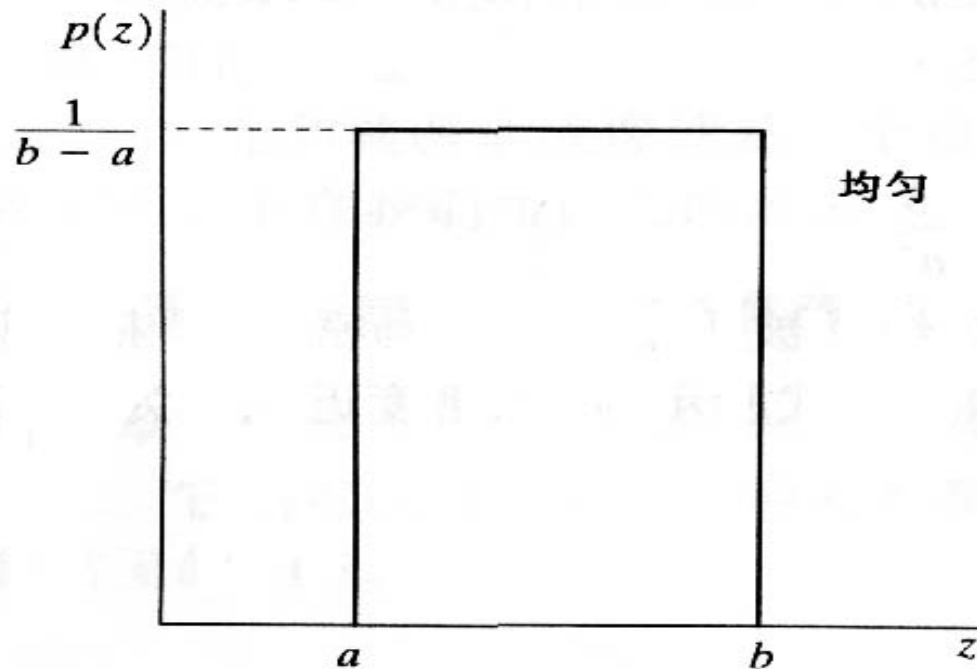




6.2.1 噪声类型-均匀分布噪声

■ 定义:

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

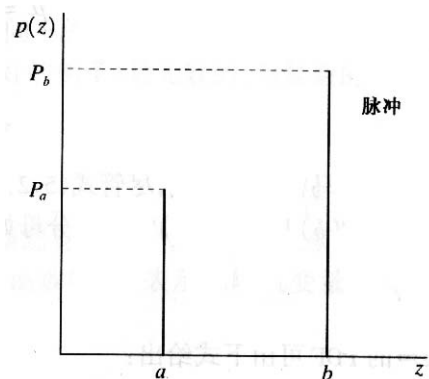




6.2.1 噪声类型-脉冲噪声（椒盐噪声）

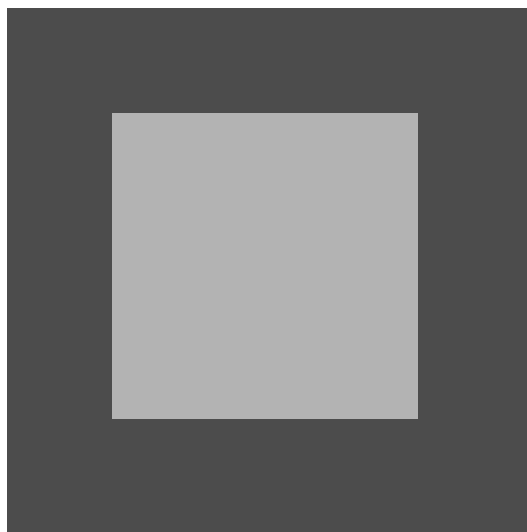
■ 定义

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

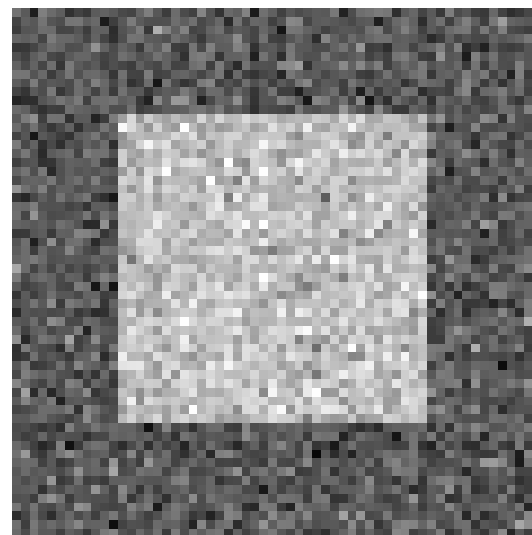




6.2.1 噪声类型-示例



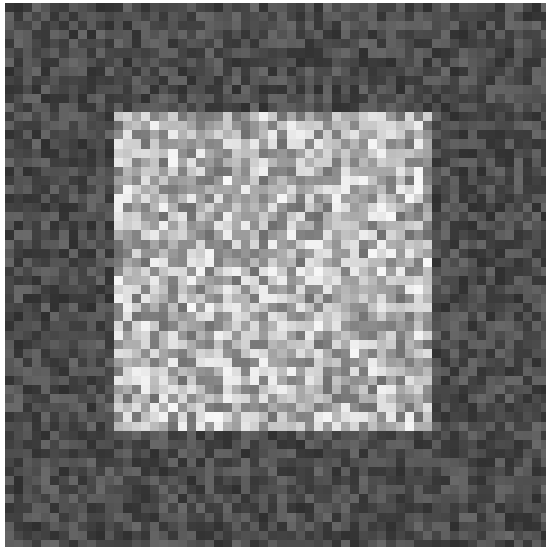
(a) 原图



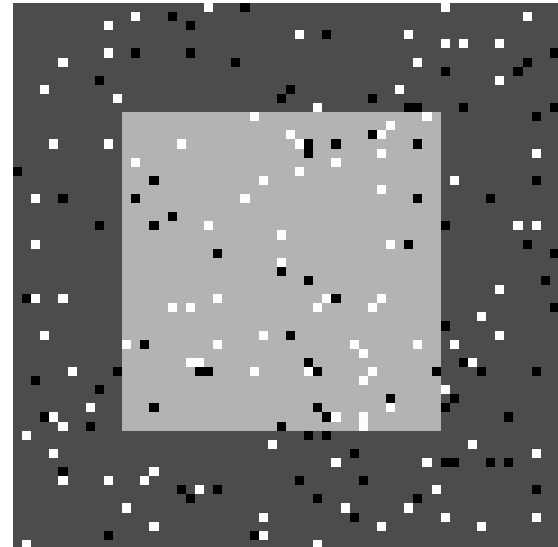
(b) 高斯噪声图



6.2.1 噪声类型-示例



(c) 均匀分布噪声



(d) 椒盐噪声



6.2.2 均值滤波

- 采用均值滤波模板对图像噪声进行滤除





6.2.2 均值滤波-类型

- 算术均值滤波器:

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(s,t) \in S} g(s, t)$$

- 几何均值滤波器

$$\hat{f}(x, y) = \left[\prod_{(s,t) \in S_{xy}} g(s, t) \right]^{\frac{1}{mn}}$$





6.2.2 均值滤波-类型

- 谐波均值滤波器

$$\hat{f}(x, y) = \frac{mn}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} \frac{1}{g(s,t)}}$$

- 逆谐波均值滤波器

$$\hat{f}(x, y) = \frac{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t)^{Q+1}}{\sum_{(s,t) \in S_{xy}} g(s,t)^Q}$$





6.2.2 均值滤波-示例



(a) 输入图像; (b) 高斯噪声污染图像; (c) 用均值滤波结果



6.2.2 均值滤波-示例



(d) 几何均值滤波 (e) $Q=-1.5$ 的逆谐波滤波 (f) $Q=1.5$ 滤波的结果



6.2.3 顺序统计滤波

1. 中值滤波

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{2} [\max_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\} + \min_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}]$$

其中，其中， g 为输入图像， $s(x, y)$ 为滤波窗口。

修正后的阿尔法均值滤波器

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn - d} \sum_{(s,t) \in S} g_r(s, t)$$





中值滤波示例



(a) 椒盐噪声污染的图像



(b) 均值滤波结果；





中值滤波示例(续)



(c) 中值滤波结果



(d) 对c图再次中值滤波





最大/最小滤波

2. 最大/最小滤波

1) 最大值滤波器为:

$$\hat{f}(x, y) = \max_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}$$

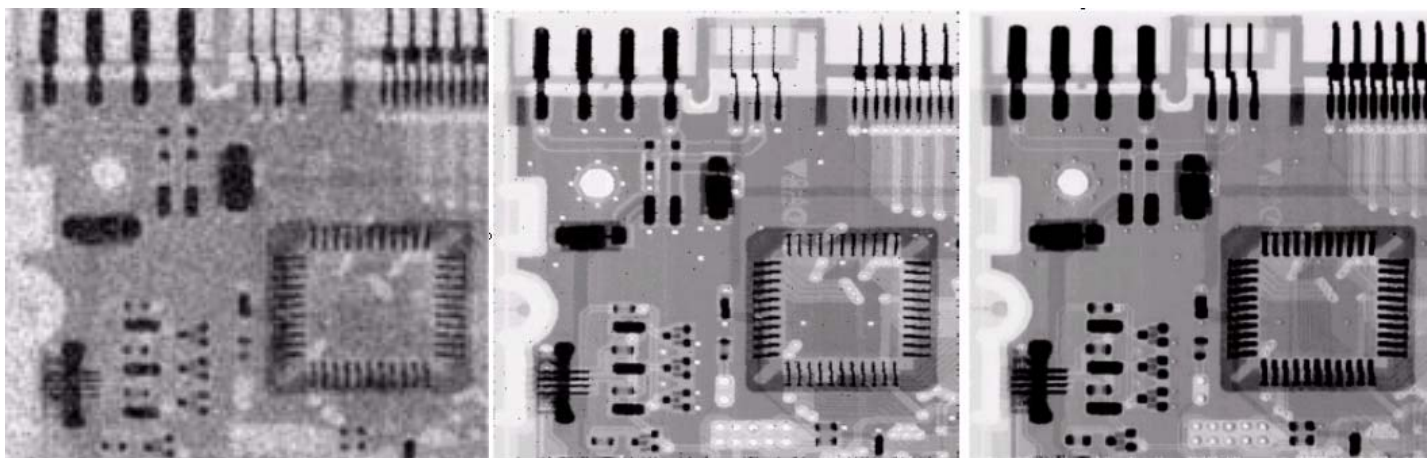
2) 最小值滤波器为:

$$\hat{f}(x, y) = \min_{(s,t) \in S_{xy}} \{g(s, t)\}$$





最大/最小滤波示例



(a) 噪声图像 (b) 最大滤波结果 (c) 最小滤波结果



6.3 频率域滤波恢复

- 原理：

时域卷积相当于频域乘积。因此可以在频率域中直接设计滤波器，对信号进行恢复处理。
- 分类：常用的图像恢复方法有带阻滤波器、带通滤波器、陷波滤波器等





6.3.1 带阻滤波器

1. 理想

$$H(u, v) = \begin{cases} 1, & D(u, v) < D_0 - \frac{W}{2} \\ 0, & D_0 - \frac{W}{2} \leq D(u, v) \leq D_0 + \frac{W}{2} \\ 1, & D(u, v) > D_0 + \frac{W}{2} \end{cases}$$

2. 巴特沃思带阻滤波器

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

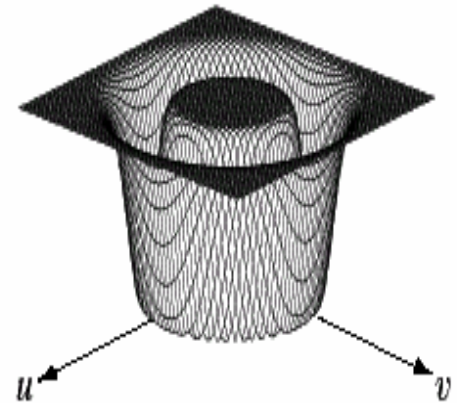
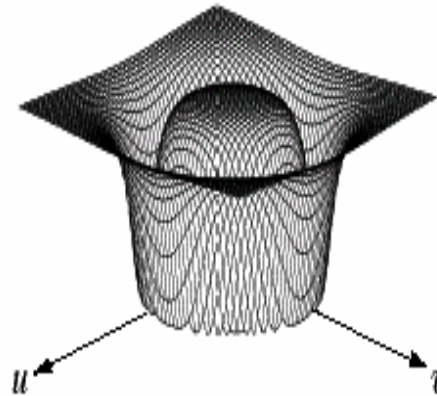
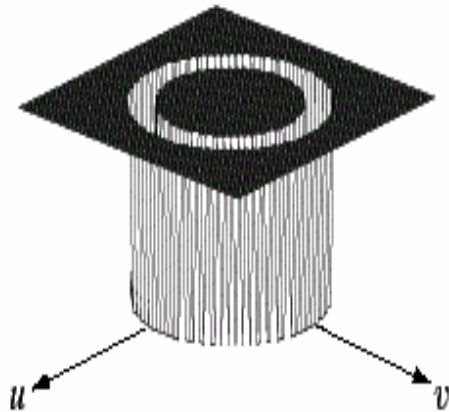




6.3.1 带阻滤波器

- 高斯带阻滤波器

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

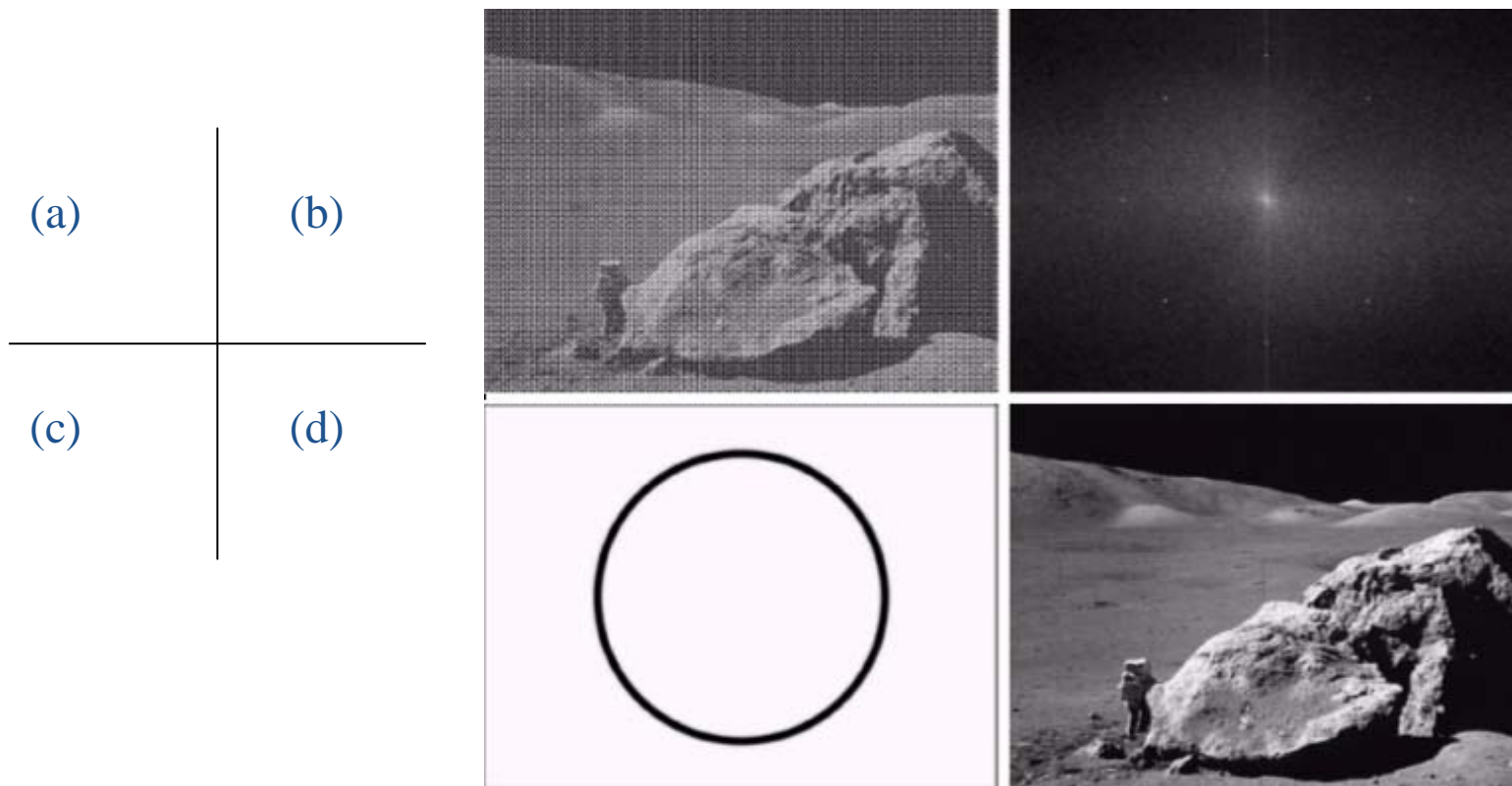


(a) 理想带阻滤波器; (b) 巴特沃思带阻滤波; (c) 高斯带阻滤波器





6.3.1 带阻滤波器示例



(a) 被正弦噪声污染的图像；(b) 图(a)的频谱；
(c) 巴特沃思带阻滤波器；(d) 滤波效果图





6.3.2 带通滤波器

- 带通滤波器执行与带阻滤波器相反的操作
- 可用全通滤波器减去带阻滤波器来实现带通滤波器

$$H_{bp}(u, v) = 1 - H_{bs}(u, v)$$





6.3.3 陷波滤波器

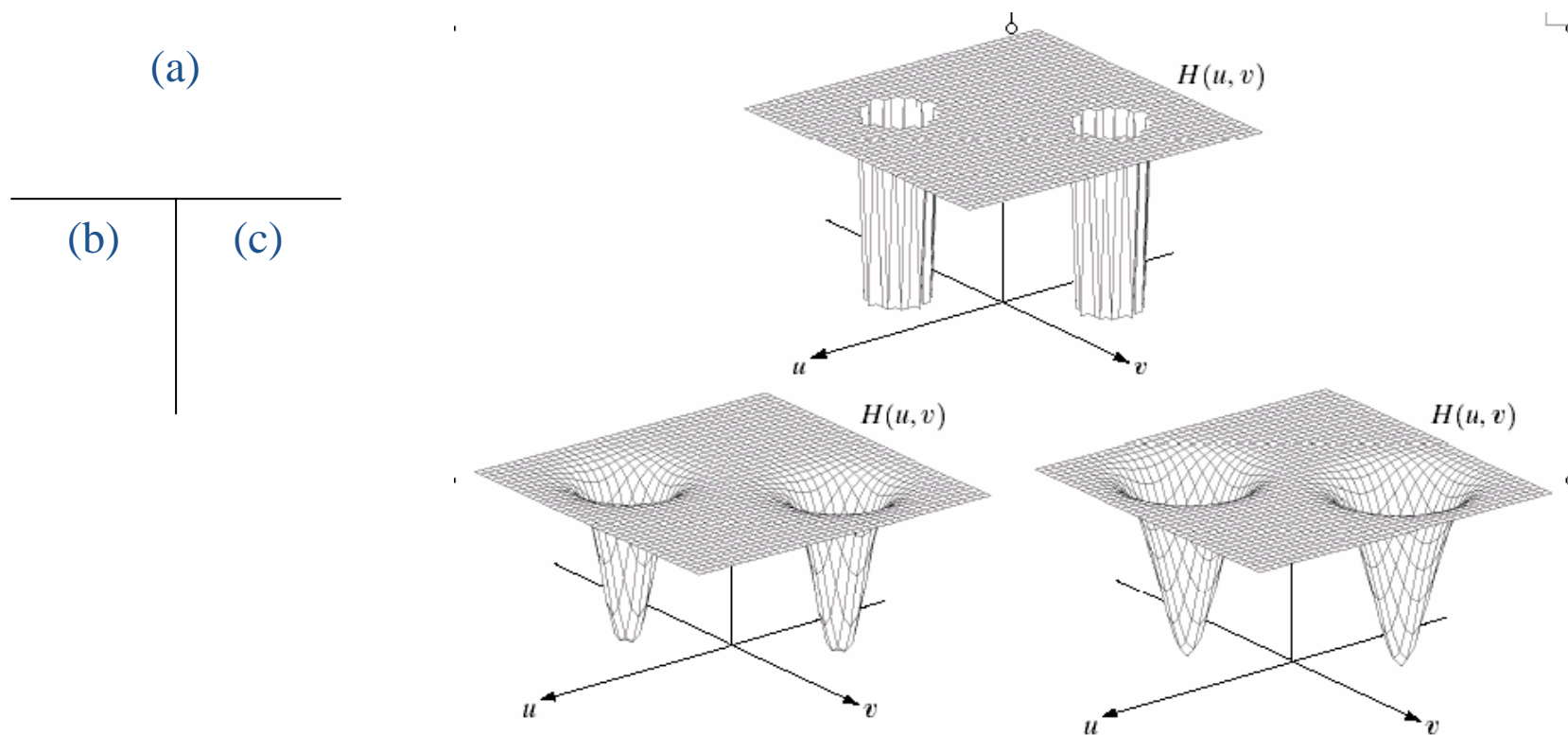
- 陷波滤波器被用于阻止(或通过)事先定义的中心频率领域内的频率
- 由于傅立叶变换时对称的,因此陷波滤波器必须以关于原点对称的形式出现。

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & D_1(u, v) \leq D_0 \text{ 或 } D_2(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{其他} \end{cases}$$





6.3.3 陷波滤波器



(a)理想陷波滤波器; (b)巴特沃思陷波滤波器; (c)高斯陷波滤波器



6.4 逆滤波

1. 逆滤波原理:

图像退化模型:

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

傅立叶变换

逆滤波恢复

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

$$F(u, v) = \frac{G(u, v)}{H(u, v)} - \frac{N(u, v)}{H(u, v)}$$





逆滤波原理

- 分析:

1. 实验证明，当退化图像的噪声较小，即轻度降质时，采用逆滤波恢复的方法可以获得较好的结果。通常，在离频率平面原点较远的地方数值较小或为零，因此图像恢复在原点周围的有限区域内进行，即将退化图像的傅立叶谱限制在没出现零点而且数值又不是太小的有限范围内。

2. 当噪声作用范围很大时，逆滤波不能从噪声中提取图像。





逆滤波示例



(a) 原图



(b) 退化图像



(c) 逆滤波结果



6.5 最小均方误差滤波器-维纳滤波

- 逆滤波恢复方法对噪声极为敏感，要求信噪比较高，通常不满足该条件。
- 为了解决高噪声情况下的图像恢复问题，可采用最小均方滤波器来解决，其中，用得最多的是维纳滤波器





6.5 最小均方误差滤波器-维纳滤波

- 目标函数:采用拉格朗日乘数法,在有噪声条件下,从退化图像 $g(x,y)$ 复原出 $f(x,y)$ 的估计值,该估计值符合一定的准则。

$$\min J(\hat{\mathbf{f}}) = \|\mathbf{Q}\hat{\mathbf{f}}\|^2 + \alpha \left[\|\mathbf{g} - \mathbf{H}\hat{\mathbf{f}}\|^2 - \|\mathbf{n}\|^2 \right]$$

- 维纳滤波器结果

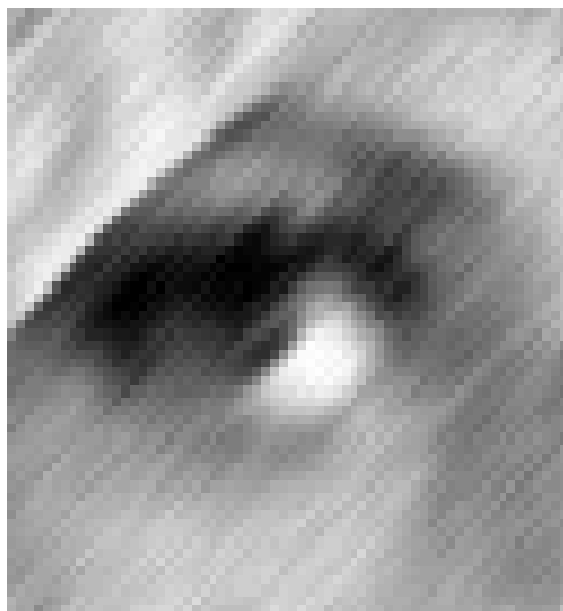
$$\hat{F}(u, v) = \left[\frac{H^*(u, v)}{|H(u, v)|^2 + \gamma [S_{nn}(u, v) / S_{ff}(u, v)]} \right] G(u, v)$$

上式称为维纳滤波,括号中的项组成的滤波器通常称为最小均方误差滤波器,或最小二乘方误差滤波器。





6.5 最小均方误差滤波器-维纳滤波示例



(a) 运动模糊退化图像 (b) 7次循环

(c) 15次循环

Thank You!

