



北京交通大学

图像处理与机器学习

Digital Image Processing and Machine Learning

主讲人：黄琳琳

电子信息工程学院

智能感知与信息处理研究所



第二章 图像增强

◆ 频域增强

- 二维傅里叶变换定义
- 二维傅里叶变换性质
- 频域滤波器设计



频域滤波

➤ 高通滤波器

高频成分通过，去除（衰减）低频成分

图像中边缘等被增强

- ✓ 理想高通滤波器
- ✓ Butterworth高通滤波器
- ✓ 高斯高通滤波器



频域滤波

➤ 理想高通滤波器

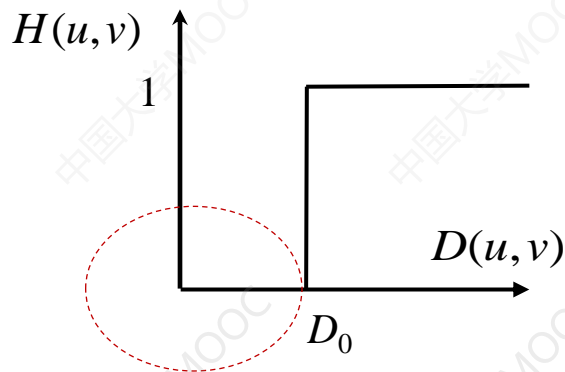
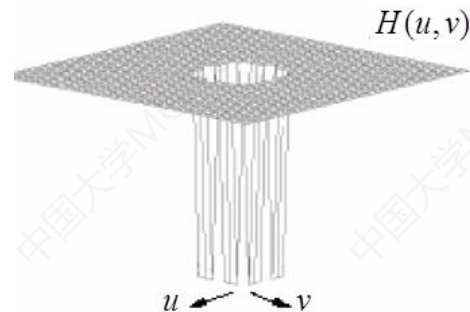
D_0 是一个实数 $D(u, v)$ 是点 (u, v) 到原点的距离

$$D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

$H(u, v)$ 满足下列条件的滤波器，被称为**理想高通**滤波器

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & D(u, v) > D_0 \\ 0 & D(u, v) \leq D_0 \end{cases} \quad D_0 \text{ 被称为截止频率}$$

半径为 D_0 圆外的频率成分可以无失真**通过**；
在此半径之内的频率成分被**截止**（衰减为0）

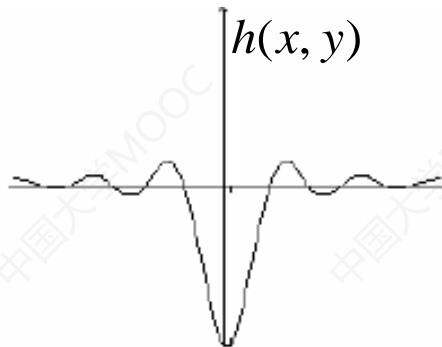
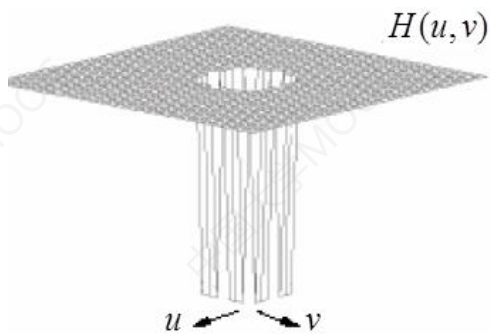




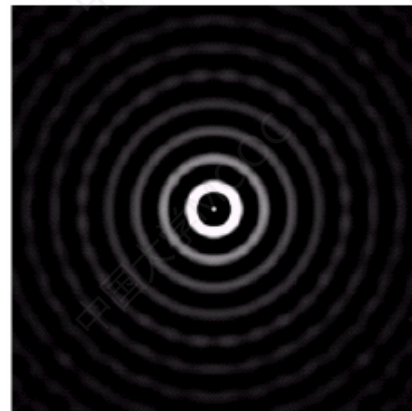
频域滤波

➤ 理想高通滤波器

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

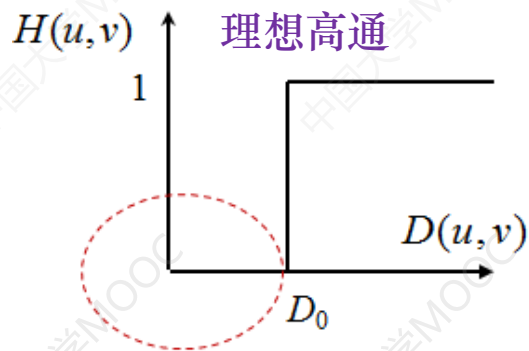
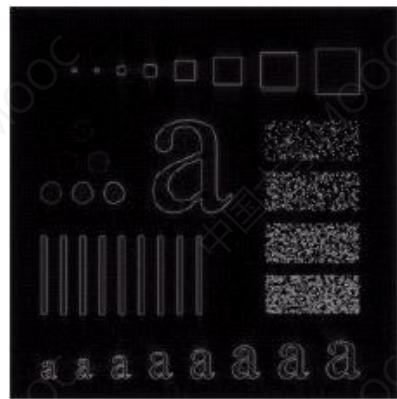
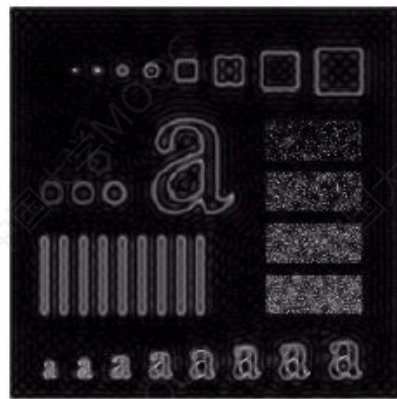
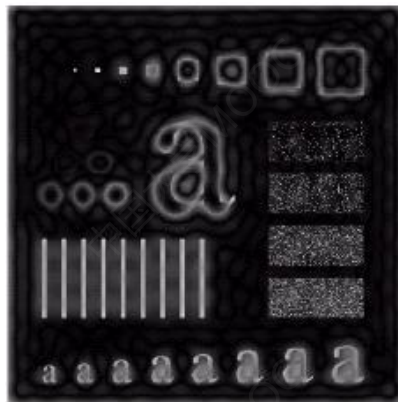
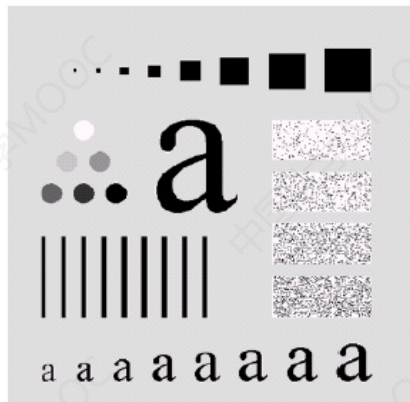


振铃现象严重





频域滤波



$D_0=15$

$D_0=30$

$D_0=80$

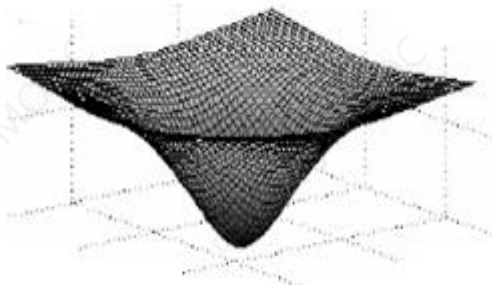
振铃现象严重



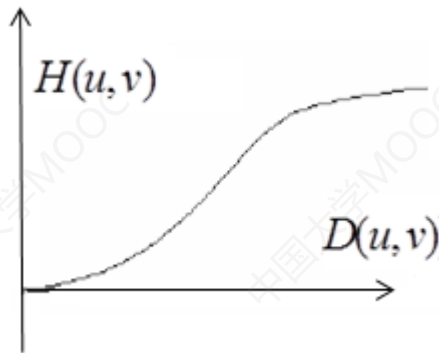
频域滤波

➤ Butterworth 高通滤波器

$$H(u, v) = \frac{1}{1 + (\sqrt{2} - 1)[D_0 / D(u, v)]^{2n}} \quad D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$



透视图



滤波器横截面

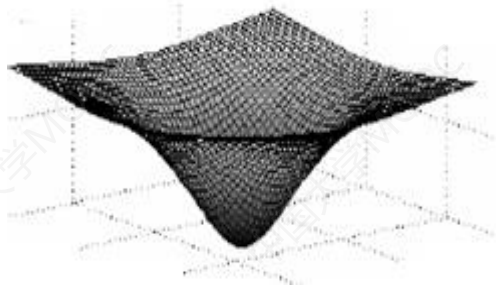


频域滤波

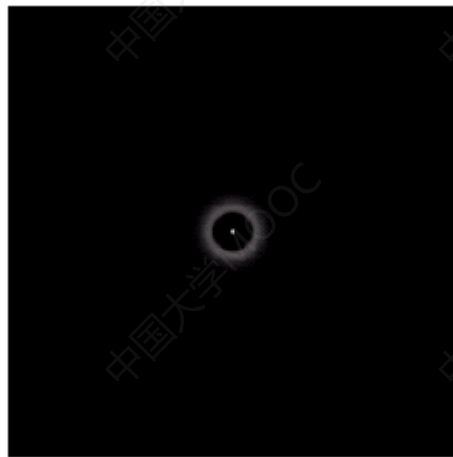
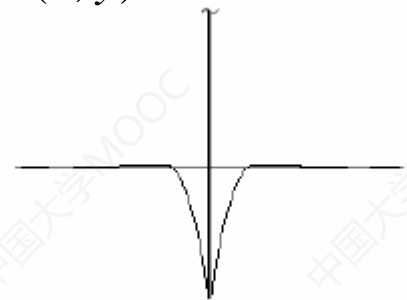
➤ Butterworth 高通滤波器

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

$H(u, v)$



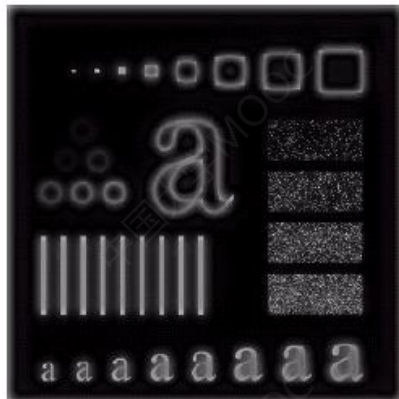
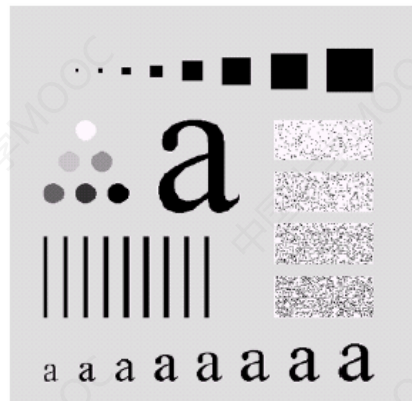
$h(x, y)$



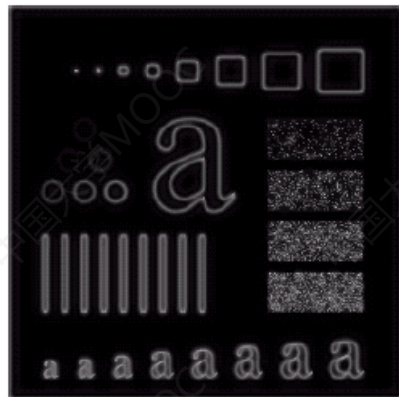
振铃现象



频域滤波



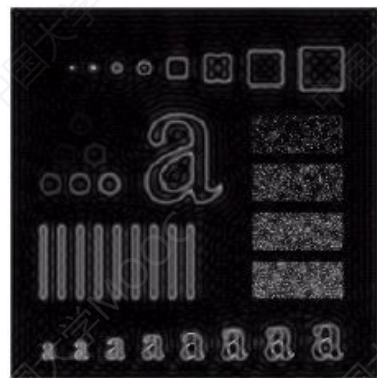
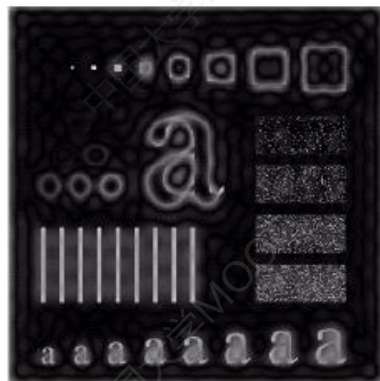
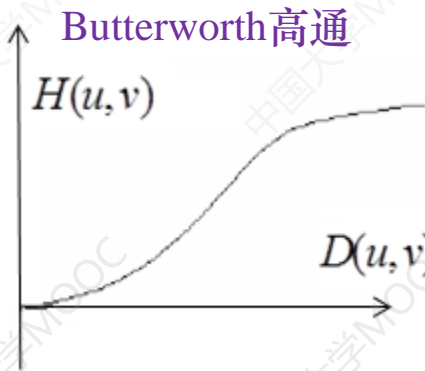
$D_0=15$



$D_0=30$



$D_0=80$



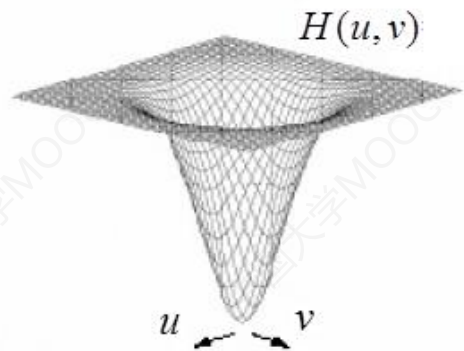
理想高通



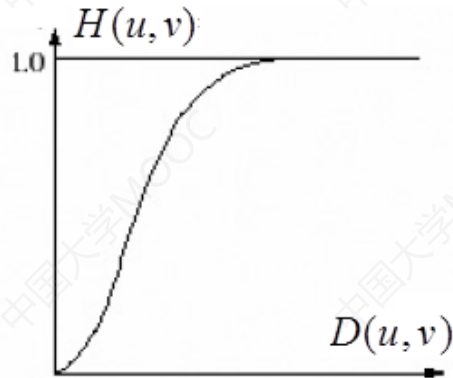
频域滤波

➤ 高斯高通滤波器

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v)/2\sigma^2} \quad D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$



透视图



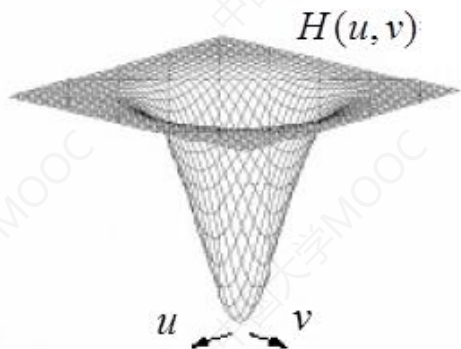
滤波器横截面



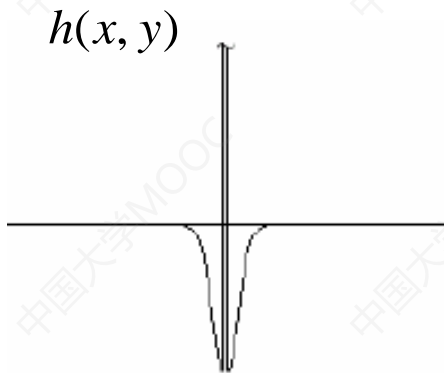
频域滤波

➤ 高斯高通滤波器

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v)/2\sigma^2} \quad D(u, v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$



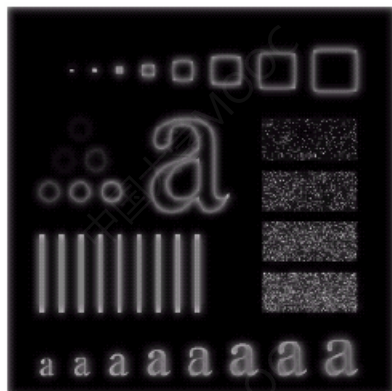
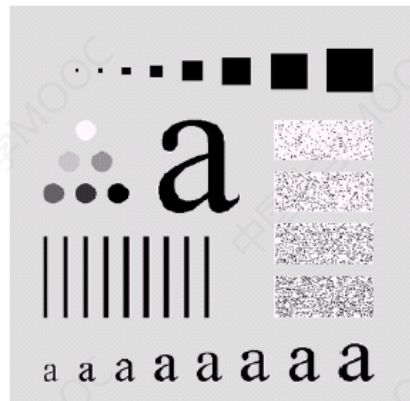
透视图



无振铃现象



频域滤波



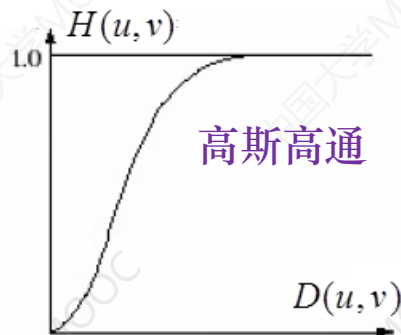
$D_0=15$



$D_0=30$



$D_0=80$



高斯高通滤波器滤波效果比理想高通
和Butterworth高通更平滑



频域滤波

➤ 频域图像增强

-- 原始图像与高频滤波后结果叠加



原图



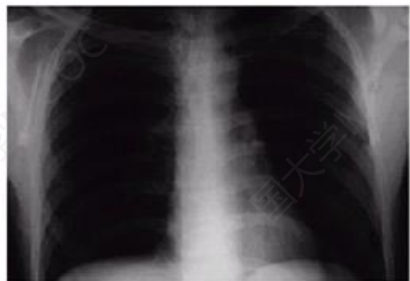
高通滤波器提取边缘



高频增强图像

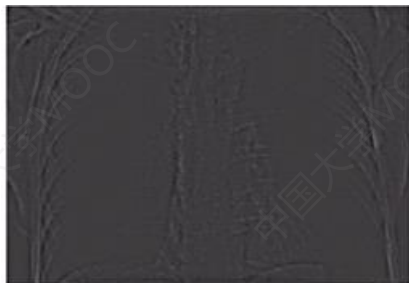


频域滤波



图a: 胸部X光图像

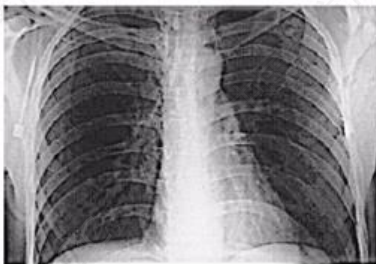
+



图b: 巴特沃思高通滤波的结果



图c: 高频增强滤波的结果



图d: 图c直方图均衡化的结果



谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事和同行的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！