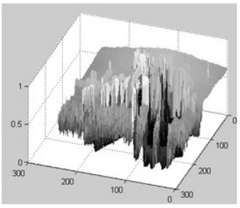
机器视觉与图像处理

我们看到的



计算机"看"到的

机器视觉与图像处理

第5讲 频率域图像增强

汪凯巍
2019-03-26

回顾

第1讲 绪论

机器视觉的定义、系统组成、价值与作用

第2讲 图像的获取

图像传感器、镜头、光照，"好的图像成功一半"

第3讲 图像的基础变换

点处理及灰度直方图、代数变换、几何变换

第4讲 图像的空间域增强

图像的平滑、图像中值滤波、图像锐化

第5讲 图像的频率域增强？

图像的频率域增强

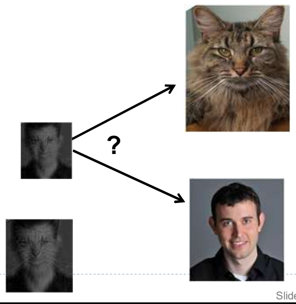
《数字图像处理与机器视觉》第6章

- 5.1 频率域滤波引言
- 5.2 空间域滤波与傅立叶变换
- 5.3 频率域低通滤波
- 5.4 频率域高通滤波
- 5.5 频率域带阻滤波

关键词：傅立叶 卷积

5.1 频率域滤波引言

混合图像（Hibrid image)：近处看和远距离看为何理解完全不同？



Slide: Hoiem

为什么一般图像并不会出现上述情况?

Image: http://www.flickr.com/photos/igorms/136916757/ Slide: Hoiem

Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)（让·巴普蒂斯·约瑟夫·傅里叶）

提出一个“疯狂”看法 (1807):

Any univariate function can be rewritten as a weighted sum of sines and cosines of different frequencies.

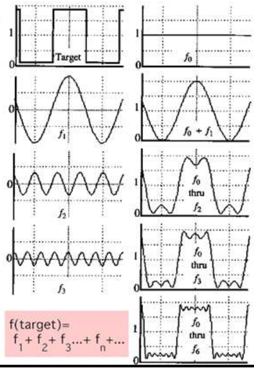
- 不相信?
  - Neither did Lagrange, Laplace, Poisson and other big wigs
- 但是（几乎）正确的!
  - called Fourier Series
  - there are some subtle restrictions（狄里赫利条件）

正弦函数的叠加

Our building block:

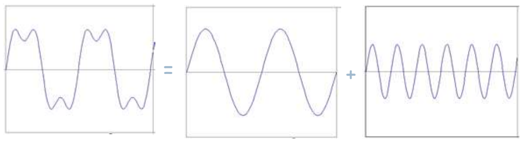
$$A\sin(\omega x+\phi)$$

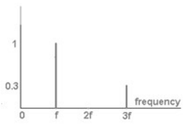
Add enough of them to get any signal *g(x)* you want!



频率谱（Frequency Spectra）

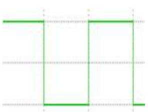
- example : $g(t) = \sin(2\pi f\, t) + (1/3)\sin(2\pi(3f)\, t)$



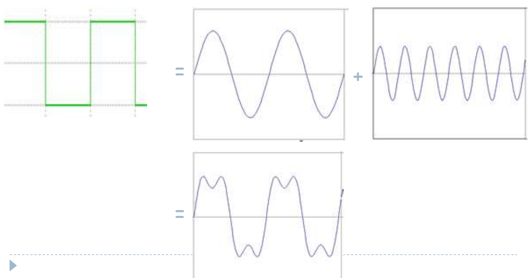


Slides: Efros

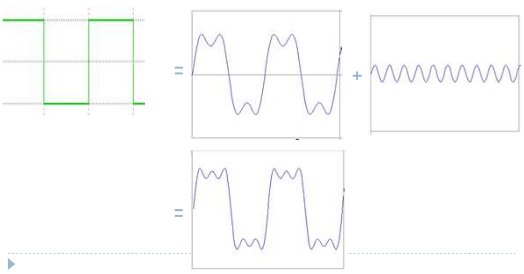
频率谱（Frequency Spectra）



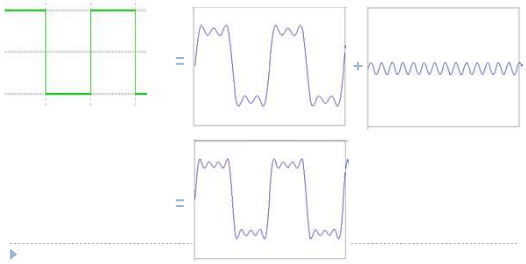
频率谱（Frequency Spectra）



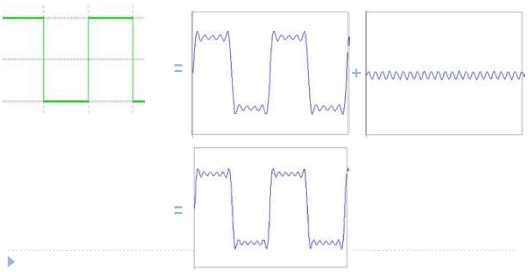
频率谱（Frequency Spectra）



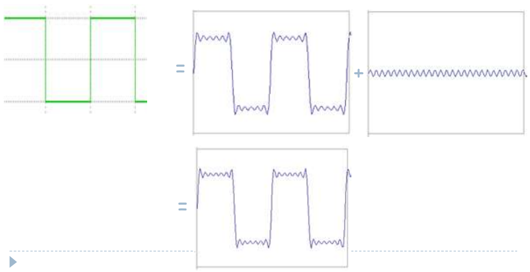
频率谱（Frequency Spectra）



频率谱（Frequency Spectra）

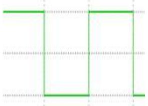


频率谱（Frequency Spectra）

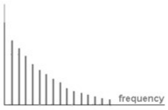


频率谱（Frequency Spectra）

- 傅立叶变换本质上是基的变换

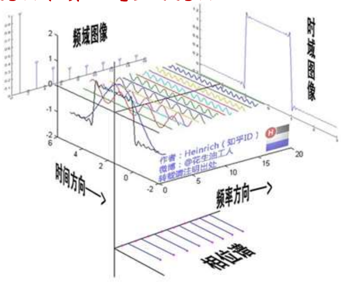


= $\boxed{A\sum_{k=1}^{\infty}\frac{1}{k}\sin(2\pi kt)}$



频率谱（Frequency Spectra）

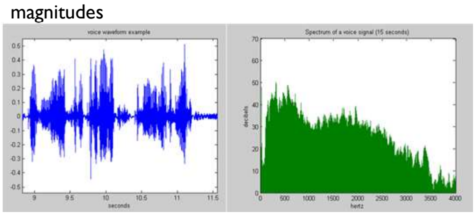
- 傅立叶变换本质上是基的变换



- 來源：http://blog.jobbole.com/70549/

例如: 音乐

- We think of music in terms of frequencies at different magnitudes

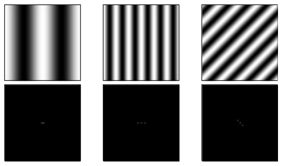


Slide: Hoiem

图像的傅立叶分析（Fourier analysis in images）

灰度图像
Intensity Image

傅立叶变换后
Fourier Image

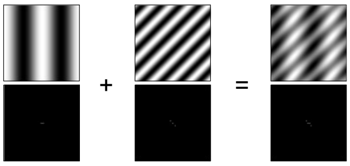


http://sharp.bu.edu/~slehar/fourier/fourier.html#filtering

信号可以叠加（Signals can be composed）

灰度图像
Intensity Image

傅立叶变换后
Fourier Image



http://sharp.bu.edu/~slehar/fourier/fourier.html#filtering
More: http://www.cs.unm.edu/~brayer/vision/fourier.html

傅立叶变换（Fourier Transform）

傅立叶变换能够求出在每一个频率下信号分量的幅度和相位

- 信号幅度表征该频率下信号的强度
- 相位表征空间信息（非直接）

幅度Amplitude: $A = \pm\sqrt{R(\omega)^2 + I(\omega)^2}$

相位Phase: $\phi = \tan^{-1}\dfrac{I(\omega)}{R(\omega)}$

计算傅立叶变换

为了数学表达便捷起见，经常用复指数表示

连续函数（Continuous）

$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x)e^{-j\omega x}dx$$

离散表达（Discrete）

$$H(k) = \frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1} h(x)e^{-j\frac{2\pi kx}{N}} \quad k = -N/2..N/2$$

Fast Fourier Transform (FFT): NlogN

卷积理论

- 两个函数的卷积的傅立叶变换等于两个函数的傅立叶变换的乘积

The Fourier transform of the convolution of two functions is the product of their Fourier transforms

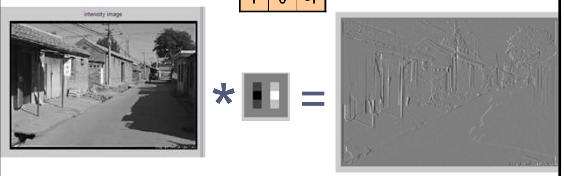
$$\mathrm{F}[g * h] = \mathrm{F}[g]\mathrm{F}[h]$$

- **空域的卷积等同于频域的乘积**
- **Convolution** in spatial domain is equivalent to **multiplication** in frequency domain!

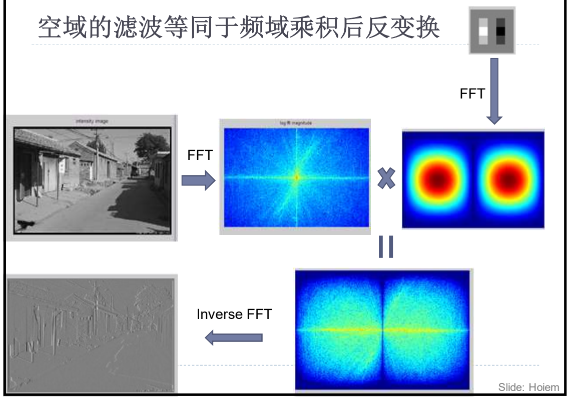
$$g * h = \mathrm{F}^{-1}[\mathrm{F}[g]\mathrm{F}[h]]$$

空域的卷积滤波

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1



空域的滤波等同于频域乘积后反变换



Slide: Hoiem

FFT in Matlab

- Filtering with fft

```
im = double(imread('…'))/255;
im = rgb2gray(im); % "im" should be a gray-scale floating point image
[imh, imw] = size(im);

hs = 50; % filter half-size
fil = fspecial('gaussian', hs*2+1, 10);

fftsize = 1024; % should be order of 2 (for speed) and include padding
im_fft  = fft2(im,  fftsize, fftsize);                         % 1) fft im with padding
fil_fft = fft2(fil, fftsize, fftsize);                         % 2) fft fil, pad to
same size as image
im_fil_fft = im_fft .* fil_fft;                                % 3) multiply fft images
im_fil = ifft2(im_fil_fft);                                    % 4) inverse fft2
im_fil = im_fil(1+hs:size(im,1)+hs, 1+hs:size(im, 2)+hs); % 5) remove padding
```

- Displaying with fft

```
figure(1), imagesc(log(abs(fftshift(im_fft)))), axis image, colormap jet
```

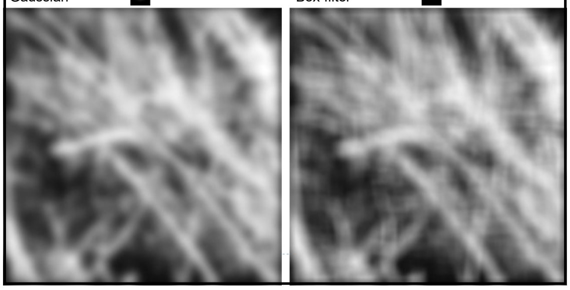
Slide: Hoiem

滤波

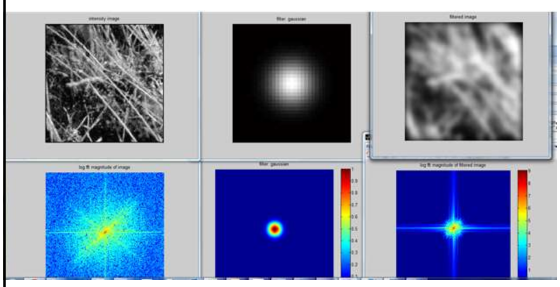
Why does the Gaussian give a nice smooth image, but the square filter give edgy artifacts?

为何高斯滤波给出平滑的图像，盒式滤波器还能看到边沿现象？

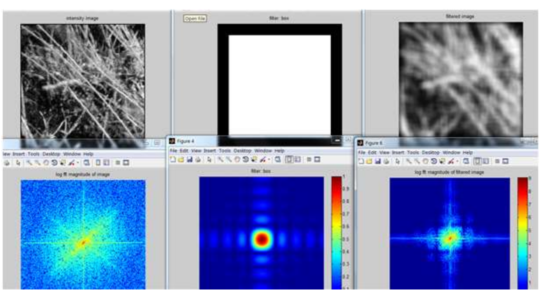
Gaussian　　Box filter



Gaussian



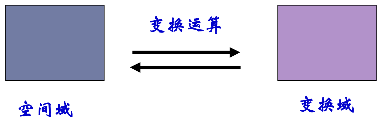
Box Filter



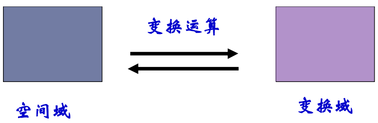
5.2 空间域滤波与傅立叶变换

空间域滤波与傅立叶变换

- 为了有效地对图像进行处理，将原定义在图像空间的图像以某种形式转换到另外一些空间。基和向量空间的转换。
- 利用在这些空间的特有性质方便地进行一定的加工。
- 最后再转换回图像空间以得到所需的效果。
- 这些转换方法就是图像变换技术。



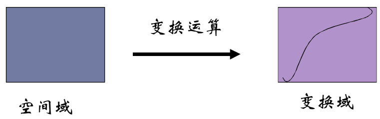
空间域滤波与傅立叶变换



- 变换是双向的。
- 在图像处理中，将从图像空间向其他空间的变换称为正变换。
- 将从其他空间向图像空间的变换称为反变换或逆变换。

空间域滤波与傅立叶变换

- 在图像处理中。
  - •利用某些正交变换可以从图像中提取出一些特征，如在Fourier变换后，直流分量正比于图像灰度值的平均值，高频分量则表明了图像中目标边缘的强度及方向。
  - •另外，在正交变换的基础上，可以完成图像的变换编码，进行信息压缩。



常用的图像变换

- 离散傅里叶变换
- 沃尔什变换
- 哈达马变换
- 离散余弦变换
- Radon变换
- 小波变换

离散傅里叶变换DFT

- 傅里叶变换在信号处理和图像处理中得到广泛的使用。
- 设大小为M*N的图像 $f(x,y), x=0,\ldots,M-1; y=0,\ldots,N-1$
- 其离散傅里叶变换**F(u,v)**

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\exp[-\mathbf{j}2\pi(ux/M+vy/N)]$$

$$u=0,\ldots,M-1; v=0,\ldots,N-1$$

$$\exp(-\mathbf{j}\omega\pi)=\cos(-\omega\pi)+j\sin(-\omega\pi)$$

- **u,v**均为频率分量。**F(u,v)**失去了空间关系，只记录了频率关系。

离散傅里叶变换DFT

- 傅里叶变换**F(u,v)**

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\exp[-\mathbf{j}2\pi(ux/M+vy/N)]$$
$$u=0,\dots,M-1;v=0,\dots,N-1$$

- 空间域是由**f(x,y)**所张成的坐标系，**x**和**y**是变量。
- 频率域是由**F(u,v)**所张成的坐标系，**u**和**v**是变量。
- **u**和**v**定义的矩形区域称为频率矩形，其大小与图像**f**的大小相同。**F(u,v)**——傅里叶系数。

37

离散傅里叶变换DFT

$$F(u,v)=\frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\exp[-\mathbf{j}2\pi(ux/M+vy/N)]$$
$$u=0,\dots,M-1;v=0,\dots,N-1$$

- 其反变换定义如下：

注意：$\frac{1}{MN}$ 并没有固定位置。

$$f(x,y)=\sum_{u=0}^{M-1}\sum_{v=0}^{N-1}F(u,v)\exp[\mathbf{j}2\pi(ux/M+vy/N)]$$

38

频域处理的基本操作

f (x, y) →傅里叶变换→ F (u, v) →频域处理→ F' (u, v) →傅里叶反变换→ g (x, y)

$$F(u,v)=\frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\exp[-\mathbf{j}2\pi(\frac{ux+vy}{N})]$$

$$F(u,v)=\frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)[\cos(\frac{-2\pi(ux+vy)}{N})+j\sin(\frac{-2\pi(ux+vy)}{N})]$$

- **F(u,v)**通常是复数。

39

频域处理的基本操作

$$F(u,v)=\frac{1}{N}\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}f(x,y)\cos(\frac{-2\pi(ux+vy)}{N})+j\sin(\frac{-2\pi(ux+vy)}{N})$$

每一个频率分量所占能量情况

$$F(u,v)=R(u,v)+\mathrm{j}I(u,v)=|F(u,v)|\exp[\mathrm{j}\phi(u,v)]$$

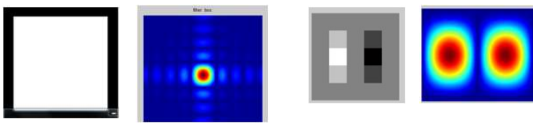
$$|F(u,v)|=\left[R^2(u,v)+I^2(u,v)\right]^{1/2}$$ ——幅度谱，频谱

$$\phi(u,v)=\arctan[I(u,v)/R(u,v)]$$ ——相位谱

40

频域处理的基本操作

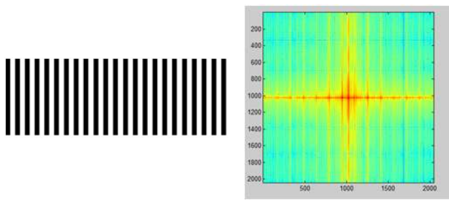
- 直观的分析一个变换的方法就是计算它的频谱，并将它显示出为一幅图像。
- 谱图像就是把|**F(u,v)**|作为灰度值显示出来。



均值（盒式）滤波器　　Sobel锐化滤波器

41

频域处理的基本操作



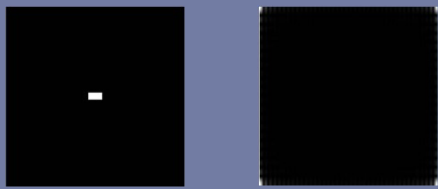
- 图像经傅里叶变换后，直流分流正比于图像的均值，高频分量则表明了图像中目标边缘的强度及方向。

42

频域处理的基本操作

- 图像经傅里叶变换后，直流分流正比于图像的均值，高频分量则表明了图像中目标边缘的强度及方向。
- 使用低通滤波器对图像的傅里叶变换进行滤波，可以做到平滑处理。
- 使用高通滤波器对图像的傅里叶变换进行滤波，可以做到锐化处理。

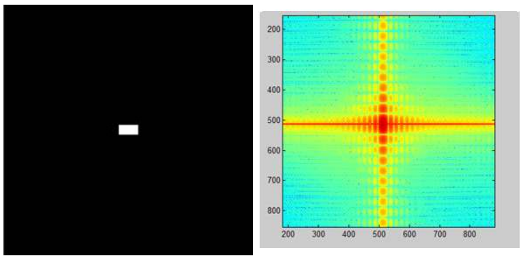
对比



图像　　　　傅里叶频谱图像

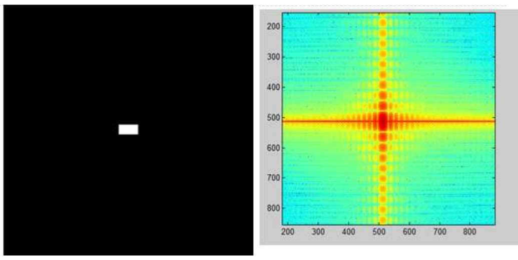
- 因为人的视觉可分辨的灰度有限，频谱的显示都要取个log。见下页
- D(u,v)=log(1+k|F(u,v)|)

对比

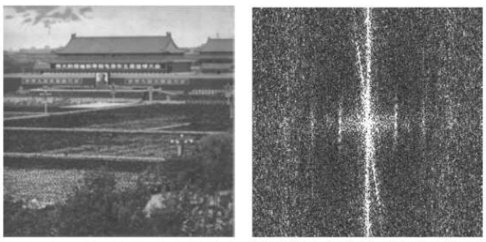


图像　　　　傅里叶频谱图像

频域处理的基本操作



- 思考：
- 图像中心小方块长宽不等与频谱图像的对应关系



- 频谱中的垂直亮线是因为图像中比较多的水平边缘。

图像上有较规则的线状物，反映在傅里叶频谱上也有比较明显的射线状条带

MATLAB中傅里叶变换的实现

(1)已知f(x,y)，求F(u,v)

- fft2函数：快速傅里叶变换函数
  - F=fft2(f)
  - f:M*N ， F: M*N

(2)求幅度频谱

- abs函数：求实数的绝对值，复数的模
  - S=abs(F)
  - imshow(S,[ ]) %四个角上有亮点

(3)显示一个完整周期的频谱

- fftshift函数:重排数据，将变换的原点移动到频率矩形的中心
  - F=fft2(f);
  - Fc=fftshift(F);
  - S=abs(Fc);
  - imshow(S,[ ])
  - imshow(log(1+S),[ ])

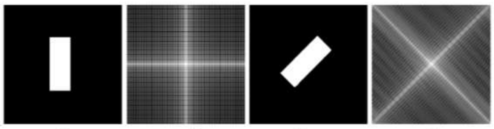
- 求傅里叶逆变换ifft2
  - F=ifftshift(Fc);
  - f=ifft2(F)
  - f=real(ifft2(F));

%理论上逆变换的结果也是实数，但由于浮点计算的舍入误差，ifft2的输出实际上都会有很小的虚数分量，因此计算逆变换后提取结果的实部。

- 频谱图像|F(u,v)|特点：
  - 低频部分集中了大部分能量；

$$F(0,0) = N \times \bar{f}$$

□高频部分对应边缘和噪声等细节内容。



(a) (b) (c) (d)

频域增强原理

- 在频域空间，图像的信息表现为不同频率分量的组合。

- 频谱图像|**F(u,v)**|特点：
  - □低频部分集中了大部分能量；

$$F(0,0) = N \times \bar{f}$$

  - □高频部分对应边缘和噪声等细节内容。

- 频域增强是通过改变图像中不同频率分量来实现的。
- 频域滤波器：不同的滤波器滤除的频率和保留的频率不同，因而可获得不同的增强效果。

- 频域增强方法的三个步骤：
  - 1.将图像从图像空间转换到频域空间（如傅里叶变换）；
    ——计算图像的傅立叶变换
  - 2.在频域空间对图像进行增强；
    ——将其与频率滤波器相乘
  - 3.将增强后的图像再从频域空间转换到图像空间。
    ——进行傅立叶反变换

- 频率滤波：
  - □低通滤波，高通滤波，带通和带阻滤波，同态滤波

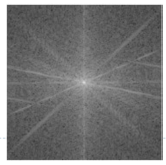
$$f(x,y):N\times N$$
$$\downarrow$$
$$F(u,v):N\times N$$
$$\downarrow$$
$$H(u,v):N\times N$$
$$\downarrow$$
$$G(u,v)=H(u,v)F(u,v)$$
$$\downarrow$$
$$g(x,y):N\times N$$

- **f(x,y)、h(x,y)均补零扩充为P×Q，**
- **P=2N-1； Q=2N-1.**
- 图像进行傅立叶变换，需将其看作周期函数的一个周期；

5.3 频率域低通滤波

低通滤波

- 图像中的边缘和噪声都对应图像傅里叶变换中的高频部分，所以如要在频域中消弱其影响就要设法减弱这部分频率的分量。
- 需要选择一个合适的$H(u, v)$以得到消弱$F(u, v)$高频分量的$G(u, v)$
- 思考：如何保留低频，滤掉高频？

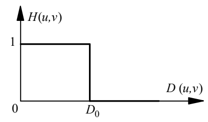
理想低通滤波器

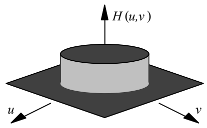
- 理想是指小于D_0的频率可以完全不受影响地通过滤波器，而大于D_0的频率则完全通不过。

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

D_0：截断频率（非负整数）

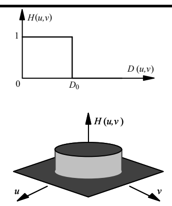
$D(u,v)$是从点(u,v)到频率平面原点的距离,$D(u,v) = (u^2+v^2)^{1/2}$





2.理想低通滤波器的模糊与振铃效应


- 图像变模糊了，有明显的振铃现象。



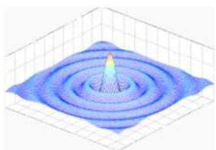
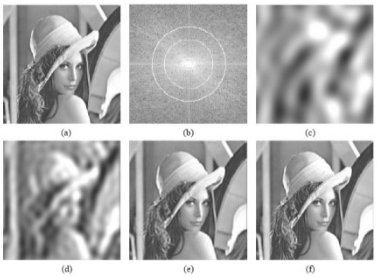


图 6.2.3 理想低通滤波器的脉冲响应示例

- h(x,y)的显示是一系列的同心圆环。圆环的半径反比于D_0
- D_0较小:h(x,y)为数量较少但较宽的同心圆环。
  - 使g(x,y)模糊的比较厉害，振铃现象明显；
- D_0较大:h(x,y)为数量较多但较窄的同心圆环。
  - 使g(x,y)模糊的比较少。

•D_0 = 5, 11, 45, 68
•B = 90, 95, 99, 99.5%

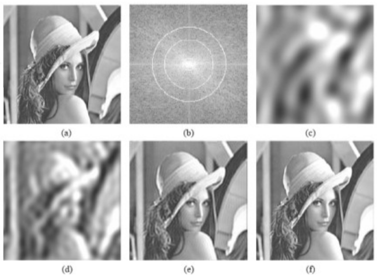


能量百分比

$$B = 100 \times \left[\sum_{u \in R} \sum_{v \in R} P(u,v) \Big/ \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} P(u,v) \right]$$

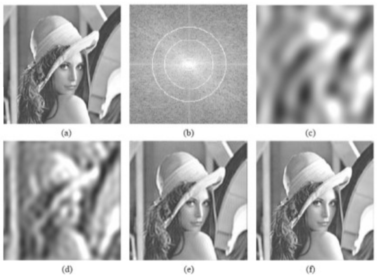
功率谱: $p(u,v) = |F(u,v)|^2 = R^2(u,v) + I^2(u,v)$

•D_0 = 5, 11, 45, 68
•B = 90, 95, 99, 99.5%

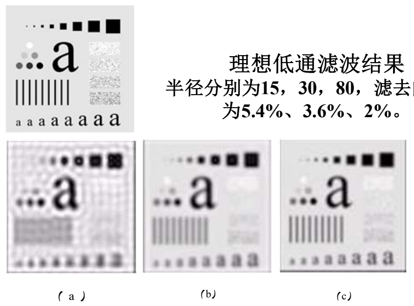


- (c)尽管只有10%的(高频)能量被滤除，但图像中绝大多数细节信息都丢失了。
- (d)当仅5%的(高频)能量被滤除后，图像中仍有明显的振铃效应。

•D_0 = 5, 11, 45, 68
•B = 90, 95, 99, 99.5%



- (e)如果只滤除1%的(高频)能量，图像虽有一定程度的模糊但视觉效果尚可。
- (f)滤除0.5%的(高频)能量后所得到的滤波结果与原图像几乎无差别。



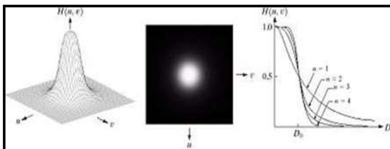
理想低通滤波结果
半径分别为15，30，80，滤去的能量为5.4%、3.6%、2%。

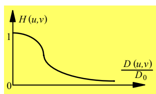
3. 巴特沃斯低通滤波器(buttonworth BLPF)

- 理想低通滤波器在数学上定义得很清楚，在计算机模拟中也可实现，但在截断频率处直上直下的理想低通滤波器不能用实际的电子器件实现。
- 物理上可实现的是巴特沃斯低通滤波器，其转移函数如下所示：

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

- n为阶数，D_0为截断频率。

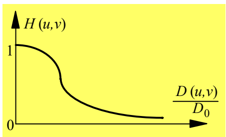




- n愈大，下降边沿愈陡。
- 与理想低通滤波器相比，高低频之间过渡较为平滑，用此滤波后的输出图像振铃现象不明显。
  - n=1时，过渡最为平滑，即尾部包含有大量的高频成分，所以1阶巴特沃斯低通滤波器没有振铃现象。
  - 随着阶的增加，输出图像振铃现象增加。
- 但另一方面，其平滑效果不如理想滤波器。
- 要根据平滑效果和振铃现象的折中确定**BLPF**的阶数。

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

- 截断频率
  - 使H最大值降到某个百分比的频率;
    - 例:$D(u,v) = D_0$时，$H(u,v) = 1/2$



阶数为1(n=1)的巴特沃斯低通滤波器;
N愈大,下降边沿愈陡.

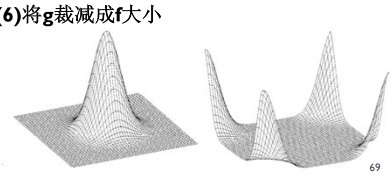
频域低通滤波消除虚假轮廓

- 图象由于量化不足产生虚假轮廓时，可用低通滤波进行平滑，以改进图象质量。
- 上图是ILPF与1阶BLPF的效果对比，截断频率对应半径均为30。
- 低通巴特沃斯滤波器在高低频率间的过渡比较平滑，所以得到的输出图其振铃现象不明显。

Matlab实现低通滤波效果

(1)将图像读至f
(2)对f进行扩充后，进行傅立叶变换，求得F
(3)生成低通滤波器H

(4)G=F×H
(5)进行傅立叶逆变换，求得g
(6)将g裁减成f大小

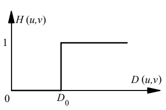


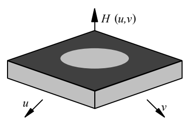
5.4 频率域高通滤波

高通滤波

- 1、理想高通滤波器
  - 形状与低通滤波器的形状正好相反

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

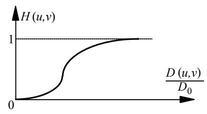


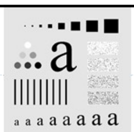


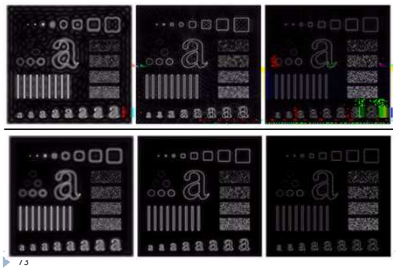
巴特沃斯高通滤波器

- 形状与巴特沃斯低通滤波器的形状正好相反。
- 同样的，因为高低频率间平滑过渡，振铃现象不明显。
- 截断频率
  - 使**H**值上升到最大值某个百分比的频率
  - **$H(u, v) = 1/2$**
  - **$H(u, v) = 0.5^{1/2}$**

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



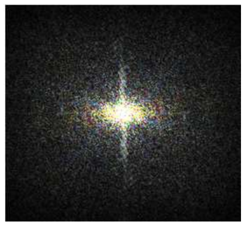




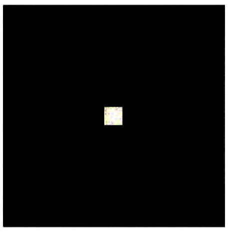
IHPF滤波效果，D_0=15，30，80。D_0越小，振铃效应越明显。

BHPF，比IHPF的结果平滑得多。

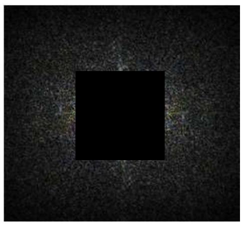
图像的频率特性

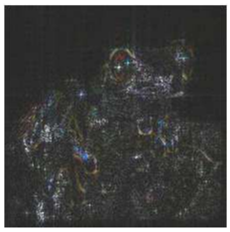


Fourier变换的低通滤波示例



Fourier变换的高通滤波示例





3、高频增强滤波器

- 高通滤波将低频分量滤掉，导致增强图中边缘得到加强但平坦区域灰度很暗接近于黑色。
- 解决办法：
  - 对频域里的高通滤波器的转移函数加一个常数以将一些低频分量加回去。
  - 既保持光滑区域灰度又改善边缘区域对比度。
  - ——高频增强滤波器。

思路

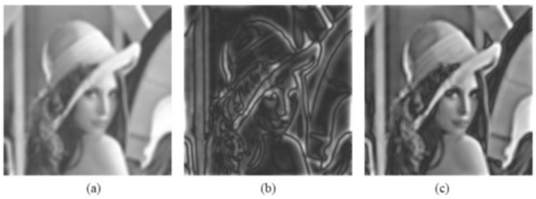
- 傅里叶变换：$G(u,v) = H(u,v)F(u,v)$
- 高频增强转移函数：$H_e(u,v) = k \times H(u,v) + c$
- 高频增强输出图的傅里叶变换：

$$G_e(u,v) = k \times G(u,v) + c \times F(u,v)$$

- 反变换回去：

$$g_e(x,y) = k \times g(x,y) + c \times f(x,y)$$

- 既保留了原图的灰度层次，又锐化了边缘（对比上一次课中的拉普拉斯图像增强）。



(b) 1阶巴特沃思高通滤波器处理的结果。
(c) 高通滤波增强的结果c=0.5，边缘增强了，层次丰富了。

4、高频提升滤波器

- 用原始图减去低通图也可得到高通滤波器的效果.
- 把原始图乘以一个放大系数A再减去低通图就可构成高频提升（high-boost）滤波器.

$$G_{HB}(u,v)=A\times F(u,v)-F_L(u,v)=(A-1)F(u,v)+F_H(u,v)$$

□**A=1**：高通滤波器

□**k=1,c=(A-1)**：高频增强滤波器

高频增强滤波器：
$G_e(u,v)=k\times G(u,v)+c\times F(u,v)$

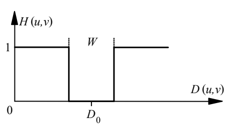
(a) 模糊图
(b) 高通滤波处理后的图像,低频衰减;
(c) 高频提升滤波处理后的图像,恢复了一部分低频;
(d) 在(c)基础上进行灰度扩展后的图像

5.5 带通和带阻滤波

5.5 带通和带阻滤波

1.带阻滤波

- 消除某一频率的噪声，如消除正弦噪声或某周期性图像信息。



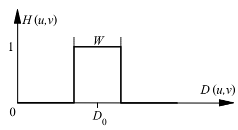
$$D(u,v)=\left[(u-u_0)^2+(v-v_0)^2\right]^{1/2}$$

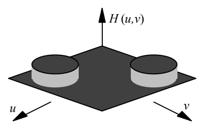
$$H(u,v)=\begin{cases}0 & 如\ \ D(u,v)\le D_0\\ 1 & 如\ \ D(u,v)>D_0\end{cases}$$

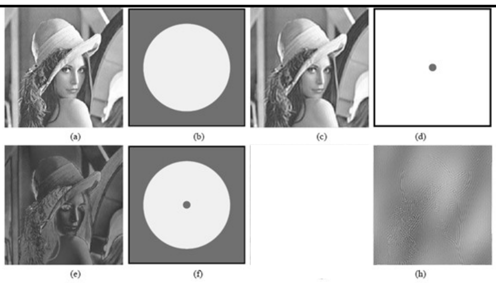
2. 带通滤波器

- 与带阻滤波器互补
- 允许一定频率范围（阻止其它频率范围）

$$H_P(u,v)=-[H_R(u,v)-1]=1-H_R(u,v)$$

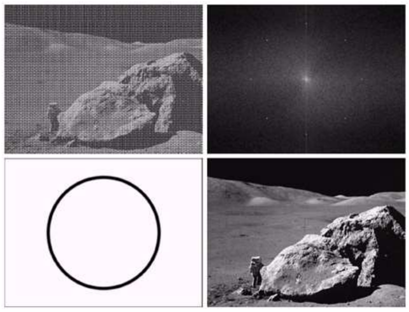






(a)原图　**(b)**低通滤波器示意图; **(c)**低通滤波处理后的图像;
(d)高通滤波器示意图;　**(e)**高通滤波处理后的图像;
(f)带通滤波器示意图;　**(h)**带通滤波处理后的图像;

带阻滤波器滤除周期性噪声



a b
c d

FIGURE 5.16
(a) Image corrupted by sinusoidal noise. (b) Spectrum of (a). (c) Butterworth bandreject filter (white represents 1). (d) Result of filtering. (Original image courtesy of NASA.)

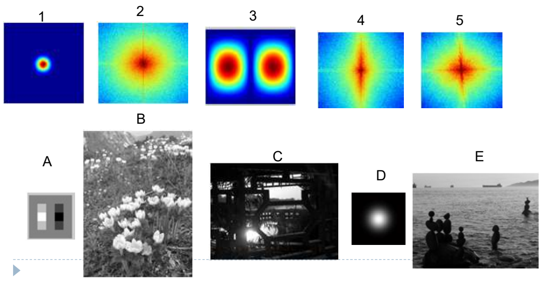
频域技术与空域技术

- 空域增强技术和频域增强技术联系密切。
- 空间滤波器的工作原理可借助频域进行分析。
- 空间平滑滤波器
  - 消除或减弱图像中灰度值具有较大较快变化部分的影响，这些部分对应频域中的高频分量，所以可用频域低通滤波来实现。
- 空间锐化滤波器
  - 消除或减弱图象中灰度值缓慢变化的部分，这些部分对应频域中的低频分量，所以可用频域高通滤波来实现。

87

讨论与练习

1. Match the spatial domain image to the Fourier magnitude image（将频域图像与空间域图像对应起来）



讨论与练习

- 2. 既然频域滤波与空域滤波可以达到相同的效果，直接无视频域滤波不就好了？
- 3.重新思考如何滤除图中的格子线