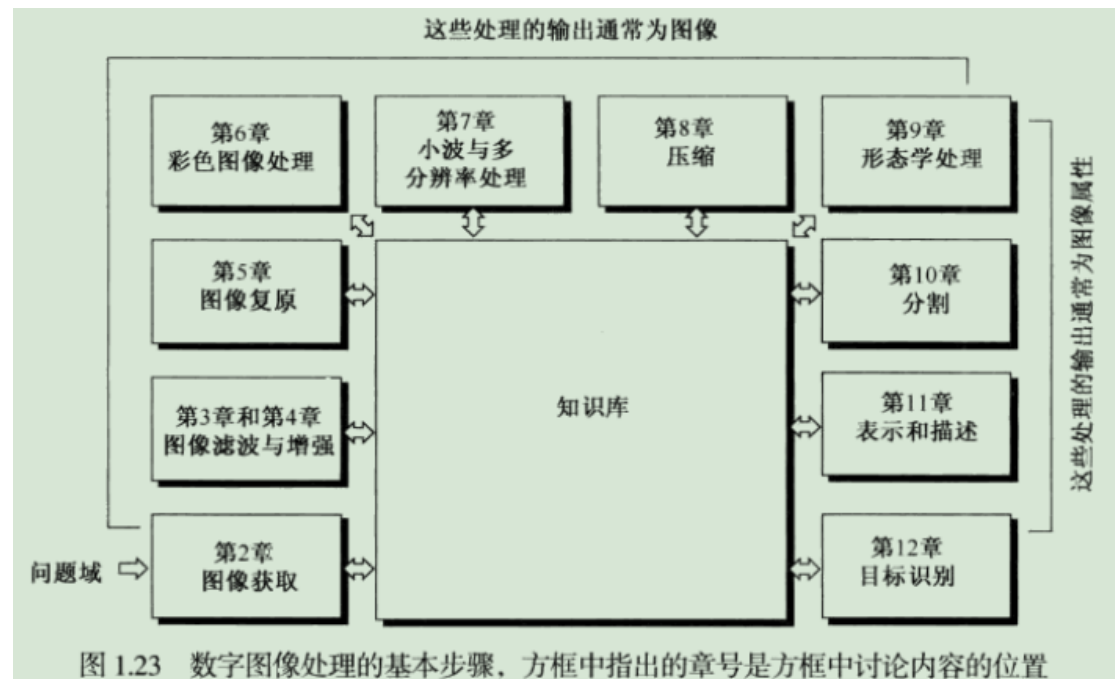


数字图像处理 (笔记: https://github.com/dhwgithub/Graduate_Study_Notes)

第1章 绪论



图像获取：包括图像预处理

图像增强：对一幅图像进行某种操作，使其结果在特定应用中比原始图像更适合进行处理

图像复原：倾向于以图像退化的数学或概率模型为基础，相对于图像增强是客观的

小波：是以不同分辨率来描述图像的基础

形态学处理：涉及提取图像分量的工具，这些分量主要表现和描述了形状

分割：将一幅图像划分为它的组成部分或目标

表示与描述：将分割后输出的点信息表示为适合计算处理的形式，即标记为角或边等。描述又称为特征选择，涉及提取特征

第2章 数字图像基础

单色光或无色光：没有颜色的光，灰度级一词通常用来表示单色光的强度

灰度级：从黑到白的单色光的度量值范围

灰度图像：单色图像

取样：对坐标值进行数字化

量化：对幅值数字化

空间域：由一幅图像的坐标张成的实平面部分

坐标表示：原点位于左上角，正 x 轴向下延伸，正 y 轴向右延伸

饱和度：指超过这个值的灰度级将被剪掉这样的一个最高值

动态范围：由灰度跨越的值域，在图像系统中定义为系统中最大可度量灰度与最小可检测灰度之比，其上限取决于饱和度，下限取决于噪声

对比度：一幅图像中最高和最低灰度级间的灰度差。当一幅图像中像素可感知的数值有高的动态范围时，那么我们认为该图像具有高的对比度

8 比特图像：有 256 个可能的离散灰度值的图像

内插：用已知数据来估计未知位置的数值的处理

双线性内插： $v(x, y) = ax + by + cxy + d$ （需要 4 个点计算）

双三次内插： $v(x, y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j$ （需要 16 个点计算，商业图像编辑程序的标准内插方法）

8 邻域表示： $N_8(p)$

斜角的四个点集合表示： $N_D(p)$

4 邻接：两个点相互处于彼此的 4 邻域内，则这两个点是 4 邻接的。8 邻接同理

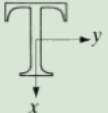
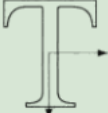

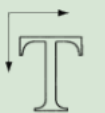


M 邻接（混合邻接）：表示当同时满足 4 邻接和 8 邻接时，优先采用 4 邻接，避免歧义

欧氏距离 D_e ：两点之间的距离。向量欧氏距离公式： $D(z, a) = [(z - a)^T (z - a)]^{\frac{1}{2}}$

城市街区距离（ D_4 ）：两点横竖和的距离。 $D_4=1$ 的像素是其 4 邻域

棋盘距离（ D_8 ）：横竖距离的最大值。 $D_8=1$ 的像素是其 8 邻域

几何变换：坐标的空间变换和灰度内插（一般采用反向映射）组成

表 2.2 基于式 (2.6-23) 的仿射变换			
变换名称	仿射矩阵 T	坐标公式	例子
恒等变换	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = w$	
尺度变换	$\begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = c_x v$ $y = c_y w$	
旋转变换	$\begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v \cos \theta - w \sin \theta$ $y = v \sin \theta + w \cos \theta$	
平移变换	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	$x = v + t_x$ $y = w + t_y$	
(垂直) 偏移变换	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ s_v & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v s_v + w$ $y = w$	
(水平) 偏移变换	$\begin{bmatrix} 1 & s_h & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$x = v$ $y = s_h v + w$	

第3章 灰度变换与空间滤波

空间域处理：直接在图像像素上操作，灰度变换和空间滤波

频率域操作：在图像的傅里叶变换上执行，不针对图像本身

灰度变换：在图像的单个像素上操作，主要以对比度和阈值处理为目的

空间滤波：涉及改善性能操作，如通过图像中每一个像素的邻域处理来锐化图像

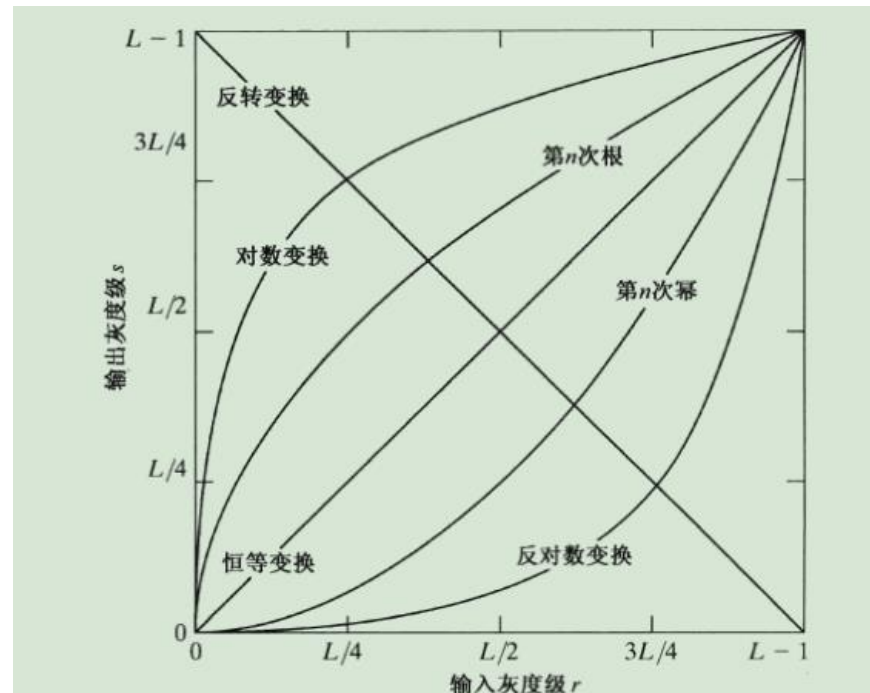


图 3.3 一些基本的灰度变换函数。所有曲线已被缩放到适合显示的范围

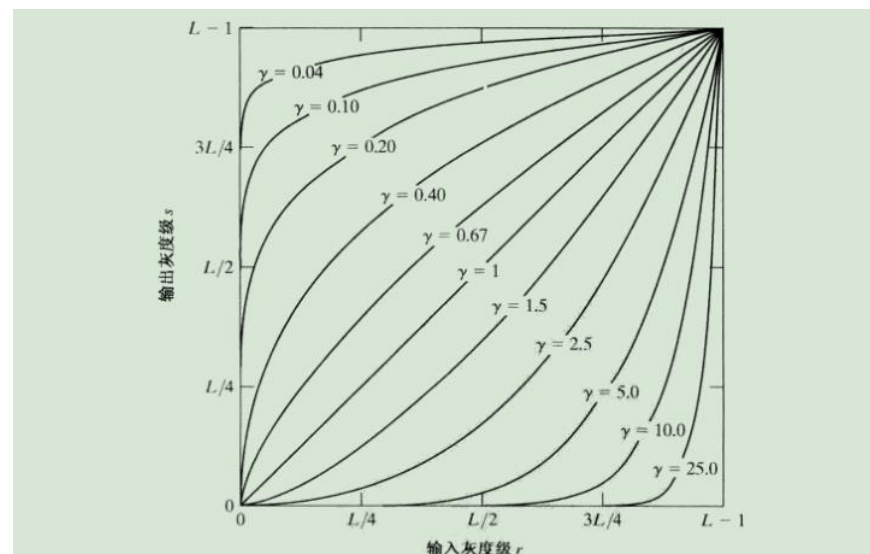


图 3.6 不同 γ 值的 $s = cr^\gamma$ 曲线(所有情况 $c = 1$)。所有曲线均已被缩放到适合于显示的范围

幂律（伽马）变换：如上图公式，可以用来伽马校正和对比度增强（扩展/压缩灰度级）

伽马校正：用于校正这些幂律响应现象的处理（改变图像亮度与色彩）

分段线性变换函数：可用于对比度拉伸、灰度级分层、比特平面分层（一般图像有 8 个平面）

暗图像直方图：灰度范围集中在低灰度级（亮图像相反）

低对比度直方图：灰度范围集中区域小（高对比度图像相反）

直方图均衡化：变换后灰度范围是一个单调递增函数，灰度范围不变。计算步骤如下

① 确定灰度级范围，如灰度级为 0~255，即 $L=255$

② 计算原始直方图的分布概率，即每个灰度级在原始图像所占比例 $p(i)$

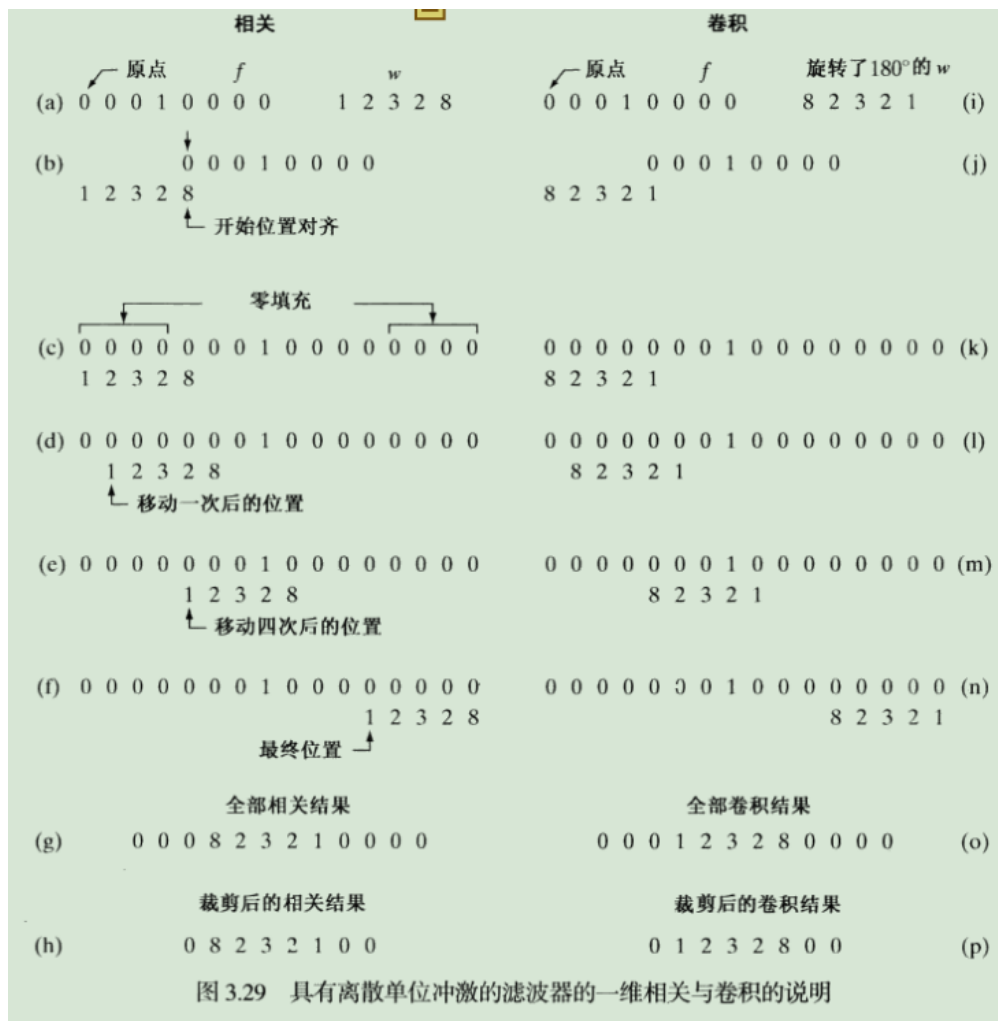
- ③ 计算概率累计值。如 $r(0)=p(0)$, $r(1)=r(0)+p(1)$
- ④ 求取像素映射关系, 即每个灰度对应均衡化后的新灰度值。如 $r_q(i)=\text{ROUND}(r(i)*L)$
- ⑤ 灰度映射, 即将灰度 i 变成灰度 $r_q(i)$ 。以此得到的直方图即为均衡化后的直方图

直方图匹配 (规定化): 用于产生处理后有特殊直方图的方法。计算步骤如下

- ① 求出原图像 img 的累计直方图 img_accu
- ② 求出规定图像 ref 的累计直方图 ref_accu
- ③ 灰度级 g 在 img_accu 中对应的值记为 img_accu_g , 找出 ref_accu 中与 img_accu_g 最接近的值 ref_accu_G , 记 ref_accu_G 对应的灰度级为 G
- ④ 根据 g 与 G 的对应关系, 得到 img 经匹配之后的直方图

低通滤波器: 通过低频的滤波器, 用来模糊 (平滑) 图像

空间滤波器: 在一个邻域内对像素执行预定义操作



相关: 滤波器模板移过图像并计算每个位置乘积之和的处理, 公式为 $w(x,y) \star f(x,y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t) f(x+s, y+t)$

离散单位冲激: 包含单个 1 而其余都是 0 的函数。一个函数与离散单位冲激相关, 在该冲激位置将产生这个函数的翻转版本

卷积: 在函数旋转 180° 的基础上进行相关操作, 公式为 $w(x,y) \star f(x,y) = \sum_{s=-a}^a \sum_{t=-b}^b w(s,t) f(x-s, y-t)$

平滑滤波器: 模糊处理和降低噪声

盒状滤波器: 所有系数都相等的空间均值滤波器

中值滤波器：处理脉冲噪声（即椒盐噪声，以黑白点的形式叠加到图像上的），非线性

锐化处理：主要目的是突出灰度的过渡部分

一阶微分： $\frac{\partial f}{\partial x} = f(x + 1) - f(x)$

二阶微分： $\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = f(x + 1) + f(x - 1) - 2f(x)$

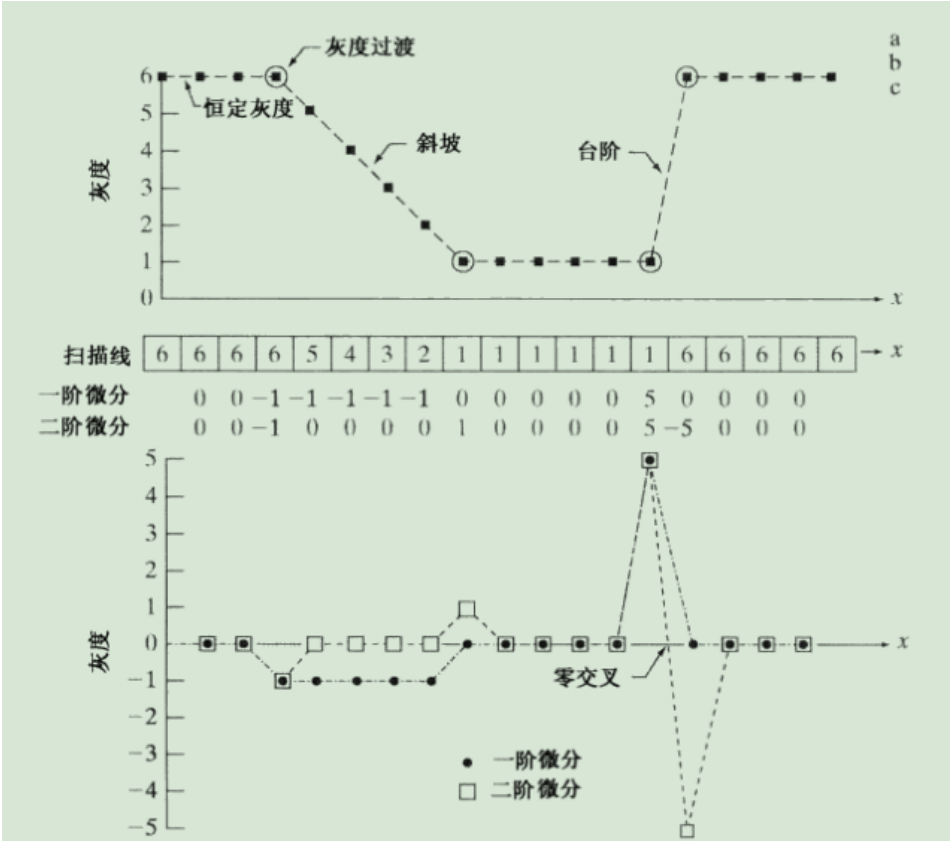


图 3.36 表示一幅图像中一段水平灰度剖面的一维数字函数的一阶微分和二阶微分的说明。在图(a)和图(c)中，为便于观看，已用虚线将数据点连接起来

一阶、二阶微分联系：数字图像中的边缘在灰度上常常类似于斜坡过渡，这样就导致图像的一阶微分产生较粗的边缘，因为沿着斜坡的微分非零。另一方面，二阶微分产生由零分开的一个像素宽的双边缘。由此，我们可以知道，二阶微分在增强细节方面要比一阶微分好的多，这是一个适合锐化图像的理想特征。（任意阶微分都是线性操作）

拉普拉斯算子：各向同性二阶微分算子，其值通常为分别对 x、y 二阶微分的和

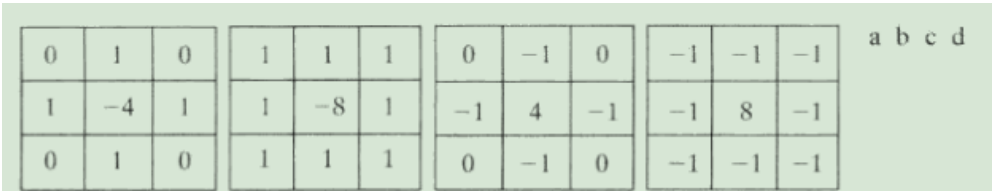
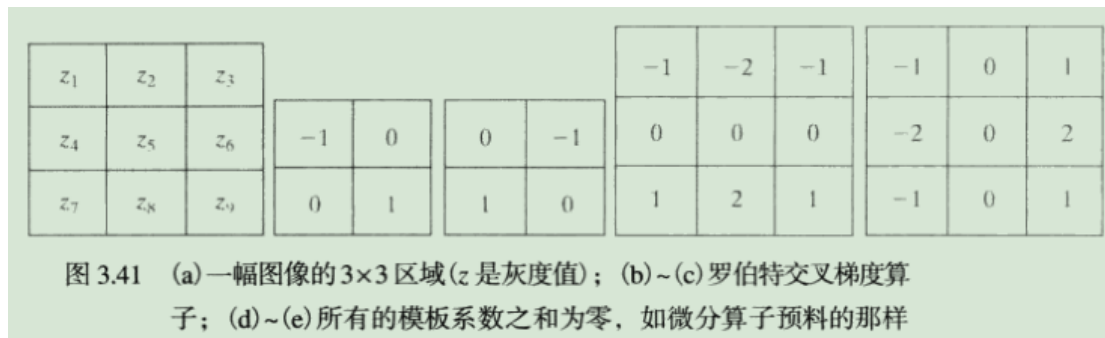


图 3.37 (a)实现式(3.6-6)所用的滤波器模板；(b)用于实现带有对角项的该公式的扩展的模板；(c)~(d)实践中常用的其他两个拉普拉斯实现

非锐化遮蔽与高提升滤波：①模糊原图像②从原图像中减去模糊图像（产生的差值图像称为模板）③将模板加到原图像上。其中，当加到原图像中的倍数大于 1 时为高提升滤波。

梯度（图像）：对 x 、 y 轴方向计算一阶微分的和确定的新灰度值图像

Soble 算子： $M(x, y) \approx |(z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)| + |(z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)|$



第4章 频率域滤波

欧拉公式： $e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$

傅里叶级数： $f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j\frac{2\pi n}{T}t}$, 其中 $c_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{-j\frac{2\pi n}{T}t} dt$, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

傅里叶变换及其反变换： $F(\mu) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi\mu t} dt$, $f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\mu) e^{j2\pi\mu t} d\mu$

傅里叶谱或频谱： $|F(\mu)|$, 其关于原点偶对称

带限函数：傅里叶变换为 0 的函数

取样定理：如果以超过函数最高频率的两倍的取样率来获取样本, 连续的带限函数可以完全地从它的样本集来恢复。完全等于最高频率的两倍的取样率成为奈奎斯特取样率。

抽取：不使用带限模糊方法对图像重取样的过程

莫尔（波纹）模式：在光学中指在两个近似等间隔的光栅之间产生的插拍模式

二维（离散）傅里叶变换（DFT）： $F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)}$, 极坐标表示为 $F(u, v) = |F(u, v)| e^{j\phi(u, v)}$

相角： $\phi(u, v) = \arctan \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right]$, 其中 R 、 I 分别为 $F(u, v)$ 的实部和虚部。关于原点奇对称

功率表谱： $P(u, v) = |F(u, v)|^2$

二维（离散）傅里叶反变换（IDFT）： $f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/M + vy/N)}$

空间和频率间隔的关系：频率域样本间的间隔与空间样本间的间距和样本数成反比

平移：用指数项乘以 $f(x, y)$ 将使 DFT 的原点移到点 (u_0, v_0) ; 反之, 用负指数乘以 $F(u, v)$ 将使 $f(x, y)$ 的原点移动到点 (x_0, y_0)

旋转：若 $f(x, y)$ 旋转 θ_0 角度, 则 $F(u, v)$ 也旋转相同的角度; 反之, 若 $F(u, v)$ 旋转一个角度, $f(x, y)$ 也旋转相同的角度

相位：是各个正弦分量关于原点的位移的度量

频率域滤波：由修改一幅图像的傅里叶变换然后计算其反变换得到处理后的结果

零相移滤波器：等同地影响实部和虚部而不影响相位的滤波器

空间和频率域滤波间的对应：频率域中的滤波定义为滤波函数与输入图像的傅里叶变换的乘积

理想低通滤波器（ILPF）：在以原点为圆心, 以 D_0 为半径的圆内, 无衰减地通过所有频率,

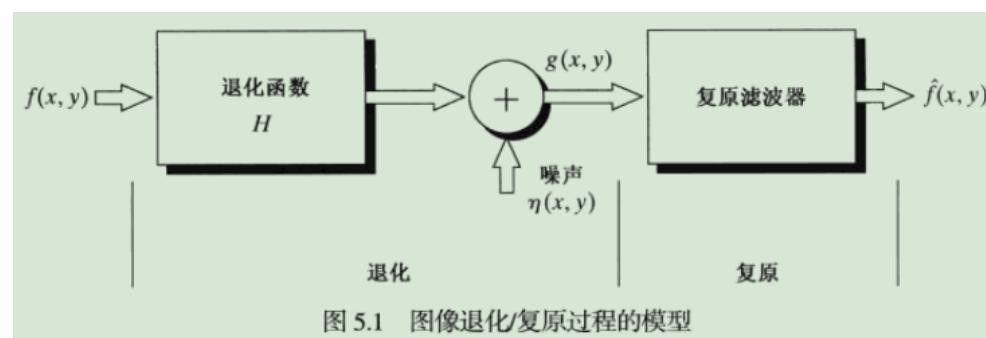
而在该圆外“切断”所有频率的二维低通滤波器，即圆外的为 0，圆内为 1。存在“振铃”现象

布特沃斯低通滤波器 (BLPF): 其传递函数并没有在通过频率和滤除频率之间给出明显截止的尖锐的不连续性。高阶 (>2) 时存在振铃效应

高斯低通滤波器 (GLPF): 无“振铃”效应。以上三个滤波器分别有对应的高通滤波器

第5章 图像复原与重建

图像复原: 主要目的是以预先确定的目标来改善图像，这是一个客观的过程。利用退化现象的某种先验知识来复原被退化的图像，因而，复原技术是面向退化模型的，并且采用相反的过程进行处理，以便恢复出原图像。该方法，通常会涉及设立一个最佳准则，它将产生期望结果的最佳估计。

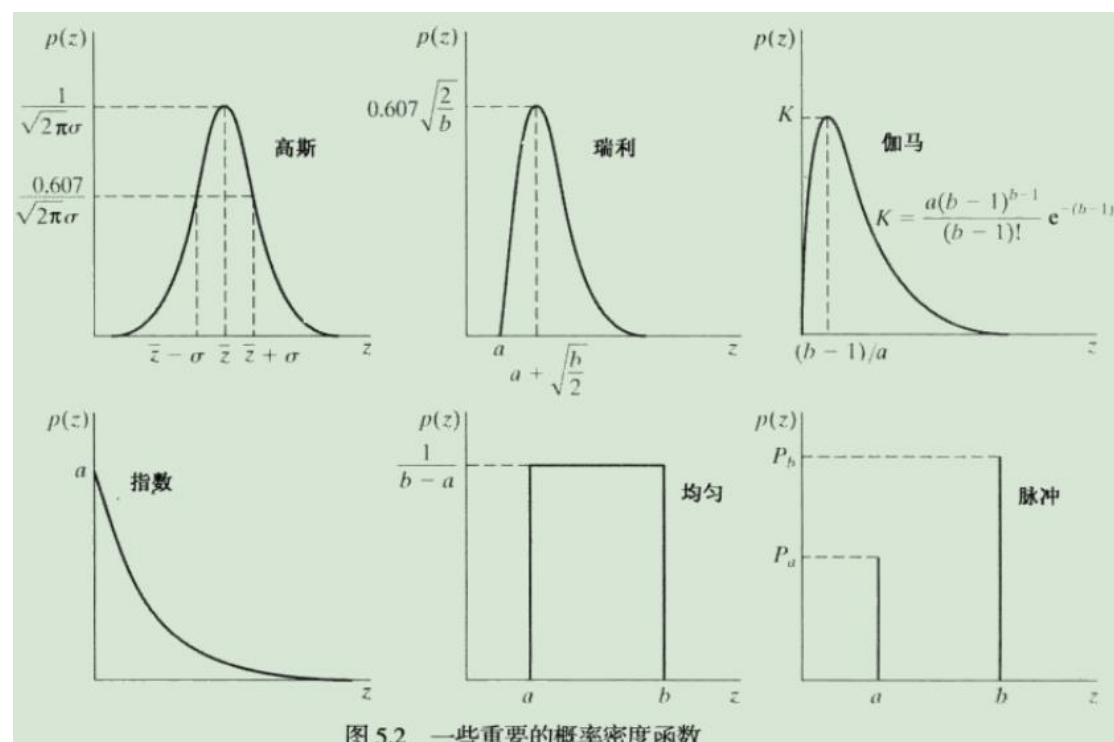


空间域中的退化图像表示: $g(x, y) = h(x, y) \star f(x, y) + \eta(x, y)$

等价的频率域表示(空间域的卷积等同于频率域的乘积): $G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v)$

频率特性: 指傅里叶域中噪声的频率内容(即相对于电磁波谱的频率)

白噪声: 当噪声的傅里叶谱是常量的时候。其中以相同比例包含所有频率的函数的傅里叶谱是一个常量



高斯噪声：也称正态噪声，源于诸如电子电路噪声以及由低照明度或高温带来的传感器噪声

瑞利噪声：对于近似歪斜的直方图十分适用，有助于在深度成像中表征噪声现象

爱尔兰噪声：也称伽马噪声，和指数噪声一样在激光成像中 useful

脉冲噪声：也称椒盐噪声、散粒噪声、尖峰噪声、单级脉冲等，其在快速过渡的情况下产生

均匀噪声：作为仿真中使用的许多随机数生成器的基础是非常有用的

周期噪声：是在图像获取期间由电力或机电干扰产生的（不同于以上噪声，是空间相关噪声）。可以通过频率域滤波来显著减少

算术均值滤波器： $\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn} \sum_{(s, t) \in S_{xy}} g(s, t)$ ，适合处理高斯或均匀随机噪声

几何均值滤波器： $\hat{f}(x, y) = \left[\prod_{(s, t) \in S_{xy}} g(s, t) \right]^{\frac{1}{mn}}$ ，相比算术均值滤波器效果更好

谐波均值滤波器：对盐粒噪声效果好，但不适合胡椒噪声，善于处理像高斯噪声那样的其他噪声

逆谐波均值滤波器：适合减少或在实际中消除椒盐噪声的影响。当其阶数为正时，消除胡椒噪声；为负时，消除盐粒噪声；为 0 时，简化为算术均值滤波器；为 -1 时是谐波滤波器

中值滤波器：属于统计排序滤波器。取像素邻域的中值来替代原像素的值。适用于随机噪声、单极或双极脉冲噪声

最大值和最小值滤波器：属于统计排序滤波器。最大值滤波器对于发现图像中的最亮点非常有用，适用于胡椒噪声；最小值滤波器同理，可减低盐粒噪声

中点滤波器：属于统计排序滤波器。计算滤波器包围区域中最大值和最小值之间的中点，对于随机分布噪声如高斯噪声或均匀噪声处理效果好

修正的阿尔法均值滤波器：属于统计排序滤波器。 $\hat{f}(x, y) = \frac{1}{mn-d} \sum_{(s, t) \in S_{xy}} g_r(s, t)$ 。d=0 时退化为算术均值滤波器；d=mn-1 时退化为中值滤波器；否则其在包括多种噪声的情况下很有用，例如高斯噪声和椒盐噪声混合的情况下

自适应局部降低噪声滤波器： $\hat{f}(x, y) = g(x, y) - \frac{\sigma_g^2}{\sigma_L^2} [g(x, y) - m_L]$

自适应中值滤波器：去除椒盐噪声，平滑其他非脉冲噪声，并减少诸如物体边界细化或粗化等失真

带阻滤波器：在频率域噪声分量的一般位置近似已知的应用中消除噪声，利用的是理想、布特沃斯和高斯带阻滤波器来降低周期噪声

陷波滤波器：阻止（或通过）事先定义的中心频率的邻域内的频率

去卷积滤波器：用于复原处理的滤波器

最小均方误差（维纳）滤波：一个复数量与其共轭的乘积等于该复数量幅度的平方

信噪比（SNR）：该比值给出了携带信息的信号功率（即原始的或退化的原图像）水平与噪声功率水平的度量，用于表征复原算法的性能

第6章 彩色图像处理

描述彩色光源质量的基本量：辐射、光强、亮度

辐射：从光源流出的能量的总量，单位是瓦特

光强：用流明来度量，它给出观察者从光源感知的能量总和的度量

区别不同颜色特性的指标：亮度、色调、饱和度

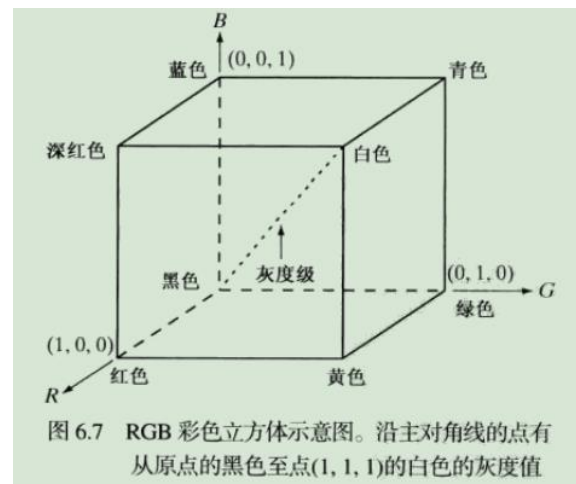
亮度：表达了无色的强度概念

色调：光波混合中与主波长有关的属性，表示观察者感知的主要颜色。我们通常所说的颜色就是指色调

饱和度：相对的纯净度，或一种颜色混合白光的数量，饱和度与所加白光的数量成反比

色度：色调+饱和度

全彩色图像：通常用来表示一幅 24 比特的 RGB 彩色图像

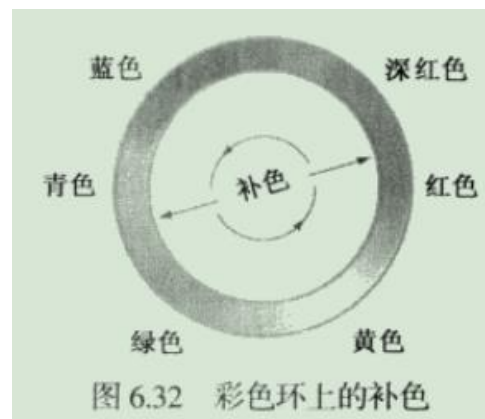
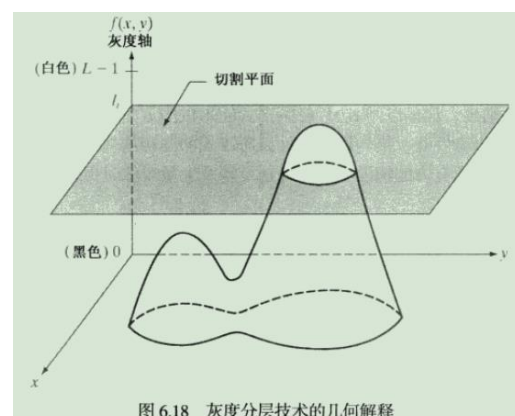


CMY 彩色模型（青色、深红色和黄色）：主要用于产生硬拷贝输出，计算公式
$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

CMYK 彩色模型（CMY 再加黑色）：CMY 彩色模型产生的黑色不纯，而出版社所说的“四色打印”就是所说的该模型。（等量的青色、深红色和黄色产生不纯的黑色）

HIS 彩色模型：色调、强度和饱和度

灰度分层：用垂直于灰度轴的平面切割原灰度图像，平面的每一侧赋以不同的颜色。多个灰度级时，采用一种阶梯形式。



补色：与色调直接相对的另一端的颜色

第7章 小波和多分辨率处理