

《数字图像处理》复习

第一章 绪论

数字图像处理技术的基本内容：图像变换、图像增强、图像恢复、图像压缩编码、图像分割、图像特征提取（图像获取、表示与描述）、彩色图像处理和光谱及高光谱图像处理、形态学图像处理

第二章 数字图像处理基础

2-1 电磁波谱与可见光

1. 电磁波射波的成像方法及其应用领域：

无线电波（1m-10km）可以产生磁共振成像，在医学诊断中可以产生病人身体的横截面图像

微波（1mm-1m）用于雷达成像，在军事和电子侦察领域十分重要

红外线（700nm-1mm）具有全天候的特点，不受天气和白天晚上的影响，在遥感、军事情报侦察和精确制导中广泛应用

可见光（400nm-700nm）最便于人理解和应用最广泛的成像方式，卫星遥感、航空摄影、天气观测和预报等国民经济领域

紫外线（10nm-400nm）具有显微镜方法成像等多种成像方式，在印刷技术、工业检测、激光、生物学图像及天文观测

X射线（1nm-10nm）应用于获取病人胸部图像和血管造影照片等医学诊断、电路板缺陷检测等工业应用和天文学星系成像等

伽马射线（0.001nm-1nm）主要应用于天文观测

2-2 人眼的亮度视觉特征

2. 亮度分辨力——韦伯比 I/I_0 （ I —光强 I_0 —光照增量），韦伯比小意味着亮度值发生较小变化就能被人眼分辨出来，也就是说较小的韦伯比代表了较好的亮度分辨力

2-3 图像的表达

3. 黑白图像：是指图像的每个像素只能是黑或白，没有中间的过渡，一般又称为二值图像（黑白图像一定是二值图像，二值图像不一定是黑白图像）

灰度图像：是指图像中每个像素的信息是一个量化了的灰度级的值，没有彩色信息。

彩色图像：彩色图像一般是指每个像素的信息由 R、G、B 三原色构成的图像，其中的 R、B、G 是由不同的灰度级来描述的。

4. 灰度级 L 、位深度 k $L=2^k$

5. 储存一幅 $M \times N$ 的数字图像所需的比特 $b=M \times N \times k$

例如，对于一幅 600×800 的 256 灰度级图像，就需要 480KB 的储存空间（1KB=1024Byte 1Byte=8bit）

2-4 空间分辨率和灰度级分辨率

6. 空间分辨率是图像中可分辨的最小细节，主要由采样间隔值决定，反映了数字化后图像的实际分辨率。一种常用的空间分辨率的定义是单位距离内可分辨的最少黑白线对数目（单位是每毫米线对数），比如每毫米 80 线对。对于一个同样大小的景物来说，对其进行采样的空间分辨率越高，采样间隔就越小，图片的质量就越高。

7. 灰度级分辨率是指在灰度级别中可分辨的最小变化，通常把灰度级级数 L 称为图像的灰度级分辨率（灰度级通常是 2 的整数次幂）

8. 在图像空间分辨率不变的情况下，采样数越少，图像越小。同时也证实了，在景物大小不变的情况下，图像阵列 $M \times N$ 越小，图像的尺寸就越小；

随着空间分辨率的降低，图像大小尺寸不变，图像中的细节信息在逐渐损失，棋盘格似的粗颗粒像素点变得越来越明显。由此也说明，图像的空间分辨率越低，图像的视觉效果越差；

随着灰度分辨率的降低，图像的细节信息在逐渐损失，伪轮廓信息在逐渐增加。由于伪轮

廓信息的积累，图像已显现出了木刻画的效果。由此也说明：灰度分辨率越低，图像的视觉效果越差。

2-5 像素间的关系

9. 图像中像素的相邻与邻域有 3 种：相邻像素与 4 邻域 ($N_4(p)$)、对角相邻像素与 4 对角邻域 ($N_D(p)$)、8 邻域 ($N_8(p)$)

10. 像素间有 3 种类型的邻接性：

4 邻接：若像素 p 和像素 q 的灰度值均属于 V 中的元素，且 q 在 $N_4(p)$ 中，则 p 和 q 为 4 邻接

8 邻接：若像素 p 和像素 q 的灰度值均属于 V 中的元素，且 q 在 $N_8(p)$ 中，则 p 和 q 为 8 邻接

m 邻接（混合邻接）：若像素 p 和像素 q 的灰度值均属于 V 中的元素，如果 q 在 $N_4(p)$ 中或者 q 在 $N_D(p)$ 中且 $N_4(p) \cap N_4(q)$ 中没有值为 V 中元素的像素，则 p 和 q 为 m 邻接

第三章 数字图像的基本运算

3-1 灰度反转

1. 对于灰度级为 L 的图像，灰度反转可以表示为 $g(x,y)=L-1-f(x,y)$

3-2 对数变换

2. 对原图像 $f(x,y)$ 进行对数变换的解析式可表示为： $g(x,y)=c \cdot \log(1+f(x,y))$

主要作用是对原图像的灰度值动态范围进行压缩，主要用于调高输入图像的低灰度值

——拓展：幂变换： $s=c \cdot r^\alpha$ ，又叫伽玛校正，和对数变换的原理差不多，可变宽带的输入像素值范围可选了，把低值带拉伸还是把高值拉伸要看伽马的设定了。

分段线性变换：分为：对比拉伸、灰度切割、位图切割

3-3 灰度直方图

3. 灰度图像的直方图是一种表示数字图像中各级灰度值及其出现频数的关系的函数，一般用一个二维坐标来表示。描述灰度图像直方图的二维坐标的横坐标用于表示像素的灰度级别，纵坐标用于表示该灰度出现的频数（像素的个数）。

设一幅数字图像的灰度级范围为 $[0, L-1]$ ，则该图像的灰度直方图可定义为：

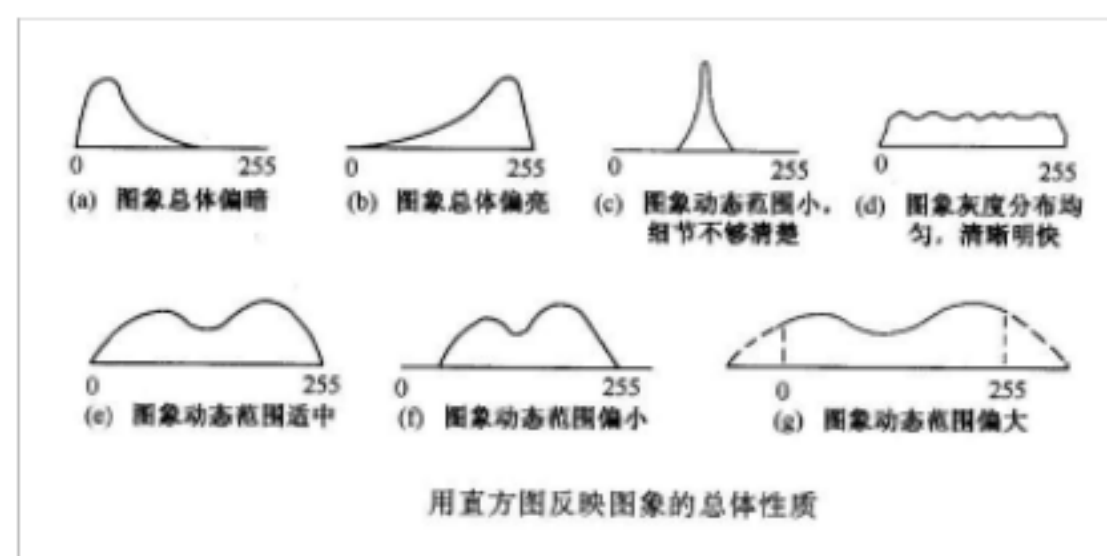
$h(r_k)=n_k$ $r_k=0,1,2, \dots, L-1$ ，其中 r_k 表示第 k 级灰度值； n_k 表示图像中灰度值为 r_k 的像素的个数； $h(r_k)$ 是灰度图像的直方图函数。

4. 归一化灰度图像直方图

$$P(r_k) = \frac{n_k}{n} \quad 0 \leq r_k \leq L-1; k=0, 1, \dots, L-1$$

r_k 表示第 k 级灰度值； n_k 表示图像中灰度值为 r_k 的像素的个数； n 是图像像素的总个数， $P(r_k)$ 是 r_k 出现概率的估计。

5. 灰度直方图的特征（直方图不反映灰度值的像素在图像中位置方面的任何信息）



3-5 图像的代数运算

6. 图像的加法： $g(x,y)=f_1(x,y)+f_2(x,y)$

- 1) 相加后做平均 2) 将所有像素值相加后做等比例缩小 3) 当相加超过最大时取最大值

图像的减法： $g(x,y)=f_1(x,y)-f_2(x,y)$

当结果小于零时一般取零

3-6 图像的几何运算

7. 图像的放大：设原图像大小为 $M \times N$ 放大为 $k_1 M \times k_2 N$ ($k_1 > 1, k_2 > 1$)，算法步骤如下：

(1) 设旧图像是 $F(i,j), i=1,2,\dots,M, j=1,2,\dots,N$ ；新图像是 $G(x,y)$

(2) $G(x,y) = F(c_1 i, c_2 j)$ $c_1 = 1/k_1, c_2 = 1/k_2$

例：设已知有一个 3×3 的灰度图像，如下所示，请利用非整数倍放大图像的最近邻插值法将该图像放大为 4×4 的图像。

234 38 22
67 44 12
89 65 63

解：hold=3 hnew=4 wold=3 wnew=4

$x_{new} * (hold/hnew) = (0,1,2,3) * (3/4) = (0,3/4,3/2,9/4) = (0,1,2,2)_{old}$

$y_{new} * (wold/wnew) = (0,1,2,3) * (3/4) = (0,3/4,3/2,9/4) = (0,1,2,2)_{old}$

即：234 38 22 22

67 44 12 12

89 65 63 63

89 65 63 63

第四章 空间域图像增强

4-2 基于直方图的图像增强方法

1. 直方图均衡化：所谓直方图均衡，就是把一已知灰度概率分布的图像，变换成具有均匀概率分布的新图像的过程

设 r 为待增强的原图像的归一化灰度值， $0 \leq r \leq 1$ ； s 为增强后的新图像的归一化灰度值，且 $0 \leq s \leq 1$ ； $n(r)$ 为原图像中灰度值为 r 的像素的个数，其概率分布密度为 $p_r(r)$ 。直方图均衡即是找一种变换，使具有任意概率分布密度的直方图的图像，变换成接近于均匀概率分布密度的直方图的图像。

例：已知有一幅大小为 64×64 的图像，灰度级为 8。图像中各灰度级的像素数目 $n_0=790, n_1=1023, n_2=850, n_3=656, n_4=329, n_5=245, n_6=122, n_7=81$ (总数为 4096)

归一化灰度分布及概率：

k	$r_k=k/7$	n_k	$P_r(r_k)=n_k/n$
0	0.0	790	0.19
1	0.143	1023	0.25
2	0.286	850	0.21
3	0.429	656	0.16
4	0.571	329	0.08
5	0.714	245	0.06
6	0.857	122	0.03
7	1.0	81	0.02

根据直方图均衡化公式求变换函数的各灰度等级值

$$s_0 = T(r_0) = \sum_{j=0}^0 \frac{n_j}{n} = \frac{790}{4096} = 0.19$$

同理， $s_1=0.44, s_2=0.65, s_3=0.81, s_4=0.89, s_5=0.95, s_6=0.98, s_7=1.0$

将 s_k 值按靠近原则对应到原灰度级别中 (标准):

$s_0 = 0.143=1/7$, $s_1 = 0.429=3/7, s_2 = 0.714=5/7, s_3 = 0.857=6/7, s_4 = 0.95=6/7, s_5 = 0.98=6/7, s_6 = 0.98=6/7, s_7 = 1$

将所得的变换函数的各灰度等级值转化成标准的灰度级别值

r_k	n_k	$p(r_k)$	s_k 计算	s_k 舍入	s_k	n_{s_k}	$p(s_k)$
$r_0=0$	790	0.19	0.19	1/7	s_0	790	0.19
$r_1=1/7$	1023	0.25	0.44	3/7	s_1	1023	0.25
$r_2=2/7$	850	0.21	0.65	5/7	s_2	850	0.21
$r_3=3/7$	656	0.16	0.81	6/7	s_3	985	0.24
$r_4=4/7$	329	0.08	0.89	6/7	s_4	448	0.11
$r_5=5/7$	245	0.06	0.95	1	s_5	448	0.11
$r_6=6/7$	122	0.03	0.98	1	s_6	448	0.11
$r_7=1$	81	0.02	1.00	1	s_7	448	0.11

即得到均衡化后的新图像的直方图

4-2 图像锐化

2. 图像锐化是一种突出和加强图像中景物边缘和轮廓的技术

Sobel 算子和 robert 算子是一阶导数算子

拉普拉斯锐化算子是二阶微分算子

一阶导和二阶导性能分析：一阶导数通常在图像中产生较厚的边缘；二阶导数对细节有较强的响应，如细线和孤立点；一阶导数通常对灰度级有较强的响应；二阶导数在灰度阶跃变化下产生双重响应。

第五章 频率与图像增强

5-1 二维离散傅里叶变换

1. 意义：将空间域复杂的卷积运算转化为频域简单的乘积运算

2. 重要性质：变换系数矩阵、周期性、共轭对称性、平移性

可分离性：

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j 2\pi (xu + yv)] = \sum_{x=0}^{N-1} \exp[-j 2\pi xu] \left(\sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp[-j 2\pi yv] \right)$$

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

上述的可分离表示形式说明，可以连续运用两次一维 DFT 来实现一个二维 DFT

平均数：

一幅图像的灰度平均值可表示为：

$$\bar{f} = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)$$

如果将 $u=v=0$ 代入 $F(u, v)$ 可得：

$$F(0, 0) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y)$$

所以，一幅图像的灰度平均值可由 DFT 在 origin 处的值求得，即：

$$\bar{f} = \frac{1}{N} F(0, 0)$$

旋转不变性：如果引入极坐标

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases} \quad \begin{cases} u = \rho \cos \phi \\ v = \rho \sin \phi \end{cases}$$

则 $f(x,y)$ 和 $F(u,v)$ 分别变为 $f(r, \theta)$ 和 $F(\rho, \phi)$ 。在极坐标系中，存在以下变换对

$$f(r, \theta + \theta_0) \Leftrightarrow F(\rho, \phi + \phi_0)$$

上式表明，如果空间域函数 $f(x,y)$ 旋转 θ_0 角度后，相应的傅立叶变换 $F(u,v)$ 在频域中也旋转同 θ_0 角度。同理， $F(u,v)$ 在频域中旋转 ϕ_0 角度，其反变换 $f(x,y)$ 在空间域中也旋转 θ_0 角度。

5-2 频率域图像处理的基本实现思路

3. 基本思想：由傅立叶频谱的特性可知， u 和 v 同时为 0 时的频率成分对应于图像的平均灰度级。当从（傅立叶）变换的原点离开时，低频对应着图像的慢变化分量，比如一幅图像中较平坦的区域；当进一步离开原点时，较高的频率开始对应图像中变化越来越快的灰度级，它们反映了一幅图像中物体的边缘和灰度级突发改变（如噪声）部分的图像成分。

频率域图像增强正是基于这种机理，通过对图像的傅立叶频谱进行低通滤波（使低频通过，使高频衰减）来滤除噪声，通过对图像的傅立叶频谱进行高通滤波（使高频通过，使低频衰减）突出图像中的边缘和轮廓。

4. 基本步骤：（1）用 $(-1)^{x+y}$ 乘以输入图像，进行中心变换；

（2）对步骤（1）的计算结果图像 $(-1)^{x+y}f(x,y)$ 进行二维傅立叶变换，即求 $F(u,v)$ ；

（3）用设计的转移函数 $H(u,v)$ 乘以 $F(u,v)$ ，即按 $G(u,v) = F(u,v) H(u,v)$ 求 $G(u,v)$ ；

（4）求步骤（3）的计算结果的傅立叶反变换，即计算 $F^{-1}[G(u,v)]$ ；

（5）取步骤（4）的计算结果的实部；

（6）用 $(-1)^{x+y}$ 乘以步骤（5）的计算结果，就可得到通过频率域增强后的图像 $g(x,y)$ 。

5-3 基于频率域的图像噪声消除 - 频率域低通滤波

5. 理想低通滤波器（ILPF）

转移函数定义：

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

其中， D_0 是 1 个非负整数， $D(u,v)$ 为频率平面从原点到点 (u,v) 的距离。并且随着频率平面原点位置的不同， $D(u,v)$ 的值也不同

$D(u,v)$ 的值：

(1) 如果图像为 $f(x,y)$ ，则对 $f(x,y)$ 进行傅立叶变换后的频率平面的原点在 $(0,0)$ ，这时从点 (u,v) 到频率平面原点 $(0,0)$ 的距离为：

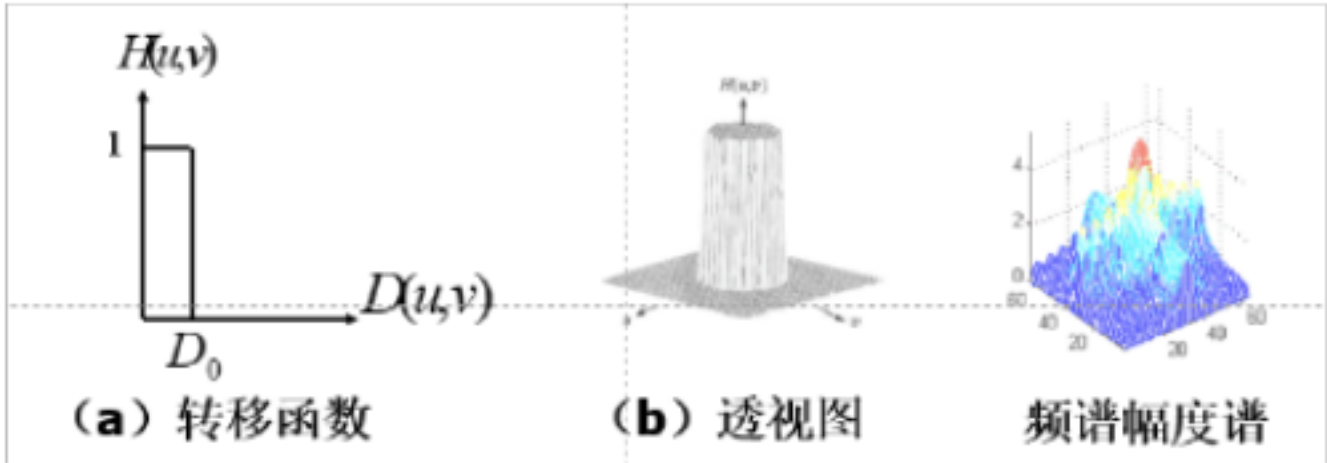
$$D(u,v) = (u^2 + v^2)^{1/2}$$

(2) 如果图像 $f(x,y)$ 的尺寸为 $M \times N$ ，则对 $(-1)^{x+y}f(x,y)$ 进行傅立叶变换后的频率平面的原点在 $(M/2, N/2)$ ，这时从点 (u,v) 到频率平面原点 $(M/2, N/2)$ 的距离为：

$$D(u,v) = [(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2]^{1/2}$$

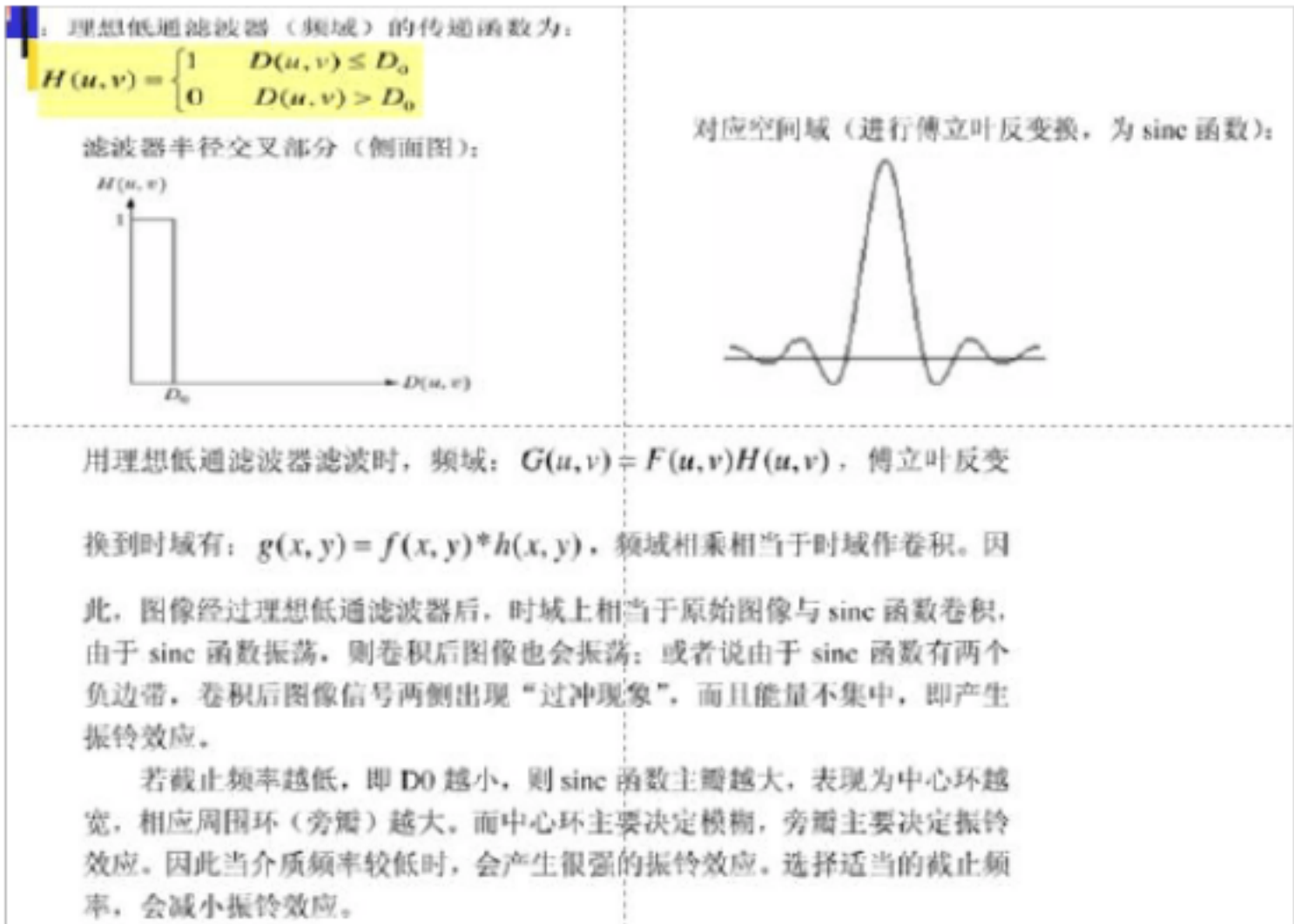
含义：在半径为 D_0 的圆内，所有的频率没有衰减地通过该滤波器；而在此半径的圆之外的所有频率完全被衰减掉。所以称 D_0 为截止频率。

理想低通滤波器的转移函数横截面图和透视图：



该透视图的含义是：只有那些位于该圆柱体内的频率范围的信号才能通过，而位于圆柱体外的频率成分都将被滤除掉。

【补充】振铃效应



6. 巴特沃斯低通滤波器 (BLPF)

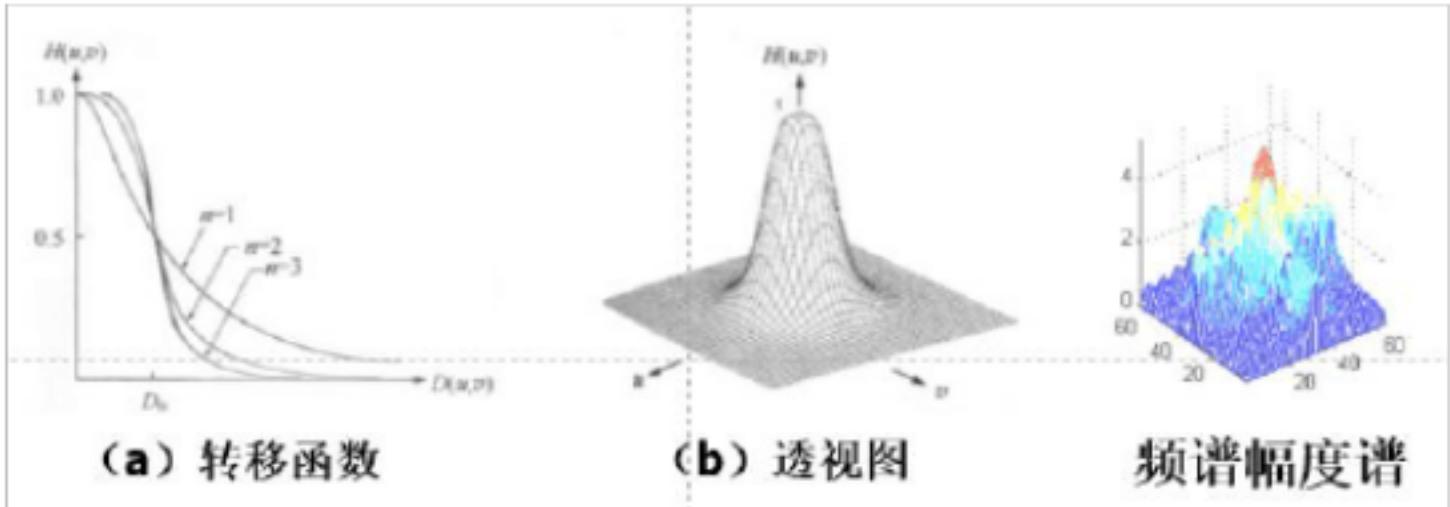
转移函数定义：

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

其中，D0为截止频率，D(u,v)为频率平面从原点到点(u,v)的距离

$$D(u,v) = [(u - M/2)^2 + (v - N/2)^2]^{1/2}$$

转移函数横截面图和透视图 (阶数为 1 ~ 3)



透视图的含义是：只有那些位于该草帽型体内的频率范围的信号才能通过，而位于草帽型体外的频率成分都将被滤除掉

【补充】滤波器阶次效应：巴特沃斯滤波器有一个参数，称为滤波器的阶。对于这个参数的高值，巴特沃斯滤波器接近理想滤波器的形式。对于低阶值，巴特沃斯滤波器光滑的形式类似于高斯滤波器。因此，巴特沃斯滤波器可以被看作是两个极端之间的过渡。

【补充】振铃效应在理想低通滤波器到巴特沃斯滤波器到高斯低通滤波器是从有到无的过程，巴特沃斯滤波器为一个过度

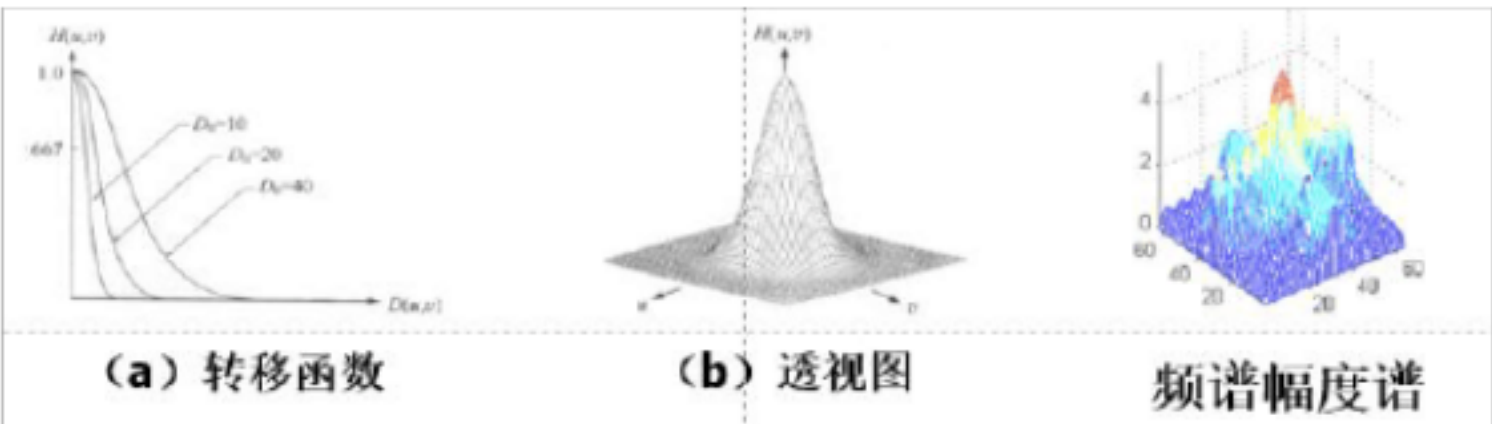
7. 高斯低通滤波器 (GLPF)

转移函数定义： $H(u,v) = e^{-D^2(u,v) / 2D_0^2}$

其中， $D(u,v)$ 为频率平面从原点到点 (u,v) 的距离，表示高斯曲线扩展的程度。当 $D_0=0$

时，可得到高斯低通滤波器的一种更为标准的表示形式： $H(u,v) = e^{-D^2(u,v) / 2D_0^2}$

转移函数横截面图和透视图 ($D=10,20,30$)



透视图的含义是：只有那些位于该草帽型体内的频率范围的信号才能通过，而位于草帽型体外的频率成分都将被滤除掉。

第六章 图象恢复

- 1. 所谓图像恢复，就是使退化了的图像去除退化因素，并以最大保真度恢复成原来图像的一种技术。
- 2. 图像增强与图像恢复的区别：图像恢复与图像增强的研究内容有一定的交叉性。一般认为，图像增强是一种改进图像视觉效果的技术；而图像恢复是一种对退化（或品质下降）了的图像去除退化因素，并进而复原或重建被退化了的图像的技术。根据以上定义，通过去模糊函数去除图像模糊应属于一种图像恢复技术

3. 图像的退化过程可理解为施加于原图像上的运算和噪声两者联合作用的结果

4. 图像增强——过曝；图像恢复——模糊

第七章 图像压缩编码

7-3 几种最基本的变长编码方法

1. 变长编码的基本思想是用尽可能少的比特数表示出现概率尽可能大的灰度级，以实现数据的压缩编码。由于利用这些编码方法得到的码字长度是不相等的，所以称为变长编码

2. 霍夫曼编码

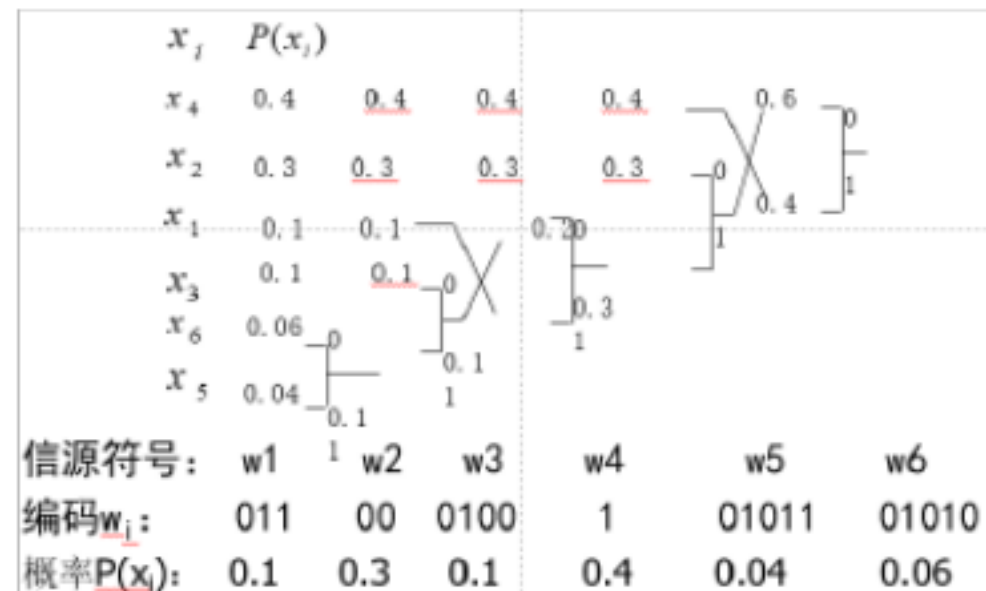
若设输入的离散信源符号集为 $X=\{x_0,x_1, \dots ,x_n\}$ ，其出现概率为 $P(x_i)$ ，欲求的霍夫曼编码为 $W=\{w_0,w_1,\dots, w_n\}$ ，则霍夫曼编码方法的步骤为：

- (1) 把输入的信源符号和其出现的概率按概率值的大小顺序从上到下依次并列排列。
- (2) 把最末两个具有最小概率的元素的概率进行相加，再把相加得到的概率与其余概率按大小顺序
- (3) 重复 (2)，直到最后只剩下两个概率为止。如果再把剩余的两个概率合并作为树根，那么从后向前直至每个信源符号（的初始概率）就形成了一棵二叉树。
- (4) 从最后的二叉树根开始为每个节点的分支逐步向前进行编码，给概率较大（上方）的分支赋予 0，给概率较小（下方）的分支赋予 1。

(5) 从树根到每个树叶的所有节点上的 0 或 1 就构成了该树叶，也即对应的信源符号，的编码。序从上到下进行排列。

例 设有信源符号集 $X=\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}$ ，其概率分布分别为 $P(x_1)=0.1$ ， $P(x_2)=0.3$ ， $P(x_3)=0.1$ ， $P(x_4)=0.4$ ， $P(x_5)=0.04$ ， $P(x_6)=0.06$ ，求其霍夫曼编码。

解：编码过程为：



熵为：

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^6 P(x_i) \cdot l_i = 0.1 \times 3 + 0.3 \times 2 + 0.1 \times 4 + 0.4 \times 1 + 0.04 \times 5 + 0.06 \times 5 = 2.2 \text{ (bit)}$$

2. 霍夫曼编码的优点：(1) 当对独立信源符号进行编码时，霍夫曼编码可对每个信源符号产生可能是最少数量（最短）码元的码字。(2) 霍夫曼编码是所有变长编码中平均码长最短的。如果所有信源符号的概率都是 2 的指数，霍夫曼编码的平均长度将达到最低限，即信源的熵。

(3) 对于二进制的霍夫曼编码，平均码字的平均长度满足关系： $H < \bar{L} < H + 1$

第九章 图像分割

1. 图像分割的依据是认为图像中各区域具有不同的特性（比如，灰度、颜色、纹理）。图像分割的目的是将图像划分成若干具有相近或相同特性的子区域，以便继续在分割成的相关区域中提取目标，并进而根据目标的特征或结构信息对其进行分类和识别，最后再给出对整幅图像分析结果的描述信息。

2. 灰度图像的分割：灰度图像分割的依据是基于相邻像素灰度值的不连续性和相似性。也即，同一区域内部的像素一般具有灰度相似性，而在不同区域之间的边界上一般具有灰度不连续性。

灰度图像的各种分割算法分为利用区域间灰度不连续的基于边界的图像分割算法和利用区域内灰度相似性的基于区域的图像分割算法。

9-2 基于边缘检测的图像分割

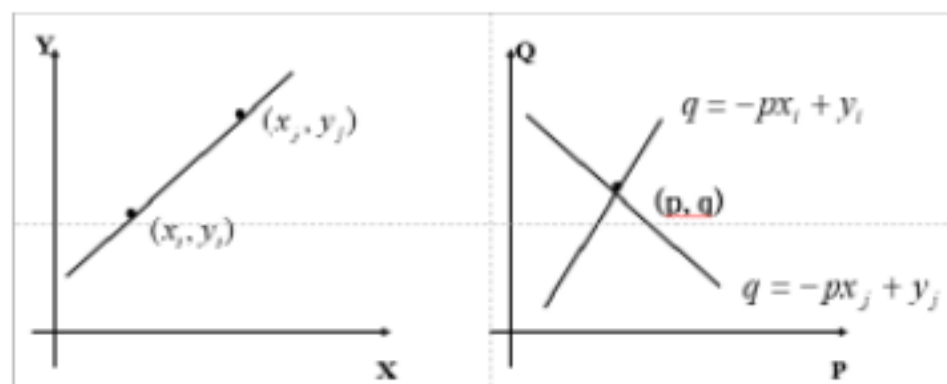
3. Hough（哈夫）变换的基本思想是将图像空间 $X-Y$ 变换到参数空间 $P-Q$ ，利用图像空间 $X-Y$ 与参数空间 $P-Q$ 的点 - 线对偶性，通过利用图像空间 $X-Y$ 中的边缘数据点去计算参数空间 $P-Q$ 中的参考点的轨迹，从而将不连续的边缘像素点连接起来，或将边缘像素点连接起来组成封闭边界的区域，从而实现对图像中直线段、圆和椭圆的检测。

4. Hough 变换的基本原理：

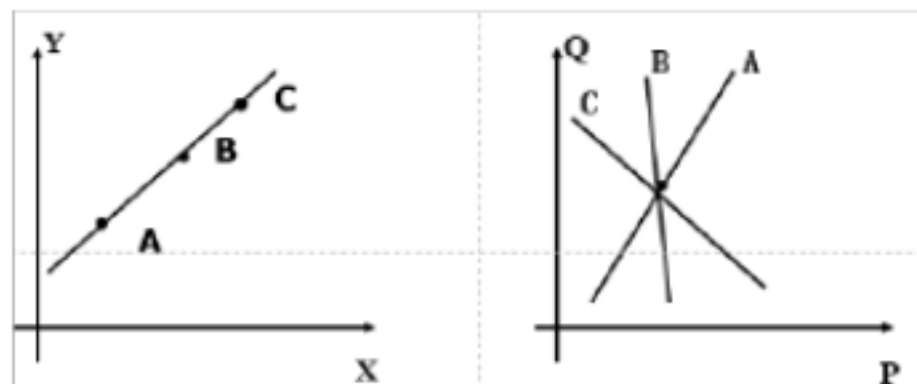
设在图像空间中，所有过点 (x, y) 的直线都满足方程： $y = px + q$ ，若将其改写成 $q = -px + y$ ，这时， p 和 q 可以看作是变量，而 x 和 y 是参数，上式就可表示参数空间 $P-Q$ 中过点 (p, q) 的一条直线。一般地，对于过同一条直线的点 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) ，有图像空间方程： $y_i = px_i + q$ ， $y_j = px_j + q$ ，参数空间方程： $q = -px_i + y_i$ ， $q = -px_j + y_j$

由此可见，图像空间 $X-Y$ 中的一条直线（因为两点可以决定一条直线）和参数空间 $P-Q$ 中的一

点相对应；反之，参数空间 P-Q 中的一点和图像空间 X-Y 中的一条直线相对应。



把上述结论推广到更一般的情况：如果图像空间 X-Y 中的直线上有 n 个点，那么这些点对应参数空间 P-Q 上的一个由 n 条直线组成的直线簇，且所有这些直线相交于同一点。

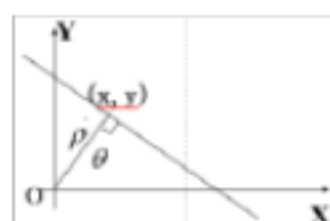


5. 经典的 Hough 变换：

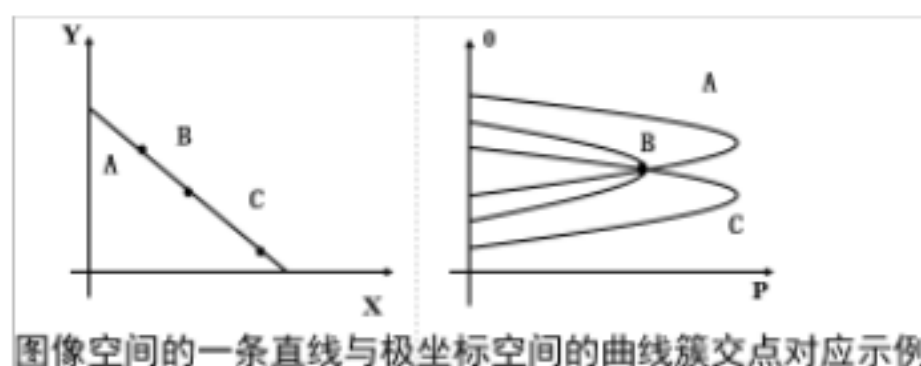
在实际中，当用 $y=px+q$ 表示的直线方程接近竖直（也即当该直线的斜率接近无穷大）或为垂直时，则会由于参数空间中 p 和 q 的值接近无穷大或为无穷大而无法表示，所以一般通过极坐标方程进行 Hough 变换。直线 L 的法向参数在极坐标中表示为：

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta = \sqrt{x^2 + y^2} \sin(\theta + \arctan \frac{x}{y})$$

其中， ρ 是直角坐标系的原点到直线 L 的法线距离， θ 是该法线（直线 L 的垂线）与轴的正向夹角



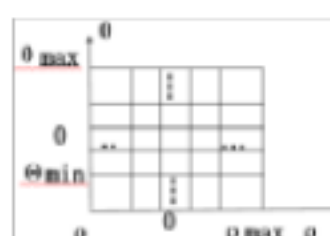
在上式的意义下，图像空间 X-Y 中的一条直线就与极坐标空间 O- ρ 中的一组曲线的交点一点一一对应；反之，图像空间 X-Y 中的一点与极坐标空间 O- ρ 中的一条曲线相对应。这样就把图像空间中的直线检测转化为参数空间中曲线的交点的检测了。



图像空间的一条直线与极坐标空间的曲线簇交点对应示例

6. 用 Hough 变换提取图像中直线的方法

在实现时，要根据精度要求将参数空间 O- ρ 离散化成一个累加器阵列，也即将参数空间细分成一个个网格阵列（也即把每个网格近似看作是一点，认为通过每个网格的曲线近似相交于该网格对应的“点”），其中的每一个格子对应一个累加器（用于记录相交于该点的曲线数）



设图像中的边缘上的点共有 m 个，用 Hough 变换提取直线的算法可描述如下：

- (1) 以一定的量化间隔将自变量参数离散化，离散取值为 k ， $k=1, 2, \dots, n$ 。
- (2) 输入图像中边缘上的每一个数据点 (x_i, y_i) ，且 $i=1, 2, \dots, m$ ；并对每一个 k 做 Hough 变换，得到 $m \times n$ 个 ik 值。
- (3) 用给定的因变量量化间隔对所有的 $m \times n$ 个 ik 进行量化分区，且设的间隔总数为 h 个，也即建立的 θ - ρ 平面的网格总数为 $n \times h$ 个。
- (4) 建立一个参数空间累加器 $H_{n \times h}$ ，并置每个元素为 0。
- (5) 对 $m \times n$ 中的所有元素 (i, k) 考察是否对累加单元 $H(k, j)$ 投票，这里 $j=1, 2, \dots, h$ 。若投票，则在相应的累加单元上加 1，也即 $H(k, j) = H(k, j) + 1$ 。
- (6) 找出对应图像平面上共线点的累加器的局部峰值。
- (7) 如果 $H(\text{peak}, \text{peak}) > T$ (阈值)，查找与其相关的像素并组合成直线，即确定了由峰值参数 $(\text{peak}, \text{peak})$ 决定的直线，输出直线。

9-3 基于阈值的图像分割

7.

9-3 基于跟踪的图像分割

8. 轮廓跟踪、光栅跟踪

9-3 基于区域的图像分割

9. 区域生长法、分裂合并法

9-3 基于聚类的图像分割

10.

第十章 图像特征提取

10-3 图像的纹理特征及其描述和提取方法

1. 图像纹理的主要特性

对纹理的特征可定性地用以下一种或几种描述来表征：粗糙的、细致的、平滑的、颗粒状的、划线状的、波纹状的、随机的、不规则的，等等。

纹理是一种有组织的区域现象，其基本特征是移不变性，也即对纹理的视觉感知基本与其在图像中的位置无关。这种移不变性可能是确定性的，也可能是随机的，但也可能存在着介于这两者之间的类别。

- 1) 粗糙度。纹理基元是具有局部灰度特征和结构特征的。纹理的粗糙度与纹理基元的结构及尺寸，以及纹理基元的空间重复周期有关。纹理基元的尺寸大则意味着纹理粗糙，其尺寸小则意味着纹理细致；纹理基元的空间周期长意味着纹理粗糙，周期短则意味着纹理细致。如同在同样观察条件下毛织品要比丝织品粗糙一样。粗糙度是最基本、最重要的纹理特征。从狭义的观点来看，纹理就是粗糙度。
- 2) 方向性。某个像素点的方向性是指该像素点所在的邻域所具有的方向性。所以，纹理的方向是一个区域上的概念，是在一个大的邻域内呈现出的纹理的方向特性。比如，斜纹织物具有的明显的方向性，就是从一个大的邻域内的统计特性角度表现出的纹理特征的方向性。根据纹理自身的方向性，纹理可分为各向同性纹理和各向异性纹理。
- 3) 规则性。纹理的规则性是指纹理基元是否按照某种规则（规律）有序的排列。如果纹理图像（或图像区域）是由某种纹理基元按某种确定的规律排列而形成，则称为规则性纹理；如果纹理图像（或图像区域）是由某种纹理基元随机性的排列而形成，则称为非规则性纹理。

2. 图像纹理特征描述与提取方法

1) 统计分析法

统计分析法又称为基于统计纹理特征的检测方法，主要包括灰度直方图法、灰度共生矩阵法、灰度行程长度法、灰度差分统计、交叉对角矩阵、自相关函数法等。

根据小区域纹理特征的统计分布情况，通过计算像素的局部特征分析纹理的灰度级的空间分布。统计分析法对木纹、沙地、草地这种完全无法判断结构要素和规则的图像的分析很有效。

该类方法的优势是方法简单、易于实现，尤其是灰度共生矩阵法是公认的有效方法。

2) 结构分析法

结构分析方法认为纹理基元几乎具有规范的关系，因而假设纹理图像的基元可以分离出来，并以基元的特征和排列规则进行纹理分割。

该方法根据图像纹理小区域内的特点和它们之间的空间排列关系，以及偏心度、面积、方向、矩、延伸度、欧拉数、幅度周长等特征分析图像的纹理基元的形状和排列分布特点，目的是获取结构特征和描述排列的规则。结构分析法主要应用于已知基元的情况，对纤维、砖墙这种结构要素和规则都比较明确的图像分析比较有效。

3) 模型分析法

模型分析方法根据每个像素和其邻域像素存在的某种相互关系及平均亮度为图像中各个像素点建立模型，然后由不同的模型提取不同的特征量，也即进行参数估计。

典型的模型分析法有自回归方法、马尔可夫随机场方法和分形方法等。本方法的研究目前进展比较缓慢。

4) 频谱分析法

频谱分析方法又称为信号处理法和滤波方法。该方法是将纹理图像从空间域变换到频率域，然后通过计算峰值处的面积、峰值与原点的距离平方、峰值处的相位、两个峰值间的相角差等，来获得在空间域不易获得的纹理特征，如周期、功率谱信息等。

典型的谱分析法有二维傅立叶（变换）滤波方法、Gabor（变换）滤波变换和小波方法等。

第十一章 色彩与多光谱图像处理

1. 三基色—— RGB红绿蓝、二次色—— CMY青品红黄

2. 亮度反应该颜色的明亮程度，颜色中掺入白色越多亮度就越大

色调用于描述纯色（纯黄色，纯红色），用于反应观察者接收到的主要颜色

饱和度给出一种纯色被白光稀释的程度的度量，纯色是全饱和

色调和饱和度合起来称为色度，颜色用亮度和色度共同表示