



跨世纪计算机实用技术丛书

现代图像处理技术 与应用

夏德深 傅德胜 编著

•4

东南大学出版社

现代图像处理技术与应用

夏德深 傅德胜 编著

东南大学出版社

前言

图像处理科学是一个跨学科的前沿科技领域。众所周知,在诸如遥感、生物医学、地质、海洋、气象、农业、冶金等许多学科中都存在一个重要的课题:怎样获取图像?如何使获得的图像满足人的视觉理解的要求?为了提高存储和传输的效率,如何进行编码和压缩?如何分析和理解一幅图像?这些问题的解决是随着计算机的发展而逐步深化的,它是计算机应用的一个重要的分枝。特别是从 80 年代中期到 90 年代,随着各个应用学科的发展,图像处理和分析又逐渐形成了自己的独立的学科体系,新的处理方法层出不穷。同时,它与近代发展的新的数学理论,如小波变换与分析、马尔科夫随机场、分数论结合起来,获得了新的发展动力,呈现出强大的生命力。

图像处理技术与数学理论密切相关,图像的采集、增强、编码压缩、恢复重建、特征分析和理解,无一不与数学紧密挂钩。本书将这些内容统归纳入第一篇“基础篇”,其目的是想让读者切实掌握图像处理理论和方法,能够去解决应用学科中需解决的图像问题。由于图像技术的发展,新的图像系统不断出现,使得图像文件格式多种多样。对于读者来说,如何掌握这些图像格式,很好地进行相互转换,就如同掌握一个应具备的工具。所以,将图像文件格式及其相互转换列为第二篇。第三篇为“应用篇”,介绍图像处理在各个学科的应用情况,并举出实例,以使读者开拓视野,熟悉图像处理的应用领域。第四篇称为“发展篇”,是为了让读者看到随着小波分析与马尔科夫随机场等数学理论的应用,给图像处理学科所带来的进步。值此世纪之交,可望图像处理学科会获得更大的发展。

计算机图像处理涉及到许多学科,应用非常广泛,本书希望成为多个学科领域进行图像处理的技术参考书,并且可成为计算机应用、自动化、生物医学、冶金、遥感、气象、林业、农业、地质等相关专业的“图像处理”课程的教材。

本书第一篇的 6、7 章,第二篇全部,第三篇的第 10、12、13 章和第四篇由南京理工大学夏德深负责编写;第一篇的第 1、2、3、4、5 章,第二篇的第 11 章和第 12 章的 12.5.5 节由南京气象学院傅德胜负责编写。郑关胜老师帮助绘制了大部分附图,研究生陈鸿、邱勇做了许多有益工作。最后,承蒙南京气象学院孙勇鹤教授悉心审稿。在此,谨表示深切的谢意。

由于作者的水平有限,书中可能会有不少问题和疏漏之处,盼望能得到同行专家、各方面读者的批评指正,以使全书的质量得到进一步提高。

编 者

1997 年 7 月于南京

内 容 提 要

图像处理技术从 80 年代中期到 90 年代突飞猛进地发展,已广泛地应用在遥感、生物医学、地质、海洋、气象、农业、灾害治理等许多国民经济的重要领域。

《现代图像处理技术与应用》一书为体现跨世纪的学科特色,由四部分组成。第一部分为“基础篇”,较深入地阐述了图像采样、量化变换、图像增强、编码压缩、图像恢复重建、图像特征与分析,为读者进行图像处理工作打下坚实的基础。第二部分为“工具篇”,广泛介绍各种图像文件格式及其相互转换,为读者应用各种图像文件准备基本知识并提供方便的工具。第三部分为“应用篇”,详细介绍图像处理在遥感、生物医学、金属结构、地质、森林、海洋、气象等方面的应用,并举出实例,为读者开拓视野,洞悉图像处理的应用领域。第四部分为“发展篇”,讨论图像处理从 90 年代以来的新发展,用小波变换进行图像分析,应用马尔科夫随机场剖析图像处理的理论与方法。这两项新理论的应用,使图像处理在理论与方法上更向前迈进了一大步,是世纪之交在图像处理上的重大发展。本书理论与应用并重,举例详尽,阐述条理化。

读者对象:大学本、专科学生和有关工程技术人员。

责任编辑 朱经邦

责任校对 冉榴红

责任印制 陈 跃

现代图像处理技术与应用

夏德深 傅德胜 编著

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

江苏省新华书店经销 通达印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 13.25 字数 345 千

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月第 1 次印刷

印数:1-4000 册

ISBN 7-81050-282-4/TP·41

定价:18.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

《跨世纪计算机实用技术》丛书总序

我们正处在一个世纪之交的伟大历史时期。当今社会的计算机应用出现了很多新的特征:办公自动化系统和管理信息系统的实现使社会、生产的管理完全改变了传统的方式;集计算机辅助设计、制造和决策管理为一体的计算机集成制造系统使生产制造过程得到新的飞跃;计算机网络 INTERNET 将世界连成一体,并以一种神奇的方式推动着社会的变革;计算机进入出版业,出现了排版印刷技术的革命;多媒体技术融入社会,更以一种非同寻常的力量推动着信息社会的发展,人们就在这瞬息万变的发展中即将跨入一个新的世纪。

随着 21 世纪的临近,人们面临着各种严峻的挑战,我们必须把人才的培养作为迎接挑战最紧迫的对策。为了适应世纪之交计算机人才培养的需要,我们向读者奉献一套《跨世纪计算机实用技术丛书》。作者编写这套丛书的宗旨为:

1. 介绍 20 世纪最后 10 年计算机技术在其重要应用领域的现状、发展方向以及前景展望。希望读者从这套丛书中,得到感知,获得鼓舞和力量。

2. 力求面向实际,作为实用技术的工具和指南。希望读者得益于它,在世纪之交的计算机应用工作中,能够得到具体的帮助,取得实效。

3. 从本世纪之末到下世纪之始,计算机科学与技术领域新事物肯定层出不穷,本丛书将不断把新颖实用的内容奉献给读者,作者们将与读者一起跨越世纪,在各领域计算机应用中不断前进。

这一套丛书的内容涉及数据库系统、网络通信、多媒体、图像处理、电子出版、系统仿真、计算机辅助设计、计算机硬件及软件新平台、操作系统以及语言等方面。我们尽了很大的努力期望本丛书能很好地为读者服务,但由于水平所限,难免有错误和疏漏之处,希望读者和专家们不吝赐教。

《跨世纪计算机实用技术丛书》编委会

1997 年 5 月

《跨世纪计算机实用技术》丛书

编委会名单

主 编:徐福培

副主编:夏德深 孙志挥

编 委:(以姓氏笔划为序)

孙志挥	吴乐南	陈天授
陈廷标	陈金水	周先华
夏德深	范建新	徐福培
黄凤英	傅德胜	

目 录

基础篇

1 图像采集与量化	1
1.1 确定型图像场取样	1
1.2 随机图像场取样	3
1.3 图像量化	4
1.3.1 均匀量化	4
1.3.2 非均匀量化	6
1.3.3 矢量量化	7
1.3.4 彩色图像的量化	8
1.4 图像输入	8
1.4.1 空间取样方式与最大限度取样分辨率	9
1.4.2 图像采集系统	9
1.4.3 图像输入设备	11
2 图像变换	16
2.1 预备知识	16
2.1.1 矩阵与向量	16
2.1.2 线性算子	19
2.1.3 酉变换算子	21
2.2 傅立叶变换(FT)	23
2.2.1 二维离散傅立叶变换(DFT)	23
2.2.2 快速傅立叶变换(FFT)	28
2.3 离散余弦变换(DCT)	31
2.3.1 关于轴对称	32
2.3.2 偶对称余弦变换	33
2.3.3 奇对称余弦变换	34
2.4 沃尔什-哈达玛变换(WHT)	35
2.4.1 哈达玛变换对	35
2.4.2 哈达玛变换矩阵	37
2.4.3 向量表示的哈达玛变换	38
2.4.4 定序哈达玛变换	39

3 图像增强	41
3.1 空间域单点增强	41
3.1.1 灰度级校正	42
3.1.2 灰度变换	42
3.1.3 直方图修正	44
3.2 空间域图像平滑	49
3.2.1 噪声消除法	49
3.2.2 邻域平均法	49
3.2.3 中值滤波	51
3.2.4 梯度倒数加权法	52
3.2.5 选择式掩模平滑	53
3.3 空间域图像锐化	54
3.3.1 梯度法	54
3.3.2 Laplacian 算子	56
3.3.3 高通滤波	58
3.3.4 掩模匹配法	59
3.3.5 统计差值法	60
3.4 频率域增强处理	61
3.4.1 低通滤波	61
3.4.2 同态图像增强	62
3.4.3 高通滤波	64
3.5 彩色技术	65
3.5.1 假彩色处理	65
3.5.2 伪彩色增强	66
4 图像分割	68
4.1 图像边缘提取	68
4.1.1 边缘算子法	68
4.1.2 曲面拟合法	72
4.1.3 模板匹配法	74
4.1.4 门限化	78
4.2 区域分割	81
4.2.1 区域生长法	81
4.2.2 特征空间分类法	82
5 图像编码与压缩	84
5.1 概述	84
5.1.1 图像编码压缩的必要性	84

5.1.2 图像编码压缩的可能性	84
5.1.3 图像编码压缩的分类	85
5.1.4 图像编码压缩术语简介	85
5.2 预测编码	86
5.2.1 线性预测编码	87
5.2.2 非线性预测编码	88
5.3 正交变换编码	90
5.3.1 变换编码的基本原理	90
5.3.2 正交变换编码特性评价	91
5.3.3 变换编码	91
5.4 统计编码	94
5.4.1 哈夫曼编码(Huffman Coding)	94
5.4.2 香农编码(Shannon Coding)	97
5.4.3 算术编码(Arithmetics Coding)	99
5.5 轮廓编码(Contour Coding)	100
5.5.1 T(Trace)算法	100
5.5.2 IP(Initiat Point)算法	101
5.5.3 轮廓编码	101
5.6 二值图像编码	103
5.6.1 直接编码	103
5.6.2 跳跃空白编码	104
5.6.3 游程长度编码	104
5.7 多媒体图像编码压缩技术	109
5.7.1 经典编码压缩技术	109
5.7.2 分形编码	110
5.7.3 自适应网格编码	112
6 图像恢复与重建	113
6.1 图像恢复的基本概念	113
6.2 图像退化模型	114
6.3 图像恢复方法	117
6.3.1 反向滤波器法	117
6.3.2 约束还原	119
6.4 点冲激函数的退化模型	121
6.5 几何畸变校正	123
6.6 图像重建的基本概念	124
6.7 图像重建的方法	124
6.7.1 平行投影	124
6.7.2 获得平行投影的物理方法	126

6.7.3	图像重建的傅立叶变换法	126
6.7.4	滤波逆投影法	128
7	图像特征与分析	129
7.1	纹理特征与分析	129
7.1.1	纹理分析的基本概念	129
7.1.2	纹理分析中的直方图方法	130
7.1.3	纹理分析的自相关函数方法	131
7.1.4	纹理的灰度分布统计特征分析	132
7.2	形状特征与分析	138
7.2.1	区域边界与骨架的提取	138
7.2.2	区域边界的形状特征描述	139
7.2.3	区域的变换域的形状分析	142
7.3	时间序列特征分析	144
7.3.1	视差、光流场	144
7.3.2	序列图像中的特征点选择与匹配	145
7.3.3	时间序列图像的运动估计和分析	146
7.4	二维图像特征提取与识别	148
7.4.1	二维图像特征的作用	148
7.4.2	二维图像识别的目的	149

工 具 篇

8	图像文件格式	150
8.1	MacPaint 图像文件	150
8.1.1	文件头(Mac Binary)	150
8.1.2	图案数据	151
8.1.3	位图数据	151
8.1.4	创建 MacPaint 图像文件	152
8.2	IMG 图像文件	152
8.2.1	IMG 的文件头	152
8.2.2	IMG 图像数据文件	153
8.3	GIF 图像文件	154
8.3.1	GIF 的文件头	154
8.3.2	GIF 的图像数据	154
8.3.3	GIF 的图像编码压缩算法:LZW	155
8.4	TIFF 的图像文件	155

8.4.1	TIFF 的文件头	155
8.4.2	TIFF 图像数据文件	156
8.5	其他图像数据文件(PCX 和 BMP)	156
8.5.1	PCX 图像文件	156
8.5.2	BMP 图像文件	157
8.6	图像文件格式转换	157
9	PostScript 文件	165
9.1	矢量类型图形	165
9.2	灰度位图图像	166
9.3	彩色位图图像	166
9.4	PostScript 程序的执行	167
9.5	PostScript 文件硬拷贝输出	167

应用篇

10	生物医学图像处理	168
10.1	电子显微图像特点	168
10.2	电子显微图像的计算机处理	169
10.2.1	二维显微图像的处理	169
10.2.2	显微图像的三维重建	169
10.2.3	显微图像的识别分类	169
11	金属结构图像的处理	170
11.1	系统设备及工作原理	170
11.2	图像预处理	170
11.2.1	灰度变换	171
11.2.2	滤波	171
11.2.3	图像二值化	171
11.2.4	焊缝缺陷的轮廓线跟踪	171
11.3	物理量计算	171
11.4	计算机自动识别	172
12	遥感图像处理	173
12.1	遥感技术与遥感信息的获取	173
12.2	卫星遥感图像的特点和分类	173
12.2.1	美国陆地卫星的图像资料	174
12.2.2	法国 SPOT 卫星图像资料	174

12.2.3 我国国土卫星的遥感图像	174
12.3 遥感信息处理	175
12.3.1 辐射校正	175
12.3.2 几何校正	175
12.4 遥感图像的解译与分类	176
12.5 遥感图像的应用	176
12.5.1 地质遥感图像处理与应用	176
12.5.2 森林遥感图像处理与应用	176
12.5.3 国土资源遥感图像处理与应用	177
12.5.4 海洋遥感图像处理与应用	177
12.5.5 气象卫星云图的处理与应用	177
13 3S 系统与图像处理	181
13.1 地理信息系统(GIS)和遥感图像处理	181
13.2 全球定位系统(GPS)和遥感图像处理	181
 发 展 篇 	
14 马尔可夫随机场及其在图像分析与处理中的应用	183
14.1 马尔可夫随机场的定义和基本性质	183
14.2 模拟退火算法	184
14.3 MRF 在图像处理中的应用	186
14.3.1 用于图像恢复的 MRF 模型	186
14.3.2 用于图像噪声处理的 MRF 模型	186
14.3.3 用于纹理分析的 MRF 模型	187
15 小波分析及其在图像处理中的应用	189
15.1 连续小波变换及其性质	189
15.2 二进小波变换及其性质	191
15.3 多尺度分析的概念及其性质	191
15.4 二维连续小波变换	192
15.5 图像的小波分解编码	193
15.6 图像纹理的小波分析	195
15.7 图像小波分析中的自适应处理	196
15.8 小波变换在图像编码压缩中的应用	198
参考文献	200

- 连续图像
- 空间取样
- 样点阵列
- 多形式量化
- 采集系统
- 输入设备

从广义上说,图像是自然界景物的客观反映。以照片形式或视频记录介质保存的图像是连续的,计算机无法接收和处理这种空间分布和亮度取值均连续分布的图像。图像数字化就是将连续图像离散化,其工作包括两个方面:取样和量化。

所谓取样,就是把一幅连续图像在空间上分割成 $M \times N$ 个网格,每个网格用一亮度值来表示。由于结果是一个样点值阵列,故又叫点阵取样。

取样使连续图像在空间上离散化,但取样点上图像的亮度值还是某个幅度区间内的连续分布。根据取样定义,每个网格上只能用一个确定的亮度值表示。把取样点上对应的亮度连续变化区间转换为单个特定数码的过程,称之为量化,即样点亮度的离散化。

在取样和量化过程中,取样密度取多大合适?以多少个等级表示样本的亮度值为最好?这些都将影响到离散图像能否保持连续图像信息的问题。原则上, $M \times N$ 的取值主要取决于其是否满足取样定理,因为在满足取样定理的情况下,重建图像就不会产生失真。灰度级的确定将根据图像的内容和要求来考虑。

1.1 确定型图像场取样

令 $f(x, y)$ 为一个有限带宽的二维连续图像函数, $f(x, y)$ 的傅立叶变换 (Fourier Transform) 对为

$$f(x, y) \leftrightarrow F(u, v)$$

$F(u, v)$ 具有以下特点:当 u, v 方向上的带宽分别为 L_u 和 L_v 时, $f(x, y)$ 的能量集中在半径为 L_u 或 L_v 所包含的区域内(见图 1.1)。

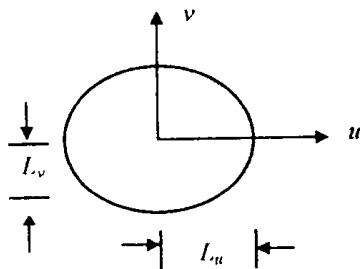


图 1.1 $u \sim v$ 平面上 $f(x, y)$ 对应的能量区域

又知二维取样函数

$$s(x, y) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(x - i\Delta x, y - j\Delta y) \quad (1.1)$$

式中, $\Delta x, \Delta y$ 为 x, y 方向的取样间隔。(1.1)式是脉冲函数 $\delta(x, y)$ 在 x, y 方向以 $\Delta x, \Delta y$ 为间隔的展开。见图 1.2。

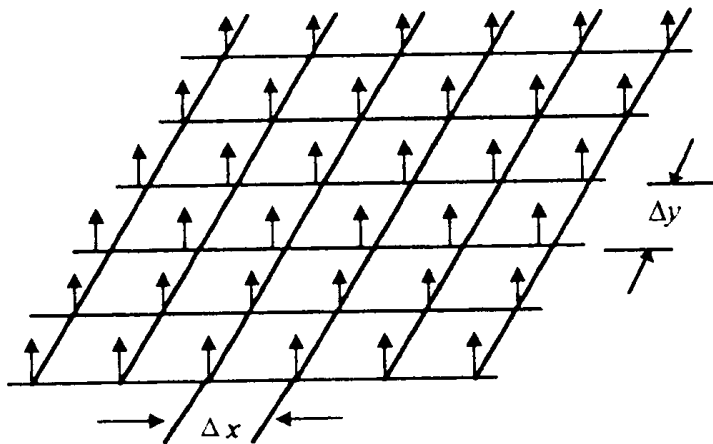


图 1.2 脉冲函数阵列

对图像 $f(x, y)$ 取样, 就是将 $f(x, y)$ 乘以取样函数 $s(x, y)$ 。取样后的图像

$$\begin{aligned} f_s(x, y) &= f(x, y) \cdot s(x, y) \\ &= f(x, y) \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(x - i\Delta x, y - j\Delta y) \\ &= \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} f(i\Delta x, j\Delta y) \delta(x - i\Delta x, y - j\Delta y) \end{aligned} \quad (1.2)$$

在上式中, 连续图像函数 $f(x, y)$ 移入求和式内变成离散形式 $f(i\Delta x, j\Delta y)$, 这是因为图像函数只在 $(i\Delta x, j\Delta y)$ 取样点上取值。

取样函数 $s(x, y)$ 的傅立叶谱为

$$\begin{aligned} s(u, v) &= \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(u - i \frac{1}{\Delta x}, v - j \frac{1}{\Delta y}) \\ &= \frac{4\pi^2}{\Delta x \Delta y} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(u - i\Delta u, v - j\Delta v) \end{aligned} \quad (1.3)$$

$\Delta u = 2\pi/\Delta x, \Delta v = 2\pi/\Delta y$ 。根据取样定义和傅立叶变换卷积定理, $f(x, y), f_s(x, y), s(x, y)$ 三者之间的频域关系为

$$F_s(u, v) = \frac{1}{4\pi^2} F(u, v) * s(u, v) \quad (1.4)$$

将(1.3)式代入(1.4)式, 展开卷积式并进一步整理, 得

$$\begin{aligned} F_s(u, v) &= \frac{F(u, v)}{\Delta x \Delta y} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(u - i\Delta u, v - j\Delta v) \\ &= \frac{1}{\Delta x \Delta y} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} F(u - i\Delta u, v - j\Delta v) \end{aligned} \quad (1.5)$$

由(1.5)式不难看出, 取样图像 $f_s(x, y)$ 的频谱是连续图像谱在 (u, v) 方向上以一定间隔的

分布。当 Δx 、 Δy 选择适当,使得 Δu 、 Δv 大于或等于原图像覆盖频率间隔 L_u 、 L_v 两倍时,取样就不会出现重叠现象(见图 1.3),就可以获得期望的取样点阵。

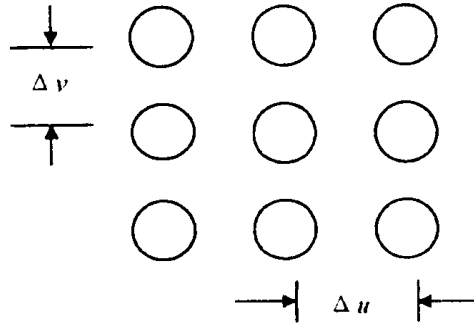


图 1.3 取样图像谱

依据以上分析,确保正确取样的条件是

$$\left. \begin{aligned} \Delta u &\geq 2L_u \\ \Delta v &\geq 2L_v \\ \Delta x &\leq \pi/L_u \\ \Delta y &\leq \pi/L_v \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

上式中,“等于”条件的取样是著名的奈奎斯特取样定理,即在这样的通带宽度下,由 $f_s(x, y)$ 可以不失真地重现 $f(x, y)$ 。

1.2 随机图像场取样

图像场的另一种模型是随机场。随机图像场取样后其功率谱如何分布呢?试作一简单介绍。

令 $f(x, y)$ 是连续平稳的二维随机图像场,其自相关函数为

$$R_f(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = E\{f(x_1, y_1)f^*(x_2, y_2)\} \quad (1.7)$$

f^* 是 f 的共轭值。用脉冲函数 $\delta(x, y)$ 对 $f(x, y)$ 取样,所得图像场为 $f_s(x, y)$,

$$f_s(x, y) = f(x, y) \cdot s(x, y) \quad (1.8)$$

由(1.1)式有

$$f_s(x, y) = f(x, y) \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} \delta(x - i\Delta x, y - j\Delta y) \quad (1.9)$$

$f_s(x, y)$ 的自相关函数 $R_{f_s}(x_1 - x_2, y_1 - y_2)$ 的表达式如下:

$$R_{f_s}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) = E\{f_s(x_1, y_1)f_s^*(x_2, y_2)\}$$

结合(1.8)式

$$\begin{aligned} R_{f_s}(x_1 - x_2, y_1 - y_2) &= E\{f(x_1, y_1) \cdot s(x_1, y_1)f_s^*(x_2, y_2)\} \\ &= R_f(x_1 - x_2, y_1 - y_2) \cdot s(x_1 - x_2, y_1 - y_2) \end{aligned} \quad (1.10)$$

令 $\tau_x = x_1 - x_2, \tau_y = y_1 - y_2$, 进一步改写上式,有

$$R_{f_s}(\tau_x, \tau_y) = R_f(\tau_x, \tau_y) \cdot s(\tau_x, \tau_y) \quad (1.11)$$

上式右边第一项为随机图像场的自相关函数,第二项是间隔为 τ_x, τ_y 的取样函数。可见,取

样图像场也是平稳的随机过程。

对(1.11)式两边作傅立叶变换,其傅立叶变换对为

$$R_{\hat{f}}(\tau_x, \tau_y) \leftrightarrow R_f(u, v)$$

再由卷积定理得

$$P_{\hat{f}}(u, v) = \frac{4\pi^2}{\Delta x \Delta y} \sum_{i=-\infty}^{+\infty} \sum_{j=-\infty}^{+\infty} P_f(u - i\Delta u, v - j\Delta v) \quad (1.12)$$

$P_{\hat{f}}, P_f$ 分别为取样图像和原图像的功率谱密度。类似于固定频率场,随机图像场的功率谱密度也是以 $(\Delta u, \Delta v)$ 为间隔在空间域上的重复所组成,只要满足(1.6)式条件,取样矩阵中各阵元就不会产生交叠。实际中,由于噪声影响往往先对原图像场进行滤波,然后再进行取样。否则,很难确保在 $\Delta x < \pi/L_u, \Delta y < \pi/L_v$ 条件下重建图像的质量。

1.3 图像量化

取样使连续图像 $f(x, y)$ 变成离散图像阵列 $[f(m, n)]_{M \times N}$ 。 $f(m, n)$ 所对应的灰度值这时还是一个有限区间的连续量(即模拟量),这种连续量计算机是无法处理的。现在的工作是将每个阵元对应的连续量转换为一个确定的数字(A/D转换),这样的转换过程称之为量化。

1.3.1 均匀量化

将样本取值范围均匀地分层量化的方式称之为均匀量化。

令 f 是样本幅度, $f = f(m, n)$, $\hat{f}$ 为量化后的值。规定

$$a_0 \leq f \leq a_k \quad (1.13)$$

把 $[a_0, a_k]$ 均匀地分成 C 个子区间,子区间以 $[d_i, d_{i+1}]$ 表示, $i = 0, 1, \dots, C-1$ 。

命名 $[d_i, d_{i+1}]$ 为判断区间。对每个 $[d_i, d_{i+1}]$,确定一个数值 N_i ,作为子区间 $[d_i, d_{i+1}]$ 的量化输出,总共有 C 个确定的 N_i 值,组成 $[a_0, a_k]$ 区间的量化数码集。在图像量化中, $C = 2^b$, b 常取6,7,8,即 $C = 64, 128, 256$ 。图1.4形象地描述了量化的大致过程。

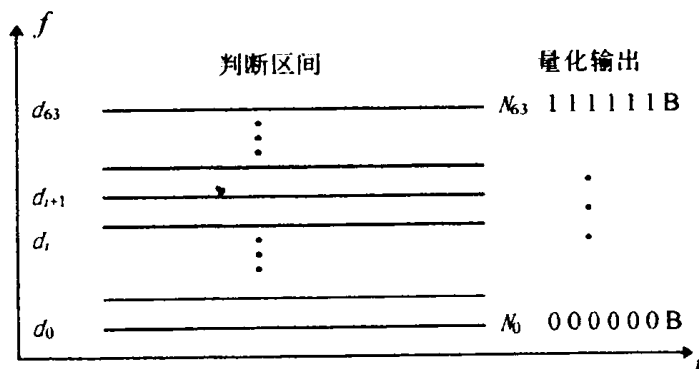


图 1.4 图像量化示意图($C = 2^b$)

量化误差恶化了图像的质量。我们应该寻找一种途径,使量化误差减至最小,实现最佳量化。

现在用均方误差来讨论量化误差,因为这种测度易于处理,并且与主观标准有比较密切的关系。显然,用 C 个层次进行量化时,均方误差

$$\begin{aligned}\epsilon^2 &= \int_{a_0}^{a_k} (f - \hat{f})^2 P(f) df \\ &= \sum_{i=0}^{C-1} \int_{d_i}^{d_{i+1}} (f - N_i)^2 P(f) df\end{aligned}\quad (1.14)$$

$P(f)$ 为样本在 $[a_0, a_k]$ 区间的概率密度。因为是均匀量化,所以 $P(f)$ 可以认为是常数。这样,均方误差

$$\begin{aligned}\epsilon^2 &= \sum_{i=0}^{C-1} P(N_i) \int_{d_i}^{d_{i+1}} (f - N_i)^2 df \\ &= \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{C-1} P(N_i) [(d_{i+1} - N_i)^3 - (d_i - N_i)^3]\end{aligned}\quad (1.15)$$

知道了 N_i , 就不难求出 ϵ^2 。

N_i 由区间 $[d_i, d_{i+1}]$ 决定,在这个区间内 N_i 有多个值,从而就有了 $\{\epsilon^2\}$ 。选择怎样的 N_i 才能使 ϵ 最小呢? 令

$$\frac{\partial \epsilon^2}{\partial N_i} = 0$$

$$\text{得} \quad N_i = \frac{1}{2}(d_{i+1} + d_i) \quad (1.16)$$

当量化输出 N_i 等于判断区间上、下限之中点时,量化误差最小。将(1.16)式代入(1.15)式,得

$$\begin{aligned}\epsilon^2 &= \frac{1}{3} \sum_{i=0}^{C-1} P(N_i) [(d_{i+1} - \frac{1}{2}d_{i+1} - \frac{1}{2}d_i)^3 - (d_i - \frac{1}{2}d_{i+1} - \frac{1}{2}d_i)^3] \\ &= \frac{1}{12} \sum_{i=0}^{C-1} P(N_i) [d_{i+1} - d_i]^3\end{aligned}\quad (1.17)$$

进一步,设子区间 $[d_i, d_{i+1}]$ 的长度为 L ,则

$$\epsilon^2 = \frac{L^2}{12} \quad (1.18)$$

或

$$\epsilon^2 = \frac{1}{12C^2} \quad (1.19)$$

加大量化层次 C 对保持原图像的信息十分有利。但无疑也会带来负面影响,如图像数据会急剧膨胀,给存储、传输和处理带来压力。怎样选择量化层次和取样点数,是取样和量化中必须妥善考虑的问题。原则上说,在图像数据长度要求比较宽容的场合,量化级数可尽量多些,以利改善图像重建质量。当然,这不是说可以任意地大,因为任何处理系统在目标实现的前提下,总是希望图像数据少一些,以减少资源开销。同时,人眼对灰度的分辨能力有限,一般情况下有 8 比特量化级数就可以了。对于某些卫星照片,为了能分辨一些细微目标,可选择 8~14 比特的量化级数。至于这时的取样点数 $M \times N$,则以在满足取样定理情况下,重建图像不失真为度。

如果对图像数据量($M \times N \times$ 比特数/像素)要求给定,那对取样点数 $M \times N$ 和量化比特数的选择就要视图像内容和系统要求来决定。如图像中灰度变化平缓的区域,可减少取样