

新世纪计算机图像处理参考丛书

计算机图像处理及应用



夏德深 傅德胜 编著

东南大学出版社



新世纪计算机图像处理参考丛书

计算机图像处理及应用

夏德深 傅德胜 编著

东南大学出版社

东南大学出版社

·南京·

内容提要

本书对图像处理技术所涉及的基本原理和方法,必需的工具和应用及图像处理的部分新技术均作了详细的讨论与介绍。本书的跨度大,内容既全又新。在体系结构上,本书基本上为四大部分。第一部分为基础部分,包括图像采集与量化、图像变化、图像增强、图像分割、图像编码与压缩、图像恢复与重建、图像特征与分析。第二部分为工具部分,包括图像文件格式及图像数据质量评价。第三部分为图像处理应用的主要几个领域的典型介绍。第四部分为图像处理的新技术方法,包括马尔可夫随机场、小波分析和可形变模型等。

本书可作为计算机应用、自动化、生物医学、遥感、农业、水利、地质等学科的大学本、专科学生的教材和各行各业图像处理工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机图像处理及应用/夏德深,傅德胜编著. —南京:
东南大学出版社,2004.2

(新世纪计算机图像处理参考丛书)

ISBN 7-81089-443-9

I. 计... II. ①夏... ②傅... III. 计算机应用—图像处理
IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005673 号

计算机图像处理及应用

编 著: 夏德深 傅德胜 版式设计: 李 玉
选题策划: 朱经邦 李 玉 责任印制: 张文礼
责任编辑: 李 玉

出版发行: 东南大学出版社
社 址: 南京市四牌楼 2 号
邮 编: 210096
经 销: 江苏省新华书店

印 刷: 南京工大印务有限公司
开 本: 787mm × 1092mm 1/16
印 张: 16.75
字 数: 410 千字
版 次: 2004 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
印 数: 1-6000 册
定 价: 26.80 元

(东南大学出版社图书凡印装错误可向发行科调换, 电话: 025-83795801)

新世纪计算机图像处理参考丛书编委会

主 编：夏德深

副 主 编：傅德胜

编 委：（按姓氏笔划排序）

王 殿 王正群 邓先华 刘伟平

朱经邦 李 玉 李 格 李朝峰

夏德深 韩 兵 傅德胜 程显敦

责任编委：李 玉

前言

进入 21 世纪,科技发展给社会、经济、文化和人的观念带来了明显的冲击。计算机图像处理作为一门比较综合的科学技术在万马奔腾的形势之下,它的作用、应用所取得的成果,对各行各业和其他学科发展的影响,均展现了它的风采和威力。因而,计算机图像处理作为计算机应用的一个重要分支,在科学技术的百花园里显示了其旺盛的生命力。

现在,人们越来越清楚地认识到,图像处理是一门跨学科的前沿领域。在生物医学、卫星遥感、地质、海洋、农业、水利、森林、军事等各个领域,均存在图像获取、存储、传输、分析的问题。图像获取涉及到各种成像设备和传感设备,人们追求高分辨率、高清晰度的图像。图像存储需要节省存储空间,产生了高效存储的问题;图像传输要求实时化;图像分析理解,要满足视觉的要求。凡此种种的研究紧密地连系着计算机技术的发展和新的数学方法的应用。从这个角度出发,人们不难理解,在上世纪 80 年代到 90 年代,计算机图像处理发展为什么会如此的迅速,它的应用又为什么越来越广阔深远。常规的数学方法如各种变换、线性代数是进入图像处理的门槛,而新的数学理论如小波、分形、混沌、可形变模型等一经出现,便立即在图像处理中得到应用。

本书应约出版,其宗旨有二:一是希望满足大学本、专科教材的需要,二是照顾到计算机应用人员的需求。因为是教材,所以,需要讲究基础性和系统性,让学子能以此书为入门。因为要想使计算机图像处理工程技术人员得心应手,需要将必需的工具和新的技术纳入其中。本书对图像采集、增强、编码压缩、恢复重建、分析与理解等诸多方面均一一介绍,同时对计算机图像处理的应用及新的技术方法也做了介绍。本书的另一特色是能紧跟图像处理发展的形势。新的图像处理系统不断出现,图像文件格式不断涌现,如何掌握这些文件格式并进行应用,本书也提供了一些必需的工具。将图像数据质量评价和近年来迅速发展的可形变模型及图像处理中的应用纳入本书,让读者耳目一新。因此,作者希望本书能真正成为众多学科领域关于图像处理的技术参考书,并成为计算机应用、自动化、生物医学、气象、遥感、林业、水利、农业、地质和军事等相关专业的“图像处理”课程教材。

本书的前身为东南大学出版社出版的《现代图像处理技术与应用》,该书出版后,得到读者的欢迎与支持,曾印了四次。为了跟上图像处理技术的发展和教学的需要,东南大学出版社的编辑发出动议,进行改版,以新的面貌、新的内容,展现在读者面前,为读者服务。在改版的过程中,得到东南大学出版社的编辑,南京理工大学的博士、硕士研究生的大力支持与热心帮助。在书稿完成之际,谨向所有热心关心与支持的同志们表示衷心的感谢。

由于作者的水平有限,改版后,可能有不少问题与疏漏之处,希望能得到同行专家及读者的批评指正。

作者

2004.1 南京

目 录

1 图像采集与量化

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	(8)
1.3.4 彩色图像的量化	(8)
1.4 图像输入	(9)
1.4.1 图像采集系统	(9)
1.4.2 图像输入设备	(11)

2 图像正交变换

2.1 预备知识	(15)
2.1.1 矩阵与向量	(15)
2.1.2 线性算子	(18)
2.1.3 酉变换算子	(21)
2.2 傅立叶变换 (FT)	(22)
2.2.1 二维离散傅立叶变换 (2DDFT)	(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 离散沃尔什—哈达码变换 (DWHT)	(35)
2.4.1 哈达码变换对	(35)
2.4.2 哈达码变换矩阵	(37)
2.4.3 向量表示的哈达码变换	(39)
2.4.4 定序哈达码变换	(39)
2.5 离散 K-L 变换	(41)
2.5.1 K-L 变换的基本原理	(41)
2.5.2 K-L 反变换的基本原理	(44)
2.5.3 K-L 变换的求解过程	(44)

2.5.4 K-L 变换是均方误差最小的最佳变换	(45)
--------------------------------	------

3 图像增强

3.1 空间域单点增强	(47)
3.1.1 灰度级校正	(48)
3.1.2 灰度变换	(48)
3.1.3 直方图修正	(50)
3.1.4 像元代数运算和逻辑运算	(56)
3.2 空间域图像平滑	(56)
3.2.1 噪声消除法	(57)
3.2.2 邻域平均法	(57)
3.2.3 中值滤波	(58)
3.2.4 梯度倒数加权法	(60)
3.2.5 选择式模板平滑	(60)
3.3 空间域图像锐化	(62)
3.3.1 梯度法	(62)
3.3.2 拉普拉斯算子	(64)
3.3.3 高斯—拉普拉斯算子	(67)
3.3.4 高通滤波	(68)
3.3.5 方向模板匹配法	(69)
3.3.6 统计差值法	(71)
3.3.7 曲面拟合法	(72)
3.4 频域增强处理	(74)
3.4.1 低通滤波器	(74)
3.4.2 同态图像增强	(75)
3.4.3 高通滤波	(77)
3.5 彩色技术	(78)
3.5.1 假彩色处理	(79)
3.5.2 伪彩色增强	(80)

4 图像分割

4.1 寻找边界的图像分割	(81)
4.1.1 边界搜索跟踪	(82)
4.1.2 曲线拟合的边界连接	(83)
4.2 基于区域灰度的图像分割	(84)
4.2.1 门限法 (阈值法)	(84)

4.2.2	最佳门限	(87)
4.3	区域扩张的图像分割	(88)
4.3.1	区域生长法	(88)
4.3.2	子区域合并法	(89)
4.3.3	动态聚类分解的图像分割	(90)
5	图像编码与压缩	
5.1	概述	(92)
5.1.1	图像编码压缩的必要性	(92)
5.1.2	图像编码压缩的可能性	(92)
5.1.3	图像编码压缩的分类	(93)
5.1.4	图像编码压缩术语简介	(93)
5.2	预测编码	(94)
5.2.1	线性预测编码	(95)
5.2.2	非线性预测编码	(96)
5.3	正交变换编码	(98)
5.3.1	变换编码的基本原理	(99)
5.3.2	正交变换编码特性评价	(99)
5.3.3	变换编码	(100)
5.4	统计编码	(103)
5.4.1	霍夫曼编码 (Huffman Coding)	(103)
5.4.2	香农编码 (Shannon Coding)	(106)
5.5	轮廓编码 (Contour Coding)	(108)
5.5.1	T (Trace) 算法	(108)
5.5.2	IP (Initial Point) 算法	(109)
5.5.3	轮廓编码	(110)
5.6	二值图像编码	(111)
5.6.1	直接编码	(112)
5.6.2	跳跃空白编码	(112)
5.6.3	游程长度编码 (RLC)	(113)
5.7	图像编码新技术研究	(120)
5.7.1	分形编码	(120)
5.7.2	自适应网格编码	(121)
5.8	图像编码的国际标准	(121)
5.8.1	静止图像编码压缩技术标准 (JPEG)	(122)
5.8.2	活动图像编码压缩技术标准 (MPEG)	(123)



5.8.3	新一代静态图像编码压缩技术标准 (JPEG2000)	(125)
5.9	编码压缩示例	(126)
5.9.1	基于树状小波分解的图像混合编码方法	(126)
5.9.2	树状小波分解与塔型小波分解的比较	(127)
5.9.3	混合型子带编码方案	(128)
5.9.4	模拟试验	(129)
6	图像恢复与重建	
6.1	图像恢复的基本概念	(131)
6.2	图像退化模型	(132)
6.3	图像恢复方法	(136)
6.3.1	反向滤波器法	(136)
6.3.2	约束还原	(137)
6.4	点冲激函数的退化模型	(140)
6.5	几何畸变校正	(142)
6.6	图像重建的基本概念	(143)
6.7	图像重建的方法	(144)
6.7.1	平行投影	(144)
6.7.2	获得平行投影的物理方法	(146)
6.7.3	图像重建的傅立叶变换法	(147)
6.7.4	滤波逆投影法	(147)
7	图像特征与分析	
7.1	纹理特征与分析	(149)
7.1.1	纹理分析的基本概念	(149)
7.1.2	纹理分析中的直方图方法	(150)
7.1.3	纹理分析的自相关函数方法	(151)
7.1.4	纹理的灰度分布统计特征分析	(152)
7.2	形状特征与分析	(159)
7.2.1	区域边界与骨架的提取	(160)
7.2.2	区域边界的形状特征描述	(160)
7.2.3	区域变换域的形状分析	(163)
7.3	时间序列特征分析	(165)
7.3.1	视差、光流场	(166)
7.3.2	序列图像中的特征点选择与匹配	(167)
7.3.3	时间序列图像的运动估计和分析	(168)



7.4	二维图像特征提取与识别	(170)
7.4.1	二维图像特征的作用	(170)
8	图像文件格式	
8.1	MacPaint 图像文件	(171)
8.1.1	文件头	(171)
8.1.2	图案数据	(172)
8.1.3	位图数据	(173)
8.1.4	创建 MacPaint 图像文件	(173)
8.2	BMP 图像文件	(173)
8.2.1	BMP 文件结构	(173)
8.2.2	BMP 图像数据的压缩处理	(174)
8.3	GIF 图像文件	(174)
8.3.1	GIF 的文件头	(174)
8.3.2	GIF 的图像数据	(175)
8.3.3	GIF 的图像编码压缩算法: LZW	(175)
8.4	TIFF 的图像文件	(175)
8.4.1	TIFF 的文件头	(176)
8.4.2	TIFF 图像文件数据	(177)
8.5	Dicom 规范及文件格式	(177)
8.5.1	Dicom 应用范围和功能	(177)
8.5.2	Dicom 规范的基本内容	(178)
8.5.3	Dicom 文件结构	(180)
8.6	HDF 图像文件	(180)
8.6.1	概述	(181)
8.6.2	HDF 的数据类型	(181)
8.6.3	HDF 文件格式	(182)
8.6.4	HDF 文件的特点	(184)
8.7	图像文件格式转换	(184)
9	图像数据质量评价	
9.1	主观定性与客观定量评价	(192)
9.2	图像评价参数的选择	(192)
9.2.1	基于灰度共生矩阵的图像评价参数	(192)
9.2.2	基于方差的图像评价参数	(194)
9.2.3	基于能量表达的图像评价参数	(194)



9.2.4 基于直方图的图像评价参数	(196)
9.3 图像数据质量评价的实践与标准	(197)
9.3.1 图像数据质量评价的实践	(197)
9.3.2 图像数据质量评价标准	(197)
10 生物医学图像的计算机处理	
10.1 电子显微图像的特点	(199)
10.2 电子显微图像的计算机处理	(200)
10.2.1 二维显微图像的处理	(200)
10.2.2 显微图像的三维重建	(200)
10.2.3 显微图像的识别分类	(200)
10.3 微机指纹自动识别系统	(201)
10.3.1 系统结构	(201)
10.3.2 块方向图滤波	(202)
10.3.3 锐化处理	(203)
10.3.4 二值化	(203)
10.3.5 修饰处理	(203)
10.3.6 细化	(204)
10.3.7 指纹识别	(205)
11 金属结构图像的处理	
11.1 系统设备及工作原理	(207)
11.2 图像预处理	(207)
11.2.1 灰度变换	(208)
11.2.2 滤波	(208)
11.2.3 图像二值化	(208)
11.2.4 焊缝缺陷的轮廓线跟踪	(208)
11.3 物理量计算	(208)
11.4 计算机自动识别	(209)
12 遥感图像处理	
12.1 遥感技术与遥感信息的获取	(210)
12.2 卫星遥感图像的特点和分类	(210)
12.2.1 美国陆地卫星的图像资料	(211)
12.2.2 法国 SPOT 卫星图像资料	(211)
12.2.3 我国国土卫星的遥感图像	(212)



12.3	遥感信息处理	(212)
12.3.1	辐射校正	(212)
12.3.2	几何校正	(213)
12.4	遥感图像的解译与分类	(213)
12.5	遥感图像的应用	(213)
12.5.1	地质遥感图像处理与应用	(213)
12.5.2	森林遥感图像处理与应用	(214)
12.5.3	国土资源遥感图像处理与应用	(214)
12.5.4	海洋遥感图像处理与应用	(214)
12.5.5	气象卫星云图的处理与应用	(214)
13	3S 系统与图像处理	
13.1	地理信息系统 (GIS) 和遥感图像处理	(219)
13.2	全球定位系统 (GPS) 和遥感图像处理	(219)
14	马尔可夫随机场及其在图像分析与处理中的应用	
14.1	马尔可夫随机场的定义和基本性质	(221)
14.2	模拟退火算法	(222)
14.3	MRF 在图像处理中的应用	(224)
14.3.1	用于图像恢复的 MRF 模型	(224)
14.3.2	用于图像噪声处理的 MRF 模型	(225)
14.3.3	用于纹理分析的 MRF 模型	(226)
15	小波分析及其在图像处理中的应用	
15.1	连续小波变换及其性质	(227)
15.2	二进小波变换及其性质	(229)
15.3	多尺度分析的概念及其性质	(229)
15.4	二维连续小波变换	(230)
15.5	图像的小波分解编码	(231)
15.6	图像纹理的小波分析	(233)
15.7	图像小波分析中的自适应处理	(234)
15.8	小波变换在图像编码压缩中的应用	(237)
15.9	基于小波变换的分形图像编码压缩	(238)



16 可形变模型在图像分析与处理中的应用

16.1 Snake 参数活动轮廓模型	(241)
16.1.1 Snake 能量函数	(242)
16.1.2 Snake 能量最小化算法	(243)
16.1.3 气球压力 Snake	(246)
16.1.4 梯度向量流 Snake	(248)
16.2 几何活动轮廓模型	(250)
16.3 Mumfor-Shah 模型	(251)
16.4 活动形状模型	(251)
16.5 可形变模型在图像分析中的应用举例	(251)
参考文献	(253)



图像采集与量化

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。灰度级的概念就表达了样本亮度的等级，它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)。

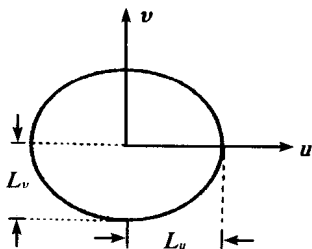


图 1.1 $u \sim v$ 平面上 $f(x, y)$ 对应的能量区域

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)。

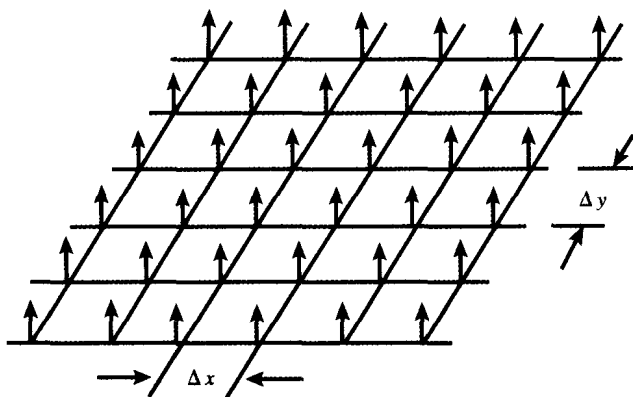


图 1.2 脉冲函数阵列

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

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

式中 $\Delta u = 2\pi/\Delta x, \Delta v = 2\pi/\Delta y$ 。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 $f_s(x, y)$ 的频谱是连续图像频谱在 (u, v) 方向上以一定间隔的分布。当 $\Delta x, \Delta y$ 选择适当, 使得 $\Delta u, \Delta v$ 大于或等于原图像覆盖频率间隔 L_u, L_v 的 2 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。

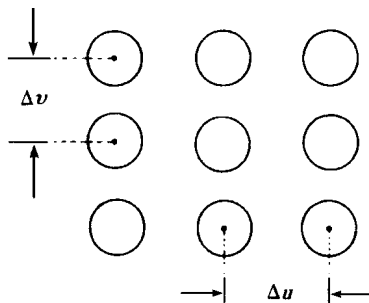


图 1.3 取样图像谱

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

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

$$= R_f(x_1 - x_2, y_1 - y_2) \cdot s(x_1 - x_2, y_1 - y_2) \quad (1.10)$$

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

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

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

$$R_{fs}(\tau_x, \tau_y) \leftrightarrow R_{fs}(u, v)$$

再由卷积定理得

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

P_{fs} , 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。

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

$$\epsilon^2 = \int_{a_0}^{a_k} (f - \hat{f})^2 P(f) df$$