

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

数字图像处理

(MATLAB版) (第2版)

Digital Image Processing Using
MATLAB

张德丰 编著

从基本理论、方法到技术都予以介绍

强调如何用 MATLAB 解决图像处理中的问题、难题

通过典型数字图像处理应用启迪读者灵感



精品系列



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

数字图像处理

(MATLAB版) (第2版)

Digital Image Processing
Using MATLAB

张德丰 编著



精品系列



人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理: MATLAB版 / 张德丰编著. — 2版

. — 北京: 人民邮电出版社, 2015. 1

21世纪高等教育计算机规划教材

ISBN 978-7-115-39769-0

I. ①数… II. ①张… III. ①数字图像处理—
Matlab软件—高等学校—教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第152204号

内 容 提 要

本书系统全面地介绍了 MATLAB R2014b 软件及 MATLAB 在数字图像处理中的应用。本书在第 1 版的基础上, 扩展及补充了数字图像的内容, 结合数字图像处理的一些最新技术和发展趋势以及大量的 MATLAB 实例, 循序渐进地讲解了 MATLAB 在数字图像处理中的典型应用, 使读者能够尽快理解和掌握使用 MATLAB 数字图像处理工具对图像进行处理的方法。

全书共 10 章, 分别介绍了数字图像的相关论述、数字图像处理的数学基础及运算、图像编码、图像复原、图像几何变换、图像频域变换、小波变换、图像增强、图像分割与边缘检测及图像特征描述等内容。

本书可作为本科生和研究生相关课程的教材, 也可以作为计算机应用、通信工程和电子工程专业高年级本科生、研究生、工程硕士、教师及工程技术人员学习数字图像处理和图形学技术的参考书或实验教学指导书。



-
- ◆ 编 著 张德丰
责任编辑 刘 博
责任印制 沈 蓉 彭志环
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京天宇星印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 23.75 2015 年 1 月第 2 版
字数: 627 千字 2015 年 1 月北京第 1 次印刷
-

定价: 52.00 元

读者服务热线: (010) 81055256 印装质量热线: (010) 81055316

反盗版热线: (010) 81055315

(3) 理论与实践相结合

在介绍数字图像处理的相关概念时都给出了相应的 MATLAB 图像处理的程序,使读者对所学的理论知识只需通过简单的 MATLAB 程序即可进行图像处理实践,大大提高了学习的兴趣。

(4) 启迪应用灵感

通过介绍数字图像处理的典型应用来启迪读者的应用灵感,进而起到抛砖引玉的作用。

本书以概要形式讲述基本理论,并紧密结合实践应用研究。全书共 10 章。

第 1 章 介绍了数字图像的相关论述,主要包括数字图像的发展、数字图像处理的方法、MATLAB 领略等内容。

第 2 章 介绍了数字图像处理的数学基础及运算,主要包括图像类型的转换、线性系统、调谐信号、点运算及代数运算等内容。

第 3 章 介绍了图像编码,主要包括图像编码基础、熵编码、预测编码、变换编码等内容。

第 4 章 介绍了图像复原,主要包括图像从退化到复原、图像噪声、图像复原法等内容。

第 5 章 介绍了图像几何变换,主要包括几何校正、插值、图像的形变与位变、图像复合变换等内容。

第 6 章 介绍了图像频域变换,主要包括傅里叶变换、离散余弦变换、沃尔什-哈达玛变换等内容。

第 7 章 介绍了小波变换,主要包括小波分解和重构算法、数字水印技术、小波包分析的应用等内容。

第 8 章 介绍了图像增强,主要包括图像噪声、图像增强处理分类、图像的统计特性、空间域滤波等内容。

第 9 章 介绍了图像分割与边缘检测,主要包括点与线检测、边缘检测、阈值化技术、边界跟踪等内容。

第 10 章 介绍了图像特征描述,主要包括颜色特征分析、几何描述、形状描述、区域描述等内容。

本书主要由张德丰编写,此外参加编写的还有刘志为、栾颖、周品、曾虹雁、邓俊辉、邓秀乾、邓耀隆、高泳崇、李嘉乐、李旭波、梁朗星、梁志成、刘超、刘泳、卢佳华、张棣华、张金林、钟东山、李伟平、宋晓光和何正风。

由于时间仓促,加之作者水平有限,所以错误和疏漏之处在所难免。在此,诚恳地期望得到各领域的专家和广大读者的批评指正。

编著者

2015 年 6 月

目 录

第 1 章 数字图像的相关论述	1
1.1 数字图像处理的发展	1
1.2 数字图像的相关概念	2
1.2.1 图像及其类型	2
1.2.2 图像与数字图像	3
1.2.3 数字图像的表达法	4
1.3 数字图像处理的内容	5
1.4 数字图像处理的方法	6
1.4.1 空域处理法	6
1.4.2 变换域处理法	7
1.5 图像数字化技术	7
1.5.1 图像的采样	8
1.5.2 图像的量化	8
1.6 图像统计特征	9
1.6.1 图像的统计量	10
1.6.2 图像的直方图	10
1.6.3 图像的统计特性	11
1.7 数字图像的应用	11
1.8 MATLAB 领略	12
1.8.1 MATLAB 的优势	12
1.8.2 MATLAB 的特点	12
1.8.3 MATLAB R2014 新功能	13
1.8.4 MATLAB R2014b 安装与激活	14
1.8.5 MATLAB R2014b 的工作环境	18
1.8.6 MATLAB R2014b 工具项	21
1.8.7 MATLAB R2014b 帮助系统	24
1.9 MATLAB 图像处理应用实例	26
小结	27
习题	28
第 2 章 数字图像处理的数学基础及运算	29
2.1 图像类型的转换	29
2.1.1 转换为真彩色图像	30
2.1.2 转换为索引图像	31
2.1.3 转换为灰度图像	33
2.1.4 转换为二值图像	34
2.2 线性系统	35
2.2.1 线性系统分析	35
2.2.2 移不变系统分析	36
2.3 调谐信号	36
2.3.1 调谐信号分析	36
2.3.2 调谐信号的响应分析	36
2.3.3 系统传递函数分析	37
2.4 卷积与滤波	38
2.4.1 连续卷积分析	38
2.4.2 离散卷积分析	38
2.4.3 滤波分析	39
2.5 运算类型	39
2.6 点运算	40
2.6.1 线性点运算	40
2.6.2 分段线性点运算	42
2.6.3 非线性点运算	43
2.6.4 直方图修正	44
2.7 代数运算	49
2.7.1 加法运算	49
2.7.2 减法运算	53
2.7.3 乘法运算	54
2.7.4 除法运算	55
2.7.5 求补运算	56
2.8 特定区域处理	57
2.8.1 指定感兴趣区域	57
2.8.2 图像的邻域操作	59
2.8.3 特定区域填充	63
小结	64
习题	64
第 3 章 图像编码	65
3.1 图像编码基础	65

3.1.1 图像压缩编码的必要性	65	4.5.4 约束最小二乘方滤波法	127
3.1.2 图像压缩编码的可能性	65	4.5.5 盲解卷积法	132
3.1.3 图像压缩编码的分类	66	4.6 图像复原实现	134
3.1.4 图像压缩编码的评价	67	小结	137
3.2 熵编码	70	习题	137
3.2.1 信息论基础	70	第 5 章 图像几何变换	139
3.2.2 赫夫曼编码	71	5.1 几何校正	139
3.2.3 算术编码	73	5.1.1 几何畸变描述	139
3.2.4 行程编码	76	5.1.2 图像几何校正	140
3.3 预测编码	78	5.2 齐次坐标	144
3.3.1 预测编码原理	78	5.3 插值	145
3.3.2 最佳线性预测编码	80	5.4 图像的形变与位变	146
3.4 变换编码	82	5.4.1 平移变换	146
3.4.1 变换选择	83	5.4.2 裁剪变换	148
3.4.2 尺寸选择	91	5.4.3 缩放变换	149
3.4.3 比特分配	91	5.4.4 旋转变换	151
3.4.4 DCT 编码的实现	94	5.4.5 错切变换	153
3.4.5 图像压缩编码标准	97	5.4.6 镜像变换	155
小结	100	5.4.7 转置变换	160
习题	100	5.5 图像复合变换	161
第 4 章 图像复原	102	5.6 图像的二维变换	163
4.1 图像复原概述	102	5.6.1 二维仿射变换	163
4.2 图像从退化到复原	102	5.6.2 二维投影变换	164
4.2.1 图像退化的模型	103	小结	166
4.2.2 连续的退化模型	103	习题	166
4.2.3 离散的退化模型	104	第 6 章 图像频域变换	168
4.2.4 循环矩阵对角化	106	6.1 傅里叶变换	168
4.2.5 模型估计法	108	6.1.1 连续傅里叶变换	168
4.3 图像噪声	110	6.1.2 离散傅里叶变换	169
4.3.1 噪声概率密度	111	6.1.3 离散傅里叶变换的性质	170
4.3.2 函数添加噪声	113	6.1.4 快速傅里叶变换	173
4.4 空域滤波复原	115	6.1.5 傅里叶变换的应用	176
4.4.1 均值滤波	115	6.2 离散余弦变换	182
4.4.2 顺序统计滤波	117	6.3 沃尔什-哈达玛变换	183
4.4.3 自适应滤波	120	6.3.1 沃尔什变换	183
4.5 图像复原法	121	6.3.2 离散哈达玛变换	184
4.5.1 逆滤波法	121	6.3.3 快速哈达玛变换	185
4.5.2 维纳滤波法	124	6.3.4 沃尔什-哈达玛的应用	186
4.5.3 Lucy-Richardson 滤波法	126	6.4 Hough 变换	187

6.4.1 Hough 变换的原理	187	8.4.1 图像的均值	236
6.4.2 Hough 变换的扩展	188	8.4.2 图像的标准差	237
6.4.3 Hough 变换的应用	188	8.4.3 图像的相关系数	238
6.5 Radon 变换	191	8.4.4 图像的等高线	239
6.5.1 平行数据 Radon 变换	191	8.5 空间域滤波	239
6.5.2 扇形数据 Radon 变换	194	8.5.1 空间域滤波的定义	239
6.5.3 Radon 逆变换	196	8.5.2 边界处理	241
小结	198	8.5.3 空间域滤波的实现	241
习题	199	8.6 图像平滑	242
第 7 章 小波变换	200	8.6.1 平滑分析	242
7.1 小波定义	200	8.6.2 邻域平均法	245
7.2 小波分解和重构算法	202	8.6.3 中值滤波	247
7.2.1 小波分解与重构	202	8.6.4 多图像平均法	249
7.2.2 小波变换的实现	206	8.6.5 自适应滤波	250
7.3 数字水印技术	215	8.7 图像锐化	251
7.3.1 水印技术需要解决的问题	215	8.7.1 线性锐化	252
7.3.2 水印技术的方法	215	8.7.2 锐化滤波器	253
7.3.3 水印技术的应用	216	8.7.3 图像锐化的技术	256
7.4 小波包分析的应用	219	8.8 频域滤波	260
7.4.1 小波包基本理论	219	8.8.1 低通滤波	260
7.4.2 小波包算法	220	8.8.2 频域高通滤波	264
7.4.3 小波包的消噪处理	220	8.8.3 带阻滤波	267
7.5 小波分析用于图像增强	223	8.8.4 同态滤波	268
7.6 小波分析用于图像融合	224	8.9 伪色彩增强	271
7.7 小波包分析用于图像压缩	226	8.9.1 密度分割法	271
7.8 小波包分析用于图像边缘检测	227	8.9.2 彩色变换法	272
小结	231	8.9.3 频域伪彩色处理法	274
习题	232	小结	275
第 8 章 图像增强	233	习题	275
8.1 图像质量评价	233	第 9 章 图像分割与边缘检测	276
8.2 图像噪声	234	9.1 点与线检测	277
8.2.1 图像噪声的产生	234	9.1.1 点检测	277
8.2.2 图像噪声分类	234	9.1.2 线检测	279
8.2.3 图像噪声特点	234	9.2 边缘检测	281
8.3 图像增强处理分类	235	9.2.1 边缘检测算子	281
8.3.1 空域增强法	235	9.2.2 边缘检测算子的实现	284
8.3.2 频域增强法	236	9.2.3 各种边缘检测算子的比较	287
8.3.3 图像增强效果评价	236	9.3 阈值化技术	288
8.4 图像的统计特性	236	9.3.1 灰度阈值法	288

9.3.2 Otsu 阈值分割法	290	10.4.2 宽长比	332
9.3.3 迭代式阈值分割法	292	10.4.3 圆形度	332
9.3.4 分水岭算法	293	10.4.4 球状度	333
9.4 边界跟踪	297	10.4.5 偏心率	333
9.4.1 边界跟踪的方法	297	10.5 边界表示	334
9.4.2 霍夫变换	301	10.5.1 链码	334
9.5 区域分割	306	10.5.2 边界分段	336
9.5.1 区域生长的基本概念	306	10.5.3 多边形近似	337
9.5.2 二叉树分解的分割法	307	10.5.4 标记图	338
9.5.3 平均灰度的分割法	310	10.5.5 骨架	339
9.5.4 基于相似统计特性的分割法	312	10.6 区域描述	339
9.6 运动分割	312	10.6.1 纹理	340
9.6.1 背景差值法	312	10.6.2 不变矩	346
9.6.2 图像差分法	314	10.7 膨胀与腐蚀	349
9.6.3 光流分割法	315	10.7.1 结构元素的创建	350
9.6.4 块分割法	317	10.7.2 膨胀与腐蚀的实现	352
9.6.5 聚类分割法	318	10.7.3 膨胀与腐蚀共操作	353
小结	320	10.7.4 形态学的实现	354
习题	321	10.8 形态学重建	359
第 10 章 图像特征描述	322	10.8.1 掩膜图像	360
10.1 图像特征概述	322	10.8.2 填充图像	360
10.2 颜色特征分析	323	10.8.3 峰值与谷值	362
10.2.1 颜色直方图	323	10.9 特征度量	364
10.2.2 颜色矩	325	10.9.1 连通	365
10.2.3 颜色集	327	10.9.2 选择对象	367
10.3 几何描述	328	10.9.3 图像的面积	367
10.3.1 位置	328	10.9.4 图像的欧拉数	368
10.3.2 方向	328	10.10 查表操作	368
10.3.3 周长	329	小结	369
10.3.4 面积	329	习题	370
10.4 形状描述	331	参考文献	371
10.4.1 矩形度	331		

第 1 章

数字图像的相关论述

数字图像处理 (Digital Image Processing) 是指用计算机对数字图像进行的处理, 因此也称为计算机图像处理 (Computer Image Processing)。数字图像处理主要有两个目的: 其一, 为了便于分析而对图像信息进行改进; 其二, 为使计算机自动理解而对图像数据进行存储、传输及显示。

本书介绍数字图像处理方面的一些概念及其实际应用。

1.1 数字图像处理的发展

图像是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。因此, 数字图像处理技术已经成为信息科学、计算机科学、工程科学、地球科学等诸多方面的学者研究图像的有效工具。

数字图像处理发展历史并不长, 起源于 20 世纪 20 年代。当时, 人们通过 Bartlane 海底电缆图像传输系统, 从伦敦到纽约传输了一幅经过数字压缩后的照片, 从而把传输时间从一周多缩短至 3 小时。为了传输图片, 该系统首先在传输端进行图像编码, 然后在接收端用特殊打印设备重构该图片。尽管这一应用已经包含了数字图像处理的知识, 但还称不上真正意义的数字图像处理, 因为它没有涉及到计算机。事实上, 数字图像处理需要很大的存储空间和计算能力, 其发展受到数字计算机和包括数据存储、显示和传输等相关技术发展的制约。因此, 数字图像处理的历史与计算机的发展密切相关, 数字图像处理的真正历史是从数字计算机的出现开始的。

第一台可以执行有意义的图像处理任务的大型计算机出现在 20 世纪 60 年代早期。数字图像处理技术的诞生可追溯至这一时期计算机的使用和空间项目的开发。1964 年, 位于加利福尼亚的美国喷气推进实验室 (JPL 实验室) 处理了太空船“徘徊者七号”发回的月球照片, 以校正航天器上电视摄像机中的各种类型的图像畸变, 这标志着图像处理技术开始得到实际应用。

进行空间应用的同时, 数字图像处理技术在 20 世纪 60 年代末 70 年代初开始用于医学图像、地球遥感监测和天文学等领域。其后军事、气象、医学等学科的发展也推动了图像处理技术迅速发展。此外, 计算机硬件设备的不断降价, 包括高速处理器、海量存储器、图像数字化和图像显示、打印等设备的不断降价成为推动数字图像处理技术发展的又一个动力。数字图像处理技术的迅速发展为人类带来了巨大的经济社会效益, 大到应用卫星遥感进行的全球环境气候监测, 小到指纹识别技术在安全领域的应用。可以说, 数字图像处理技术已经融入到科学研究的各个领域。目前, 数字图像处理技术已经成为工程学、计算机科学、信息科学、生物科学以及医学等各学科学习和研究的对象。

1.2 数字图像的相关概念

人出生以后第一次睁开眼睛, 首先接收的就是各种各样的图像信息, 因此有人说, 图像与生俱来是人类生活中最直观、最丰富和最生动的信息表示形式。但对于数字图像处理学科而言, 图像的定义并非是不言自明的, 为研究和讨论的需要, 应建立一个统一的概念。

1.2.1 图像及其类型

图像包括各种各样的形式, 如可见图像和非可见图像、抽象图像和实际图像、适于和不适于计算机处理的图像, 因此不同种类的图像大量存在于人类生活之中。然而尽管大家天天接触图像, 也知道什么是图像, 但对图像却没有严格的定义。

在韦氏 (Webster) 英文词典中, 图像 (Image) 一词的英文定义是 “an imitation or representation of a person or thing, drawn, painted, photographed...”, 即图像是人或事物的一个逼真模仿或描述…… Castleman 博士在《数字图像处理》中将图像定义为 “在一般意义下, 一幅图像是一个物体或对象 (objects) 的另一种表示”。例如, 美国总统布什的照片是他某时出现在镜头前的一种描述或表示。因此, 图像是其所表示物体或对象信息的一个直接描述和浓缩表示。著名学者阮秋琦教授将图像定义为 “以某一技术手段被再现于二维平面上的视觉信息”, 简而言之, 即图像是物体在平面坐标上的直观再现。因此, 一幅图像包含了所表示物体的描述信息和特征信息, 或者说图像是与之对应的物体或对象的一个真实表示, 这个表示可以通过某一种或某几种技术手段实现。

此外, 图片 (picture) 和图形 (graphic) 是与图像密切相关的两个概念。目前比较一致的观点认为, 图片就是图像的一种类型, 在一些经典的教科书中, 将图片定义为 “经过合适的光照条件一个可见的物体分布”, 这一定义侧重强调了现实世界中的可见物体。在韦氏词典中, 对图形的定义是 “the art of making drawings, as architecture or engineering, in accordance with mathematical rules”, 它强调应用一定的数学模型来生成图形。但图形与图像的数据结构不同, 图形采用矢量结构, 而图像则采用栅格结构。

日常生活中可能会遇到各种各样的图像, 如非光学数字图像、高维图像 (维数等于或大于 3)、多光谱图像、非均匀采样图像、非均匀量化图像等, 图像的分类方法也多种多样。通常情况下, 图像可根据形式或产生方法进行分类。目前被一致接受的分类方法是 Castleman 博士所采用的基本集合论的分类方法, 如图 1-1 所示。如果考虑所有物体的集合, 图像便形成了其中的一个子集, 在图像子集中的每幅图像都和它所表示的物体存在对应关系根据图像的产生方法, 图像可分为以下三类。

1. 可见图像

可见图像 (visible image) 是指视觉系统可以直接看见的图像, 这也是大多数人在日常生活中所见到的和所理解的图像, 这一类图像一般通过照相、手工绘制等传统方法获取, 通常计算机不能直接处理, 但经过数字化处理后可变为数字图像。在该子集中又包含了几种不同方法产生的图像的子集, 其中一个子集为图片 (picture), 它包括照片 (photograph)、图 (drawing) 和画 (painting)。另一个子集为光学图像 (optical image), 即用透镜、光栅和全息技术产生的图像。

2. 物理图像

物理图像 (physical image) 所反映的是物体的电磁波辐射能, 包括可见光和不可见光图像。

例如,光学图像是光强度的空间分布,它们能被肉眼所看到,因此也是可见的图像。不可见的物理图像的例子如温度、压力、高度以及人口密度等的分布图。物理图像一般可以通过某一种光电技术获得,第一类图像中的照片也可以归入此类。物理图像的一个重要子集是多光谱图像,包含物体的近红外、中红外、热红外等波谱信息。绝大部分的物理图像也是数字图像。多光谱图像的每一个点所包含的不只是一个局部特性,如红、绿、蓝三光谱图像,它的技术原理普遍用于彩色照相技术和彩色电视等实际应用当中。黑白图像在每个点只有一个亮度值,而彩色图像则在每个点都具有红、绿、蓝三个亮度值,这三个值表示在不同波段上的强度,就是人眼看到的不同颜色。

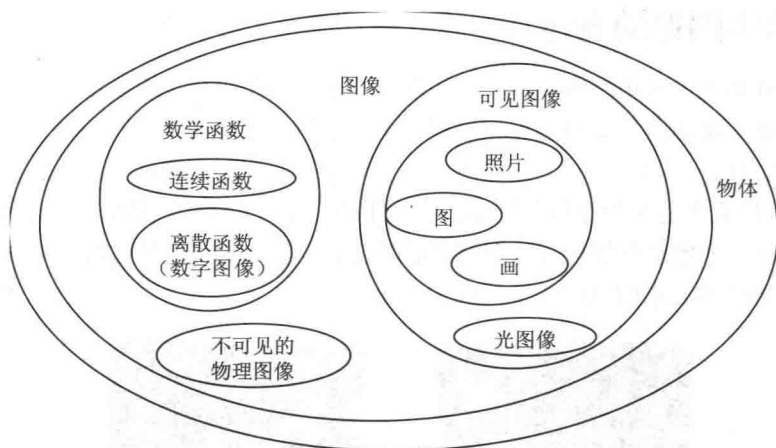


图 1-1 图像的基本类型

3. 数学图像

数学图像指由连续函数或离散函数生成的抽象图像。其中离散函数所产生的图像就是计算机可以处理的数字图像。

1.2.2 图像与数字图像

图像是其所表示物体的信息的直接描述和概括表示。一般而言,一幅图像所包含的信息应比原物体所包含的信息要少,因此一幅图像并非是该物体的一个完全精确的表示,但却是一个直观和恰当表示。

以数学方法描述图像时,图像可以认为是空间各个坐标点上光照强度的集合。也就是说,从物理光学和数学的角度看,一幅图像可以看作是物体辐射能量的空间分布,这个分布是空间坐标、时间和波长的函数,即

$$I = f(x, y, z, \lambda, t) \quad (1-1)$$

上式中,对于静止图像,则与时间 t 无关;对于单色图像,则与波长 λ 无关;对于二维平面图像,则与空间坐标变量 z 无关。

因此,一幅二维静态单色平面图像可以用如下二维强度函数(也称为亮度函数)表示,即

$$I = f(x, y) \quad (1-2)$$

如果说图像是与之对应的物体的一个表示,那么数字图像可以定义为一个物体的数字表示,或者说是对一个二维矩阵施加一系列的操作,以得到所期望的结果。其中,数字是与采用数字方法或离散像素单元进行的计算有关,像素就是离散的单元,量化的(整数)灰度就是数字量值。处理是指让某个事物经过某一过程的作用,过程即指为实现期望目标而进行的一系列操作。

因此, 数字图像处理可以定义为对一个物体的数字表示施加一系列的操作, 以得到所期望的结果。其过程表现为一幅图像变为另一幅经过修改或改进的图像, 是一个由图像到图像的过程。而数字图像分析则是指将一幅图像转化为一种非图像的表示。在图片的例子中, 处理的过程就是改变图片使其达到某一预定目标, 或使其更具吸引力, 更令人满意。通常情况下, 若无特别声明, 数字图像是指一个被采样和量化后的二维强度函数(该二维函数可以由光学方法产生), 采用等距离矩形网格采样, 对幅度进行等间隔量化。也可以说, 一幅数字图像是一个被均匀采样和均匀量化(即离散处理)的二维数值矩阵。

1.2.3 数字图像的表达法

数字图像在计算机中采用二维矩阵表示和存储, 如图 1-2 所示, 该图描述了由一幅数字图像到该图像所对应的二维矩阵的简易过程和原理。图 1-2 (a) 是一幅大小为 128×128 的二维数字图像, 为了表述方便, 以图 1-2 (a) 中取出一个小矩形方块为例, 将该小方块放大至像素水平, 即图 1-2 (b), 可以看出这是原始图像图 1-2 (a) 中的一个 8×8 的子图像, 放大后的子图像如图 1-2 (b) 所示的每一个像素点都具有一个确定的灰度值, 将这些灰度值按像素的顺序排列, 就是一个二维矩阵, 矩阵各元素的值如图 1-2 (c) 所示。



(a) 原始图像

(b) 8×8 子图像

130	146	133	95	71	71	62	78
130	146	133	92	62	71	62	72
138	146	146	120	65	62	56	56
139	139	139	146	117	112	117	110
139	139	139	139	139	139	140	139
146	142	139	139	139	143	125	139
156	158	158	128	158	146	158	159
168	158	156	158	158	158	139	158

(c) 8×8 子图像的二维矩阵

图 1-2 数字图像的矩阵表示

上述由图 1-2 (a) 到图 1-2 (b) 的过程中, 原始图像被等间隔的网格分割成大小相同的小方格 (grid), 其中的每一个方格称为像素点, 简称为像元或像素 (pixel)。像素是构成图像的最小基本单位, 图像的每一个像素都具有独立的属性, 其中最基本的属性包括像素位置和灰度值两个属性。位置由像元所在的行和列的坐标值决定, 通常以像素的位置坐标 (x, y) 表示, 像素的灰度值即该像素对应的光学亮度值。

因此, 对一幅图像按照二维矩形扫描网格进行扫描的结果是生成一个与原图像相对应的二维矩阵, 且矩阵中的每一个元素都为整数, 矩阵元素 (像素) 的位置则由扫描的顺序决定, 每一个

像素的灰度值通过采样获取,然后经过量化得到每一像素亮度(灰度)值的整数表示。因此,一幅图像经数字化后得到的数字图像,实际上就是图 1-2(c)所示的一个二维整数矩阵,矩阵的大小由图像像素的多少决定。

1.3 数字图像处理的内容

数字图像处理在今天是非常热门的技术之一,生活中无处不存在着它的影子,可以说它是一种每时每刻都在改变着人类生活的技术。数字图像处理内容主要研究以下几个方面。

1. 图像获取和输出

数字图像一般可以通过以下三种途径获取。

(1) 将传统的可见图像经过数字化处理转换为数字图像,例如将一幅照片通过扫描仪输入到计算机中,扫描的过程实质上就是一个数字化过程。

(2) 应用各种光电转换设备直接得到数字图像,例如卫星上搭载的推帚扫描仪和光机扫描仪可以直接获取地表甚至地下物体的图像并实时存入存储器中。此外,侧视雷达也可以直接获取数字图像。

(3) 直接由二维离散数字函数生成数字图像。

无论采取哪种方式获取,最终得到的数字图像在数学上都是一个二维矩阵。因此,数字图像处理的实质是以二维矩阵进行各种运算和处理,也就是说,将原始图像变为目标图像的过程,实质上是由一个矩阵变为另一个矩阵的数学过程。无论是图像的几何变换、图像的旋转、图像统计特征以及傅里叶等正交变换,本质上都是基于图像矩阵的数学运算。

因此,数字图像处理是指对一个物体的数字表示,即对一个二维矩阵施加一系列的操作,以得到所期望的结果。

打印机、显示器和投影仪是常见的图像输出设备。

2. 图像编码和压缩

早在 1920 年图像的编码就已经应用于实际了。图像编码压缩技术的目的在于减少描述图像的数据量,以节省图像传输、处理时间和减少所占用的存储器容量。尤其是在计算机网络出现后,为了提高图像的传输速度,图像的编码变得尤为重要。图像的压缩本身属于一种有损压缩,保证压缩后的图像不失真,且能获得较高的压缩比率是这一领域的核心问题。

3. 图像增强和复原

图像增强和复原的目的是为了提高图像的质量,常用的平滑、模糊及锐化等处理就属于这部分内容研究的范围。图像复原是指当造成图像退化或降质的原因已知时,通过复原技术来进行图像的校正。一般来说,复原技术是基于一定的“降质模型”和数据的图像恢复,它会在此基础上采用某种滤波方法,恢复或重建原来的图像,其目的是消除退化的影响,从而产生一个等价于理想成像系统所获得的图像。与图像复原不同,图像增强是指当无法得知与图像退化有关的定量信息时,强化图像中的某些分量。图像增强技术较为主观地改善了图像的质量并将突出图像中人们所感兴趣的部分。

4. 图像变换

图像变换的主要目的是将空间域的处理转换为变换域处理,从而减少计算量并获得更有效的处理。通常采用的方法包括傅里叶变换、离散余弦变换、沃尔什变换和小波变换等。

5. 图像分割

图像分割的目的是对图像中有意义的特征部分进行提取。所谓有意义的特征包括图像中的边缘和区域等,这是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。当前图像分割研究已经取得了诸多成果,比较常用的分割方式包括边缘检测、轮廓跟踪、基于数学形态学(例如分水岭)的分割、基于聚类的分割,以及基于偏微分方程的分割等。目前,对于图像分割的研究仍然是研究热点,相关研究还在不断深入。

6. 图像信息安全

随着互联网技术的发展,人们的生活变得越来越便利,数字医疗、网上教育、电子政务、电子商务和互联网金融正在深入千家万户,并潜移默化地改变着我们的传统生活方式。但是互联网又并非是绝对安全的,黑客攻击、计算机病毒和木马等安全隐患时刻威胁着我们。而图像又是互联网上最为常用的信息载体之一,显然,图像信息安全不可置之不理。一方面,一些敏感和机密图像(如军事目标图像、个人医疗影像和机密图纸等)在网络上进行传递时,我们有必要对其进行必要的加密;另一方面,一些有版权的数字图像为了防止被盗用,或在产生法律纠纷时可以提供充分的版权佐证,都必须做好相应的数字影像版权保护。这两方面的内容都是数字图像信息安全研究的关键内容。可以认为图像信息安全是将传统信息安全技术与数字图像处理相结合而产生的新方向,相关研究内容包括图像加密、数字水印等,这些都是当前研究的热点。

7. 图像的识别与检测

图像的识别与检测主要是经过某些预处理后,对图像进行分割和特征提取,以有利于计算机对图像进行识别、理解或解释,进而解决图像中是否含有目标,以及目标的所有位置等问题。例如人脸识别、指纹识别、特征提取等都属于这部分内容。严格来讲,图像的识别与检测一般不完全算是图像处理领域的内容,更多的时候它被认为是计算机视觉领域所研究的主要内容,或者说它是图像处理计算机视觉过渡的一部分内容,属于两者的交叉部分。这部分内容中往往会用到许多人工智能方面的研究成果(如神经网络等)。

1.4 数字图像处理的方法

数字图像的处理方法种类繁多,根据不同的分类标准可以得到不同的分类结果,例如根据对图像作用域的不同,数字图像处理方法大致可分为两大类,即空域处理方法和变换域处理方法。

1.4.1 空域处理法

空域处理方法是指在空间域直接对数字图像进行处理。在处理时,既可以直接对图像各像素点进行灰度上的变换处理,也可以对图像进行小区域模板的空域滤波等处理,以充分考虑像素的邻域像素对其的影响。一般来说,空间域处理算法的结构并不算太复杂,处理速度也还是比较快的。这种方法是把图像看作是平面中各个像素组成的集合,然后直接对这个二维函数进行相应的处理。空域处理法主要有以下两大类。

1. 邻域处理法

邻域处理法是对图像像素的某一邻域进行处理的方法,如将在下面章节介绍的均值滤波法、梯度运算、拉普拉斯算子运算、平滑算子运算和卷积运算。

2. 点处理法

点处理法是指对图像像素逐一处理的方法。例如，利用像素累积计算某一区域面积或某一边界的周长等。

1.4.2 变换域处理法

数字图像处理的变换域处理方法首先是通过傅里叶变换、离散余弦变换、沃尔什变换或是比较新的小波变换等变换算法，将图像从空间域变换到相应的变换域，得到变换域系数阵列，然后在变换域中对图像进行处理，处理完成后再将图像从变换域反变换到空间域，得到处理结果。由于变换域的作用空间比较特殊，不同于以往的空域处理方法，因此可以实现许多在空间域中无法完成或是很难实现的处理，广泛用于滤波、编码压缩等方面。由于各种变换算法在把图像从空间域向变换域进行变换以及反变换中均有相当大的计算量，所以目前虽然也有许多快速算法，但变换域处理算法的运算速度仍受变换和反变换处理速度的制约而很难提高。这类处理包括滤波、数据压缩及特征提取等。

1.5 图像数字化技术

数字图像在计算机内处理时往往是将其视为一个矩阵来处理的。对图像 $f(x, y)$ 采样，设取 $M \times N$ 个数据，将这些数据按采样点的相对位置排成一个数阵，然后对每个阵元量化，从而得到一个数字矩阵，用这个矩阵代替函数 $f(x, y)$ ，即数字图像可以用一个矩阵表示。矩阵的元素称为数字图像的像素或像元。上述过程可表示如下：

$$f(x, y) \xrightarrow{\text{采样}} \begin{bmatrix} f(x_0, y_0) & f(x_0, y_1) & \cdots & f(x_0, y_{N-1}) \\ f(x_1, y_0) & f(x_1, y_1) & \cdots & f(x_1, y_{N-1}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(x_{M-1}, y_0) & f(x_{M-1}, y_1) & \cdots & f(x_{M-1}, y_{N-1}) \end{bmatrix} \rightarrow [f(i, j)]_{M \times N}$$

$$\xrightarrow{\text{量化}} [f_i(i, j)]_{M \times N}$$

其中， $f_i(i, j)$ 代表经过量化后的像素值。

为了分析和处理方便，有时需要将表示数字图像矩阵的元素逐行或逐列串接成一个向量，这个向量是数字图像的另一种表示形式。下面的过程表示逐行串接：

$$[f(i, j)]_{M \times N} = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \cdots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} f(0,0) \\ \vdots \\ f(1,0) \\ \vdots \\ f(1,N-1) \\ \vdots \\ f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

数字图像的矩阵表示也可用图 1-3 来形象化地加以说明。

在计算机中把数字图像表示为矩阵或向量后，就可以用矩阵理论和其他一些数字方法来对数字图像进行分析和处理了。

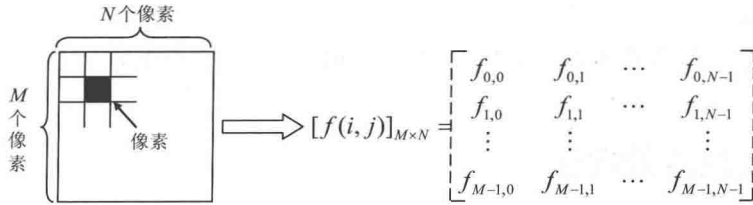


图 1-3 用矩阵理论表示数字图像

1.5.1 图像的采样

图像信号是二维空间的信号，其特点是：它是一个以平面上的点作为独立变量的函数。例如，黑白与灰度图像是用二维平面情况下的浓淡变化函数来表示的，通常记为 $f(x, y)$ ，它表示一幅图像在水平和垂直两个方向上的光照强度的变化。图像 $f(x, y)$ 在二维空域里进行空间采样时，常用的办法是对 $f(x, y)$ 进行均匀采样，取得各点的亮度值，构成一个离散函数 $f(i, j)$ ，其示意图如图 1-4 所示。如果是彩色图像，则以三基色 (RGB) 的明亮度作为分量的二维矢量函数来表示，即：

$$f(x, y) = [f_R(x, y) \quad f_G(x, y) \quad f_B(x, y)]^T \quad (1-3)$$

相应的离散值为：

$$f(i, j) = [f_R(i, j) \quad f_G(i, j) \quad f_B(i, j)]^T \quad (1-4)$$

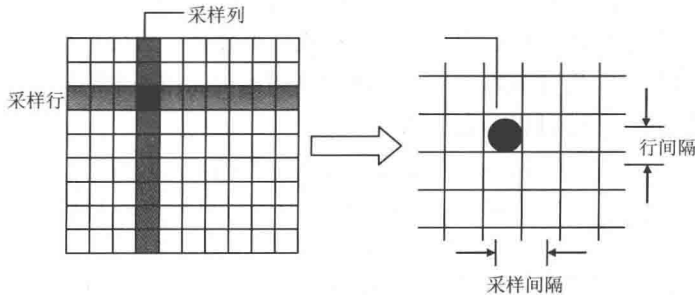


图 1-4 采样示意图

与一维信号一样，二维图像信号的采样也要遵循采样定理。二维信号采样定理与一维信号采样定理类似。

对一个频谱有限 ($|u| < u_{\max}$, 且 $|v| < v_{\max}$) 的图像信号 $f(t)$ 进行采样，当采样频率满足式 (1-5) 和式 (1-6) 的条件时，采样函数 $f(i, j)$ 便能无失真地恢复为连续信号 $f(x, y)$ ， u 和 v 分别为信号 $f(x, y)$ 在两个方向的频域上的有效频谱的最高角频率； r, v 分别为二维采样频率， $u_r = 2\pi / T_u$ ， $v_s = 2\pi / T_v$ 。实际上，常取 $T_u = T_v = T_0$ 。

$$|u_r| \geq 2u_{\max} \quad (1-5)$$

$$|v_s| \geq 2v_{\max} \quad (1-6)$$

1.5.2 图像的量化

模拟图像经过采样后，在时间和空间上离散化为像素。但采样所得的像素值，即灰度值，仍是连续量。把采样后所得的各像素的灰度值从模拟量到离散量的转换称为图像灰度的量化。图 1-5 (a) 说明了量化过程。若连续灰度值用 z 来表示，对于满足 $z_i \leq z \leq z_{i+1}$ 的 z 值，都量化为整数 q_i ， q_i