



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
电子信息科学与工程类专业 规划教材

数字图像处理 技术与应用

(第2版)

◆ 韩晓军 编著

Electronic Information
Science and Engineering



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程类专业规划教材

数字图像处理技术与应用

(第2版)

韩晓军 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。全书共 11 章,系统地介绍了数字图像处理的基本理论和基本技术,包括图像处理基础知识、直方图统计、图像分割与边缘检测、图像复原与增强、图像正交变换、数学形态学及其在图像处理中的应用、图像融合、图像编码等内容。本书深入浅出、理论与实践并重,应用 MATLAB 平台讲解了图像文件的打开、存储和针对图像处理基本内容的编程方法,最后给出了部分工程应用实例。

本书可作为高等院校计算机应用、电子信息工程等计算机类、电子信息类专业本科生、研究生的教材,也可作为从事图像处理与模式识别领域研究工作技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理技术与应用 / 韩晓军编著. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2017.1
电子信息科学与工程类专业规划教材
ISBN 978-7-121-30056-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 242110 号

策划编辑:凌 毅

责任编辑:凌 毅

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:16.25 字数:416 千字 插页:1

版 次:2009 年 7 月第 1 版

2017 年 1 月第 2 版

印 次:2017 年 1 月第 1 次印刷

定 价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:(010)88254528, lingyi@phei.com.cn。

第 2 版前言

数字图像处理和分析是一门综合性学科,它综合了计算机、自动化、集成技术、光学、数学和视觉心理学等众多研究领域的相关知识。数字图像处理技术始于 20 世纪 60 年代,1964 年美国加州理工学院的喷气推进实验室,首次对太空飞船“徘徊者七号”发回的月球照片进行了处理,得到了前所未有的清晰图像,这标志着图像处理技术开始得到实际应用。进入 20 世纪 70 年代,二维图像处理和分析取得较大的进展,到了 20 世纪 80 年代研究进入高潮,研究重点是对三维景物的理解。目前,计算机技术的发展和应用领域提出的重大实际课题开拓了研究的广度和深度,大规模和超大规模集成电路技术的发展为图像处理研究领域提供了物质基础。

图像处理和分析的应用范围非常广泛,涉及文件处理、办公自动化、邮政自动化,生物医学和材料的显微图像、医学影像分析,工业探伤和地质的放射图像,机器人视觉,遥感,可视电话,视频信号网络传输,交通管理和军事侦察等各个领域。伴随着计算机技术的发展,图像处理的应用领域还在不断扩展。人们可以通过各种观测系统从被观测的场景中获取图像。观测系统包括:观测微小细胞的显微图像摄像系统,考察地球表面宏观植被分布、地貌和地质构造的卫星多光谱扫描成像系统,观测交通路口的机动车或机场跑道上飞机的机器人视觉系统或金属材料的 X 射线层析系统。观测系统使用可见光、红外、X 射线、微波、超声波和 γ 射线,以适应探测不同物理介质、材料和状态的场景。伴随图像处理和分析的应用领域的不断扩展,图像的获取方法和设备也在不断完善。

数字图像处理的应用范围和规模已经发生了巨大的变化。但是今天应用到的许多性能可靠的基本技术,仍然是数字图像处理发展初期所采用的技术;而目前出现的一些热门的新理论,一般仍然是建立在过去的基础理论之上,并没有取代传统的理论。因此,本书偏重于经典的数字图像处理理论,重点放在边缘提取、图像分割、形状特征提取、图像压缩编码等方面。应用 MATLAB 软件平台,讲解图像文件的打开、存储、直方图统计、边缘检测、图像二值化等基本预处理方法,并且对数字图像常用处理方法给出了部分应用实例。最后,结合教学和科研实践给出了部分工程应用实例,以帮助读者较快地进入图像处理技术领域,并将基本理论和技术应用于图像处理的实践当中。

本书配有电子课件、MATLAB 源程序等教学资源,读者可以登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载。

本书于 2014 年被评为“‘十二五’普通高等教育本科国家级规划教材”,在本书的再版过程中得到了天津工业大学和电子工业出版社的大力支持。中北大学蔺素珍教授参与编写了本书第

5、6、9 章的主要内容，特别是应用红外图像处理积累的丰富知识，提供了很好的应用实例。研究生张南编写和调试了数字图像处理实例章节的部分程序，邱德勇同学给出了数字水印的实例，张凌景同学给出了 Arnold 变换及其应用处理实例，天津工业大学谢玉芯老师和太原理工大学陈宏涛老师参与编写了工程实例部分章节。虽然本书在第 1 版的基础上进行了重要的修改和补充，但是原来工作的痕迹犹在，所以还要感谢曾经参与编写的师生。对于书中引用的论文和资料的作者，在此表示深深的感谢。

由于作者水平所限，书中会有许多不足之处，敬请同行专家和广大读者批评指正。

韩晓军

2016 年 10 月

目 录

第 1 章 数字图像处理概述	1	3.2.2 边缘图像及分类	39
1.1 数字图像处理的基本知识	1	3.2.3 边缘检测算子	39
1.2 数字图像处理术语	1	3.2.4 边缘检测算子的对比	44
1.3 数字图像处理的方法和内容	2	3.3 霍夫 (Hough) 变换	46
1.3.1 数字图像处理的方法	2	3.4 纹理分析	48
1.3.2 数字图像处理的主要内容	2	3.4.1 基于邻域特征统计的方法	48
1.4 数字图像处理的应用	4	3.4.2 傅里叶频谱方法提取纹理特征	49
1.5 数字图像处理的特点	5	3.4.3 灰度共生矩阵	50
1.6 图像处理工程简述	6	习题 3	53
习题 1	7	第 4 章 图像变换	54
第 2 章 数字图像处理基础	8	4.1 傅里叶变换	54
2.1 图像数字化	8	4.1.1 连续傅里叶变换	54
2.1.1 数字阵列表示	8	4.1.2 离散傅里叶变换	55
2.1.2 数字化的过程	9	4.2 离散余弦变换	57
2.2 数字图像的显示	12	4.2.1 一维离散余弦变换	58
2.3 色度学基础与颜色模型	13	4.2.2 二维离散余弦变换	58
2.3.1 分辨率	13	4.2.3 离散余弦变换的矩阵表示	58
2.3.2 色度学基础	14	4.3 K-L 变换	60
2.3.3 彩色显示	18	4.4 小波变换	61
2.4 灰度直方图	19	4.4.1 连续小波变换	61
2.4.1 直方图的定义	19	4.4.2 离散小波变换	62
2.4.2 直方图的性质	20	习题 4	65
2.4.3 直方图的简单应用	21	第 5 章 图像增强	66
2.5 图像文件格式	22	5.1 概述	66
2.5.1 图像文件简介	23	5.1.1 图像增强的内容	66
2.5.2 BMP 图像文件格式	24	5.1.2 图像增强技术分类	66
2.5.3 其他图像文件格式	28	5.1.3 图像增强的评价	67
2.6 图像的基本运算	30	5.2 点操作增强	67
习题 2	31	5.2.1 灰度级校正	68
第 3 章 图像分割	33	5.2.2 灰度变换	68
3.1 引言	33	5.2.3 灰度直方图变换	72
3.2 图像分割处理	34	5.2.4 图像间运算	75
3.2.1 图像分割的基本方法	34	5.3 基于区域操作增强	79

5.3.1 邻域平均法	80
5.3.2 加权平均法	80
5.3.3 空域低通滤波	81
5.3.4 中值滤波	81
5.4 频域增强	83
5.4.1 频域低通滤波	83
5.4.2 频域高通滤波	86
5.5 同态滤波	88
5.6 彩色增强	89
5.6.1 伪彩色增强	89
5.6.2 假彩色增强	92
5.6.3 真彩色增强	93
习题 5	94

第 6 章 图像复原

6.1 图像退化原因与复原技术分类	96
6.1.1 连续图像退化的数学模型	97
6.1.2 离散图像退化的数学模型	98
6.2 逆滤波复原	99
6.3 约束复原	100
6.3.1 约束复原的基本原理	100
6.3.2 维纳滤波复原	100
6.3.3 约束最小二乘滤波复原	102
6.4 非线性复原	103
6.4.1 最大后验复原	104
6.4.2 最大熵复原	104
6.4.3 投影复原	105
6.4.4 同态滤波复原	106
6.5 盲图像复原法	106
6.5.1 直接测量法	106
6.5.2 间接估计法	107
6.6 几何失真校正	108
6.6.1 典型的几何失真	108
6.6.2 空间几何坐标变换	109
6.6.3 校正空间像素点灰度值的确定	110
习题 6	111

第 7 章 数学形态学在图像处理中的应用

7.1 数学形态学简介	112
-------------------	-----

7.2 图像处理和数学形态学	112
7.3 基本概念和运算	114
7.4 图像处理基本形态学算法	117
习题 7	121

第 8 章 图像编码与压缩

8.1 引言	122
8.2 图像保真度准则	123
8.3 无损压缩技术	124
8.3.1 基于字典的技术	124
8.3.2 统计编码技术	126
8.4 预测编码	128
8.5 图像变换编码基本原理	129
8.6 视频图像编码	130
8.6.1 JPEG 标准	130
8.6.2 MPEG 标准	131
8.6.3 H.261 标准	135
8.6.4 H.263 标准	144
8.6.5 H.264 标准	146
习题 8	150

第 9 章 图像融合

9.1 图像融合的基本概念	151
9.1.1 图像融合	151
9.1.2 图像融合基本过程	152
9.1.3 图像融合层次的差异比较	153
9.1.4 图像融合效果的评价	154
9.1.5 图像融合的应用	159
9.2 可见光与红外图像的融合	160
9.3 红外多波段图像的融合	162
9.3.1 双色中波红外图像融合	162
9.3.2 红外短、长波段图像的融合	165
9.3.3 红外多波段图像的伪彩色融合	166
习题 9	168

第 10 章 MATLAB 图像处理基础与应用

10.1 MATLAB 编程基础	169
10.2 MATLAB 图像处理基础	175
10.3 MATLAB 图像处理常用算法	181
10.3.1 图像代数运算	181

10.3.2 图像分割	188	11.2 显微红细胞提取和分割	218
10.3.3 图像改善的算法	193	11.3 红外图像的增强	221
10.4 直线提取算法	202	11.4 测定织物纬向密度	223
10.5 图像常用正交变换	204	11.5 数字图像水印技术	226
10.6 分块 DCT 编码水印嵌入方法	213	11.6 Arnold 变换及其应用	234
习题 10	215		
第 11 章 图像处理技术应用实例	216	附录 A MATLAB 图像处理工具箱	
		常用函数	237
11.1 织物疵点的图像信息检测	216	参考文献	246

第1章 数字图像处理概述

本章主要介绍数字图像处理的基本知识、常用基本术语、数字图像处理的基本研究内容和方法、主要应用领域和图像处理的优势，引导读者进入数字图像处理的研究领域。

1.1 数字图像处理的基本知识

数字图像处理是指用计算机对图像进行处理。与人类对视觉机理着迷的历史相比，它是一门年轻的学科。目前，数字图像处理已经程度不同地被成功应用于几乎所有与成像有关的领域。

数字图像处理系统基本由3个部分组成：计算机、图像数字化仪和图像显示设备。通常在自然的形式下，图像并不能直接由计算机处理和分析。因为计算机只能处理数字文件，而不是图片，所以一幅图像在用计算机进行处理前必须首先转化为数字形式。

物理图像是物质或者能量的实际分布。例如，光学图像是光强度的空间分布，它们能被肉眼所看到，因此也是可见图像。不可见的物理图像包括温度、压力、人口密度和交通流量等的分布图。

物理图像也称为模拟图像，被划分为称作图像元素的小区域，图像元素通常简称为像素（Pixel）。将模拟图像转化为数字图像的过程称为数字化。在每个像素位置上，图像的亮度被采样和量化，从而得到图像的对应点上表示其亮、暗程度的一个整数值。在对所有的像素都完成上述转化后，图像就被表示成一个整数矩阵。每个像素具有两个属性：位置和灰度。位置（或称为地址）由扫描线内采样点的两个坐标决定，它们又称为行和列。表示该像素位置上亮、暗程度的整数称为灰度。

图1.1所示为一个完整的图像处理系统。由图像数字化设备产生的数字图像先进入一个适当装置的缓存中，然后根据操作员的指令，计算机调用和执行程序库中的图像处理程序。在执行过程中，输入图像被逐行读入计算机。对图像进行处理后，计算机逐行按像素生成一幅输出图像，并将其逐行送入缓存。

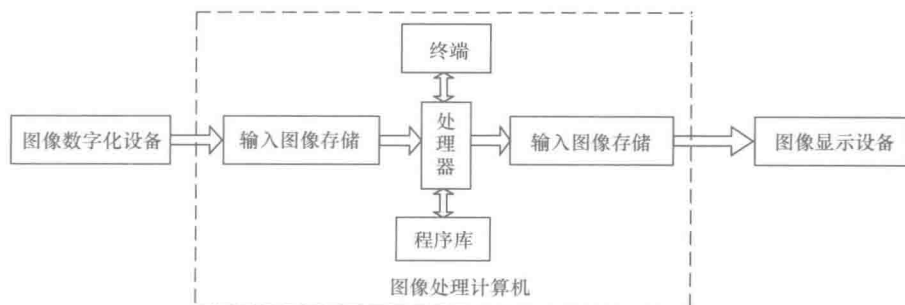


图 1.1 数字图像处理系统

1.2 数字图像处理术语

在讨论数字图像处理之前，首先对“图像”一词进行定义和描述。一幅图像包含了有关其

所表示物体的描述信息。图像可以根据其形式或产生方法来分类。为此,引入一个集合论的方法。在图像集合中,包含了所有可见的图像,即可由人眼看见的图像的子集。在该子集中又包含几个由不同方法产生的图像的子集,一个子集为图片,包括用线条画成的图,如简单线条的几何图、画(如山水画、人像等);另一个子集为光图像,即用透镜、光栅和全息术产生的图像。

数字图像处理:将一幅图像变为另一幅经过修改的图像,因此数字图像处理是一个由图像到图像的过程。

数字图像分析:指将一幅图像转化为一种非图像表示方法。

计算机图形学:一门涉及用计算机对图像进行处理和显示的学科。

计算机视觉:使得计算机能够观察和理解自然景物的系统。

在更广泛的意义上,使用数字图像涵盖任何用计算机来操作与图像有关数据的技术,包括计算机图形学、计算机视觉,以及数字图像处理和图像分析。

数字化:指将一幅图像从模拟图像转化为数字形式的处理过程。

扫描:指对一幅图像内的给定位置寻址。在扫描过程中被寻址的最小单元是图像元素,即像素,摄影图像的数字化就是对胶片上一个个小斑点的顺序扫描。

采样:指图像在空间上的离散化。

量化:指将测量的灰度值用一个整数表示。

采样和量化组成了数字化的过程,经过数字化,得到一幅图像的数字表示,即为数字图像。

1.3 数字图像处理的方法和内容

1.3.1 数字图像处理的方法

数字图像处理的方法可以分为两类:空间域方法(简称空域法)和变换域法。

1. 空域法

空域法把图像看作关于 x, y 坐标位置的像素的集合,直接对二维函数的集合 $\{f(x, y)\}$ 进行相应的处理。空域处理法主要有两大类。

① 邻域处理法:包括梯度运算、平滑算子运算和卷积运算。

② 点处理法:包括灰度处理,面积、周长、体积运算等。

2. 变换域法

数字图像变换域的处理方法是对图像进行正交变换,得到变换域系数阵列,再对系数阵列进行处理,然后反变换到空间域,最后得到处理结果的显示图像。

1.3.2 数字图像处理的主要内容

数字图像处理可以分为以下几个方面:图像信息获取、图像信息存储、图像信息处理、图像信息传送、图像信息的输出和显示、图像描述、图像的理解和识别。

1. 图像信息获取

数字图像处理的第一步是图像的采集和获取,把一幅图像转换成适合输入计算机的数字信号,这一过程包括摄取图像、A/D 转换及数字化等步骤。主要设备包括:CCD 摄像设备、飞点扫描器、扫描鼓、扫描仪等图像数字化设备。

2. 图像信息的存储

图像信息的特点是数字量巨大,存储采用的介质有磁带、磁盘或光盘。为解决海量存储问题,主要研究数据压缩、图像格式和图像数据库技术等。

3. 图像信息处理

数字图像处理多采用计算机处理,主要内容为几何处理、算术处理、图像变换、图像编码、图像增强和复原、图像分割。

(1) 几何处理

几何处理主要包括坐标变换,图像的放大、缩小、旋转、移动,多个图像配准,图像的校正,图像周长、面积、体积的计算等。

(2) 算术处理

算术处理主要对图像施以加、减、乘、除等运算。

(3) 图像变换

图像变换属于图像处理的方法之一,由于数字图像阵列通常很大,如果直接在空间域中进行处理,计算量必将非常大。因此,往往采用各种图像变换的方法,如傅里叶变换、沃尔什变换、离散余弦变换等间接处理技术,将空间域的处理转换为变换域处理,这样不仅可以减少计算量,而且可以获得更有效的处理。例如,通过傅里叶变换可以在频域中进行数字滤波处理。目前研究的小波变换在时域和频域中都具有良好的局部化特性,它在图像处理中也有着广泛而有效的应用。

(4) 图像编码压缩

图像编码是利用图像信号的统计特性及人类视觉的生理学及心理学特性对图像信号进行编码。编码是压缩技术中最重要的方法,在图像处理技术中是发展较早且比较成熟的技术。研究图像编码压缩技术的目的有3个:

- ① 减少数据存储量;
- ② 降低码流以减少传输带宽;
- ③ 压缩信息量,便于识别和理解。

图像编码压缩技术可以减少描述图像的数据量,以便节省图像传输、处理的时间和减少所占用的存储容量。压缩可以在不失真的前提下获得,也可以在允许的失真条件下进行。

(5) 图像增强和复原

图像增强和复原的目的是提高图像的质量,如去除噪声、提高图像的清晰度等。图像增强不考虑引起图像“降质”的原因,而是突出图像中所感兴趣的部分。例如,强化图像高频分量可以使图像中物体轮廓清晰、细节明显,强化低频分量可减少图像中噪声的影响。图像增强可以明显改善视觉效果。图像复原要求对图像“降质”的原因有一定的了解,通常根据图像降质的过程建立“降质模型”,再采用某种滤波方法,恢复或重建原来的图像。

(6) 图像分割

图像分割是数字图像处理中的关键技术之一。图像分割是将图像中有意义的特征部分提取出来,这些有意义的特征包括图像的边缘、区域、纹理等,这是进一步进行图像识别、分析和理解的基础。虽然目前已研究出不少边缘提取、区域分割的方法,但是随着图像处理应用领域的不断扩展,对图像分割的研究还在不断深入,是目前数字图像处理研究的热点问题之一。

4. 图像描述

图像描述是图像识别和理解的必要前提。对于最简单的二值图像,可以采用其几何特性描述物体的特性。一般图像的描述方法采用二维形状描述,有边界描述和区域描述两类方法。对于特殊的纹理图像,可以采用二维纹理特征描述。随着图像处理技术研究的深入发展,已经开始进行三维物体描述的研究,提出了体积描述、表面描述、广义圆柱体描述等方法。

5. 图像识别

图像识别属于模式识别的范畴,其主要内容是图像经过某些预处理(如增强、复原、压缩)后,进行图像分割和特征提取,从而进行判决分类。图像分类常采用经典的模式识别方法,有统计模式分类和句法结构模式分类,近年来新发展起来的模糊模式识别和人工神经网络模式分类在图像识别中也越来越受到重视。

6. 图像理解

图像理解是由模式识别发展起来的方法。这种处理过程的输入是图像,输出是一种描述。这种描述并不仅是单纯的用符号作出详细的描绘,而且要根据客观世界的知识利用计算机进行联想、思考和推论,从而理解图像所表现的内容。图像理解有时也称为景物理解。在这一领域还有相当多的问题需要进行深入研究。

1.4 数字图像处理的应用

数字图像处理和计算机、多媒体、智能机器人、专家系统等技术的发展紧密相关,近年来,模式识别技术发展迅速,这使得图像处理除了直接供人们观看外,还进一步发展为与计算机视觉有关的应用。下面简要介绍数字图像处理在各个领域的应用。

(1) 工业领域的应用

数字图像处理技术可用于模具、零件制造行业、服装、印染行业,产品无损检测、焊缝及内部缺陷检查,装配流水线零件自动检测,邮件、包裹自动分拣、识别,印刷板质量、缺陷检出,生产过程的监测、监控,形状相同批量产品的数量统计,金相分析,密封元器件内部的质量检查等。

(2) 交通领域的应用

交通管制、机场监控、运动车船的视觉反馈控制、道路和交通指示牌识别、车牌和火车车厢的识别等。

(3) 军事、公安领域中的应用

军事侦察、定位、引导和指挥,巡航导弹地形识别,遥控飞行器的引导,测视雷达的地形侦察,目标的识别与制导,指纹自动识别,罪犯脸型合成,手迹、人像、印章的鉴定识别,过期档案文字的复原,集装箱的不开箱检查等。

(4) 生物医学领域的应用

显微图像处理,DNA(脱氧核糖核酸)显示分析,红、白血球分析计数,虫卵及组织切片的分析,细胞识别,染色体分析,DSA(心血管数字减影)以及其他减影技术,内脏大小形状及异常检出,心脏活动三维图像动态分析,热像分析、红外图像分析,X光照片增强、冻结和伪彩色增强,超声图像成像、冻结、增强和伪彩色处理,CT(计算机断层扫描成像)

图像处理, CT 与 MRI (磁共振成像) 图像融合, 专家系统手术规划的应用, 生物进化的图像分析等。

(5) 遥感航天领域的应用

多光谱卫星图像分析, 地形、地貌、国土普查, 地质、矿藏勘探, 森林资源探查、分类和防火, 水利资源探查, 洪水泛滥监测, 海洋、渔业方面 (如温度、鱼群的监测和预报), 农业方面 (如粮食估产、病虫害调查), 自然灾害、环境污染的监测, 气象、天气预报图的合成分析预报, 天文、太空星体的探测及分析。

(6) 机器人视觉

机器视觉作为智能机器人的重要感知技术, 主要进行三维景物理解和识别, 是目前处于研究之中的开放课题。机器视觉主要涉及用于军事侦察、危险环境的自主机器人, 邮政、医院和家庭服务的智能机器人, 可实现装配线工件识别与定位, 太空机器人的自主操作等。

(7) 通信工程方面的应用

当前通信的主要发展方向是声音、文字、图像和数据相结合的多媒体通信。其中, 以视频通信最为复杂和困难, 因为图像的数据量十分巨大, 如传送彩色电视信号的速率达 100Mbit/s 以上。要将这样高速率的数据实时传送出去, 必须采用编码技术来压缩信息的比特量。从一定意义上讲, 编码压缩是这些技术成败的关键。除了已应用较广泛的熵编码、DPCM (差分脉冲编码调制) 编码、变换编码外, 目前国内外正在大力开发研究新的编码方法, 如分行编码、自适应网络编码、小波变换图像压缩编码等。

另外, 数字图像处理还可应用于服装试穿效果显示、理发发型预测显示、电视会议、办公自动化、现场视频管理、数字水印技术、图像加密等众多领域。

1.5 数字图像处理的特点

1. 再现性好

数字图像处理与模拟图像处理的根本不同在于, 它不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作而导致图像质量的退化。只要图像在数字化时准确地表现了原稿, 那么数字图像处理过程就始终能保持图像的再现, 人类视觉能够直观地观察图像。

2. 处理精度高

按目前的技术, 几乎可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组, 这主要取决于图像数字化设备的能力。现代扫描仪可以把每个像素的灰度等级量化为 16 位甚至更高, 这意味着图像的数字化精度可以达到满足任一应用需求。对计算机而言, 不论数组大小, 也不论每个像素的位数多少, 其处理程序几乎是一样的。换言之, 从原理上讲, 不论图像的精度有多高, 处理总是能实现的, 只要在处理时改变程序中的数组参数就可以了。对比图像的模拟处理, 为了要把处理精度提高一个数量级, 就要大幅度地改进处理装置, 这在经济上是极不划算的。

3. 适用领域广泛

图像可以来自多种信息源, 它们可以是可见光图像, 也可以是不可见的波谱图像 (如 X 射线图像、 γ 射线图像、超声波图像或红外图像等)。从图像反映的客观实体尺度看, 可以小到电子显微镜图像, 大到航空照片、遥感图像, 甚至天文望远镜图像。这些来自不同信息源的图像只要被变换为数字编码形式后, 均可用二维数组表示的灰度图像组合而成并且均可用计算机来处理。彩色图像也是由灰度图像组合而成的, 如 RGB 图像由红、绿、蓝 3 个灰度图像组

合而成。也就是说,只要针对不同的图像信息源,采取相应的图像信息采集措施,图像的数字处理方法适用于任何一种图像。

4. 灵活性强

图像处理大体上可分为图像的像质改善、图像分析和图像重建 3 大部分,每一部分均包含丰富的内容。由于图像的光学处理从原理上讲只能进行线性运算,这极大地限制了光学图像处理能实现的目标。而数字图像处理不仅能完成线性运算,而且能实现非线性处理,即凡是可以用数学公式或逻辑关系来表达的一切运算均可用数字图像处理实现。

5. 图像数据量庞大

图像中包含丰富的信息,数字图像的数据量十分巨大。一幅数字图像是由图像矩阵中的像素组成的,通常,每个像素用红、绿、蓝 3 种颜色表示,每种颜色用 8 位表示灰度级。一幅 1024×1024 不经过压缩的真彩色图像,数据量达到 3MB。

6. 占用频带较宽

与语音信号相比,数字图像占用的频带要大几个数量级。如视频图像的带宽约为 56MHz,而语音信号的带宽约为 4kHz。因此,现代多媒体通信对视频信号的传输、处理、存储提出了更高的技术要求。

7. 图像质量评价受主观因素的影响

数字图像处理后的结果通常都是图像,经过处理的图像是供人们观察和评价的,因此受观察者的主观因素影响较大。

8. 数字图像处理涉及技术领域广泛

数字图像处理涉及技术领域相当广泛,如计算机技术、电子技术、通信技术等。数学、光学、模式识别等理论在数字图像处理中都得到了应用。

1.6 图像处理工程简述

图像工程的内容非常丰富,根据抽象程度和研究方法等方面的不同,可分为图像处理、图像分析和图像理解 3 个层次。图像处理、图像分析和图像理解既有联系又有区别,图像工程是三者的有机结合,另外还包括它们的工程应用。

图像分析主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,以获得它们的客观信息,从而建立对图像的描述。如果说图像处理是一个从图像到图像的过程,那么图像分析就是一个从图像到数据的过程。这里的数据可以是目标特征的测量结果,也可以是基于测量的符号表示,它们描述了目标的特点和性质。

图像理解的重点是在图像分析的基础上,进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的相互联系,并得出对图像内容含义的理解以及对原来客观场景的解释,从而指导决策。

图像处理、图像分析和图像理解处在 3 个抽象程度和数据量各有特点的不同层次上。图像处理是比较低层的操作,主要在图像的像素级上进行处理,处理的数据量非常庞大。图像分析是中层操作,通过分割和特征提取把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的非图像形式的描述。图像理解主要是高层操作,基本上是对从描述抽象出来的符号进行运算、分析和综合,并最终为图像处理的应用作出决策。根据本课程的任务和目标,本书重点放在图像处理的基本理论和实现技术上。

习 题 1

- 1.1 数字图像处理的基本内容有哪些?
- 1.2 数字图像处理有哪些应用领域?
- 1.3 数字图像处理的基本方法是什么?
- 1.4 数字图像处理具有哪些特点?
- 1.5 数字图像处理主要与哪些学科有关?

第2章 数字图像处理基础

本章讨论图像数字化的基本概念,图像数字化过程中采样、量化,以及采样点数和量化等级对图像质量的影响。讲述灰度等级、色度学基础与颜色模型,重点讲解 RGB 和 HSI 颜色模型及其相互转换,不同颜色模型的应用领域等内容。图像直方图在数字图像处理中是一个直观、简单、重要的工具,它反映了图像像素分布的统计特征。本章讲述图像直方图的定义、概念、性质和简单应用,为图像处理直方图的应用打下基础。图像文件的读取、传输等操作都涉及图像文件格式。本章讲述图像文件及其格式的基本概念,重点分析 BMP 文件格式。同时,作为数字图像处理基础,讲述图像的基本运算。

2.1 图像数字化

由于计算机只能处理数字图像,而自然界提供的图像却是其他的形式,所以数字图像处理的一个先决条件就是将图像数字化。通常,给普通的计算机系统装备专用的图像数字化设备就可以使之成为一台图像处理工作站。图像显示是数字图像处理的最后一个环节。所有的处理结束后,显示环节把数字图像转化为适合于人类使用的形式。显示图像对数字图像处理是必要的,但它对于数字图像分析却不一定是必需的。

2.1.1 数字阵列表示

数字图像采用数字阵列表示,矩阵中的元素称为像素(Pixel)或像点,像素的幅值对应于该点的灰度级。如图 2.1 所示为如何用一个数字阵列来表示一个物理图像的示意图。物理图像被划分为称作图像元素的小区域。最常见的划分方案是图 2.1 所示的方形采样网格,图像被分割成相邻像素组成的许多水平线,赋予每个像素位置的数值反映了物理图像上对应点的亮度,用 $f(i, j)$ 代表 (i, j) 点的灰度值,即亮度值。它们被分为 0~255 个等级。因此,数字图像上一点的像素由该点的横坐标、纵坐标和像素值共同组成。

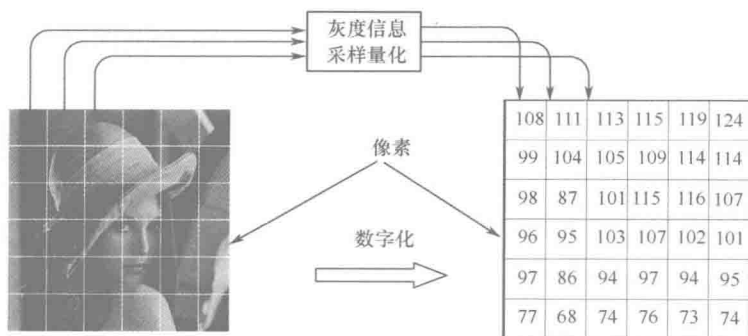


图 2.1 利用数字阵列表示物理图像示意图

关于图像的数字化,有以下几点需要说明。

① 由于 $f(i, j)$ 代表该点图像的光强度, 而光是能量的一种形式, 故 $f(i, j)$ 必须大于零, 且为有限值, 即 $0 < f(i, j) < \infty$ 。

② 数字化采样一般是按正方形点阵取样的, 除此之外还有三角形点阵、正六边形点阵等取样方式。

③ 用 $f(i, j)$ 的数值来表示 (i, j) 位置点上灰度级值的大小, 即只反映了黑白灰度的关系。如果是一幅彩色图像, 各点的数值还应反映色彩的变化, 可用 $f(i, j, \lambda)$ 表示, 其中 λ 是波长; 如果图像是运动的, 则图像序列还应该是时间 t 的函数, 即可表示为 $f(i, j, \lambda, t)$ 。

2.1.2 数字化的过程

1. 采样

图像在空间上的离散化称为采样。也就是用空间上部分点的灰度值代表图像, 这些点称为采样点。由于图像是一种二维分布的信息, 所以为了对它进行采样操作, 需要先将二维信号变为一维信号, 再对一维信号完成采样。具体做法是: 先沿垂直方向按一定间隔从上到下顺序地沿水平方向直线扫描, 取出各水平线上灰度值的一维扫描线信号; 然后, 再对一维扫描线信号按一定间隔采样得到离散信号, 即先沿垂直方向采样, 再沿水平方向采样, 通过这两个步骤完成采样操作。对于运动图像, 即时间域上的连续图像, 需要先在时间轴上采样, 再沿垂直方向采样, 最后沿水平方向采样, 由这 3 个步骤完成。当对一幅图像采样时, 若每行 (即横向) 像素为 M 个, 每列 (即纵向) 像素为 N 个, 则图像大小为 $M \times N$ 个像素。

在进行采样时, 采样点间隔的选取是一个非常重要的问题, 它决定了采样后图像的质量, 即忠实于原图像的程度。采样间隔大小的选取要依据原图像中包含的细节情况来决定。一般情况下, 图像中细节越多, 采样间隔应该越小。根据一维采样定理, 若一维信号 $f(t)$ 的最大角频率为 ω , 以 $T \leq \frac{1}{2\omega}$ 为间隔进行采样, 则能够根据采样后的结果 $f(i, T)$ 完全恢复 $f(t)$, 即

$$f(t) = \sum_{i=-\infty}^{+\infty} f(iT)s(t-iT) \quad (2.1)$$

$$s(t) = \frac{\sin(2\pi\omega t)}{2\omega t} \quad (2.2)$$

图像处理的方法有模拟式和数字式两种。由于数字计算技术的迅猛发展, 数字图像处理技术在各个领域得到了广泛的应用。日常生活中见到的图像一般是连续形式的模拟图像, 所以数字图像处理的一个先决条件就是将连续图像离散化, 即将模拟图像转换为数字图像。图像的数字化包括采样和量化两个过程。设一幅连续图像 $\{f(x, y)_{M \times N}\}$ 经过数字化后, 可以用一个离散数据量所组成的矩阵 $f(i, j)$, 即用二维数组表示为

$$f(i, j) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

2. 量化

模拟图像经过采样后, 在时间和空间上离散化为像素。但经过采样所得到的像素值, 即灰度值仍然是连续量。把采样后所得的各像素的灰度值从模拟量转换到离散量的过程称为图像灰度的量化。一幅图像中不同灰度值的个数称为灰度级, 一般为 256 级 (2^8), 所以像素灰度