



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育电子信息类规划教材

数字图像处理 与分析

张弘 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，书中系统介绍了图像处理和分析的基本理论、技术和典型方法，并结合作者及其所在实验室多年来从事数字图像处理的教学心得和科研成果，注重理论联系实际，简化数学推导，列举大量工程应用中的实例，并介绍了许多近年来国际上的有关最新研究成果。意在使读者更好掌握数字图像处理的基本理论、方法、实用技术以及一些典型应用。

全书共分9章，第1、2章是图像处理的基础，介绍了图像技术整体概况、分类以及有关视觉模型，数字图像采集、表达，图像处理的基本概念等；第3、4、5章论述了图像处理的基本技术，包括图像的各种基本变换、图像增强、图像复原等；第6、7章介绍了图像分析的基本原理和技术，如图像分割、目标表达和描述、形态学方法等；第8章介绍了图像压缩编码的基本知识；第9章根据作者多年从事图像处理研究的经验，列举了几个有代表性的实例，如医学、遥感、目标检测识别、立体视觉，这些实例具有很好的通用性和应用性，对具体工程应用大有帮助。

随书还附有光盘一张，内有作者编制的基于MATLAB和基于VC++实现的数字图像处理软件，分别对应于本书各章节。该软件既可作为教学演示和实验工具，也可在实际图像处理中应用。光盘中还有本书的电子课件，供教师教学和学生自学使用。

本书可作为通信工程、电子信息工程、计算机应用、信号与信息处理、生物医学工程、自动化、遥感、农业、气象等学科本科和研究生的专业基础课教材，也可供上述学科及遥感和军事侦察等领域的科技工作者和高等院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理与分析/张弘主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 普通高等教育电子信息类规划教材

ISBN 978-7-111-21220-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第040759号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王保家 版式设计:张世琴 责任校对:陈立辉

封面设计:张静 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13.5印张·329千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21220-1

ISBN 978-7-89482-159-1(光盘)

定价:26.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

近几十年, 数字图像处理技术在数字信号处理技术和计算机技术发展的推动下得到了飞速的发展, 正逐渐成为其它科学技术领域中不可缺少的一项重要工具。数字图像处理的应用领域越来越广泛, 从空间探索到微观研究, 从军事领域到工农业生产, 从科学教育到娱乐游戏, 越来越多的领域用到了数字图像处理技术。

本书是为高等院校本科生、研究生编写的教材。它包含了数字图像处理的主要技术和最新研究成果, 紧跟最新技术发展, 注重理论联系实际, 给出大量实例和应用, 意在使读者更好地掌握数字图像处理的基本理论、方法、实用技术以及一些典型应用。全书共分9章, 主要内容包括数字图像基本知识、概念, 图像的变换、图像增强、图像复原、图像分割和图像分析, 图像压缩编码以及一些图像处理的应用实例。本书由几位多年从事数字图像处理教学和科研工作的教师编写, 书中的例子多源于作者的科研实践, 经过精心组织, 有利于教师讲授和学生学习。本书附有一张光盘, 其中包括作者编制的基于 MATLAB 和基于 VC++ 实现的数字图像处理软件, 分别对应于本书各章节, 该软件既可作为教学演示和实验工具, 也可在实际图像处理中应用。光盘中还有本书的电子教案, 供教师教学和学生自学使用。

本书由北京航空航天大学图像中心张弘、曹晓光、谢凤英老师共同编著。其中第4、8、9章、MATLAB 应用程序及附录由张弘编写; 第1、2章, 第7章(7.5节除外)由曹晓光编写; 第3、5、6章, 7.5节及 VC++ 应用程序由谢凤英编写, 全书由张弘统稿。本书由北京理工大学信息工程学院赵保军教授、北京航空航天大学图像处理中心姜志国教授主审, 他们提出了许多宝贵意见, 在此特别感谢。北京航空航天大学图像中心的周孝宽老师、周付根老师, 中国石油大学(北京)机电学院的姜珊老师在本书的编写过程中都给予了无私的帮助与支持, 感谢李朝晖博士、尤玉虎博士、李岳成硕士在本书的编写中给予的大力支持。同时, 在编写本书的过程中参考了国内外出版的大量书籍和论文, 对本书中所引用论文和书籍的作者深表感谢。

由于编者水平有限, 书中定有一些不当之处, 敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 绪论 1

1.1 数字图像 1

1.1.1 数字图像的基本概念 1

1.1.2 数字图像的基本特点 2

1.2 数字图像处理 3

1.2.1 数字图像处理的基本特点 3

1.2.2 数字图像处理的主要研究内容 3

1.3 相关学科和领域 5

1.3.1 数字信号处理学 5

1.3.2 计算机图形学 6

1.3.3 计算机视觉 6

1.4 数字图像处理的主要应用与发展趋势 6

1.4.1 数字图像处理的主要应用 7

1.4.2 数字图像处理的发展趋势 10

习题 10

第 2 章 图像处理基础知识 11

2.1 图像数字化 11

2.1.1 图像传感器与数字成像 11

2.1.2 数字化原理 12

2.2 图像数据结构 14

2.2.1 图像模式 14

2.2.2 彩色空间 15

2.2.3 图像存储的数据结构 17

2.3 图像文件格式 18

2.3.1 BMP 文件格式 18

2.3.2 GIF 文件格式 22

2.3.3 TIFF 文件格式 22

2.3.4 JPEG 文件格式 23

2.3.5 DICOM 文件格式 23

2.4 图像质量评价 23

2.4.1 图像质量的客观评价 24

2.4.2 图像质量的主观评价 24

习题 25

第 3 章 图像变换 26

3.1 傅里叶变换 26

3.1.1 一维傅里叶变换 26

3.1.2 二维离散傅里叶变换 27

3.1.3 二维离散傅里叶变换的性质 28

3.1.4 快速傅里叶变换 32

3.1.5 傅里叶变换在图像处理中的应用 36

3.2 离散余弦变换 37

3.2.1 离散余弦变换原理 37

3.2.2 离散余弦变换在图像处理中的应用 38

3.3 小波变换及其应用 39

3.3.1 多分辨率分析的背景知识 39

3.3.2 多分辨率展开 42

3.3.3 一维小波变换 46

3.3.4 快速小波变换算法 48

3.3.5 二维离散小波变换 49

3.3.6 小波分析在图像处理中的应用 51

习题 54

第 4 章 图像增强 55

4.1 引言 55

4.2 直接灰度变换 56

4.2.1 灰度线性变换 57

4.2.2 灰度非线性变换 61

4.3 直方图修正法 62

4.3.1 灰度直方图的定义 62

4.3.2 直方图的用途 64

4.3.3 直方图均衡化 65

4.3.4 直方图规范化 70

4.4 图像平滑 73

4.4.1 邻域平均法	73	6.3.3 watershed 分割	125
4.4.2 中值滤波	74	6.4 Hough 变换	127
4.4.3 多图像平均法	76	6.4.1 Hough 变换的原理	127
4.4.4 频域低通滤波法	78	6.4.2 广义 Hough 变换	129
4.5 图像锐化	80	习题	130
4.5.1 微分法	81	第 7 章 图像描述与分析	131
4.5.2 高通滤波法	83	7.1 灰度描述	131
4.6 同态增强	85	7.1.1 幅度特征	131
4.7 彩色增强	86	7.1.2 直方图特征	131
4.7.1 伪彩色增强	86	7.1.3 变换系数特征	133
4.7.2 真彩色增强	89	7.2 边界描述	134
习题	90	7.2.1 链码描述	134
第 5 章 图像复原	92	7.2.2 傅里叶描述	135
5.1 图像复原的基本概念	92	7.3 区域描述	135
5.2 图像退化模型	93	7.3.1 几何特征	136
5.2.1 连续的退化模型	95	7.3.2 不变矩	137
5.2.2 离散的退化模型	96	7.4 纹理描述	139
5.3 图像复原的方法	99	7.4.1 矩分析法	140
5.3.1 反向滤波法	99	7.4.2 灰度差分统计法	141
5.3.2 约束还原法	101	7.4.3 灰度共生矩阵法	142
5.4 运动模糊图像的复原	104	7.4.4 纹理的结构分析	144
5.4.1 模糊模型	104	7.5 形态分析	145
5.4.2 水平匀速直线运动引起模糊 的复原	105	习题	150
5.5 图像的几何校正	107	第 8 章 数字图像的压缩编码	151
5.5.1 几何畸变的描述	107	8.1 概述	151
5.5.2 几何校正	108	8.1.1 图像压缩编码的必要性	151
习题	112	8.1.2 图像压缩编码的可能性	151
第 6 章 图像分割	113	8.1.3 图像压缩编码的分类	153
6.1 灰度阈值法	113	8.1.4 压缩编码系统评价	153
6.1.1 阈值分割的原理	113	8.2 预测编码	156
6.1.2 阈值的选取	114	8.2.1 预测编码的基本原理	156
6.2 边缘检测	116	8.2.2 DPCM 编码	156
6.2.1 梯度算子	117	8.2.3 ΔM 编码	160
6.2.2 拉普拉斯算子	118	8.3 统计编码	162
6.2.3 Canny 算子	118	8.3.1 游程长度编码	162
6.3 区域分割	121	8.3.2 霍夫曼编码	163
6.3.1 区域生长	121	8.3.3 算术编码	164
6.3.2 分裂合并	123	8.4 变换编码	166
		8.4.1 变换编码的基本原理	166

8.4.2 变换编码特性评价	166	9.1 数字图像处理系统	189
8.4.3 变换编码中主要解决的问题	167	9.1.1 数字图像处理系统的分类	189
8.4.4 变换编码的特点及应用	169	9.1.2 计算机图像处理系统的基本 构成	190
8.5 位平面编码	170	9.2 应用实例	191
8.5.1 位平面分解	171	9.2.1 生物医学图像的处理	191
8.5.2 位平面编码方法	172	9.2.2 DSP 组成的目标检测与识别 系统	193
8.6 静止图像压缩编码实例	172	9.2.3 基于统计特征的高分辨率遥感 影像道路提取	197
8.6.1 JPEG 基本系统	173	9.2.4 立体视觉系统	199
8.6.2 应用举例	176	附录	203
8.6.3 编码比特率的控制	178	附录 A 数字图像处理实验	203
8.7 图像压缩的国际标准简介	178	附录 B 图像处理领域相关国际刊物	204
8.7.1 静止图像压缩标准	179	附录 C 图像处理领域相关国际会议	204
8.7.2 视频压缩编码标准	180	参考文献	206
习题	187		
第 9 章 数字图像处理系统及应用			
实例	189		

第 1 章 绪 论

1.1 数字图像

广义地讲，凡是记录在纸介质上的，拍摄在底片和照片上的，显示在电视、投影仪和计算机屏幕上的所有具有视觉效果的画面都可以称为图像。根据图像记录方式的不同，图像可分为两大类，一类是模拟图像(Analog Image)，一类是数字图像(Digital Image)。模拟图像是通过某种物理量(光、电等)的强弱变化来记录图像上各点的亮度信息的，例如模拟电视图像；而数字图像则完全是用数字(即计算机存储的数据)来记录图像各点的亮度信息。

所谓数字图像处理(Digital Image Processing)，就是指用数字计算机及其它相关的数字技术，对数字图像施加某种或某些运算和处理，从而达到某种预期的处理目的。例如，经过某些处理可以改善某个数字图像的亮度和对比度，在数字图像处理中称为图像对比度拉伸。

1.1.1 数字图像的基本概念

图像是当光辐射能量照在客观存在的物体上，经其反射或透射得到反射光能量或透射光能量，或由发光物体本身发出的光能量。人类用眼睛感受外界的光能量，经过视神经、传导神经后在大脑中重现出的景物的视觉信息，这是最原始的图像。同理，由人类设计制造的成像装置感受外界的光能量形成的结果也是图像，例如相机拍摄的底片和照片、电影摄影机拍摄的电影片段、电视摄像机拍摄的电视节目片段等都属于图像的范畴。自然图像是连续的，或者说，在采用数字化表示和数字计算机存储处理之前，图像是连续的，这时的图像称为模拟图像(Analog Image)或连续图像。

什么是数字图像？数字图像(Digital Image)是由模拟图像数字化或离散化得到的，组成数字图像的基本单位是像素(Pixel)，也就是说，数字图像是像素的集合。例如，常见的二维静止黑白图像是以像素为元素的矩阵，每个像素上的值代表图像在该位置的亮度，称为图像的灰度值。数字图像像素具有整数坐标和整数灰度值。

由模拟图像得到数字图像的过程，是将空间上连续和亮度上连续的模拟图像进行离散化处理，也就是数字化(Digitizing)。数字化得到的数字图像，是由行和列双向排列的像素组成的，像素的值就是灰度值(Grey-level)，彩色图像的像素值是三基色颜色值。下面介绍与数字图像相关的重要概念和术语。

1. 景物

通常把人眼所看到的客观存在的世界称为景物(Scene)，或者把相机所拍摄的客观世界称为景物。

2. 图像

图像(Image)就是视觉景物的某种形式的表示和记录。

3. 数字图像

数字图像(Digital Image)是由模拟图像数字化得到的、以像素为基本元素的、可以用数字计算机或数字电路存储和处理的图像。

4. 像素

像素(或像元, Pixel)是数字图像的基本元素, 像素是在模拟图像数字化时对连续空间进行离散化得到的。每个像素具有整数行(高)和列(宽)位置坐标, 同时每个像素都具有整数灰度值或颜色值。

5. 灰度

灰度(Gray-level)表示像素所在位置的亮度, 灰度值是在模拟图像数字化时对亮度进行离散化得到的。彩色图像一般采用红绿蓝三基色的颜色值。

6. 数字化

将一幅图像从其原来的模拟形式转换成数字形式的处理过程, 称作数字化(Digitizing)。如图 1-1 所示。在数字信号学中, 数字化也称为 A/D 转换(数字图像是二维空间坐标上的数字信号)。

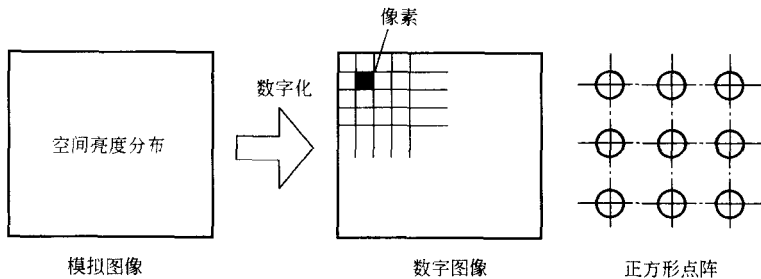


图 1-1 图像与数字化

7. 空间分辨率

数字图像的空间分辨率(Spatial Resolution)描述图像数字化过程中对空间坐标离散化处理的精度, 是数字图像的重要参数之一。空间分辨率越高, 数字图像所表达的景物细节越丰富, 但图像的数字化、存储、传输和处理的代价也越大。工程上, 为每种应用选择适当和折中的图像空间分辨率是一个重要和敏感的问题。

1.1.2 数字图像的基本特点

随着数字技术和数字计算机技术的飞速发展, 数字图像处理技术在近 20 多年的时间里, 迅速发展成为一门独立的有强大生命力的学科, 其应用领域十分广泛。

1. 图像是人类信息获取的重要手段

图像与人类视觉系统紧密相关, 视觉是人类各种感官系统中获取外界信息的最主要和最重要的一种, 因此, 图像是最重要的数据和信息之一。

2. 数字图像的分辨率逐步提高

数字图像具有行和列二维坐标, 数字图像的像素个数是其行数和列数的乘积。仅以家用数码相机的图像分辨率为例, 其分辨率由 20 世纪 90 年代的 100 万像素, 发展到目前的 1000 万像素, 正逐渐取代传统的 135 胶片相机。现代数字图像的数据量巨大, 图像既需要占用海量存储空间和数据通信信道, 又需要花费大量的计算机处理时间。数字图像的发展方向是高

清晰度、高分辨率、高保真度。

3. 数字图像可以充分利用现代化的数字通信和信息传输技术

早在 20 世纪 20 年代,人们利用巴特兰(Bartlane)电缆图片传输系统,穿过大西洋传送了第一幅数字图像,它使传输的时间从一个多星期减少到了三小时,使人们感受到数字图像传输的巨大优越性。由于采用现代化的数字通信技术,例如全球的无线网、有线网和因特网,现代数字图像实现了广域的、快速的数据传输和共享,并且,数字图像的传输和共享将进一步朝全球化、高速化和实时化方向发展。

4. 数字图像可以长期保存和永不失真

数字图像的存储形式是计算机文件,采用磁盘、磁带和光盘等可以完全复制的介质进行存放,因此比模拟图像更易于保存和调阅,不会因保存时间过长而发生图像信息失真或丢失现象。

1.2 数字图像处理

1.2.1 数字图像处理的基本特点

在计算机处理出现以前,图像处理都是采用光学照相处理和光学透镜滤波处理等模拟方法来进行的。所谓数字图像处理(Digital Image Processing),就是指用数字计算机及其它相关的数字技术,对数字图像施加某种或某些运算和处理,从而达到某种预期的处理目的。随着计算机技术和图像处理技术的发展,用计算机或数字电路进行数字图像处理已经越来越显示出它的优越性。

数字图像处理无论在灵活性,还是在精度和再现性方面都有着模拟图像处理无法比拟的优点。在模拟处理中,要提高一个数量级的精度,必须对模拟处理装置进行大幅度改进。而数字处理能利用程序自由地进行各种处理,并且能达到较高的精度。另外,由于半导体技术的不断进步,开发出普遍使用的微处理器和图像处理专用高速处理器,以及以集成电路存储器为基础的图像存储和显示,这些都进一步加快了数字图像处理技术的发展和实用化。

数字图像处理具有的最大特点是,由于图像信息量大导致处理工作量巨大、处理时间长,并占用大量存储空间。以 1000 万像素数码相机图像为例,一幅彩色图像取 3648 列(宽)和 2736 行(高),像素数为 3648×2736 ,其颜色值为红绿蓝(RGB)三基色,用 24bit 的二进制来表示,那么该图像的信息量即为: $3648 \times 2736 \times 24\text{bit} = 239542272\text{bit} = 29241\text{KB} = 28556\text{MB}$ 。处理这样大信息量的图像,必然导致计算机内存和外存的大量占用,以及处理运算量增大和处理时间延长。所以现代数字图像处理对计算机的配置和规格提出了较高要求,只有大容量和高速计算机才能胜任。而计算机本身又在飞速发展,更新换代极快,反过来刺激和推动了数字图像处理技术的发展和應用。

1.2.2 数字图像处理的主要研究内容

数字图像处理的主要研究内容和用途包括如下几个方面:

(1) 图像增强 图像增强的目的是增强图像中的有用信息,削弱干扰和噪声,以便于观察、识别和进一步分析处理,增强后的图像未必与原图一致。如图 1-2 所示,将图 1-2a 进行灰度拉伸,可以提高图像的对比度,使图像中的细节和层次更加清晰,图 1-2b 为灰度拉

伸处理结果。

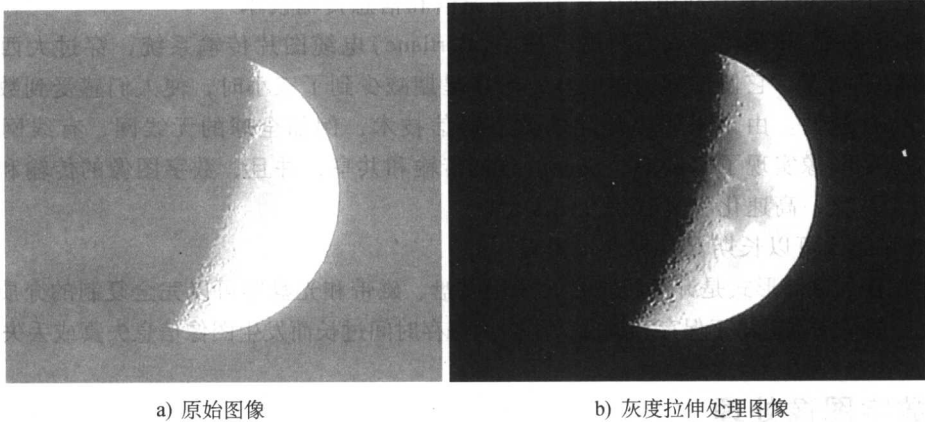


图 1-2 图像增强

(2) 图像几何处理 对图像进行几何处理,使其几何坐标、几何位置和几何形状发生改变。几何处理用来实现图像的几何变形,产生各种变形效果;也可以用来实现几何校正,纠正图像因各种原因产生的变形。

(3) 图像复原 由于成像时相机相对运动、聚焦和噪声等原因,数字图像可能被模糊化,图像复原是将退化和模糊的图像尽量恢复原样,复原图像要尽可能地与原图保持一致。如图 1-3 所示,图 1-3a 为一幅由于摄像机与被摄物体之间存在相对匀速直线运动而造成模糊的图像,经过消除匀速直线运动造成的模糊后,图像得到了恢复,如图 1-3b 所示。



图 1-3 图像复原

(4) 图像编码压缩 在满足图像质量基本不损失的前提下,对图像进行编码,从而有效地压缩数字图像的数据量,以便于存储和传输。例如, JPEG 图像文件格式是国际静止图像压缩专家组提出的图像压缩存储文件格式, JPEG 压缩标准将常规图像数据压缩到大约 1/10,而视觉上基本感觉不到图像质量的损失,因此, JPEG 成为数码照片存储和互联网图像传输的主要图像压缩文件格式。

(5) 图像分割 对图像进行分析和理解的第一步,通常是从图像中提取对象或对象组成部分的图像特征,例如提取对象组成部分的边界,或划分对象各组成部分的所在区域,这种处理称为图像分割。图像分割的目的是对图像中的不同对象和对象的不同部分进行分割和划分,以便于对对象进行后续的分类、识别和解释。

(6) 图像数字化与重建 研究如何把一幅连续的模拟图像离散化为数字图像,以及如何从数字图像重建原始图像,或从多角度拍摄的二维数字图像重建三维图像。

以上数字图像处理的目的和用途是多种多样的,但所有这些处理在实现时的具体软硬件算法大体可以分为以下5种:

(1) 点处理 处理图像时,每个输出图像像素灰度值仅由其在输入图像中对应的那个像素的灰度值计算而得,且每个输出像素所用的计算公式相同,这种图像处理称为点处理,对应的处理算法称为点处理算法。点处理算法主要是指图像灰度变换等增强处理。

(2) 几何处理 图像几何处理是使图像几何坐标、几何位置或几何形状发生改变的处理。进行几何处理的操作称为几何变换,相应的算法称为几何变换算法。

(3) 局域处理 处理图像时,每个输出图像像素灰度值由其在输入图像中对应像素及邻近像素(称之为邻域)的灰度值按不同的系数或权重综合计算而得,且每个输出像素计算公式相同,这种图像处理称为局域处理,对应的处理算法称为局域处理算法。

(4) 帧间处理 如果对多帧图像进行代数运算生成某一输出图像,即每个输出图像像素灰度值由多帧输入图像中对应像素的灰度值经过加减乘除等代数运算而得,且每个输出像素所用的计算公式相同,这种图像处理称为帧间代数处理,简称帧间处理或代数处理,对应的处理算法称为帧间处理算法。帧间处理常用来对运动序列图像进行噪声抑制或运动检测等操作。

(5) 全局处理 对于局域处理来说,如果将邻域扩大到整个图像,就是全局处理。换言之,处理图像时,每个输出图像像素灰度值由其在输入图像中所有像素的灰度值综合计算而得,这种图像处理称为全局处理,对应的处理算法称为全局处理算法。全局处理算法主要是指图像正交变换的各种算法。

1.3 相关学科和领域

1.3.1 数字信号处理学

数字信号处理学(Digital Signal Processing),是指用数字电路和数字计算机对信号进行数字化、滤波等处理,最典型的信号如电压、电流等随时间变化的一维物理量。数字信号处理学的研究内容包括数字化原理和采样定理、数字滤波器、数字正交变换、数字信号编码压缩与传输等内容,其中最重要的概念包括傅里叶变换、频率、频谱、滤波器等。

数字图像是二维的数字信号,是随空间坐标变化的灰度值或颜色值,图像处理是指用数字电路和数字计算机对图像进行处理。因此,数字图像处理学也包括数字化和采样定理、图像滤波器、图像正交变换、图像编码压缩与传输等内容。

由此可见,数字信号处理与数字图像处理是紧密相关的学科,数字图像处理是数字信号处理理论的二维扩展,数字信号处理理论中的进展会导致数字图像处理的新理论和方法,而

数字图像处理的进展和应用又反过来会对数字信号处理提出更高的理论研究需求。

1.3.2 计算机图形学

计算机图形学(Computer Graphics),是指用计算机来实现图形的生成、表示、处理和显示,计算机图形学的研究内容包括物体或模型的数学模型、图形生成、几何透视变换、消隐(消去隐藏面)、覆盖表面纹理、光照模型和光线跟踪等。

计算机图形学通常是由数学公式经过计算,最终生成物体或模型的二维或三维仿真图形(逼真的图形可与实际图像媲美);而数字图像处理则通常是由数字图像数据进行处理,最终识别出图像中的景物,甚至得到景物的统计参数和数学模型。因此,图形学和图像学是互逆的处理过程,二者是有本质区别的。

早期的图形通常是指由点、线、面等元素来表达的三维物体,现代计算机图形学则可以生成完全逼真的图像,再加上计算机图形学的设备也采用几乎相同的图像输入、输出和显示设备,导致人们把图形和图像的称谓混淆。也就是说,图的共性和图形的共性,容易引起图形和图像这两个概念的混淆,这是需要注意的,也是可以理解的。

1.3.3 计算机视觉

计算机视觉(Computer Vision)是研究计算机感受和理解自然景物的理论和技术,也可以是研究机器人感受和理解自然景物的理论和技术,所以也称为机器视觉(Machine Vision)。计算机视觉的研究和设计目的是仿照人类或动物的视觉系统,开发出能够感觉和理解自然景物的计算机和机器人视觉系统。

视觉是人类观察世界、认知世界的重要功能和手段。人类从外界获得的信息约有75%来自视觉系统,这既说明视觉信息量巨大,也表明人类对视觉信息有较高的利用率。人类视觉过程可看作是一个从感觉(感受图像——三维世界的二维平面投影)到认知(分析图像——由二维图像推断和理解三维世界的内容及相互关系)的复杂过程。视觉的目的是要对场景做出对观察者有意义的解释和描述,并可以根据周围环境的不同和观察者的意愿进行相应的反应和动作。

计算机视觉是指用计算机实现人的视觉功能,对客观世界的三维场景进行感知、识别和理解。因此,计算机视觉也研究数字图像和数字图像处理,但其研究重点在于视觉的立体成像的原理、图像处理方法及实现,或视觉动图像的成像原理、处理方法及实现。因此,计算机视觉与数字图像处理是紧密相关的学科领域,二者相互促进、相互依赖和相互补充。

1.4 数字图像处理的主要应用与发展趋势

视觉是人类观察世界、认知世界的重要功能和手段。图像无处不在,数字图像是由视觉图像、传感器图像数字化得到的,数字图像同样是人类或机器从外界获得信息的重要来源,其重要性和广泛应用是必然的。

数字图像处理,则是用数字电路或数字计算机对数字图像进行运算、处理或识别。现代社会中,数字图像和数字图像处理在各类专业研究、科技应用以及人们日常生活中,发挥出越来越大的作用,其应用前景十分广阔。

1.4.1 数字图像处理的主要应用

图像是人类感官系统的重要信息来源。随着数字电路技术、计算机技术、传感器技术的飞速发展,利用数字电路和计算机实现的数字图像处理,近几十年来不仅从理论上而且从技术上得到了全面的发展,数字图像处理已经迅速成为一门独立的具有强大生命力的学科。

1. 遥感图像应用

遥感分为航空遥感和航天遥感,航空遥感和航天遥感的主要目的是成像以及遥感图像的处理和应用。遥感技术的传感器包括了对可见光、红外、微波等不同波段的射线的成像,由于采用了不同的遥感平台、不同的波段、不同的时间对地面进行远距离观测,可以获得各种分辨率的地面遥感图像,其数据极其庞大,习惯上称为海量数据。

1972年美国开始陆续发射地球资源卫星(Landsat),其空间分辨率为80m左右,目前的空间分辨率已达到15m。其它的美国民用遥感卫星图像,包括1m分辨率的商业卫星IKONOS和0.6m分辨率全色图像及2.4m分辨率多光谱图像的商业卫星QuickBird。法国则从1986年开始陆续发射SPOT卫星,目前提供10m分辨率的全色图像和20m分辨率的多光谱图像。我国从1985年以来陆续研制发射了国土资源普查卫星,卫星图像数据因此得到了广泛的应用。

遥感图像可以广泛地应用在资源调查(地质构造、探矿等)、灾害监测(森林火灾、水灾等)、农林业规划(农作物估产、防护林建设等)、城市规划(道路建设、桥梁建设等)、环境保护(石油或有毒物质泄漏等)、军事侦察(目标定位、核设施检测、军队部署等)等各个领域。

遥感图像的数字化处理包括许多工作,最典型的处理包括:遥感图像的几何校正与几何配准、遥感图像的辐射校正、多光谱和多传感器遥感图像的数据融合、遥感图像的地物分类和目标识别及快速算法等。其中,对遥感图像的地物分类和目标识别称为图像判读,早期的图像判读和分析工作多采用大量专业判读人员来完成,由于人的视觉系统对图像的判读存在不同程度的主观因素影响,视觉疲劳和视觉局限还经常导致漏判和错判,所以自动判读成为主要趋势。现在,拥有高档计算机的数字图像处理系统可以实现自动分类和识别,以协助判读人员完成图像判读分析,这样既节省人力,又提高速度,说明了数字图像处理技术在遥感图像应用中的重要地位。图1-4所示为某城市遥感图像。

2. 医学图像应用

医院里与图像相关的科室很多,例如放射影像科、超声科、胃肠镜科、气管镜科、病理科等,其中所用的医学成像设备包括X射线、CR/DR、CT、MR(核磁共振)、剪影机、造影机、黑白/彩色B超、电子显微镜、胃肠镜、气管镜等。此外,PACS系统(医学图像存档与传输网络系统)更是将病人的检查图像传送到每个大夫的电脑中。所以,数字图像与数字图像处理技术,在基础医学和临床应用中都具有广泛的应用潜力,并已经开始发挥重要作用。

例如,在对生物医学显微图像的处理分析方面(血检、尿检等),红白细胞、细菌、杂质等的分析原来都是采用显微镜目视判读,所以检验结果基本都是定性的。采用数字图像处理和系统以后,由计算机处理和识别软件代替人眼,不仅大大减少了目视判读工作量,检验结果也实现量化,精度大幅提高。

CT(Computed Tomography)的中文含义是断层摄影计算成像,其核心是对人体断层进行多角度X射线成像,然后利用这些多角度数据计算人体断层上每个点的密度值,最终得到



图 1-4 城市遥感图像示例

断层图像。CT 技术是数字图像处理的分支——图像重建理论和方法的重要应用。

3. 工业和实验图像应用

工业和实验领域中的图像和图像处理的应用很多,例如产品和大型部件的无损探伤、产品质量的自动检测与控制、自动化装配线和生产线、流体力学实验图像处理(喷气发动机尾焰图像分析、流场定量测量图像测速等),以及机器人和机器车的视觉系统等。

4. 办公室自动化图像应用

数字图像与数字图像处理在办公室自动化方面的应用包括邮政编码图像识别、OCR(字符识别系统)、自动判卷系统、各类图样自动识别与录入系统等。这些应用有效地减少了人类的繁琐劳动,提高了生产率。

5. 军事公安图像应用

军事、公安方面的应用的特点是高精尖,数字图像与数字图像处理的算法和设备(尤其军用的)都是最高档的和最先进的,图像分辨率、成像速度等技术指标甚至是保密的。军事应用主要是各种侦察照片的自动识别与判读、目标的自动检测识别与跟踪技术(用于预警、导弹末制导等)。公安应用则包括指纹识别、面孔识别、视网膜识别、印章鉴定、笔迹鉴定、枪弹纹理鉴定等。其它的应用例如交通监控、机动车号牌自动识别(用于自动门卫和高速路收费站)、银行和居民小区治安监控,也已经开始采用数字图像和数字图像处理的技术。

6. 文化艺术图像应用

数字图像与数字图像处理在影视制作、文化艺术方面的应用很多,典型的例子包括电视画面的数字编辑、动画片的制作、电影特技镜头制作、平面广告制作、家装方案效果图设计、服装效果图设计、发型效果图设计、文物资料照片复制和修复等。在体育运动领域,数字图像处理与识别可用来进行运动员动作自动分析评价和比赛自动记分等。

7. 图像数据传输应用

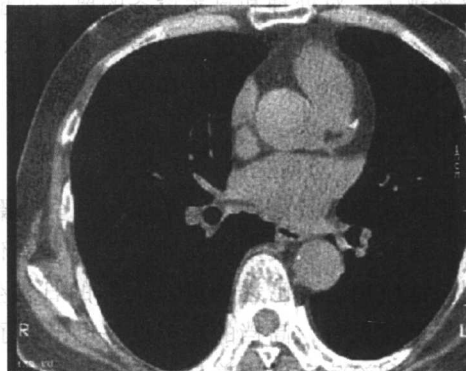
图像数据传输的关键之一是压缩数据量。图像的数据量和传输量十分巨大,例如当前彩

色电视信号的传输速率应达到 100Mbit/s 以上。图像的压缩编码是图像数据传输技术的关键。JPEG 和 MPEG 是常见的国际静止图像压缩标准和国际动态图像压缩标准,已经广泛地应用在图像的存储、刻盘、互联网传输,以及其它卫星传输、无线传输等场合,而压缩标准的基础就是数字图像处理学的图像编码理论,也是图像处理的重要应用之一。

图 1-5 为各种应用图像示例。



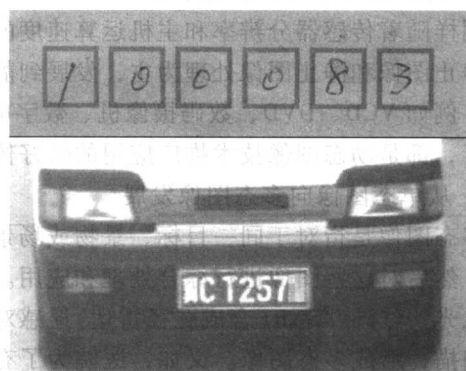
a) X 射线图像



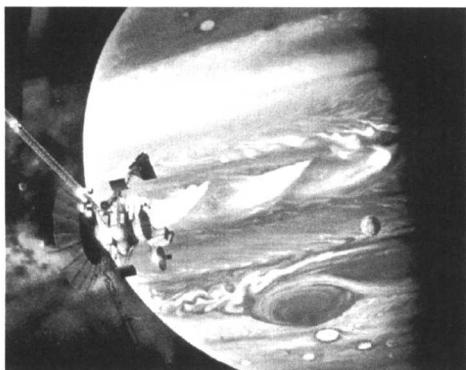
b) CT 图像



c) 指纹图像



d) 邮政编码图像和机动车号牌图像



e) 天体探测图像



f) 目标侦察图像

图 1-5 各种应用图像示例

1.4.2 数字图像处理的发展趋势

1. 从低分辨率向高分辨率发展

随着图像传感器分辨率和计算机运算速度的不断提高,图像存储器内存、计算机内存及外设存储容量的不断增大,数字图像由低分辨率向高分辨率不断发展,数字图像处理的运算量也越来越大,对处理和显示设备的要求也越来越高。

例如,数码相机的分辨率由最早的 640×480 像素(30万像素,20世纪90年代初)发展到现在的 3648×2736 像素左右(1000万像素),已经完全达到普通135胶片相机的出图质量,成为家用相机的首选。

2. 从二维(2D)向三维(3D)发展

三维图像获取及处理技术主要通过全息摄影实现,或通过断层扫描与图像重建实现。随着图像技术和计算机技术的发展,三维图像不再只是科幻电影中的某个镜头,而已经在军事上得到广泛应用,并已逐步进入人们的日常生活。例如现代医院的CT、MR等设备都是三维成像与重建设备,高档的超声设备也出现了三维成像与重建功能,这些设备对于人们的身体健康检查和治疗正发挥着日益重要的作用。

3. 从静止图像向动态图像发展

同样随着传感器分辨率和主机运算速度的提高,计算机内存及外存容量的增大,数字图像由静止图像和静止图像处理为主,发展到静止图像和动态图像并存并相互补充相互促进的局面,例如VCD、DVD、数码摄像机、数字电视和MP4等影视设备,以及数字电影的制作和发行,都是动态图像技术推广应用的最好体现。

4. 从单态图像向多态图像发展

多态图像是指对于同一目标、景物或场景,采用不同的图像传感器或在不同条件下获取图像,然后对这些图像进行综合处理和应用。例如,军事上为了满足目标侦察的需要,可以用可见光、红外、SAR(合成孔径雷达)遥感对同一可疑地点进行扫描成像,并在不同时间段跟踪扫描,形成多态图像。又如,医院为了有效检查某种疑难病症,可以将病灶位置的CT、MR、超声的图像进行综合对比和分析。多态图像对成像设备、计算机软硬件以及操作人员提出了更高的要求。

习 题

- 1-1 结合专业工作和日常生活,谈谈数字图像处理的应用。
- 1-2 数字图像处理与计算机图形学的关系是怎样的?

第 2 章 图像处理基础知识

本章简要介绍数字图像的相关概念和数字图像处理的相关基础知识，是后续各章内容介绍的基础。本章的主要内容包括：数字成像与图像数字化；图像数据结构和彩色图像原理、图像文件存储格式等。

2.1 图像数字化

2.1.1 图像传感器与数字成像

数字图像是由模拟图像数字化得到的，完成数字化操作的装置就是图像传感器及其计算机接口，习惯上称为数字成像系统。例如，最常见的可见光图像传感器和成像系统有数码相机、数码摄像机和扫描仪等，这些设备可以分别用于现场景物的数字化成像和纸介质图片的数字化成像，这些设备中核心的图像传感器器件通常采用 CCD(电荷耦合器件)阵列或 CCD 线阵。

图像传感器及成像系统分为主动和被动两种。主动传感器带有主动照射源，照射源将光线或其它射线(例如 X 射线)投射到景物上，经过景物表面的反射吸收或景物内部的吸收衰减，传感器接收景物表面的反射射线能量或透射射线能量，并对其进行数字化成像。被动传感器则利用自然光照明或景物主动发出的辐射(例如红外辐射)，接收到景物的漫反射射线能量或主动辐射射线能量，并对其进行数字化成像。

民用数字成像系统常见的成像形式包括：可见光成像、X 射线成像、CT 成像、MR 核磁共振成像、超声成像、红外成像、全息成像等。军用数字成像系统常见的成像形式包括：可见光成像、红外成像、SAR(合成孔径雷达)成像、全息成像等。

1. CCD 传感器

CCD 的中文含义是电荷耦合器件(Charged Coupled Device)，CCD 传感器可以用来感应可见光的光强。数码相机中所用的 CCD 是一个 CCD 二维阵列，外形和大小与计算机的数字电路芯片相像，CCD 阵列就安排在芯片表面。CCD 在数码相机中的位置就设置在传统相机的底片位置，其作用就像传统相机的底片一样，在镜头的焦点位置感应光线的强弱。可以将 CCD 想像成一颗颗微小的感应粒子，铺满在光学镜头后方，当光线从镜头透过，投射到 CCD 表面时，每个 CCD 感应粒子就会产生相应强度的电荷和电流，后续电路将感应到的电信号转换成数字信号并储存起来。通常，CCD 阵列的像素数目越多，收集到的图像就会越清晰，图像分辨率越高。

以二维阵列形式排列的 CCD 芯片，最高可以封装 4000×4000 或更多 CCD 单元的固定阵列，目前是 CCD 的主要应用形式。CCD 阵列的一个最典型的应用是数码相机，俗称 DC(Digital Camera)，其核心是一个高分辨率的 CCD 阵列，用于采集静止图像(即数码照片)；另一个典型的应用是数码摄像机，俗称 DV(Digital Video Camera)，其核心是一个高速的