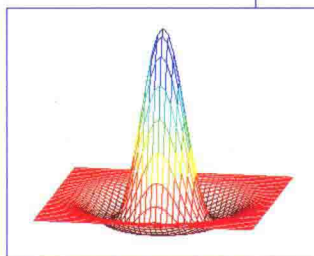
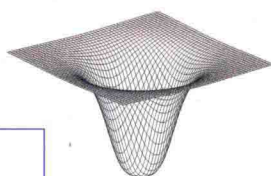




数字图像处理教程

徐志刚 主 编
朱红蕾 副主编



免费赠送电子课件



清华大学出版社

数字图像处理教程

徐志刚 主 编

朱红蕾 副主编



清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍了数字图像处理的基本概念、基本原理、典型方法和实用技术。全书分 3 大部分共 10 章。其中,第 1 部分讲解数字图像处理基础,包括绪论以及视觉感知与数字图像处理基础。第 2 部分讲解数字图像处理的基本方法和技术,包括空间域图像增强、图像变换与频域图像增强、图像复原、彩色图像处理和图像压缩。第 3 部分讲解数字图像分析与描述的基本原理和方法,包括图像分割、形态学图像处理和图像描述与分析。本书坚持理论与实际相结合的原则,注重基本概念、基本原理及应用实例的介绍。同时,每章都配有习题及部分程序设计类题目。

本书可作为高等学校计算机科学与技术、软件工程、信息与通信工程、自动化、测绘工程、数据科学与大数据技术、人工智能等专业本科生或研究生的教材或参考书,同时也可以作为从事数字图像处理、计算机视觉、人工智能等领域应用开发的工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理教程/徐志刚主编. —北京:清华大学出版社, 2019

ISBN 978-7-302-51948-5

I. ①数… II. ①徐… III. ①数字图像处理—教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 294732 号

责任编辑:姚 娜 刘秀青

封面设计:李 坤

责任校对:王明明

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:13.75 字 数:334 千字

版 次:2019 年 4 月第 1 版 印 次:2019 年 4 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

产品编号:072769-01

前言

图像是人类社会最重要的信息载体之一。数字图像处理技术就是利用计算机对图像进行转换、加工、处理与分析的方法和技术的总称。数字图像处理技术起源于 20 世纪 20 年代,但是其真正发展壮大还是在 60 年代以后。从那时起,数字图像处理技术作为一个新的学科开始日益受到人们的重视。经过半个多世纪的发展,数字图像处理学科的理论与方法已得到了长足的发展,在工农业生产、科学研究、航空航天、军事、公共安全、生物医学与诊断、通信、文化传播、气象、交通等众多领域得到了广泛的应用,取得了巨大的社会效益。特别是进入 21 世纪以来,随着人类社会进入数字化、网络化和智能化时代,数字图像处理技术已成为社会生活和经济发展不可或缺的重要组成部分。

数字图像处理技术的研究内容涉及光学、数学、计算机科学、信息论、微电子学等领域,是一门交叉性和开放性很强的学科。同时,数字图像处理已成为高等学校计算机科学与技术、软件工程、信息与通信工程、自动化、测绘工程、数据科学与大数据技术、人工智能等专业的一门重要的理论课程。本书正是作者根据多年从事数字图像处理教学和科研工作的经验并且在参考国内外相关领域研究成果及经典教材的基础上编写而成的。本书坚持理论与实际相结合的编写方针,注重基本理论和基本应用,努力做到概念清晰、内容系统、重点突出、理论与实例并重,并通过典型的算例或应用实例加深读者对相关知识的理解。在内容编排上,本书力求做到理论分析概念严谨、例题说明简明扼要、实例演示清晰明了。希望读者通过本书的学习,能够对数字图像处理的基本理论、基本方法和技术有一个全面的了解,为之后开展数字图像处理相关应用开发和研究工作奠定一定的理论基础。

本书在知识体系结构上分为图像处理和图像分析两个层次。其中,既包含各部分的经典内容,也包含近年来数字图像处理技术发展的一些新概念和新方法。全书共 10 章,可以分为 3 个部分。第 1 部分是第 1~2 章。这部分是本书的基础,主要叙述数字图像处理基础的相关内容,包括数字图像处理的特点、数字图像处理的主要应用领域、数字图像处理的主要内容、数字图像处理系统的基本构成、数字图像处理技术的发展方向、人类视觉感知的基本特性、数字图像的基本知识等。第 2 部分是第 3~7 章。这部分主要介绍数字图像处理的基本方法和技术,包括图像的灰度变换、直方图处理、空域平滑滤波和锐化滤波、离散傅里叶变换、离散余弦变换、离散小波变换、频域增强方法、基本的图像复原方法、图像超分辨率重建和几何失真校正、常用的彩色模型、伪彩色和假彩色图像增强方法、基本的真彩色图像增强方法、常见的图像压缩方法等。第 3 部分是第 8~10 章。这部分主要讲解数字图像分析与描述的基本原理和方法,包括基本的图像分割方法、二值数学形态学的基本运算和常用算法,灰度数学形态学的基本运算、基本的图像描述与分析方法等。

本书由徐志刚任主编,朱红蕾任副主编,具体分工如下:第 1 章、第 2 章、第 5 章、



第 6 章、第 8 章和第 10 章由徐志刚老师编写，第 3 章、第 4 章、第 7 章和第 9 章由朱红蕾老师编写。全书由徐志刚老师统稿。本书的出版得到了兰州理工大学规划教材基金的大力支持。同时，清华大学出版社的编辑为本书的编写和出版付出了辛勤劳动。此外，研究生李文文、袁飞祥和马强协助完成了书稿整理等相关工作。借此机会对他们的辛勤付出一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中谬误和不妥之处在所难免，敬请同行专家和各位读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论.....1	
1.1 序言.....1	
1.2 图像处理的基本概念.....3	
1.2.1 图像表示.....3	
1.2.2 数字图像处理的目的.....4	
1.3 数字图像处理的内容和方法类别.....4	
1.3.1 数字图像处理的主要内容.....4	
1.3.2 数字图像处理的方法类别.....6	
1.3.3 数字图像处理的理论框架.....6	
1.4 数字图像处理系统.....8	
1.4.1 数字图像采集模块.....8	
1.4.2 数字图像存储模块.....8	
1.4.3 数字图像输出模块.....9	
1.4.4 数字图像传输模块.....9	
1.4.5 数字图像处理和分析模块.....9	
1.5 数字图像处理的特点及优越性.....10	
1.5.1 数字图像处理的特点.....10	
1.5.2 数字图像处理的优越性.....10	
1.6 数字图像处理技术的发展方向.....11	
1.7 习题.....12	
第2章 视觉感知与数字图像处理基础.....13	
2.1 视觉感知.....13	
2.1.1 人眼的构造机理.....13	
2.1.2 人的视觉模型.....14	
2.1.3 视觉特性.....15	
2.2 图像的数字化与表示.....18	
2.2.1 图像采样与量化.....18	
2.2.2 图像分辨率与质量.....19	
2.2.3 图像的表示.....21	
2.3 数字图像的存储格式.....22	
2.4 像素间的基本关系.....23	
2.4.1 像素邻域.....24	
2.4.2 像素间的连接和连通.....24	
2.4.3 像素间的距离.....24	
2.5 图像的几何变换.....25	
2.5.1 图像几何变换的一般表达式.....26	
2.5.2 基本的几何变换.....26	
2.5.3 仿射变换.....28	
2.5.4 灰度插值.....29	
2.6 习题.....31	
第3章 空间域图像增强.....33	
3.1 基本灰度变换.....33	
3.1.1 灰度线性变换.....33	
3.1.2 灰度非线性变换.....36	
3.2 直方图处理.....38	
3.2.1 灰度直方图的定义.....38	
3.2.2 直方图均衡化.....39	
3.2.3 直方图规定化.....42	
3.3 空域平滑滤波.....46	
3.3.1 基本原理.....46	
3.3.2 线性平滑滤波.....48	
3.3.3 非线性平滑滤波.....53	
3.4 空域锐化滤波.....56	
3.4.1 基本原理.....56	
3.4.2 梯度锐化法.....58	
3.4.3 拉普拉斯锐化法.....61	
3.5 习题.....62	
第4章 图像变换与频域图像增强.....65	
4.1 离散傅里叶变换.....65	
4.1.1 一维和二维离散傅里叶变换.....65	
4.1.2 二维离散傅里叶变换的性质.....68	
4.2 离散余弦变换.....71	
4.3 小波变换.....72	
4.3.1 小波变换基础.....72	
4.3.2 离散小波变换.....74	
4.3.3 二维离散小波变换.....75	
4.4 频域增强原理.....77	



4.5	频域平滑滤波.....78	6.1.1	彩色视觉基础.....112
4.5.1	理想低通滤波器.....78	6.1.2	彩色描述.....113
4.5.2	巴特沃斯低通滤波器.....80	6.1.3	三基色.....113
4.5.3	指数低通滤波器.....81	6.2	常用彩色模型.....115
4.6	频域锐化滤波.....82	6.2.1	面向硬件设备的彩色模型.....115
4.6.1	理想高通滤波器.....82	6.2.2	均匀彩色模型.....117
4.6.2	巴特沃斯高通滤波器.....83	6.2.3	面向应用的彩色模型.....118
4.6.3	指数高通滤波器.....83	6.3	伪彩色图像增强.....120
4.6.4	高频提升滤波器.....85	6.3.1	密度分割法.....121
4.7	习题.....86	6.3.2	灰度级-彩色变换法.....121
第5章	图像复原.....87	6.3.3	频域滤波法.....122
5.1	图像复原模型.....87	6.4	假彩色图像增强.....123
5.2	常见退化模型及辨识方法.....89	6.4.1	基本原理.....123
5.2.1	常见的退化函数模型.....89	6.4.2	彩色补偿.....124
5.2.2	退化函数的辨识方法.....92	6.5	真彩色图像增强.....125
5.3	噪声模型.....92	6.5.1	彩色图像处理基本原理.....126
5.3.1	噪声及来源.....92	6.5.2	彩色图像对比度增强.....126
5.3.2	噪声概率密度函数.....93	6.5.3	彩色图像去噪.....127
5.4	图像的无约束复原.....96	6.6	习题.....129
5.4.1	无约束复原.....96	第7章	图像压缩.....130
5.4.2	逆滤波.....97	7.1	图像压缩原理.....130
5.5	图像的有约束最小二乘复原.....99	7.1.1	图像压缩的可能性.....130
5.5.1	有约束最小二乘复原的基本原理.....99	7.1.2	图像冗余.....130
5.5.2	维纳滤波器.....100	7.1.3	图像无损压缩与有损压缩.....131
5.5.3	有约束最小平方滤波器.....102	7.1.4	图像保真度.....132
5.6	图像超分辨率重建.....103	7.1.5	性能指标.....134
5.6.1	图像超分辨率重建问题概述.....103	7.2	基本的无损编码.....136
5.6.2	图像超分辨率重建方法分类.....105	7.2.1	哈夫曼编码.....136
5.6.3	基于重建的超分辨率方法.....106	7.2.2	算术编码.....138
5.6.4	基于学习的超分辨率方法.....107	7.2.3	行程编码.....140
5.7	几何失真校正.....109	7.2.4	LZW 编码.....142
5.8	习题.....111	7.3	预测编码.....144
第6章	彩色图像处理.....112	7.3.1	无损预测编码.....144
6.1	彩色基础.....112	7.3.2	有损预测编码.....145
6.1.1	彩色视觉基础.....112	7.4	变换编码.....146
6.1.2	彩色描述.....113	7.4.1	正交变换编码的基本原理.....146
6.1.3	三基色.....113	7.4.2	变换编码的数学分析.....147
6.2	常用彩色模型.....115	7.4.3	最佳变换——K-L 变换.....148
6.2.1	面向硬件设备的彩色模型.....115		
6.2.2	均匀彩色模型.....117		
6.2.3	面向应用的彩色模型.....118		
6.3	伪彩色图像增强.....120		
6.3.1	密度分割法.....121		
6.3.2	灰度级-彩色变换法.....121		
6.3.3	频域滤波法.....122		
6.4	假彩色图像增强.....123		
6.4.1	基本原理.....123		
6.4.2	彩色补偿.....124		
6.5	真彩色图像增强.....125		
6.5.1	彩色图像处理基本原理.....126		
6.5.2	彩色图像对比度增强.....126		
6.5.3	彩色图像去噪.....127		
6.6	习题.....129		

7.5 图像压缩国际标准.....	151	9.3.2 闭运算.....	187
7.5.1 二值图像压缩标准.....	151	9.4 形态学处理基本算法.....	187
7.5.2 静态图像压缩标准.....	152	9.4.1 边缘提取.....	187
7.5.3 运动图像压缩标准.....	153	9.4.2 击中-击不中变换.....	188
7.6 习题.....	155	9.4.3 细化算法.....	189
第8章 图像分割.....	156	9.4.4 骨架化算法.....	190
8.1 图像分割的定义与依据.....	156	9.5 灰度图像的形态学处理.....	191
8.1.1 图像分割的定义.....	156	9.5.1 腐蚀与膨胀.....	191
8.1.2 图像分割方法分类.....	157	9.5.2 开运算与闭运算.....	192
8.2 基于边缘的分割方法.....	157	9.6 习题.....	194
8.2.1 边缘及检测原理.....	157	第10章 图像描述与分析.....	195
8.2.2 一阶导数算子.....	158	10.1 目标表达与描述.....	195
8.2.3 二阶导数算子.....	162	10.2 边界描述.....	196
8.2.4 边缘闭合.....	165	10.2.1 简单边界描述符.....	196
8.2.5 Hough 变换.....	165	10.2.2 链码与形状数.....	197
8.2.6 Canny 算子.....	167	10.2.3 傅里叶描述子.....	199
8.3 阈值分割方法.....	168	10.2.4 边界矩.....	200
8.3.1 原理和分类.....	168	10.3 区域描述.....	201
8.3.2 全局阈值分割方法.....	169	10.3.1 简单区域描述符.....	201
8.3.3 局部阈值分割方法.....	173	10.3.2 四叉树.....	201
8.4 区域提取方法.....	175	10.3.3 拓扑描述符.....	202
8.4.1 区域生长法.....	175	10.3.4 区域不变矩.....	203
8.4.2 分裂合并法.....	177	10.4 几何特征描述.....	204
8.5 习题.....	178	10.5 纹理特征描述.....	205
第9章 形态学图像处理.....	180	10.5.1 统计法.....	206
9.1 数学形态学基本概念及定义.....	180	10.5.2 结构法.....	206
9.1.1 结构元素.....	180	10.5.3 频谱法.....	207
9.1.2 基本集合运算定义.....	181	10.6 彩色特征描述.....	207
9.2 腐蚀与膨胀.....	182	10.6.1 彩色直方图.....	208
9.2.1 腐蚀.....	182	10.6.2 彩色相关图.....	208
9.2.2 膨胀.....	184	10.6.3 彩色矩.....	208
9.2.3 腐蚀、膨胀运算的对偶性.....	185	10.7 习题.....	209
9.3 开运算与闭运算.....	186	参考文献.....	210
9.3.1 开运算.....	186		

第 1 章 绪 论

图像这个词包含的内容非常广泛,总体而言,凡是具有视觉效果的画面都可以称之为图像。图像处理的目的主要有两个:一是对图像信息进行记录、存储、传输与显示;二是对图像信息进行各类操作,以便于人们或机器对图像中蕴含的丰富信息进行处理、分析与鉴别。本章将对数字图像处理的一些基本概念进行介绍,其中包括数字图像的基本概念、数字图像处理的主要应用领域、数字图像处理的特点、数字图像处理的主要方法和主要内容、数字图像处理系统的基本构成以及数字图像处理技术的发展方向等。

1.1 序 言

图像是人类社会活动中最常接触的信息载体。研究表明,人类获取的信息 80%以上来自视觉,10%以上来自听觉,这两者加起来超过 90%。因此,作为承载和传递信息的重要媒体和手段——图像是十分重要的。中国成语中的“一目了然”“一望而知”都反映了图像在信息传递中的独到之处。当前,随着网络与通信技术的发展,社会大众获取信息的主要途径已快速地由“读字”转换为“读图”,图像在信息交流中所具备的优势愈发凸显。

数字图像处理技术起源于 20 世纪初。早在 1921 年,人们利用巴特兰(Bartlane)电缆图片传输系统,经过大西洋在伦敦和纽约之间传输了第一幅数字化的新闻图片。这使两个大洲间新闻图片的传输时间由原先的一个多星期缩短到 3 小时以内。巴特兰电缆图片传输系统首先对图像进行编码传输,然后在接收端利用电报打字机字符模拟中间色调把图像还原出来。最初,它只能将图像编码为 5 个灰度级。到了 1929 年,该系统传输图像的灰度级增加到了 15 个。

上述工作只是图像数字化的初步尝试。为了对图像的灰度、色调和清晰度进行改善,人类曾经采用各种方法对图像的传输、打印和恢复技术进行改进。这种努力一直持续到此后的 20 世纪 50 年代。直到当时的电子计算机已经发展到一定水平,人们开始利用计算机来处理图形和图像信息。

数字图像处理作为一门学科大约形成于 20 世纪 60 年代初期。1964 年美国喷射推进实验室(JPL)进行太空探测工作时,利用计算机来处理徘徊者 7 号飞船发射回来的由电视摄像机拍摄的月球表面影像,以矫正各种形式的图像畸变、调节图像对比度并去除图像噪声。同时,他们成功地用计算机绘制出了月面地图。随后在 1965 年,JPL 又对徘徊者 8 号和徘徊者 9 号发回的一万多张照片进行较为复杂的处理,使图像质量得到进一步提高。JPL 的相关工作推动了图像复原技术的研究和发展。同时,JPL 的工作在世界上也引起了诸多领域学者的关注,并促进了数字图像处理技术从空间技术开发向其他应用领域的拓展。

20 世纪 60 年代末到 70 年代初,在进行空间应用的同时,数字图像处理技术开始应用于地球遥感和地质勘探领域,以进行地质资源探测、土地测绘、农作物估产、水文气象监测、环境检测等。这些应用促进了图像增强和图像识别技术的研究和发展。此外,在同一



时期, 数字图像处理技术在医学诊断领域也得到了应用推广。英国电子工程师亨斯菲尔德 (G. N. Hounsfield, 见图 1-1) 制成世界上第一台计算机断层扫描仪 (Computer Tomography, CT) 用于人体某一部位疾病的检查。而计算机断层扫描技术的发展也促进了图像重构技术的研究和发展。

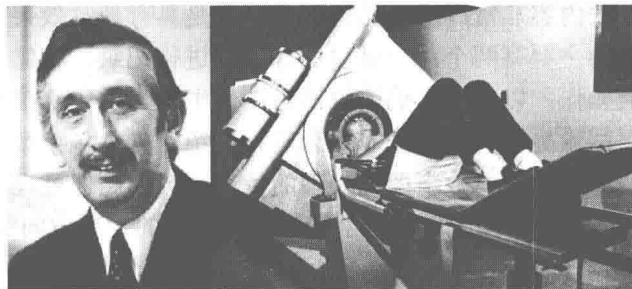


图 1-1 亨斯菲尔德及早期的 CT

早期数字图像处理技术研究的主要目的是改善图像的质量。它以人为对象, 以改善人的视觉效果为目的。但在 20 世纪 70 年代末, 随着计算机技术和人工智能、思维科学理论研究的迅速发展, 数字图像处理技术研究逐渐开始向更高、更深的层次发展。人类开始研究如何使计算机系统具备与人类视觉系统相类似的功能, 从而能够利用计算机去解释图像, 理解外部世界, 这被称为图像理解或计算机视觉。

20 世纪 80 年代末到 90 年代, 随着高速计算机和集成电路技术的发展, 图像处理技术更趋成熟。同时, 伴随全球通信技术的蓬勃发展, 可视电话、高清晰度电视、多媒体计算机、因特网等新技术和新产品迅速出现。在这一背景下, 图像压缩和多媒体技术获得了突破并得到了广泛应用。此外, 在图像通信、办公自动化系统、地理信息系统、医疗设备、卫星影像传输及分析、工业自动化、装备制造、智能交通、数据处理与分析等领域, 各种图像处理技术均取得了广泛的开拓性进展, 并逐渐进入成熟应用阶段。数字图像处理学科也从信息处理、自动控制系统理论、计算机科学、数据通信、电视技术等学科中脱颖而出, 成长为旨在研究“图像信息的获取、存储、显示、传输、变换、理解与综合利用”的崭新学科。

数字图像处理技术发展到现在, 许多技术日趋成熟, 在各个领域的应用均取得了巨大的成功和显著的社会、经济效益。

目前, 数字图像处理已成为计算机科学、信息科学、工程学、统计学、物理、化学、天文学、生物学、医学以及社会科学等学科领域学习和研究的对象。例如, 在遥感影像处理领域, 利用地球卫星获取的图像进行资源调查(如森林调查、海洋泥沙和渔业调查、水资源/土地资源调查等), 灾害检测(如病虫害检测、水情火情检测、环境污染检测等), 资源勘查(如石油勘查、矿产量探测、大型工程地理位置勘探分析等), 农业规划(如土壤营养、水分调查, 农作物生长、产量的估算等), 城市规划(如地质结构探查、水源及环境分析, 城市交通规划等)。在军事领域, 利用图像处理技术实现合成孔径雷达图像分析, 武器的精确制导, 敏感目标监控与资情分析, 具有图像、视频传输、存储和显示功能的军事自动化指挥系统, 飞机、坦克和军舰模拟训练系统, 无人机操控等。在公共安全领域, 利用图像处理技术完成指纹识别, 人脸鉴别, 印章鉴定, 不完整图像复原, 嫌疑人监控与识别, 重复

户籍信息鉴别以及交通监控、事故分析等。在生物医学工程领域,借助图像处理技术进行红白细胞计数,染色体分析,X射线、超声、CT、MRI、PET图像分析,显微医学操作,人脑神经和生理研究,医疗手术规划,远程医疗,脑机交互等。在工业和工程领域,利用图像处理技术进行零件质量检测,零件分类,工件自动装配、印刷电路板缺陷检查,物体的应力、阻力和升力分析,非接触式数据采集与环境控制等。

进入21世纪以来,随着网络技术、人工智能等技术的发展,基于内容的图像和视频检索、虚拟现实、基于大数据的图像和视频处理等又成为数字图像处理领域新的研究热点。

综上所述,数字图像处理技术在科学研究、国民经济和社会发展中的重要作用是显而易见的。正因为如此,数字图像处理的相关理论和技术受到了各界的广泛关注。在众多科技工作者的不懈努力下,数字图像处理技术已经取得了令人瞩目的成就,并且正向着更加深入、更加智能的方向发展。

1.2 图像处理的基本概念

1.2.1 图像表示

客观世界在空间上是三维的,在时间上是连续的。图像作为客观对象的一种可视表示,可以看作是由无数个微小的光点组成的集合。而一幅图像所包含的信息首先表现为光强度的空间分布与变化。因此,在用数学方法描述一幅图像时,可以把一幅图像看成是空间各个坐标点上的光强度 F 的集合。一幅运动的、彩色/多光谱的、立体的图像的普遍数学表达式可以写作

$$F = f(x, y, z, \lambda, t) \quad (1.2.1)$$

式中, (x, y, z) 表示空间坐标; λ 表示光波波长; t 表示时间。

由于图像的光强度函数是非负实数。而且,任何一个物理的成像系统所获取的图像最大光强度信息总是有限的。因此

$$0 < f(x, y, z, \lambda, t) \leq I \quad (1.2.2)$$

这里, I 是一个正实数,表示图像最大光强度。

一般而言,从客观景物得到的图像都是二维的,也就是与坐标 z 无关;对于灰度图像,其波长 λ 为一常数;对于静止图像,则时间 t 为一常数。因此,对于静止灰度图像,其数学表示形式可简化为

$$F = f(x, y) \quad (1.2.3)$$

这里, x 和 y 表示二维空间中一个坐标点的位置,而 F 则表示图像在点 (x, y) 的某种性质的数值。实际应用中, $f(x, y)$ 有时表示一幅图像,有时又表示图像中位置在 (x, y) 点的属性值。因此,需要根据上下文来区分 $f(x, y)$ 代表的含义。

早期图像所包含的信息都是连续(模拟)的, f 、 x 、 y 的值可以是任意实数。而数字图像处理中研究的图像都是离散(数字)的,是可以直接使用计算机来处理的。构成二维数字图像的基本单元称为像素或像元(pixel)。而对于三维数字图像,其基本构成单元称为体素(voxel)。除非特别说明,在本书中所涉及的图像均为二维数字图像。



1.2.2 数字图像处理的目的

一般而言,对图像进行处理和分析主要有以下三个目的。

(1) 提高图像的视觉质量。例如,对于成像质量不佳的图像或受退化因素影响的图像进行各类操作:去除图像中的噪声,改变图像的亮度、颜色,增强图像中的某些成分、抑制另外一些成分,对图像进行几何变换等,从而改善图像的质量,以达到或真实的、或清晰的、或色彩丰富的、或意想不到的视觉效果。

(2) 提取图像中所包含的某些特征或特殊信息,以便于计算机分析与处理。这些特征包括很多方面,如频域特性、灰度/颜色特性、边界/区域特性、纹理特性、形状/拓扑特性以及关系结构等。例如,合成孔径雷达(SAR)图像在空中侦察、联合监视、目标攻击、地质研究和海洋资源勘测等军事与民用领域有着极为广泛的应用。而 SAR 图像在各领域的应用中都不可避免地涉及 SAR 图像的识别与分类问题。由于 SAR 图像反映的是地物对雷达波的后向散射特性,若不同的地物具有相同或相近的后向散射系数,则它们就具有相近的灰度值。此外, SAR 成像时还会受到相关噪声的影响。因此仅利用灰度特征很难实现 SAR 图像的正确分类。考虑到 SAR 图像中含有丰富的纹理信息,不同的地表粗糙度会呈现出不同的纹理特征,因此可以把纹理作为除灰度之外的另一个特征信息引入图像分类中,这样可以有效地提高 SAR 图像的识别与分类精度。

(3) 对图像数据进行变换、编码和压缩,以便于图像的存储和传输。

1.3 数字图像处理的内容和方法类别

1.3.1 数字图像处理的主要内容

数字图像处理的理论方法涉及数学、物理学、控制论、模式识别、人工智能、心理学、计算机科学和信号处理等诸多学科,是一门兼具交叉性和开放性的学科。数字图像处理学科涉及的知识种类繁多,从主要研究内容上划分可以分为以下几个方面。

1. 图像获取

数字图像信息获取就是将非数字形式的图像信号通过数字化设备转换成适合计算机或数字设备处理的数字信号。这一过程包括图像信号采样与量化、图像表示及存储、采集设备校准等。

2. 图像增强

图像增强是突出图像中的有用信息,削弱噪声和干扰,提高图像的清晰度,强化图像中感兴趣的部分。图像增强一方面可以改善图像的视觉效果,另一方面也便于人或机器分析、理解图像内容。图像增强主要包括图像灰度变换、伪彩色处理、图像平滑、锐化等。

3. 图像复原(恢复)

图像复原(恢复)主要的目的是对退化图像进行处理,使处理之后的图像尽可能地接近

原始图像。所谓退化图像,是指由于各种干扰因素的影响使原本清晰的图像产生退化而形成的图像。图像复原主要包括无约束复原、有约束最小二乘复原、图像超分辨率重建、图像几何畸变校正等。

4. 图像压缩编码

图像压缩编码是在满足一定保真度的条件下,对图像数据进行变换和编码,去除冗余信息,减少表示数字图像时需要的数据量(即比特数),以节省图像传输、处理时间,减少图像所占用的存储器容量。图像压缩编码通过较少的数据量来表示原来的像素矩阵,可分为两类:一类压缩是可逆的,即利用压缩后的数据可以完全恢复原来的图像,图像信息没有损失,称为无损压缩编码;另一类压缩是不可逆的,即利用压缩后的数据无法完全恢复原来的图像,图像信息有一定损失,称为有损压缩编码。

5. 图像分割

图像分割是根据选定的特征把图像分成若干个特定的、具有独特性质子区域的过程。这些选定的特征包括图像的灰度、边缘、区域、纹理等。图像分割是图像目标识别、分析和图像理解的基础。现有的图像分割方法主要分以下几类:基于边缘的分割方法、基于阈值的分割方法、基于区域的分割方法以及基于特定理论的分割方法等。目前,虽然已存在大量的图像分割方法,但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法,而且很多分割方法在应用时还存在诸多限制条件。因此,对图像分割的研究还在不断深入之中。

6. 图像描述与分析

图像描述与分析主要是对已经分割的或正在分割的图像中各分割区域的属性以及各区域之间的关系加以表示与描述,从而使分割结果更适合计算机处理。图像描述与分析是图像识别和理解的必要前提,主要包括灰度幅值与统计特征描述、区域特征描述、纹理特征描述、颜色特征描述等。

7. 图像识别

图像识别属于模式识别的范畴,其主要内容是根据从图像中提取的各目标物的特征与特定目标物固有的特征进行匹配,以识别不同类型的目标和对象。图像识别技术目前主要包括四个类别:统计模式识别方法、句法(结构)模式识别方法、模糊模式识别方法和人工神经网络识别方法。其中,近年来新发展起来的基于深度学习的识别方法在图像识别研究中受到越来越多的关注。

8. 图像理解

图像理解是由模式识别发展起来的方法。该处理输入的是图像,输出的是一种描述。这种描述并不单纯是用符号对图像内容进行详细的描述,而且是要利用客观世界的知识使计算机进行推演,从而理解图像所表现的内容。例如,用户希望使用网络搜索引擎搜索诸如“包含蓝天白云的照片”“桌椅的照片”时,传统的搜索引擎只能根据用户输入的关键词与网络中标注相似信息的图片进行比对,结果只能找到数量较少的资源。更进一步,用户希望借助图像而不是文字来查找网络中的同类资源,或者希望弄明白未标注图像中的目标物为何物时,传统的搜索引擎就无能为力了。借助图像理解技术,搜索引擎就可以自动

分析图像内容并为用户提供丰富的相关搜索结果，从而有效提升用户体验。

1.3.2 数字图像处理的方法类别

数字图像处理方法大致可以分为两大类，即空间域方法和变换域方法。

1. 空间域方法

在数字图像处理过程中，空间域是指由像素组成的空间，也就是图像域。空间域方法是指直接作用于图像像素值并改变其特性的处理方法。它包括各种统计方法、微分方法及其他数学方法。空间域方法的基本处理流程如图 1-2 所示。图 1-2 中， $f(x, y)$ 表示待处理图像， $h(x, y)$ 表示空间域映射函数， $g(x, y)$ 表示处理后的图像。

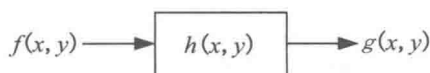


图 1-2 空间域方法基本处理流程

2. 变换域方法

变换域方法是指通过某种数学变换将图像数据由空间域转换到另一个数据域中，得到变换系数矩阵，然后再对该矩阵进行各种处理。由于图像通常数据量很大，直接在像素空间进行处理时涉及的计算量很大。此外，一些图像处理操作在空间域也难以实现。因此，可以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，将空间域的图像数据转换到另外一个数据域去处理。一般而言，“另外一个数据域”更集中地代表了图像中的某些有效信息，或者更便于实现某种处理操作。除了上述提到的一些频域变换方法外，以小波变换为代表的多尺度分析工具由于在时域和频域中都具有良好的局部化特性，因此在图像处理中也有着广泛的应用。

变换域方法不仅可以减少计算量，而且可以获得更有效的处理结果(如利用傅里叶变换在频域中对图像进行多种滤波处理)。通常情况下，处理后的数据还需要通过反变换转换回空间域，从而得到处理后的图像。变换域方法的处理流程如图 1-3 所示。图 1-3 中， $f(x, y)$ 表示待处理图像， $F(u, v)$ 表示待处理图像 $f(x, y)$ 在变换域中转换的结果， $H(u, v)$ 表示变换域函数， $G(u, v)$ 表示 $F(u, v)$ 经变换域函数处理的结果， $g(x, y)$ 表示利用反变换将 $G(u, v)$ 变换回空间域后的图像。

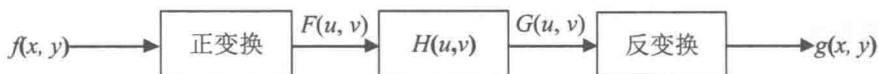


图 1-3 变换域方法的基本处理流程

1.3.3 数字图像处理的理论框架

数字图像处理技术包含的内容非常丰富，其理论框架根据抽象程度和研究方法等的不同可分为低层图像处理、中层图像处理和高层图像处理三个层次。

1. 低层图像处理

低层图像处理着重强调在图像之间进行的变换。其目的主要是对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果并为自动识别奠定基础,或对图像进行压缩编码以减少所需的存储空间或传输时间。低层图像处理主要在图像像素级上进行处理,处理的数据量非常大。

2. 中层图像处理

中层图像处理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。如果说低层图像处理是一个从图像到图像的过程,则中层图像处理是一个从图像到数据的过程。这里的数据可以是对目标特征测量的结果,也可以是基于测量的符号表示。它们描述了图像中目标的特点和性质。中层图像处理利用分割和特征提取能把原来以像素描述的图像转变成比较简洁的非图形式的描述。

3. 高层图像处理

高层图像处理的重点是在中层图像处理的基础上,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,从而指导和规划行为。如果说中层图像处理主要是以观察者为中心研究客观世界(主要研究可观察到的事物),那么高层图像处理在一定程度上是以客观世界为中心,借助知识、经验等来把握整个客观世界(包括没有直接观察到的事物)。因此,高层图像处理基本上是对从图像描述中抽象出来的符号进行运算,其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。

低层图像处理、中层图像处理和高层图像处理处于三个抽象程度和数据量各有特点的不同层次上,如图 1-4 所示。通常情况下,高层图像处理从某种类型的形式化世界模型开始,将通过数字图像感知的“真实”与模型进行比较,试图找到匹配关系。当出现差别时就开始寻找部分匹配来克服不匹配问题,而计算机再转向中层图像处理和低层图像处理,寻找用来更新模型的信息。这个过程反复进行。因此,对图像的“解释和理解”变成了一个自顶向下和自底向上相结合的协作过程。

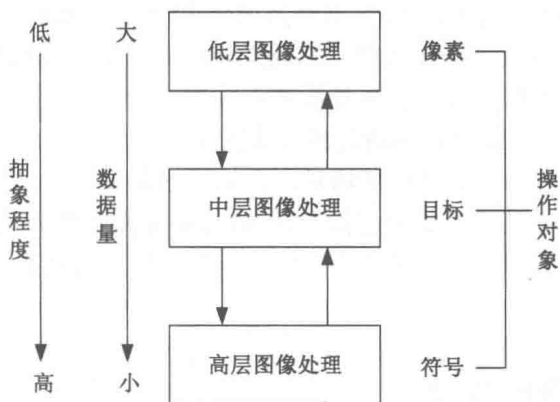


图 1-4 数字图像处理的理论层次示意

数字图像处理的每个层次都涉及不同的理论和技术问题。而数字图像处理学科是这三个既有区别又有联系的理论层次的有机统一。考虑到本书篇幅,本书内容将主要围绕低层图像处理和中层图像处理所涉及的理论与技术展开。

1.4 数字图像处理系统

一个基本的数字图像处理系统由图像采集、图像存储、图像输出、图像传输以及图像处理与分析 5 个部分组成,如图 1-5 所示。数字图像处理系统中的每个部分都有其特定的功能和对应的软硬件支撑。

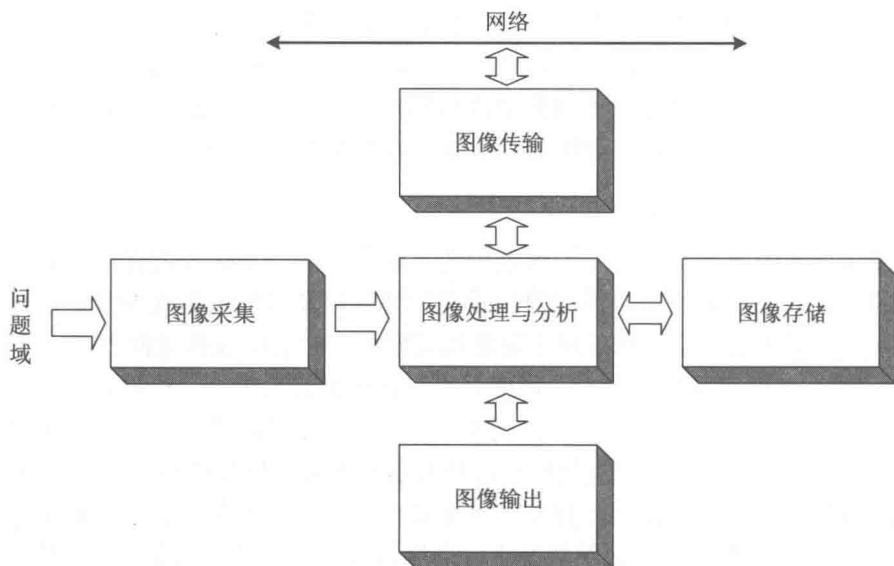


图 1-5 基本的数字图像处理系统

1.4.1 数字图像采集模块

图像采集也称为图像数字化。图像采集需要借助一定的设备(如数码相机、数码摄像机、图像扫描仪等)来实现。这些设备将自然场景转化为可用计算机加工的图像,因此也称为成像设备。事实上,图像既可以从客观场景中采集,也可以利用已知数据生成。通常情况下,数字图像处理只考虑通过自然场景获取的图像。

图像采集设备工作时输入的是自然场景,而输出的是反映场景的图像。一般来说,采集设备有两类:一类是对某个电磁辐射能量波段(如可见光、紫外线、红外线等)敏感的物理传感器,可以将接收到的电磁能量转换为数字信号;另一类是数字化设备,它可以将模拟图像转换为数字图像。

1.4.2 数字图像存储模块

图像自身所包含的数据量是非常大的。比如,目前较普通的手机 800 万像素摄像头可以拍摄 3200 像素×2400 像素的彩色照片,假定该彩色图像未经压缩,图像中每个像素用 3 个字节存储其色彩信息,则该图像需要大约 22MB 的存储空间。当一次旅行中拍摄了 1000

张此类图像时,所需的存储空间大约就要 21.5GB。再如,存储时长为 1 小时、未经压缩的、分辨率为 720P(1280 像素×720 像素)、每秒 25 帧的灰度视频大约需要 78GB 的存储空间。如此,一块 1TB 的硬盘仅能存储 13 小时左右的 720P 灰度视频。而若换作清晰度更高的 1080P(1920 像素×1080 像素)、包含声音等信息的彩色视频,则可以存储的量会更少。

上述例子一方面说明了图像压缩的必要性。另一方面也说明在数字图像处理系统中,大规模和快速的图像存储能力是必须的。目前,用于图像处理和分析的数字图像存储器可以分为三类:处理和分析过程中使用的快速存储器、在线或联机存储器、不经常使用的数据库存储器。而在线云存储方式是目前快速发展的一类图像存储方式。

1.4.3 数字图像输出模块

数字图像处理技术的一个主要目的是为人或机器提供更便于识别和解释的图像。因此,在图像分析、识别和理解的过程中,一般都需要将处理前后的图像显示出来,以供分析与比较,或者将结果输出到特定的物理介质中。因此,图像输出也是图像处理的重要内容之一。

图像的输出一般可分为两种:一种称作显示或软拷贝,通常的方法包括液晶显示、投影显示等;另一种称作硬拷贝,通常的方法包括照相、激光拷贝、打印输出等。

1.4.4 数字图像传输模块

在日常生活和许多工程应用领域,都会涉及对图像和视频数据进行传输或通信的问题。例如,1 小时未经压缩的 720P 彩色视频的数据量大约为 234GB,如果通过网络以 1MB/s 的传输速率将这些视频数据传输给远端用户时,大约需要耗时 2.77 天!这在现实中显然是不可接受的。

由于图像和视频数据量很庞大,而通常能够提供的通信带宽又是很有限的,这就要求在传输前必须对图像数据进行编码和压缩,以减少图像数据量。此外,在网络环境下存放和传输的数字图像和视频可能还包含一些版权、隐私信息和机密信息等。因此,数字图像的版权保护和安全传输也是一个需要解决的问题。这又涉及数字图像的隐藏、置乱、伪装、分存、数字水印、图像内容签名等问题。

1.4.5 数字图像处理和分析模块

数字图像处理和分析模块是数字图像处理系统的核心。它包括计算机以及特定的图像处理软硬件。对于数字图像处理和分析模块而言,其软硬件必须适合所要解决的问题。同时需要有高质量的处理和显示设备。

当面向通用处理时,图像处理软件系统应允许用户使用简单且逻辑性强的方式通过菜单选择进行处理和分析。此外,图像处理方法库应保持丰富性和可扩展性,以便于加入新的程序模块,从而使系统的性能不断增强。而图像处理硬件系统应配置快速处理硬件,包括能实时进行图像间加、减、乘、除等算术运算和逻辑运算的快速硬件流水线处理器;用