

中国电子教育学会高教分会推荐
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

数字图像处理

DIGITAL IMAGE PROCESSING

王一丁 李琛 王蕴红 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高教分会推荐
普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

数字图像处理

王一丁 李 琛 王蕴红 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字图像处理与分析所涉及的基本思想和典型算法。全书共 11 章,分为三大部分:第一部分介绍了数字图像处理的基础知识,包括绪论、数字图像处理基础、图像的基本运算和正交变换;第二部分讲解了数字图像处理和分析的基本方法与技术,包括图像增强、图像复原、图像重建、图像形态学运算、图像分割以及小波变换的数字图像处理;第三部分扩展了数字图像处理近年来最热门的一类应用——图像识别技术,主要讲述了经典的图像特征提取与分类识别方法,并给出了生物特征识别领域的研究实例,以帮助读者理解和深入学习。本书内容系统,重点突出,理论与实例并重,并提供了丰富的图例以及一些典型问题的 MATLAB 和 C 程序实现,以供读者参考。

本书可作为高等院校通信、电子信息工程、计算机科学、自动化、数字多媒体、信息安全、遥感、生物工程等专业本科生和研究生的专业课教材,也可供相关领域的研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理/王一丁,李琛,王蕴红编著. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.8

普通高等教育电子信息类“十三五”课改规划教材

ISBN 978-7-5606-3801-0

I. ① 数… II. ① 王… ② 李… ③ 王… III. ① 数字图像处理—高等学校—教材
IV. ① TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 197956 号

策 划 刘小莉

责任编辑 马武装 张 驰

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21.375

字 数 508 千字

印 数 1~2000 册

定 价 38.00 元

ISBN 978-7-5606-3801-0/TN

XDUP 4093001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

前 言

眼睛获取的视觉信息对人类感知外界具有举足轻重的作用,研究表明,眼睛获取的视觉信息占据了人类获取外界信息的75%左右。而图像处理最初的研究目的就是为了改善图像的质量,从而改善人的视觉效果。20世纪20年代,采用数字压缩技术通过海底电缆从伦敦向纽约传输了第一张数字照片,这被看做是数字图像处理的起源。1964年,美国喷气推进实验室(JPL)对航天探测器“徘徊者7号”发回的4000多张月球照片使用数字图像处理技术进行了几何校正、灰度变换、去除噪声等处理,并用计算机成功绘制出月球表面地图;随后又对探测器发回的近十万张照片进行更为复杂的图像处理,并获得了月球的地形图、彩色图及全景镶嵌图。这一举动极大地推动了数字图像处理这门学科的诞生,也标志着自第三代计算机问世后,数字图像处理技术开始了普遍的应用。

20世纪70年代初期,随着计算机技术、人工智能等相关学科的迅速发展,数字图像处理已开始研究如何借助计算机等数字设备模拟人类视觉系统,实现对外部世界图像的获取和理解。医学领域头部和全身CT(Computer Tomograph)的发明应用及其荣获诺贝尔奖的殊荣使得数字图像处理技术大放异彩。此后,数字图像处理技术在农林、水利、国防、航空航天、工业检测、机器人视觉、公安司法、生物医学工程、通信、文化艺术等众多领域日益受到广泛重视并取得开拓性成就,如:农林和水利部门通过遥感图像监控植物生长情况或水害灾情的变化;气象部门借助数字图像处理技术获取和分析气象云图;国防部门使用航测或卫星获得地域地貌及地面设施等资料;工业领域使用数字图像处理技术进行工伤检测或用于工业机器人;公安司法部门借助图像分析和识别进行安全监控或身份认证;生物医学领域借助各种数字图像技术进行疾病的辅助诊断;通信领域的可视电话、会议电视、多媒体通信,以及宽带综合业务数字网(B-ISDN)和高清晰度电视(HDTV)都采用了数字图像处理技术;近年来文化艺术领域也开始借助数字图像处理技术实现了网络博物馆、古遗迹的3D重建等。目前数字图像处理已表现出明显的学科交叉性,在国民经济的许多领域起到举足轻重的作用,并带来了巨大的经济和社会效益,成为一门引人注目、前景远大的新型学科。

由于数字图像处理技术在多个领域的发展潜力和应用价值,目前包括计算机科学与技术、信息安全、通信工程、电子信息科学与技术、自动化等在内的多个专业均将“数字图像处理”作为专业课在本科或研究生阶段进行讲授。考虑到不同专业、不同年级学生或相关图像处理领域研究人员对图像处理技术涉及内容的学习需求和兴趣不尽相同,此外由于数字图像处理技术承接的先修课程和涉及的新概念较多,其包括矩阵论、数学分析、信息论与编码、光学基础、数学形态学、模式识别理论等,因此如何有效地组织教材,引导学生快速入门,并且在较全面地覆盖不同读者群体需求的同时,能在某一具体研究方向给予切实的指导,以提高实际教学效果,这是编者在编写这本书时重点考虑的问题。我们将教材编写视为创新性的工作,希望在吸收国内外众多专家研究成果的基础上,也能通过本书反映

我们多年来对数字图像处理的教学和研究积累。

本书系统地介绍了数字图像处理与分析涉及的基本思想和典型算法，全书分为 11 章，前 4 章是数字图像处理基础，包括起源、图像处理基础、基本运算和正交变换；接下来几章介绍了数字图像处理与分析中最经典的基本方法技术；最后一章补充了图像处理的一类热门应用——图像识别技术，在介绍基本图像特征提取和分类方法的基础上，给出了大量的生物特征识别的实例。

本书的实例大都来自作者研究团队的研究积累，其中提供了丰富的图例以及一些典型问题的 MATLAB 和 C 程序实现，供初学者参考。数字图像处理不仅内容博大精深而且具有较明显的学科交叉性，一本书难以涵盖其所有的内容，作者希望能通过本书给读者提供较全面、清晰的知识结构以及更新、更切合实际应用的研究实例，同时希望这些内容能激发读者对图像处理的研究热情。

在本书的编写过程中，作者参考了国内外数字图像处理研究领域大量的文献和书籍，在此谨向相关书籍和文献的作者表示真挚的感谢。感谢作者所在团队的杨晨艳、张玘、段强宇、谢威、王聪聪、黄守艳、马晓蕾、李霁阳、买热哈巴·优素莆江、马遇伯、贺文强等在本书的编写和校对过程中付出的大量精力；感谢齐琦、于晓捷、曹希、曹海军、樊云、何欢等对团队研究工作的贡献，以及为本书的撰写提供的更好的实例和素材；感谢臧淼、崔家礼、李克峰等老师在本书的撰写过程中给予的建议和支持；感谢西安电子科技大学出版社的刘小莉编辑为本书的编辑出版付出的时间和精力。

由于作者知识和能力有限，书中难免存在不妥之处，敬请同行专家和读者批评指正。

作 者

2015 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1	2.6 图像数据结构	38
1.1 数字图像处理的发展	1	2.6.1 图像模式	38
1.1.1 数字图像处理的发展历史	1	2.6.2 图像文件格式	42
1.1.2 数字图像处理的研究现状	2	2.7 用 VC 实现 BMP 图像文件的处理	46
1.2 数字图像处理的概念	2	2.7.1 DIB 访问函数	46
1.2.1 图像	2	2.7.2 构造自己的 DIB 函数库	51
1.2.2 数字图像	3	2.7.3 用 VC++ 实现 BMP 图像的 显示	53
1.2.3 彩色图像、灰度图像与二值图像	4	习题	55
1.3 数字图像处理的内容、基本 步骤和特点	5	第 3 章 图像的基本运算	56
1.3.1 数字图像处理的内容	5	3.1 图像基本运算概述	56
1.3.2 数字图像处理的基本步骤	6	3.2 图像的代数运算和逻辑运算	57
1.3.3 数字图像处理的方法	7	3.2.1 代数运算	57
1.3.4 数字图像处理的基本特点	8	3.2.2 集合运算与逻辑运算	61
1.4 数字图像处理系统的组成	8	3.3 图像的几何变换	64
1.5 数字图像处理的应用	10	3.3.1 几何变换的基础知识	64
1.6 图像处理与相关学科的介绍	14	3.3.2 齐次坐标	64
习题	14	3.3.3 基本几何变换	65
第 2 章 数字图像处理基础	15	3.4 图像的插值运算	77
2.1 视觉感知原理	15	3.4.1 最近邻插值法	77
2.1.1 视觉系统	15	3.4.2 双线性插值法	77
2.1.2 图像质量评价	18	3.4.3 双三次插值法	78
2.2 颜色常识	20	习题	79
2.2.1 颜色基础	20	第 4 章 图像的正交变换	80
2.2.2 三基色与颜色匹配	20	4.1 图像的傅立叶变换	80
2.3 彩色模型	22	4.1.1 傅立叶变换的定义	80
2.3.1 RGB 模型	22	4.1.2 图像的傅立叶变换的性质	83
2.3.2 HSI 模型	23	4.2 图像的离散余弦变换	88
2.3.3 YUV 模型	25	4.2.1 离散余弦变换的基本概念	88
2.4 模拟图像的获取和数字化	26	4.2.2 离散余弦变换的计算	90
2.4.1 模拟图像的获取	27	4.3 图像的沃尔什变换	91
2.4.2 采样	27	4.3.1 一维离散沃尔什变换	91
2.4.3 量化和编码	33	4.3.2 二维离散沃尔什变换	91
2.5 像素空间关系	35	4.3.3 哈达玛变换	93
2.5.1 像素邻域	35	4.4 离散 K-L 变换	94
2.5.2 邻接性、连通性、区域和边界	36	4.4.1 离散 K-L 变换的基本思想	94
2.5.3 像素间距离	37	4.4.2 离散 K-L 变换的步骤	95

4.4.3 离散 K-L 变换的性质和特点	95	6.5.2 运动模糊图像复原	160
4.4.4 综合案例——基于 K-L 变换的人脸识别	95	6.6 其他的图像恢复方法	163
习题	100	6.6.1 几何畸变校正	163
第 5 章 图像增强	101	6.6.2 盲目图像复原	167
5.1 图像增强的概念和分类	101	习题	167
5.2 灰度变换	102	第 7 章 图像重建	168
5.2.1 灰度变换的基础知识	102	7.1 图像重建概述	168
5.2.2 线性灰度变换	103	7.1.1 图像重建的方法	168
5.2.3 分段线性灰度变换	104	7.1.2 图像重建在医学领域的应用	169
5.2.4 非线性灰度变换	105	7.2 图像的投影	171
5.3 直方图处理	107	7.2.1 图像的投影过程	171
5.3.1 直方图基本概念	107	7.2.2 图像的投影定理	172
5.3.2 直方图均衡化	109	7.3 傅立叶投影重建	176
5.3.3 直方图规定化	113	7.4 代数法重建	178
5.4 图像的平滑	117	习题	181
5.4.1 图像噪声	117	第 8 章 图像形态学运算	182
5.4.2 局部统计法	118	8.1 形态学运算概述	182
5.4.3 空域平滑法	118	8.1.1 数学形态学的历史	182
5.4.4 中值滤波	122	8.1.2 数学形态学的概念	183
5.4.5 频域低通滤波	123	8.1.3 数学形态学的数学基础和基本符号	183
5.5 图像的锐化	126	8.2 二值图像的膨胀	185
5.5.1 一阶微分算子法	126	8.2.1 基本原理	185
5.5.2 拉普拉斯算子法	129	8.2.2 膨胀运算在计算机中的实现	186
5.5.3 高通滤波法	130	8.3 二值图像的腐蚀	188
5.6 图像的伪彩色增强	132	8.3.1 基本原理	188
习题	134	8.3.2 腐蚀运算在计算机中的实现	189
第 6 章 图像复原	136	8.4 膨胀、腐蚀运算的代数性质	191
6.1 图像退化模型	136	8.5 击中/击不中变换	192
6.1.1 图像退化的原因	136	8.6 二值图像的开运算和闭运算	193
6.1.2 图像退化的数学模型	137	8.7 二值图像形态学应用	195
6.1.3 图像退化模型的离散形式	138	8.7.1 滤波	195
6.2 噪声模型	143	8.7.2 平滑	195
6.2.1 噪声的空间和频率特性	143	8.7.3 边缘提取	196
6.2.2 一些重要的噪声介绍	143	8.7.4 细化	197
6.3 无约束复原	147	8.7.5 粗化	199
6.3.1 无约束复原的代数方法	147	8.8 灰度图像的形态学运算	200
6.3.2 逆滤波方法	148	8.8.1 灰度膨胀	200
6.4 有约束复原	152	8.8.2 灰度腐蚀	202
6.4.1 维纳滤波	152	8.8.3 灰度图像开运算与闭运算	204
6.4.2 有约束最小平方滤波	155	8.8.4 灰度图像形态学应用	204
6.5 运动模糊图像的复原	158	8.9 彩色图像的形态学处理	206
6.5.1 目标相对运动造成的图像模糊	159	习题	207

第 9 章 图像分割	208	10.7.1 小波算法	266
9.1 图像分割的基本概念	208	10.7.2 常用的图像融合法则	274
9.2 图像的并行边界分割算法	209	10.7.3 融合图像评价	275
9.2.1 一阶梯度算子	210	10.7.4 融合图像数据评价	275
9.2.2 二阶梯度算子	212	习题	277
9.2.3 Canny 算子	215	第 11 章 图像特征提取与分类	278
9.2.4 霍夫变换	216	11.1 特征提取与分类概述	278
9.3 图像的并行区域算法	218	11.2 常用的图像特征提取方法	280
9.3.1 直方图阈值法	219	11.2.1 低层次特征提取	280
9.3.2 最优阈值法	220	11.2.2 高层次特征提取	282
9.3.3 其他经典的阈值确定方法	220	11.3 图像特征分类基础	287
9.4 图像的串行边界算法	223	11.3.1 距离分类器设计与应用	287
9.5 图像的串行区域算法	225	11.3.2 神经网络方法	288
9.5.1 区域生长	225	11.3.3 统计学习理论和支持向量 机识别方法	292
9.5.2 区域分裂与合并	229	11.4 基于人脸图像的性别分类系统	294
9.6 几种典型的图像分割算法	230	11.4.1 基于 Gabor 滤波人眼 定位算法	294
9.6.1 基于梯度增强的新闻字幕 分割算法	230	11.4.2 增强型 PCA-SIFT 特征提取	297
9.6.2 光学乐谱分割算法	234	11.4.3 基于 LVQ 增强型 FSVM 人脸分类	299
9.6.3 彩色图像的自适应模糊 聚类算法	240	11.4.4 人脸性别识别系统设计	302
9.7 图像分割算法的评价方法	244	11.5 基于步态的性别分类研究	302
习题	246	11.5.1 IRIP 步态数据库介绍	302
第 10 章 小波变换的数字图像处理	247	11.5.2 步态数据库预处理—— ViBe 算法步态分割	304
10.1 概述	247	11.5.3 基于时间和空间 GPCI 特征融合的 性别分类	306
10.2 小波变换基础	247	11.5.4 基于步态的分类实验	312
10.2.1 序列展开	247	11.6 手背静脉身份识别系统	314
10.2.2 基于尺度函数的展开	248	11.6.1 手背静脉图像预处理	314
10.2.3 基于小波函数的展开	249	11.6.2 手背静脉图像的分割算法	319
10.2.4 尺度函数和小波函数的 多分辨率分析	249	11.6.3 基于 SIFT 的多模板 分类器设计	321
10.2.5 尺度函数和小波函数示例	250	11.6.4 基于局部二值模式的手背静脉 特征提取	326
10.3 一维小波变换	253	11.6.5 基于 LBP 特征算子的 分类器设计	328
10.3.1 小波级数展开	253	11.6.6 基于手背静脉的门禁 系统设计	330
10.3.2 离散小波变换	254	习题	333
10.4 快速小波变换	254	参考文献	334
10.5 二维小波变换	257		
10.5.1 二维变换函数	257		
10.5.2 二维变换实现	257		
10.6 基于小波变换的图像压缩编码	259		
10.6.1 图像压缩编码基础	259		
10.6.2 图像压缩编码的基本方法	260		
10.7 基于小波变换的图像融合	266		

第1章 绪 论

数字图像处理是指用计算机对数字图像进行处理,因此也称为计算机图像处理。本章主要介绍数字图像处理的发展历史及现状,数字图像处理涉及的相关概念,数字图像处理的内容、基本步骤和基本特点,数字图像处理系统的组成以及数字图像处理的主要应用和图像处理与相关学科的关系。

1.1 数字图像处理的发展

1.1.1 数字图像处理的发展历史

随着数字信号处理在理论和方法上的不断发展,以及计算机技术的不断进步,近年来数字图像处理技术也取得了长足的发展。

20世纪20年代,数字图像处理技术最早应用于图像的远距离传输,以改善伦敦和纽约之间经海底电缆传送的图像质量,它采用了数字压缩技术。以1920年的技术水平,不进行图像压缩,传输一幅图像需要一个星期的时间,而压缩后仅需3个小时。

20世纪60年代初期,数字图像处理技术取得了飞跃式的发展。用计算机进行图像处理,改善图像质量的有效应用开始于1964年美国的喷气推动实验室(JPL)用IBM7049计算机对“徘徊者七号”太空船发回的4000多张月球照片进行处理并获得了极大的成功。在20世纪60年代中后期至70年代中期这十多年中,随着成像技术、数字计算机以及信号技术在速度、规模和经济效果上的改进,同时由于离散数学理论的创立和完善,数字图像处理技术得到了迅猛的发展,其理论和方法也得到了进一步完善。

20世纪70年代后期,我国学者开始了较大规模的对数字图像处理技术方面的研究,使我国的数字图像处理技术逐渐跻身于世界领先行列。

数字图像处理技术发展迅速,目前已成为工程学、计算机科学、信息科学、统计学、物理学、化学、生物学、医学甚至社会科学等领域学习和研究的对象。如今图像处理技术已给人类带来了巨大的经济和社会效益。将来它不仅在理论上会有更深入的发展,在应用上也会是科学研究、社会生产乃至人类科学中不可缺少的强有力的工具。

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形式的,所以数字图像处理的一个先决条件就是将图像转化为数字形式。以往专用的图像数字化设备非常昂贵和复杂,只有极少数的研究单位和公司能够负担得起。随着技术的进步,现在这些设备已经比较便宜而且应用广泛,如常用的扫描仪、数字照相机以及录像机等。

1.1.2 数字图像处理的研究现状

自 20 世纪 60 年代第三代数字计算机问世以后, 数字图像处理技术得到了空前的发展, 并呈现出广阔的研究空间。其中需要进一步研究的问题主要有以下五个方面:

- (1) 在进一步提高精度的同时着重解决处理速度问题;
- (2) 加强软件研究, 发掘新的处理方法, 特别要注意移植和借鉴其他学科的技术及研究成果;
- (3) 加强边缘学科的研究, 促进图像处理技术的发展;
- (4) 加强数字图像处理理论研究, 逐步形成自身的理论体系;
- (5) 时刻注意图像处理领域的标准化问题。

1.2 数字图像处理的概念

1.2.1 图像

我们生活在多姿多彩的世界中, 通过感觉器官获取周围世界的信息并进行加工和学习, 从而了解世界、掌握知识。科学研究和统计表明, 人类从外界获得的信息约有 75% 来自视觉系统, 即我们感知和学习的内容大部分来自于图像。图像的获取是通过各种观测系统, 如眼睛、照相机、红外成像仪和超声波成像系统等, 以不同的形式和手段观测客观世界来完成的。这些形式和手段包括我们最熟悉的可见光, 以及人眼不可见的 γ 射线、红外线、无线电波和声波反射等的获取与成像。

图像作为一种表达信息的媒体, 能够包含非常丰富的信息。例如, 描述一个人的眼神时, 如果是一幅清楚的图像, 往往只需要一瞬间便能看出其中包含的深刻意义。但如果用语言和文字去完成这个眼神图像所表达的含义, 却要花上非常多的文字和时间去进行描述, 而表达的结果还经常不够准确和完整。因此, 才有“百闻不如一见”的说法。

客观世界的景物在空间上经常是三维的, 而一般情况下从客观世界获得的景物图像是二维的, 因此一幅静态图像可用一个二维数组 $f(x, y)$ 来描述。这里 (x, y) 表示的是二维空间中的一个坐标点, f 表示该点形成的影像的某种性质。例如, 对于没有颜色的灰度图像, f 表示的是该点的灰度值(亮度)。对于活动图像, 可以用 $f(x, y, t)$ 来描述, (x, y) 仍表示二维空间中的坐标, t 表示时间, 即活动图像可看成由一系列时间序列上的静态图像组成, 这样图像上各点的性质不仅与它的坐标位置有关, 还与时间有关。对于彩色图像, 可以用 $f(x, y, \lambda)$ 来描述, 其中 λ 表示波长, 因为反映到人眼的图像颜色由射入人眼的光波波长决定, 所以可以将 λ 作为一个变量。当然, 对于活动的彩色图像, 可以用 $f(x, y, t, \lambda)$ 来描述。

图像与其他的信息形式相比, 具有直观、具体、生动等诸多显著的优点, 可以按照图像的存在形式、亮度等级和图像的光谱等对其进行分类。

1. 按照图像的存在形式分类

按照图像的存在形式分类, 图像可分为实际图像与抽象图像, 如图 1-1 所示。

- (1) 实际图像: 通常为二维分布, 又可分为可见图像和不可见图像。其中可见图像的

一个子集为图片,即照片、用线条画的图和画等;另一个子集为光图像,即用透镜、光栅和全息技术产生的图像。不可见图像的一个子集为不可见光成像,如红外、微波等的成像;另一个子集为按数学模型生成的图像,如温度、压力及人口密度等的分布图。

(2) 抽象图像:如数学函数图像,包括连续函数和离散函数图像。

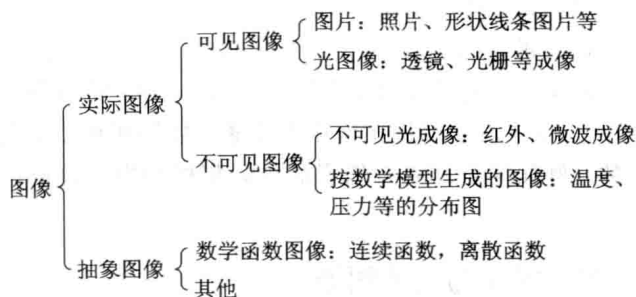


图 1-1 图像按存在形式分类

2. 按照图像亮度等级分类

按照图像亮度等级分类,图像可分为二值图像和灰度图像。

(1) 二值图像:只有黑、白两种亮度等级的图像。

(2) 灰度图像:有多种亮度等级的图像。

3. 按照图像的光谱特性分类

按照图像的光谱特性分类,图像可分为彩色图像和黑白图像。

(1) 彩色图像:图像上的每个像素点有多于一个的局部特性,如在彩色摄影和彩色电视中出现的三基色(红、绿、蓝)图像,每个像素点分别对应三个基色的三个亮度值。

(2) 黑白图像:每个像素点只有一个亮度值分量,如黑白照片、黑白电视画面等。

4. 按照图像是否随时间变换分类

按照图像是否随时间变换分类,图像可分为静态图像与活动图像。

(1) 静态图像:不随时间变换的图像,如各类图片等。

(2) 活动图像:随时间变换的图像,如电影和电视画面等。

5. 按照图像所占空间和维数分类

按照图像所占空间和维数分类,图像可分为二维图像和三维图像。

(1) 二维图像:平面图像,如照片等。

(2) 三维图像:空间分布的图像,一般使用两个或者多个摄像头得到。

6. 按图像空间坐标和亮度的连续性分类

按图像空间坐标和亮度(或色彩)的连续性分类,图像可分为模拟图像和数字图像。

(1) 模拟图像:空间坐标和亮度(或色彩)都是连续变化的图像。

(2) 数字图像:空间坐标和亮度均不连续的、用离散数字(一般用整数)表示的图像。

1.2.2 数字图像

客观世界形成的图像是连续的,即 $f(x, y)$ 、 x 、 y 的值可以是任意实数。为了能够使

用计算机与数字通信系统对图像进行加工处理, 需要把连续的模拟图像信号进行离散化(数字化), 这种离散化包括坐标空间上的离散化(对 x 、 y 的值进行离散)和性质空间上的离散化(对图像灰度值 $f(x, y)$ 进行离散)。离散化后的图像就是数字图像, 仍然可以用 $f(x, y)$ 表示。在本书讨论的数字图像中, x 表示图像某点所在坐标的行值, y 表示图像某点所在坐标的列值, 它们均为不小于 0 的整数。

随着数字图像处理研究的深入, 现在直接用“image”或“图像”代表离散化后的数字图像。图像被离散化后实际上是由许多基本的图像单元组成的, 将这些基本的单元称为图像元素, 简称像素, 英文用 pixel 表示二维图像中的像素。数码相机中获得的数字图像实际上就是由许多像素组成的, 例如拥有 900 万像素的数码相机拍摄的数码照片就是由 900 万个像素组成的。

1.2.3 彩色图像、灰度图像与二值图像

人眼不仅能感觉景物的亮度, 还能感觉景物的色彩。彩色图像、灰度图像与二值图像是我们能够接触到的主要图像种类, 因此下面将详细介绍这三种图像。

彩色图像是指由多种颜色组成的图像。正常的人眼看到的景物都是彩色的, 各种颜色的不同源于其对应光线的波长不同, 只要可见光的波长相差 3~5 nm, 人眼就能感觉到两种颜色的差异。在对彩色图像进行记录时, 不仅要记录每一个像素的亮度, 还要记录它的颜色, 而颜色是千变万化的, 因此对于不同要求的彩色图像, 可以用不同数量的颜色来记录。在记录彩色图像时, 如果要求彩色图像显示的色彩效果更真实, 那么就必须采用更多种色彩, 但相应的代价是图像的存储空间会更大。彩色图像所采用的颜色数目通常为 2^n 种, 如 16 色为 2^4 种颜色, 256 色为 2^8 种颜色, 真彩色图像为 2^{24} 种颜色(它所拥有的颜色有 16 777 216 种, 可以表达出人眼能够辨别的所有颜色, 所以叫做真彩色图像)。任何彩色图像都可由红(Red, R)、绿(Green, G)、蓝(Blue, B)三种基本原色组成, 通过三种颜色的不同组合, 可以形成各种各样的颜色。因此, 一幅彩色图像可以分解成三幅分别代表红、绿、蓝三色的灰度图像。

灰度图像是指只有亮度差别, 而没有颜色差别的图像, 例如拍摄的黑白照片。又如, 将一幅彩色图像分解成三幅分别为红、绿、蓝三色的灰度图像, 每幅图像实际上看起来是没有颜色变化的, 只有亮度变化。当然, 也可将一幅彩色图像转换为灰度图像, 用 Y 代表亮度大小, 则其转换式如式(1.2.1)所示:

$$Y = 0.229R + 0.587G + 0.114B \quad (1.2.1)$$

灰度图像中各部位的亮度差别也是千变万化的, 从最黑到最白之间可以分出的亮度等级应该是无穷的。但是, 人眼能够分辨出的亮度等级是有限的, 因此, 数字图像中的灰度等级也可以用有限的等级来描述一幅图像。当然, 亮度的等级是可以根据实际需要进行设定的, 但通常为 2^n 级, 如 128 级是 2^7 , 8 级是 2^3 。又如, 采用 256 级亮度, 刚好是 2^8 , 用一个字节就能存储一个像素的亮度。等级越多的图像效果越好, 当然, 这需要更多的存储空间。

当灰度图像的灰度等级只有两个等级时, 这种图像就叫做二值图像。可以只用“全黑”与“全白”两种方式对图像进行描述和记录。例如, 用一支黑色钢笔在白纸上绘画时, 就只能得到二值图像。二值图像所含的信息往往较少, 占用存储空间也相应较少。但是, 二值

图像往往能够排除干扰,并获得对象的最突出特点,如指纹图像的识别、文字的自动识别等,这些都需要获得二值图像。

1.3 数字图像处理的内容、基本步骤和特点

1.3.1 数字图像处理的内容

自20世纪60年代以来,数字技术和微电子技术的迅速发展给数字图像处理提供了先进的技术手段,数字图像处理也就从信息处理、自动控制系统论、计算机科学、数据通信、电子技术等学科中脱颖而出,成为研究“图像的获取、传输、存储、变换、显示、理解与综合利用”的一门崭新学科。

数字图像处理学科包含的内容是相当丰富的。根据抽象程度不同,数字图像处理可分为三个层次:图像处理、图像分析和图像理解,见图1-2。其各自的框架见图1-3。

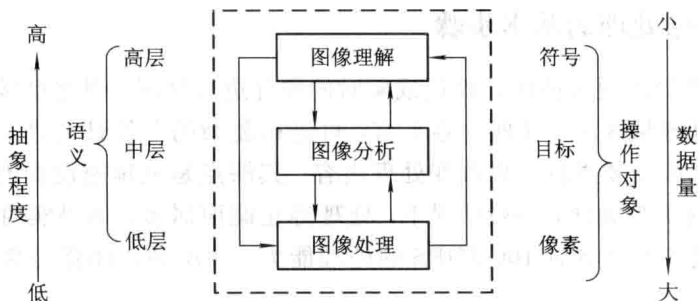


图 1-2 数字图像处理三层次示意图

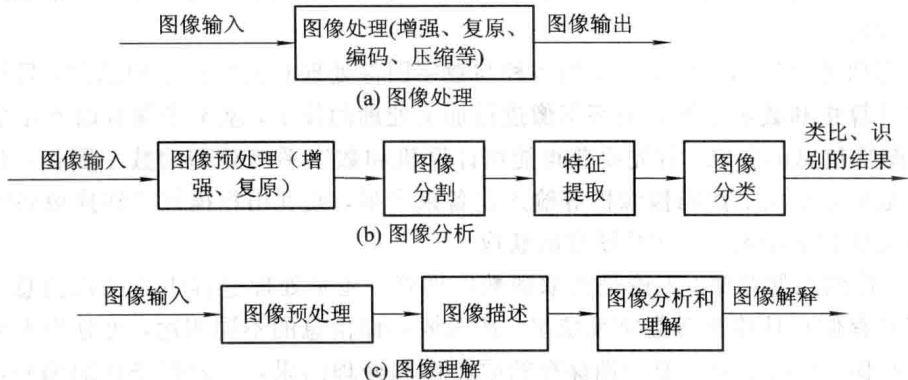


图 1-3 图像处理、图像分析和图像理解

图像处理是对输入图像进行某种变换而得到输出图像,是一种图像到图像的过程。图像处理主要指对图像进行各种操作以改善图像的视觉效果,或对图像进行压缩编码以减少所需存储空间或传输时间,从而降低对传输通道的要求。

图像分析主要是对图像中感兴趣的目标进行检测和测量,从而建立对图像目标的描述。图像分析是一个从图像到数值或符号的过程。

图像理解是在图像分析的基础上,基于人工智能和认知理论,研究图像中各目标的性质和目标之间的相互联系,对图像内容的含义加以理解并对原来客观场景加以解译,从而做出指导和规划行动。如果说图像分析主要是以观察者为中心研究客观世界(研究可观察到的对象),那么图像理解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。

可见,图像处理、图像分析和图像理解是相互联系又相互区别的。图像处理是低层操作,它主要在图像像素级上进行处理,处理的数据量非常大;图像分析则进入了中层,经分割和特征提取,把原来以像素构成的图像转变成比较简洁的、非图像形式的描述;图像理解是高层操作,它是对描述中抽象出来的符号进行推理,其处理过程和方法与人类的思维推理有许多类似之处。由图 1-2 可见,随着抽象程度的提高,数据量逐渐减少。一方面,原始图像数据经过一系列的处理,逐步转化为更有组织和用途的信息,在这一过程中,语义不断引入,操作对象发生变化,数据量得到压缩;另一方面,高层操作对低层操作有指导作用,能提高低层操作的效率。

1.3.2 数字图像处理的基本步骤

由于数字图像处理通常使用计算机或实时的硬件进行处理,因此也常称为计算机图像处理。其优点是处理精度高,处理内容丰富,可进行复杂的非线性处理,有灵活的变通能力,一般来说只要改变软件就可以改变处理内容。其缺点是处理速度尚有待提高,特别是进行复杂的处理时更是如此,一般情况下,处理静止画面居多,如果实时处理一般精度的数字图像,计算机大约要具有 100 MIPS 的处理能力;其次是对图像分辨率及精度有一定限制。

一般意义上的数字图像较难为人所理解,因此,数字图像处理也离不开模拟技术,为实现人机对话和自然的人机接口特别需要人去参与观察和判断,此时模拟图像处理技术就是必不可少的。

数字图像处理技术在广义上是指各种与数字图像处理有关的技术的总称,目前主要指应用数字计算机和数字系统对数字图像进行加工处理的技术,基本步骤有以下几个方面。

(1) 图像信息的获取。首先要获得能用计算机和数字系统处理的数字图像,其方法包括直接用数码照相机、数码摄像机等输入设备来产生,或利用扫描仪等转换设备将照片等模拟图像变成数字图像,这就是图像的获取。

(2) 图像信息的存储。无论是获取的数字图像,还是处理过程中的图像信息,以及处理结果都要存储在计算机等数字系统里。按照要存储信息的不同用途,可分为永久性存储和暂时性存储。前者主要指要长期保存的原图像和处理结果,一般要先压缩编码,以减少存储数据量,再存储在永久(外)存储器(如硬盘、光盘等)中;而对于处理过程中要使用的图像信息,为了提高存取速度,一般要存储在计算机内存中,这就要求内存容量要大。

(3) 图像信息的处理。这里的图像信息处理就是数字图像处理,它是指用数字计算机或数字系统对数字图像进行的各种处理,以达到图像处理的目的。广义地讲,数字图像处理包括图像处理(图像变换、图像增强、图像恢复、图像压缩编码)、图像分析和图像识别分类。图像处理是在图像的像素级上进行的图像到图像的处理,以改善图像的视觉效果或者进行压缩编码。图像分析是对图像中的目标物进行检测,对目标物的特征进行测量,以

获取图像目标物的描述,它将二维图像信息变成了一维的目标物特征,是图像识别分类的基础。图像识别分类是在图像分析的基础上,利用人工智能、认知理论和模式识别技术,对图像中的目标物进行识别和分类,以达到机器识别或实际应用的目的。

(4) 图像信息的传输。随着计算机技术尤其是网络技术的迅速发展和广泛应用,需要传输(通信)的不仅有文字或者语音信息,也包括大量的静态或者视频图像信息。由于图像信息量很大,图像信息传输中要解决的主要问题就是传输信道和数据量矛盾的问题,一方面要改善传输信道,提高传输速率,而这些都要受到环境的限制,另一方面就要对传输的图像信息进行压缩编码,以减少描述图像信息的数据量,而这也是图像处理的主要内容之一。

(5) 图像的输出和显示。图像处理的目的就是改善图像的视觉效果或进行机器识别分类,最终都要提供给人去理解,因此必须通过可视的方法进行输出和显示,包括硬拷贝(如照相、打印、扫描)和软拷贝(如显示器显示)。

1.3.3 数字图像处理的方法

数字图像处理的理论方法与技术涉及数学、物理学、信号处理、控制论、模式识别、人工智能、生物医学、神经心理学、计算机科学与技术等众多学科,它是一门兼具交叉性和开放性的学科。图像处理和分析所涉及的知识种类多样,具体的方法种类繁多,但从主要研究内容和方法上可以分为以下几个方面。

(1) 图像数字化。图像数字化是将非数字形式的图像信号通过数字化设备转换成数字计算机能接受的数字图像,它是数字图像处理技术的基础,包括采样和量化。

(2) 图像变换。为了便于在频域对图像进行更有效的处理,图像信息需要进行变换。根据数字图像的特点,一般采用正交变换,诸如傅立叶变换、沃尔什-哈达码变换、离散余弦变换、K-L变换、小波变换等,以改变图像的表示域和图像数据的排列形式,使得图像信息更有利于后续的图像增强或压缩编码。

(3) 图像增强。图像增强是增强图像中的有用信息,削弱干扰和噪声,提高图像的清晰度,突出图像中所感兴趣的部分。一方面用以改善人们的视觉效果,另一方面便于人或机器分析、理解图像内容。它主要包括灰度增强、图像平滑、锐化、同态增晰、彩色增强等。

(4) 图像复原。图像复原是对退化的图像进行处理,使处理后的图像尽可能地接近原始的图像。所谓退化的图像是指由于各种原因(设备问题、周围环境、干扰等)使原清晰图像变模糊或使原图像未达到应有质量而形成的降质图像。它主要包括退化模型的表示、退化系统参数的确定、无约束恢复、有约束最小二乘恢复、频域恢复方法、图像的几何畸变校正、超分辨率图像复原方法等。

(5) 图像压缩编码。由于图像中通常存在冗余信息,数据量大,不利于传输、处理和存储,所以需要对待处理图像进行压缩编码,以减少描述图像的数据量。压缩可以在不失真的前提下进行,也可以在允许的失真条件下进行。前者解压后可无失真地得到原图像信息,称为无损压缩编码;而后者只能得到原图像的近似,称为有损压缩编码。

(6) 图像分割。图像分割是数字图像处理中的关键技术之一。图像分割是指根据选定的特征将图像划分成若干个有意义的部分,这些选定的特征包括图像的边缘、区域等。图像分割是进一步进行图像识别、分析和理解的基础,它主要包括边缘检测的基本方法、基

于灰度的门限分割、区域分割等多种分割方法。

(7) 图像分析与描述。图像分析与描述主要是对已经分割的或正在分割的图像中各部分的属性及各部分之间的关系进行分析表述。它主要包括灰度幅值与统计特征描述、区域的几何特征、边界描述、区域描述、矩描述、纹理描述、形态学描述等。随着图像处理研究的深入发展,已经有人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。

(8) 图像识别分类。图像识别分类就是根据从图像中提取的各目标的特征,与目标固有的特征进行匹配、识别,以做出对各目标类属的判别。

1.3.4 数字图像处理的基本特点

同模拟图像处理相比,数字图像处理有很多优点,主要表现在以下几方面。

(1) 精度高。对一幅图像数字化时,不管是用 4 bit 还是 8 bit 或其他比特量化,处理图像所用的计算机程序几乎是一样的。如果增加图像像素数使处理图像变大,也只需改变数组的参数,处理方法不变。因此从原理上讲,不管处理多高精度的数字图像都是可能的。而对于模拟图像处理,要想使精度提高一个数量级,就必须对模拟图像处理装置进行大幅度改进。

(2) 再现性好。不管何种数字图像,均用数组或数组集合表示,这样计算机容易处理。因此,在传送和复制数字图像时,都在计算机内部进行处理,这样数据就不会丢失或遭到破坏,能保持图像数据不变,具备完好的再现性。而在模拟图像处理过程中,就会因为各种因素干扰而无法保持图像的再现性。

(3) 通用性、灵活性强。不管是可见光成像还是 X 线、红外线、超声波等不可见光成像,尽管成像设备规模和精度各不相同,但把图像信号直接进行模拟/数字(A/D)变换,或记录成照片再数字化,对于计算机来说,数字图像都能用数组来表示。不管何种数字图像都可以用同样的方法进行处理,这就是数字图像处理的通用性的表现。另外,可设计各种各样的处理程序,实现上下滚动、漫游、拼图、合成、变换、缩放以及各种逻辑运算等功能,所以数字图像处理具有很强的灵活性。

1.4 数字图像处理系统的组成

一个基本的数字图像处理系统由图像输入、图像存储、图像输出、图像通信、图像处理和分析五个模块组成,见图 1-4。每个模块都有其特定的功能和对应的设备。下面对图

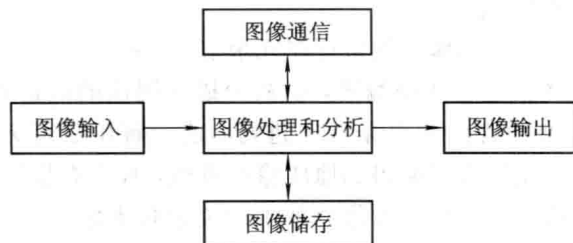


图 1-4 数字图像处理系统的组成示意图

1-4 中的各个模块分别进行介绍。

1. 数字图像输入模块

图像输入也称图像采集或图像数字化,它是利用图像采集设备(如数码照相机、数码摄像机等)来获取数字图像,或通过数字化设备(如图像扫描仪)将要处理的连续图像转换成适于计算机处理的数字图像。

2. 数字图像存储模块

图像所包含的信息量非常大,因而存储图像也需要大量的空间。在数字图像处理系统中,大容量和快速的图像存储器是必不可少的。在计算机中,数据最小的度量单位是比特(bit)。存储器的存储量常用字节(1 B=1 Byte=8 bit)、千字节(KByte, 1 K=1024)、兆字节(MByte, 1 M=1024×1024=1 048 576)、吉字节(GByte, 1 G=1024×1024×1024)、太字节(TByte, 1 T=1 048 576×1 048 576)等表示。比如存储一幅 1024×1024 大小的 8 bit 图像就需要 1 MB 的存储器。用于图像处理和分析的数字图像存储器可分为三类——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(档案库)存储器。

计算机内存就是一种提供快速存储功能的存储器。目前一般微型计算机的内存有 256 MB、512 MB 和 1 GB 等。另一种提供快速存储功能的存储器是特制的硬件卡,也叫帧缓存。它可以存储多幅图像并以视频速度(每秒 25 或 30 幅图像)读取,也允许对图像进行放大和缩小、垂直和水平翻转等。

硬盘和软盘是小型及微型计算机的必备外部存储器。硬盘给计算机提供了大容量存储介质,但是盘片无法更换,存储的信息也不便于携带。软盘虽然提供了可更换的存储介质,但其容量小、速度慢、易损坏,在现今 1.44 MB 的存储容量远远不能满足图像处理的要求,因而逐步被其他存储设备取代。

闪存盘以闪存记忆体为存储介质,称之为“U 盘”。U 盘以 USB 为接口,具有存储容量大、体积小、易携带、保存数据时间长、防磁抗震、性价比高等特点,成为软盘的理想替代品。移动硬盘和 U 盘的性能类似,其优点是存储容量大、可靠性高、数据保存时间长、数据传输率高、操作简便,而且无需外接电源,以 USB 为接口。

此外,常用来存储数字图像的外存储器还有 CD 光盘、DVD 光盘、光盘塔、磁带、磁盘阵列(RAID)等。各类海量存储器的特点各不相同,应用环境也有极大差别,因此在实际应用中要根据环境的变化来选择不同的海量存储设备。

3. 数字图像输出模块

在图像分析、识别和理解中,一般需要将处理前后的图像显示出来,以供分析、识别和理解,或将处理结果永久保存。图像的显示称为软拷贝或显示,使用设备包括 CRT 显示器、液晶显示器和投影仪等;图像的永久保存称为硬拷贝,使用设备包括照相机、激光拷贝和打印机等。

4. 数字图像通信模块

在许多工程应用领域或日常工作生活中,都会遇到对大量的图像数据进行传输或通信。由于图像数据量很大,而能够提供通信的信道传输率又很有限,这就要求在传输前必须对表示图像信息的数据进行压缩和编码,以减少图像数据量。而实际的图像也包含大量