



高等学校计算机专业“十一五”规划教材

数字图像处理

郭文强 侯勇严 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

数字图像处理

郭文强 侯勇严 编著

西安电子科技大学出版社

2009

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字图像处理的基本原理、基本方法、相关技术和一些典型的应用。全书共分 10 章, 主要包括三部分内容: 第一部分是数字图像处理的理论基础, 分别介绍了数字图像处理的研究对象和研究内容、系统组成、人类视觉与色度学、图像数字化知识、数字图像的种类、图像文件格式与图像变换等相关知识; 第二部分是数字图像处理的理论、方法和技术, 包括图像增强、图像复原与重建、图像编码与压缩等; 第三部分是图像特征提取与分析的理论、方法和实例, 包括图像分割、图像描述、模板匹配与模式识别技术及数字图像处理的典型应用实例等。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、电子工程、自动化、地理信息系统、医学、遥感、地质、矿业、通信、气象、农业等相关专业本科生或研究生教材, 也可供相关领域的教师、科研人员和工程技术人员参考。

★本书配有电子教案, 需要者可登录出版社网站, 免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理/郭文强, 侯勇严编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2009.5

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2216-3

I. 数… II. ①郭… ②侯… 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(2009)第 025130 号

策 划 杨 璠

责任编辑 杨 璠

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 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 17

字 数 397 千字

印 数 1~4000 册

定 价 24.00 元

ISBN 978-7-5606-2216-3/TP·1129

XDUP 2508001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

高等学校计算机专业“十一五”规划教材

编审专家委员会

主任: 马建峰 (西安电子科技大学计算机学院院长, 教授)

副主任: 赵祥模 (长安大学信息工程学院院长, 教授)

余日泰 (杭州电子科技大学计算机学院副院长, 副教授)

委员: (按姓氏笔画排列)

王忠民 (西安邮电学院计算机系副主任, 教授)

王培东 (哈尔滨理工大学计算机与控制学院院长, 教授)

石美红 (西安工程大学计算机科学与技术系主任, 教授)

纪 震 (深圳大学软件学院院长, 教授)

刘卫光 (中原工学院计算机学院副院长, 教授)

陈 以 (桂林电子科技大学计算机与控制学院副院长, 副教授)

张尤赛 (江苏科技大学电子信息学院副院长, 教授)

邵定宏 (南京工业大学信息科学与工程学院副院长, 教授)

张秀虹 (青岛理工大学计算机工程学院副院长, 教授)

张焕君 (沈阳理工大学信息科学与工程学院副院长, 副教授)

张瑞林 (浙江理工大学信息电子学院副院长, 教授)

李敬兆 (安徽理工大学计算机科学与技术学院院长, 教授)

范 勇 (西南科技大学计算机学院副院长, 副教授)

陈庆奎 (上海理工大学计算机学院副院长, 教授)

周维真 (北京信息科技大学计算机学院副院长, 教授)

徐 苏 (南昌大学计算机系主任, 教授)

姚全珠 (西安理工大学计算机学院副院长, 教授)

徐国伟 (天津工业大学计算机技术与自动化学院副院长, 副教授)

容晓峰 (西安工业大学计算机学院副院长, 副教授)

龚尚福 (西安科技大学计算机系主任, 教授)

策 划: 臧延新 云立实

杨 璠 陈 婷

前 言

目前,在多个不同应用领域中,对图像处理的需求均呈现出不断增长的趋势。数字图像处理是集光学、数学、计算机科学、电子学、信息论、控制论、物理学、心理学和生理学等学科为一体的一门综合性边缘科学。随着计算机科学的迅猛发展以及与近代发展起来的新理论如小波分析、马尔可夫随机场、分形学、数学形态学、人工智能和人工神经网络等的结合,数字图像处理近年来获得了长足的进展,呈现出强大的生命力,已在科学研究、工农业生产、军事、公安、医疗卫生、教育等许多领域得到广泛应用,产生了巨大的社会效益和经济效益,对推动社会发展,改善人们生活水平都起到了重要的作用。

为使读者能全面了解数字图像处理的基本概念、方法及应用,并为在本领域中进行研究和开发打下扎实的基础,本书在内容上既选取了有代表性的经典内容,着重介绍了图像处理的基本概念和方法,又结合数字图像处理的发展,选取了一些新的研究成果,具有一定的广度、深度和新颖性。本书仍沿用以往数字图像处理课程循序渐进的结构,从图像处理的应用特点出发,理论与实践结合讲述课程内容。本书中列举了许多示例,提供了部分图像处理的参考程序,以便学生在此基础上编写其他程序。各章末均附有习题,主要章节后还附上上机操作内容和部分编程代码。

全书主要包括三部分内容:第一部分是数字图像处理的理论基础,由导论、数字图像处理的基本概念和图像变换三章组成;第二部分是数字图像处理的理论、方法和技术,包括图像增强、图像复原与重建、图像编码与压缩等三章;第三部分是图像特征提取与分析的理论、方法和实例,包括图像分割、图像描述、模板匹配与模式识别技术及数字图像处理的应用等四章。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、电子工程、自动化、地理信息系统、医学、遥感、地质、矿业、通信、气象、农业等相关专业本科生或研究生教材,也可供相关领域的教师、科研人员和工程技术人员参考。

本书由郭文强老师组织编写,侯勇严老师编写了第5、7、9章内容并审读了第8章和第10章内容,陈景文老师编写了第2章,刘蕴、杨丽娟、李秀玲、胡伟等同学参与了部分章节内容的录入工作,李鹏、任鹏同学参与了部分章节的绘图工作,其他章节的编写及全书的统稿、定稿由郭文强完成。在本书编写过程中,编者参考了国内外出版的大量书籍和论文,在此编者对本书中所引用论文和书籍的作者深表感谢。西安电子科技大学出版社的杨璠同志为本书的出版做了大量工作,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请读者指正。

编 者

2009年1月于西安

目 录

第 1 章 导论	1	2.4.2 直方图的性质	26
1.1 数字图像处理的概念	1	2.4.3 直方图的应用	27
1.1.1 图像的概念	2	2.5 数字图像处理算法的形式	28
1.1.2 图像的分类	3	2.5.1 基本功能形式	28
1.1.3 数字图像处理中的基本图像 类型	3	2.5.2 图像处理的几种具体算法	29
1.2 数字图像处理的主要研究内容	5	2.6 图像的数据结构与图像文件格式	30
1.3 数字图像处理系统概述	6	2.6.1 图像的数据结构	30
1.4 图像的数字化获取	7	2.6.2 图像文件格式	32
1.5 数字图像处理的特点及其应用	7	2.7 图像的特征与噪声	35
1.5.1 数字图像处理的特点	7	2.7.1 图像的特征类别	35
1.5.2 数字图像处理的应用	8	2.7.2 特征提取与特征空间	37
1.6 上机实验	9	2.7.3 图像噪声	37
1.6.1 实验目的	9	2.8 上机实验	38
1.6.2 实验原理	10	2.8.1 实验目的	38
1.6.3 实验步骤	10	2.8.2 实验内容	39
1.6.4 思考题	10	2.8.3 实验步骤与要求	39
习题	11	习题	39
第 2 章 数字图像处理的基本概念	12	第 3 章 图像变换	41
2.1 人眼的视觉原理	12	3.1 预备知识	41
2.1.1 人眼的构造	12	3.1.1 点源和 δ 函数	41
2.1.2 图像的形成	13	3.1.2 二维线性位移不变系统	42
2.1.3 视觉范围和分辨力	13	3.2 傅立叶变换	43
2.1.4 视觉适应性和对比灵敏度	14	3.2.1 一维离散傅立叶变换	43
2.1.5 亮度感觉	14	3.2.2 二维傅立叶变换	44
2.1.6 人眼的色觉	15	3.2.3 二维离散傅立叶变换的若干 性质	46
2.1.7 颜色模型	18	3.3 其他可分离图像变换	50
2.1.8 马赫带	20	3.3.1 可分离变换	50
2.2 连续图像的描述	20	3.3.2 沃尔什变换	51
2.3 图像数字化	21	3.3.3 哈达玛变换	53
2.3.1 采样	22	3.3.4 离散余弦变换	56
2.3.2 量化	23	3.4 K-L 变换	57
2.3.3 采样、量化参数与数字化图像 间的关系	23	3.4.1 K-L 变换的定义	57
2.4 图像灰度直方图	24	3.4.2 K-L 变换的性质	59
2.4.1 直方图的定义与性质	24	3.5 小波变换	60
		3.5.1 概述	60

3.5.2 小波变换基本理论	61	4.7.2 实验内容与步骤	111
3.5.3 二维离散小波多分辨率分析	67	习题	111
3.5.4 小波变换在图像处理中的应用	68	第5章 图像复原与重建	113
3.6 上机实验	74	5.1 退化模型	113
3.6.1 实验目的	74	5.1.1 退化	113
3.6.2 实验内容	74	5.1.2 退化的数学模型	114
习题	74	5.2 代数恢复方法	115
第4章 图像增强	76	5.2.1 无约束复原	115
4.1 图像增强的点运算	76	5.2.2 约束最小二乘复原	116
4.1.1 灰度级校正	77	5.2.3 加权中值滤波	118
4.1.2 灰度变换	77	5.3 频率域恢复方法	118
4.1.3 直方图修正法	80	5.3.1 逆滤波恢复法	118
4.1.4 局部统计法	86	5.3.2 维纳滤波复原法	120
4.2 图像的空间域平滑	87	5.3.3 去除由匀速运动引起的模糊	122
4.2.1 局部平滑法	87	5.4 几何校正	123
4.2.2 超限像素平滑法	88	5.4.1 空间坐标变换	124
4.2.3 灰度最相近的 K 个邻点 平均法	89	5.4.2 灰度校正	126
4.2.4 梯度倒数加权平滑法	89	5.4.3 像素灰度内插方法	126
4.2.5 最大均匀性平滑	89	5.4.4 传感器特性非均匀校正	127
4.2.6 有选择保边缘平滑法	90	5.5 图像重建	128
4.2.7 空间低通滤波法	91	5.5.1 计算机断层扫描的一维重建	129
4.2.8 多幅图像平均法	92	5.5.2 三维形状的复原	130
4.2.9 中值滤波	93	5.6 上机实验	131
4.3 空间域锐化	95	5.6.1 实验目的	131
4.3.1 梯度锐化法	95	5.6.2 实验内容	131
4.3.2 拉普拉斯算子	97	5.6.3 实验步骤	131
4.3.3 高通滤波法	98	习题	132
4.4 频率域增强	98	第6章 图像编码与压缩	133
4.4.1 频率域平滑	98	6.1 概述	133
4.4.2 频率域锐化	101	6.1.1 图像数据压缩的必要性与 可能性	133
4.4.3 同态滤波增强	102	6.1.2 图像编码压缩技术的分类	134
4.5 彩色增强技术	103	6.2 图像保真度准则	135
4.5.1 伪彩色增强	103	6.2.1 客观保真度准则	135
4.5.2 假彩色增强	106	6.2.2 主观保真度准则	138
4.5.3 彩色变换及其应用	106	6.3 统计编码方法	138
4.6 代数运算	108	6.3.1 图像冗余度和编码效率	138
4.6.1 加运算	108	6.3.2 行程编码	139
4.6.2 减运算	109	6.3.3 霍夫曼编码	139
4.6.3 乘运算	109	6.3.4 费诺—香农编码	142
4.6.4 除运算	110	6.3.5 算术编码	142
4.7 上机实验	110	6.4 预测编码	144
4.7.1 实验目的	110	6.5 正交变换编码	145

6.5.1 变换编码原理	145	习题	191
6.5.2 正交变换的性质	145	第8章 图像描述	192
6.5.3 变换编码的数学分析	146	8.1 像素间的基本关系	192
6.5.4 最佳变换与准最佳变换	147	8.1.1 邻域和邻接	192
6.5.5 各种准最佳变换的性能比较	149	8.1.2 像素的连接	193
6.5.6 编码	149	8.1.3 连接成分	193
6.6 图像编码的国际标准	150	8.1.4 欧拉数	194
6.6.1 静止图像压缩标准	150	8.1.5 像素的可删除性和连接数	194
6.6.2 运动图像压缩标准	157	8.1.6 距离	195
6.7 上机实验	160	8.2 目标边界的描述	195
6.7.1 实验目的	160	8.2.1 目标边界的链码表示	195
6.7.2 实验内容	160	8.2.2 闭合曲线的傅立叶描述算子	197
习题	162	8.2.3 曲线拟合	198
第7章 图像分割	163	8.3 连接成分的变形处理	198
7.1 图像分割的定义和分类	163	8.3.1 标记	199
7.1.1 图像分割的定义	163	8.3.2 膨胀和腐蚀	199
7.1.2 图像分割方法分类	164	8.3.3 线图形化	201
7.2 基于边缘的分割	164	8.4 形状特征提取与分析	202
7.2.1 梯度算子	165	8.4.1 区域内部形状特征提取 与分析	203
7.2.2 Roberts 梯度算子	165	8.4.2 区域外部形状特征提取 与分析	205
7.2.3 Prewitt 和 Sobel 算子	165	8.5 关系描述	205
7.2.4 方向算子	166	8.5.1 字符串描述	205
7.2.5 拉普拉斯(Laplacian)算子	167	8.5.2 树结构描述	206
7.2.6 LoG 算子	168	8.6 图像的纹理描述	207
7.2.7 Canny 边缘检测算子	169	8.6.1 基于粗糙度的纹理描述	207
7.2.8 曲面拟合法	171	8.6.2 灰度差分统计的纹理分析	207
7.2.9 边缘跟踪	172	8.6.3 等灰度游程长度的纹理描述	208
7.2.10 Hough 变换线检测法	174	8.6.4 灰度共生矩阵纹理描述	210
7.3 基于区域的分割	175	8.6.5 傅立叶功率谱纹理描述	212
7.3.1 区域生长	175	8.7 上机实验	213
7.3.2 分裂合并法	178	8.7.1 实验目的	213
7.4 基于阈值的分割	179	8.7.2 实验要求	213
7.4.1 简单图像的区域分割	179	8.7.3 实验内容	213
7.4.2 复杂图像的区域分割	182	习题	214
7.4.3 特征空间聚类	182	第9章 模板匹配与模式识别技术	215
7.4.4 模糊阈值分割	184	9.1 模板匹配	215
7.5 基于运动的分割	185	9.1.1 模板匹配方法	216
7.5.1 差分法运动分割	186	9.1.2 模板匹配方法的改进	216
7.5.2 光流场运动分割	187	9.2 统计模式识别	217
7.5.3 基于块的运动分割	188	9.2.1 特征处理	218
7.6 上机实验	190	9.2.2 特征测量技术	219
7.6.1 实验目的	190		
7.6.2 实验内容	190		

9.2.3 统计分类法	223	10.2.1 指纹图像的获取	243
9.3 结构模式识别法	226	10.2.2 指纹图像预处理	243
9.3.1 结构模式识别原理	226	10.2.3 指纹的识别与分类	244
9.3.2 树分类法	227	10.2.4 指纹库的建立与查对	246
9.4 人工神经网络识别法	228	10.3 OCR 文字识别技术	246
9.4.1 神经网络的结构	228	10.3.1 版面分析法	246
9.4.2 神经元	228	10.3.2 文字识别技术	247
9.4.3 人工神经网络的工作过程	229	10.3.3 数字识别示例	250
9.4.4 BP 神经网络模式识别实例	229	10.4 人脸识别	252
9.4.5 神经网络的性能	231	10.4.1 使用特征脸的人脸识别	252
9.4.6 设计中应考虑的问题	232	10.4.2 使用 Fisher 脸的人脸识别	253
9.5 上机实验	232	10.5 生物医学图像分析	254
9.5.1 实验目的	232	10.5.1 显微图像分析	255
9.5.2 实验内容	232	10.5.2 宏观图像分析	255
习题	233	10.6 生物医学成像模态	255
第 10 章 数字图像处理的应用	234	10.6.1 计算机断层扫描成像	255
10.1 电站锅炉火焰检测及燃烧诊断	234	10.6.2 磁共振成像	256
10.1.1 锅炉火焰检测及燃烧诊断 系统结构	234	10.6.3 核与超声波成像	257
10.1.2 火焰温度场的测量	235	10.7 视频检索	257
10.1.3 火焰图像处理	236	10.7.1 MPEG-7 多媒体内容 描述接口	257
10.1.4 火焰图像特征量提取的方法	237	10.7.2 基于内容的视频检索系统	258
10.1.5 试验与分析	238	习题	260
10.2 指纹识别系统	242	参考文献	261

第1章 导 论

1.1 数字图像处理的概念

图像是人类社会活动中最常用的信息载体。研究表明,人类获取的视觉图像信息在人类接受的信息中的比重达到近80%,“百闻不如一见”便是非常形象的例子之一。人类总是设法延伸视觉功能,弥补视觉功能的不足,从图像中提取更多的信息。传统的方法常利用光学或模拟电路对图像进行处理,如望远镜、显微镜、眼镜、照相机、电视、摄像机等。

数字图像处理利用计算机(或数字技术)对图像信息进行加工处理,以改善图像质量、压缩图像数据或从图像数据中获取更多信息。随着微机、VLSI、DSP等技术和新的理论、处理方法不断发展,数字图像处理已经成为一门独立的新学科,并有着广泛的应用,在空间、时间和功能上扩展人类视觉。

“数字图像处理”这一术语通常是指由数字计算机进行的二维图像处理,更广义地理解,它是指任意二维数据的数字化处理。一幅数字图像是一个用有限比特表示的实数或复数构成的数组。

图1.1.1是一个数字图像处理系统结构示意图(加州大学戴维斯分校数字图像处理计算机实验室)。幻灯片、照片或图表形式的图像首先要进行数字化,然后以二进制数字矩阵的形式存储在计算机的存储器中。此后,就可以对这一数字化后的图像进行处理和(或)在一个高分辨率的显示器上显示。为了便于显示,图像存储在一个可快速存取的缓冲区中,用户可以用30帧/秒的频率刷新显示器,从而获得视觉上连续显示的效果。计算机通过网络(例如以太网)进行信息交换和控制所有的数字化、存储、处理和显示操作。程序通过终端输入计算机,而输出可在终端、显示器或打印机/绘图仪上获得。图1.1.2所示为典型的数字图像处理过程。

数字图像处理技术源于20世纪20年代,当时通过海底电缆从英国伦敦到美国纽约传输了一幅照片,采用了数字压缩技术。1964年美国的JPL实验室处理了太空船“徘徊者七号”发回的月球照片,标志着数字图像处理技术开始得到实际应用。其后,卫星遥感、军事、气象等学科的发展推动了数字图像处理技术的快速发展。推动数字图像发展的另一个动力是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。

数字图像处理技术的迅速发展为人类带来了巨大的社会效益和经济效益。卫星遥感数字图像处理技术可以进行全球环境气候监测,还可以广泛地应用到所有与地球资源相关的农、林、地、矿、油等领域;指纹识别技术在安全领域得到成功的应用;在医学领域,CT、

核磁共振等技术已经广泛应用于临床诊断。数字图像处理技术已经融入到科学研究的各个领域。

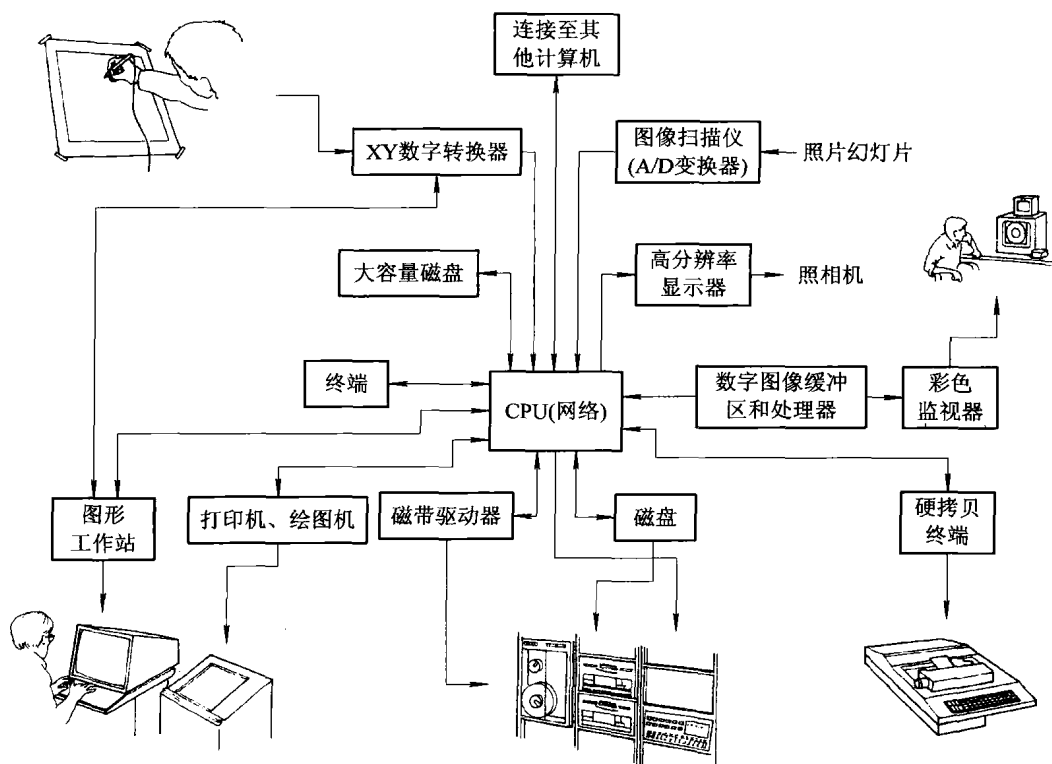


图 1.1.1 数字图像处理系统结构示意图

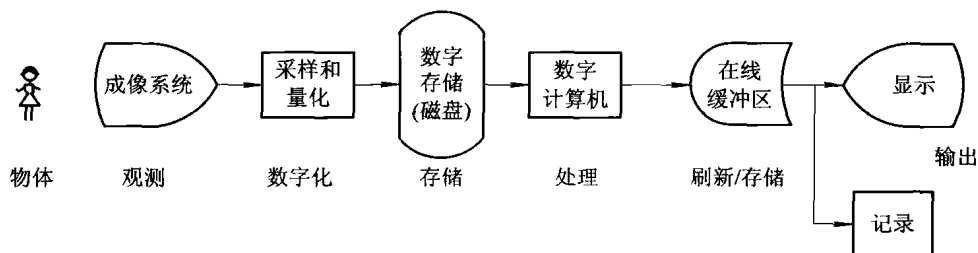


图 1.1.2 典型的数字图像处理过程

因此，数字图像处理技术对自然科学甚至人类社会的发展具有深远的意义。

1.1.1 图像的概念

图像(image)是与之对应的物体或目标的一个表示，这个表示可以通过某种技术手段得到。

与图像密切相关的两个概念是图片(picture)和图形(graphics)。一般认为，图片是经过合适的光照后可见的物体的分布，图片强调现实世界中的可见物体。图形则强调应用一定的数学模型生成的图形。

需要指出的是，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。图形学(主要指计算机图形学)是研究用计算机生成、处理和显示图形的一门科学。

1.1.2 图像的分类

图像可根据其形式或产生方法分类。Castleman 引入集合论对图像进行了分类,他将图像分成三类,如图 1.1.3 所示。

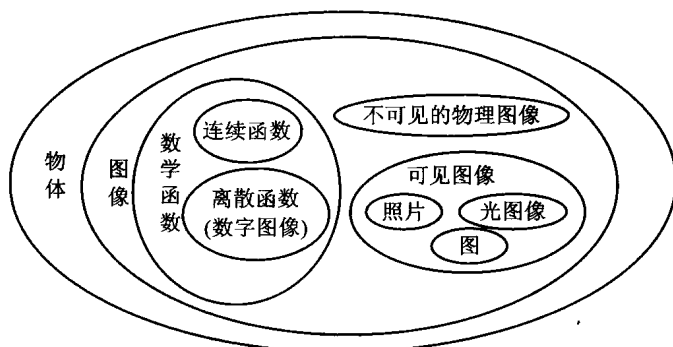


图 1.1.3 图像的分类

第一类是可见图像,即可以由人眼看见的图像的子集。这一类图像通常由照相、手工绘制等传统方法得到,一般不能直接被计算机处理。可见图像经过数字化处理后可变为数字图像。

第二类是物理图像,它反映的是物体的电磁波辐射能,包括可见光和不可见光,一般通过某种光电技术获得,第一类中的照片也可以归为此类。但物理图像包含更多的是根据物体的可见光以外的电磁波辐射能所得到的不可见图像,多光谱卫星遥感影像便是一种,它包含物体的近红外、中红外、远红外等波谱信息。

第三类是数学图像,是由连续函数或离散函数生成的抽象图像。

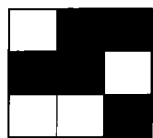
1.1.3 数字图像处理中的基本图像类型

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。

在计算机中,按照颜色和灰度的多少可以将图像分为二值图像、灰度图像、索引图像和 RGB 彩色图像四种基本类型。目前,大多数图像处理软件都支持这四种类型的图像。

1. 二值图像

一幅二值图像的二维矩阵仅由 0、1 两个值构成,“0”代表黑色,“1”代表白色。由于每一像素(矩阵中每一元素)取值仅有 0、1 两种可能,所以计算机中二值图像的数据类型通常为 1 个二进制位。二值图像通常用于文字、线条图的扫描识别(OCR)和掩膜图像的存储。一个二值图像及其矩阵表示如图 1.1.4 所示。



(a) 二值图像

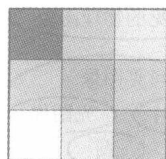
$$I = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

(b) 矩阵表示

图 1.1.4 二值图像及其矩阵表示

2. 灰度图像

灰度图像矩阵元素的取值范围通常为 $[0, 255]$ ，因此其数据类型一般为 8 位无符号整数(int8)，这就是人们经常提到的 256 阶灰度图像。“0”表示纯黑色，“255”表示纯白色，中间的数字从小到大表示由黑到白的过渡色，如图 1.1.5 所示。在某些软件中，灰度图像也可以用双精度数据类型(double)表示，像素的值域为 $[0, 1]$ 。0 代表黑色，1 代表白色，0 到 1 之间的小数表示不同的灰度等级。二值图像可以看成是灰度图像的一个特例。



(a) 灰度图像

$$I = \begin{bmatrix} 0 & 150 & 200 \\ 120 & 50 & 180 \\ 250 & 220 & 100 \end{bmatrix}$$

(b) 矩阵表示

图 1.1.5 灰度图像及其矩阵表示

3. 索引图像

索引图像的文件结构比较复杂，除了存放图像的二维矩阵外，还包括一个称之为颜色索引矩阵 MAP 的二维数组。MAP 的大小由存放图像的矩阵元素的值域决定，如矩阵元素值域为 $[0, 255]$ ，则 MAP 矩阵的大小为 256×3 ，用 $MAP = [RGB]$ 表示。MAP 中每一行的三个元素分别指定该行对应颜色的红、绿、蓝单色值，MAP 中每一行对应图像矩阵像素的一个灰度值。如某一像素的灰度值为 64，则该像素就与 MAP 中的第 64 行建立了映射关系，该像素在屏幕上的实际颜色由第 64 行的 RGB 组合决定。即：图像在屏幕上显示时，每一像素的颜色由存放在矩阵中该像素的灰度值作为索引，通过检索颜色索引矩阵 MAP 得到。索引图像的数据类型一般为 8 位无符号整型(int8)，相应索引矩阵 MAP 的大小为 256×3 ，因此一般索引图像只能同时显示 256 种颜色。通过改变索引矩阵可以调整颜色的类型。索引图像的数据类型也可采用双精度浮点型(double)。索引图像一般用于存放色彩要求比较简单的图像，如 Windows 中色彩构成比较简单的壁纸多采用索引图像存放。如果图像的色彩比较复杂，就要用到 RGB 彩色图像。

4. RGB 彩色图像

RGB 图像与索引图像一样都可以用来表示彩色图像。与索引图像一样，它分别用红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色的组合来表示每个像素的颜色，但与索引图像不同的是，RGB 图像每一个像素的颜色值(由 RGB 三原色表示)直接存放在图像矩阵中。由于每一像素的颜色需由 R、G、B 三个分量来表示，因此 RGB 图像的图像矩阵与其他类型不同，是一个三维矩阵，可用 $M \times N \times 3$ 表示，M、N 分别表示图像的行列数，三个 $M \times N$ 的二维矩阵分别表示各个像素的 R、G、B 三个颜色分量。RGB 图像的数据类型一般为 8 位无符号整型，通常用于表示和存放真彩色图像，当然也可以存放灰度图像。

虽然索引图像与 RGB 图像都可以存放彩色图像，但由于数据结构不同，两者之间的差别还是比较大的。由于索引图像所表示的颜色数目是由索引矩阵 MAP 的大小决定的，而 MAP 的大小又由像素灰度值的值域决定，所以在 8 位无符号整型数据的情况下，索引图像只能表示 256 种颜色；而 RGB 图像则将每一像素的颜色(R、G、B 三个分量)直接存放在一个三维的图像矩阵中，因此其所表示的颜色理论上可多达 2^{24} ($2^8 \times 2^8 \times 2^8$) 种颜色，

远远多于索引图像的 256 种颜色，而且像素的颜色直接存放在图像矩阵中，在读取数据时不需要像索引图像一样需经过检索索引矩阵，所以 RGB 图像的显示速度很快。当然索引图像也有一定的优势：首先，其所占用的存储空间远远小于 RGB 图像，因此在对图像颜色要求不高的情况下，一般就用索引图像存放彩色图像；其次，由于索引图像的颜色值存放在索引矩阵 MAP 中，在修改图像的颜色时直接修改索引矩阵即可，而不需要修改图像矩阵，因此在比较选择不同的图像处理方案时，索引图像显得非常方便。

在图像的四种基本类型中，随着图像所表示的颜色类型的增加，图像所需的存储空间逐渐增加。二值图像仅能表示黑、白两种颜色，但所需的存储空间最少；灰度图像可以表示由黑到白渐变的 256 个灰度级，每个像素需要一个字节(8 bit)的存储空间。

索引图像可以表示 256 种颜色，与灰度图像一样，每个像素需要一个字节存储。为了表示 256 种颜色，还需要一个颜色索引矩阵(256×3)；RGB 图像可以表示 2^{24} 种颜色，相应的每个像素需要 3 个字节的存储空间，是灰度图像和索引图像的 3 倍。因此，在用高级语言(如 C++)编程存取不同类型图像文件时要注意文件指针的最小寻址单元。表 1.1.1 给出了四种基本图像类型表示的颜色类型和存储空间的统计(假设图像大小为 $M \times N$)。

表 1.1.1 四种基本图像类型比较

图像类型	二值图像	灰度图像	索引图像	RGB 彩色图像
颜色数量	2	256 灰度	256 彩色	2^{24} 彩色
数据类型	1 bit	8 bit	8 bit	24 bit
矩阵大小	$M \times N$	$M \times N$	$M \times N$	$M \times N \times 3$

本书中如无特别说明，所指的数字图像仅包括这四种基本类型。在阅读其他文献时，有时还会遇到高维图像，即图像矩阵的维数大于 3，如多媒体技术中经常遇到的动画图像，一个动画图像可包含多帧 RGB 彩色图像，则此时动画图像变为四维矩阵 $M \times N \times 3 \times f$ ，每一帧图像本身是一个三维矩阵($M \times N \times 3$)，即动画彩色图像共有 f 帧 RGB 彩色图像。

1.2 数字图像处理的主要研究内容

一般图像处理的研究目的主要包括改善图像视觉效果，提高图像传输和存储效率，进行图像测量、理解与识别以及特殊目的需求——如图像重建等。因此，数字图像处理的主要研究内容有以下几个方面。

1. 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，如去除噪声、提高图像的清晰度等。

图像增强主要是突出图像中感兴趣的目标部分，如强化图像高频分量，可使图像中的物体轮廓清晰，细节明显；而强化图像低频分量，可减少图像中噪声的影响等。

图像复原要求对图像降质的成因有一定的了解，根据降质的过程建立降质模型，然后采用某种滤波方法，恢复或重建原来的图像。

2. 图像变换

由于图像阵列很大,如果直接在空间域中进行处理涉及到的计算量很大,因此往往采用各种图像变换的方法,如傅立叶变换、离散余弦变换、K-L变换和小波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。

3. 图像编码压缩

图像编码压缩技术主要是为了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器容量。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。目前还有专门针对视频图像创建的国际编码标准。

4. 图像分割

图像分割是数字图像处理中最关键的技术之一。它是将图像中有意义的特征部分提取出来,如图像中的边缘、区域等,为进一步进行图像识别、分析和理解提供条件。

5. 图像分析和理解

图像分析和理解是图像处理技术的发展和深入,也是人工智能和模式识别的一个分支。在图像分析和理解中主要有图像的描述和图像的分类识别。图像分类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(增强、复原、压缩)后,进行图像分割和特征提取,从而进行分类判决。

综上所述,数字图像处理是一门综合性边缘学科,汇聚了光学、电子学、数学、计算机技术等众多方面的学科知识,得到了人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等新理论、新工具、新技术的支持,因而在近年得到了快速的发展。

1.3 数字图像处理系统概述

数字图像处理技术的快速发展和广泛应用推动了图像处理系统硬件设备的研制与开发。由于数字图像的数据量非常庞大,因此,数字图像的发展推动了海量存储器的发展。数字图像对显示和输出的苛刻要求又促进了高精度彩色显示器和彩色打印机的诞生与发展。数字图像处理技术的广泛应用对扫描仪、数码相机等高精度数字图像输入设备的发展也是功不可没。

随着图像处理技术的广泛应用,不同的行业对数字图像处理系统的精度、速度、容量等指标提出了不同的要求。因此,数字图像处理系统呈现出专业化的发展趋势,例如遥感图像处理系统要求具有大容量的存储器,而医学影像处理系统则对系统的精度和速度要求较高,指纹识别系统则要求系统达到实时响应的速度。目前的计算机图像处理系统尽管在精度、速度、容量等方面不尽相同,但其基本结构大致相同。一个完整的数字图像处理系统如图 1.3.1 所示,主要由图像输入及数字化设备、主机系统、输出设备和存储设备等组成。

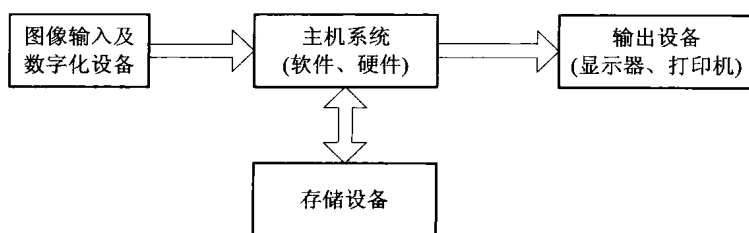


图 1.3.1 图像处理系统的组成

1.4 图像的数字化获取

随着计算机技术的飞速发展, 图像处理的数字化已成为现实, 数字图像处理开始介入越来越多的领域。“数字”相对“模拟”而言, 是计算机能识别的惟一信息。数字信息用二进制系统表达, 只具有两种状态: 0 或 1。与此相反, 模拟是日常生活采用的信息形式, 照片、电视节目、现场音乐会等都属于模拟信息。数字化是将这些模拟信息转换为数字信息的过程。数字相机、扫描仪等设备可以将现实世界中模拟的、连续色调的可视信息转换成计算机能识别的大量 0 和 1 的组合, 这就是数字化过程。

计算机只能处理数字图像, 数字化图像的先决条件是将现实世界的图像(如照片、扫描的图片等)转换成数字形式。

随着技术的进步, 数字化图像设备价格不断下降, 应用也更加广泛, 各种各样的设备已经应用于数字化图像的处理过程。下面简要讨论图像数字化器的功能和组成。

图像数字化器必须能够把一幅图像分为图像元素(像素)并确定每个像素的位置, 测量每个像素的灰度级, 将连续数据量化以产生一个整数集合, 并在数字存储设备上写出这个整数集合。为完成这些工作, 数字化器必须具有下面五个部分:

- (1) 采样孔: 使图像数字化器能够在整幅图像中取出独立的像素。
- (2) 扫描器件: 以预定的方式在图像上移动采样孔, 按照顺序一一传送像素。
- (3) 光传感器: 通过采样孔采集每个像素的亮度, 将光强信号转换为电压或电流信号。
- (4) 转换器: 将传感器的连续输出转换为整数值, 数字化部件由模/数转换器电路组成。
- (5) 输出介质: 转换器产生的灰度值必须以适当的格式存储以备后续处理。输出介质可以是固态存储器、磁盘或一些别的合适的设备。

1.5 数字图像处理的特点及其应用

1.5.1 数字图像处理的特点

同传统的模拟图像处理相比, 数字图像处理有很多优点。主要表现在以下几点:

1. 精度高

对于一幅图像而言,不管是对 2 bit 还是 8 bit 图像的处理,对计算机程序来说几乎是一样的。增加图像像素数使处理图像变大,只需改变数组的参数,而处理方法不变。所以从原理上讲,不管处理多高精度的图像都是可能的。而在模拟图像处理中,要想使精度提高一个数量级,就必须对处理装置进行大幅度改进。

2. 再现性好

不管是什么图像,它们均用数组或数组集合表示,这样计算机容易处理。因此,在传送和复制图像时,只在计算机内部进行处理,这样数据就不会丢失或遭破坏,因此数字图像处理不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作导致图像质量的退化,从而保持了完好的再现性。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、灵活性高

不管是可视图像还是红外热成像、X 射线照片、超声波图像等不可见光成像,尽管这些图像成像体系中的设备规模和精度各不相同,但把图像信号直接进行 A/D 变换或记录成照片,对于计算机来说都能用二维数组表示,即不管什么样的图像都可用同样的方法进行处理,这就是数字图像处理的通用性。另外,对处理程序加以改变后可进行各种各样的处理,如上下滚动、漫游、拼图、合成、变换、放大、缩小和各种逻辑运算等,所以灵活性很高。

1.5.2 数字图像处理的应用

图像是人类获取和交换信息的主要来源,因此,图像处理的应用领域必然涉及到人类生活和工作方面。随着计算机技术和半导体工业的发展,数字图像处理技术的应用也将越来越广泛,总结其应用大致有以下几个方面。

1. 在航天、航空中的应用

卫星遥感和航空测量有大量的图像需要处理,处理有两部分内容:一是图像校正,由于卫星、飞机是空中运动物体,装载的成像传感器受卫星飞机的姿态、运动、时间和气候条件等影响,摄取的图像存在畸变,需要自动校正;二是通过分析、处理遥感图像,有效地进行资源、矿藏勘探,国土规划,灾害调查,农作物估产,气象预报以及军事目标监视等。自从最早美国的喷气推进实验室(JPL)对月球、火星照片进行处理以来,数字图像处理技术在航天、航空中的应用还涉及航天器遥感技术,如很多国家都在利用陆地卫星所获取的图像进行气象监测、资源调查(如森林调查、水资源调查等)、土地测绘、灾害监测(如病虫害监测、火灾检测、环境污染监测等)、农业规划(如水分和农作物生长、产量估算等)、资源勘察(如石油勘察、大型工程地理位置勘探分析等)、城市规划(如城市建筑物拆迁、地质结构、水源及环境分析等)、军事侦察等。另外,在航空交通管制以及机场安检视频监控中,图像处理也得到了广泛的应用。

2. 在军事、公安中的应用

数字图像处理是一种高技术,一般来说,高技术总是首先应用于军事国防领域。已经有许多战例说明由数字图像信息处理技术作为核心控制部件的精确制导武器的威力,这种