



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

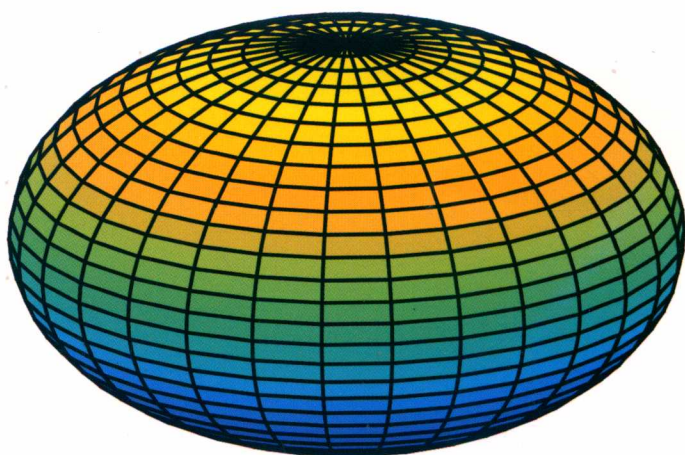
信息与通信工程

Digital Image Processing and Application
Using MATLAB

数字图像 处理及应用

使用MATLAB分析与实现

陈天华 编著
Chen Tianhua



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Digital Image Processing and Application: Using MATLAB

数字图像处理及应用

使用MATLAB分析与实现

陈天华 编著

Chen Tianhua

清华大学出版社

北京



内 容 简 介

本书系统地介绍了数字图像处理的基本概念和理论、基本方法和算法。全书共分 12 章,从内容上可分为 3 大部分。第 1 部分是数字图像处理的基础知识,包括图像处理的基本概念及相关基础。第 2 部分是数字图像处理方面的核心内容,系统地讨论了数字图像处理中的各种基本技术,包括图像处理的变换、图像处理的基本运算、图像空域增强技术、图像频域增强技术、彩色图像处理、图像复原和图像编码技术等。第 3 部分是图像分析和理解方面的内容,由浅入深地介绍了图像分割、数学形态学、图像特征与理解等方面的内容,为深入应用奠定坚实的基础。本书在内容安排上循序渐进、深入浅出,各章均配有丰富的例题和习题,力求突出重点、面向应用、提高能力、解决问题。

本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、信息与信号处理、电子科学与技术、信息工程、计算机科学与技术、软件工程、自动化、电气工程、生物医学工程、物联网、电视技术和遥感遥测等相关专业的高年级学生和研究生图像处理教材,也可以作为工程技术人员或其他相关人员的参考书。

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

数字图像处理及应用:使用 MATLAB 分析与实现/陈天华编著. —北京:清华大学出版社,2019
(高等学校电子信息类专业系列教材)
ISBN 978-7-302-51504-3

I. ①数… II. ①陈… III. ①数字图象处理—Matlab 软件—高等学校—教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 255180 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:梁毅

责任印制:沈露

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>, 010-62795954

印 装 者:三河市君旺印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:22

字 数:539 千字

版 次:2019 年 1 月第 1 版

印 次:2019 年 1 月第 1 次印刷

定 价:69.00 元

产品编号:061102-01

前言

PREFACE

1974年,数码相机之父塞尚发明和设计了第一台基于CCD的数码原型机,从此,数字图像技术逐步进入了大众生活;20世纪60年代末,阿波罗登月计划实现了月球和地球之间数以万计的图像传输和处理,从此,图像处理技术引起了美国、中国、俄罗斯及欧洲一些科技大国的重视。特别是近20年来,数字图像处理技术得到快速发展,随着人工智能、大数据、物联网、数字地球、智慧城市、机器人技术及Internet的广泛应用,信息传输总量急剧增长。在各种信息中,图像信息以其信息量大和直观性、准确性、可靠性等一系列优点,成为人类获取信息的主要来源和利用信息的重要手段。

现代社会,图像处理技术已经应用和渗透到科学研究和日常生活的方方面面,并日益受到重视,在航天、军事、医学、科学研究等许多领域发挥着越来越重要的作用。在航空航天领域,图像处理技术已被用于高效、快速传输从宇宙空间拍摄各种图像,并进行快速处理,处理结果用于火箭发射监控、飞行控制、姿态调整、飞船返回等,或用于资源勘探、天体研究、地图测绘、气象预报、大气污染防控等研究。近年来,我国成功发射了嫦娥三号、天宫2号、天舟1号飞船,无论发射和回收,还是着陆地点选择、发射过程监测、飞行控制、舱内设备控制、故障检测和故障唤醒,图像处理技术始终发挥着不可替代的作用。在生物医学工程领域,图像处理的应用也非常广泛,它已用于各种射线照片、CT成像、超声影像、内窥镜像、核磁成像分析,帮助医生对疾病进行快速、准确诊断,挽回了无数人的生命。在军事领域,图像处理技术已成功用于卫星和遥感照片识别、无人机飞行与导航、高精度夜视瞄准设备等。数字图像处理技术的应用不胜枚举,基于图像处理技术开发出来的现代新型装备,其很多功能都是人工难以企及的。

实践的需要和成果的积淀促进了图像处理技术向更高水平发展,数字图像处理技术正是在这种应用的迫切需要和自身的不断发展之中得到迅速发展的学科。未来,图像处理技术的发展及应用与人类未来的生活联系之紧密、影响之深远是不可估量的。

本书共分12章,内容可以分为3大部分。第1部分(第1、2章)是数字图像处理的基础知识,主要内容包括图像处理学科概况、图像处理系统、研究内容、基本概念、图像类型、图像数字化方法、图像文件基本格式、图像质量评价、灰度直方图及图像的统计特征等。第2部分(第3~9章)是数字图像处理的核心内容,系统地讨论了数字图像处理中的各种基本理论、算法和应用,包括图像处理中的各种变换方法、图像基本运算、图像空域增强、图像频域增强、彩色图像处理、图像复原和图像编码等。第3部分(第10~12章)是图像分析方面的重要内容,由浅入深地介绍了图像分割与边缘检测、数学形态学、图像特征与理解方面的内容,为深入应用奠定坚实的基础。

本书是作者在多年从事图像处理开发和教学科研的基础上撰写而成的,力图体现以下

三个特点：第一，将图像处理理论和图像处理的应用紧密结合起来，理论严谨、概念清晰、结构合理，系统介绍数字图像处理技术的知识、内容和应用领域，使读者对数字图像处理学科有一个全面的了解；第二，紧密结合相关专业本科生和研究生的培养规划，介绍图像处理技术方面的新理论、新技术、新标准和新应用，使读者充分了解图像处理技术的新发展和新应用；第三，注重理论和实际的结合，各有关章节内容既具有一定的理论深度，也对典型的应用做了较详细的介绍，各章均安排了重要应用实例，为读者编程和进一步的应用研究打下扎实的基础。

本书可作为高等院校电子信息工程、通信工程、信息与信号处理、电子科学技术、信息工程、计算机科学与技术、软件工程、自动化、电气工程、生物医学工程、物联网、电视技术和遥感遥测等相关专业的高年级学生和研究生图像处理教材，也可以作为工程技术人员或其他相关人员的参考书。为方便教学，本书同步更新了电子教案及教材的全部源程序，如有需要，可到清华大学出版社网站下载或与作者联系。

在本书的撰写过程中，西安电子科技大学姜建国教授提出了宝贵意见，清华大学信息工程学院电子信息系章毓晋教授提出了有益的建议，在2017年11月召开的教育部电子信息类专业教学指导委员会会议上还听取了很多专家的建议，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中缺点和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。欢迎读者对本书提出宝贵意见和建议。作者的联系方式：cth188@sina.com，cth188@hotmail.com。

作者

2019年1月

目录

CONTENTS

第 1 章 数字图像处理概论	1
1.1 数字图像处理的产生	1
1.2 数字图像处理的基本概念	3
1.2.1 图像及其类型	3
1.2.2 图像与数字图像	5
1.2.3 其他相关概念	5
1.2.4 数字图像获取方法	6
1.2.5 数字图像的矩阵表示	7
1.3 数字图像处理系统	8
1.3.1 数字图像处理硬件系统	8
1.3.2 数字图像处理软件系统	9
1.4 数字图像处理的应用与发展	10
1.4.1 数字图像处理的应用	11
1.4.2 数字图像处理的发展	14
习题	16
第 2 章 数字图像处理基础	17
2.1 数字图像的类型	17
2.2 图像数字化器	19
2.2.1 图像数字化器的组件	19
2.2.2 图像数字化器的性能	20
2.2.3 图像数字化器的类型	21
2.3 图像的采样和量化	21
2.3.1 采样	21
2.3.2 量化	22
2.3.3 采样与量化参数的选择	24
2.4 像素基本关系	24
2.4.1 像素的邻接	24
2.4.2 邻接性、连通性、区域和边界	25
2.4.3 距离度量	26
2.5 图像文件格式	27
2.5.1 BMP 文件	27
2.5.2 JPEG 文件	30
2.5.3 PNG 文件	31

2.5.4	TIFF 文件	35
2.5.5	GIF 文件	37
2.6	数字图像的显示特性	43
2.6.1	图像的显示	43
2.6.2	图像的打印	44
2.7	图像质量评价	46
2.7.1	图像质量评价方法	46
2.7.2	均方误差	47
2.7.3	信噪比与峰值信噪比	47
2.7.4	结构相似度	47
2.8	灰度直方图	49
2.8.1	直方图的定义与性质	49
2.8.2	直方图的作用	50
2.8.3	直方图与图像的关系	51
2.9	图像的统计特征	52
2.9.1	图像的基本统计分析量	53
2.9.2	多维图像的统计特性	53
	习题	54
第3章	图像变换	56
3.1	傅里叶变换	56
3.1.1	连续傅里叶变换	56
3.1.2	离散傅里叶变换	59
3.1.3	二维 DFT 的性质	61
3.1.4	图像傅里叶变换综合实例	67
3.2	离散余弦变换	68
3.2.1	一维 DCT 变换	69
3.2.2	二维 DCT 变换	69
3.2.3	DCT 变换的快速算法	70
3.2.4	二维 DCT 的频谱分布	71
3.3	离散 K-L 变换	72
3.3.1	K-L 变换的基本原理	72
3.3.2	K-L 变换的性质	73
3.3.3	K-L 变换的逆变换	74
3.4	离散沃尔什变换	75
3.4.1	一维离散沃尔什变换	75
3.4.2	二维离散沃尔什变换	76
3.4.3	沃尔什变换的频谱	77
3.5	离散哈达玛变换	78
3.5.1	一维离散哈达玛变换	78
3.5.2	二维离散哈达玛变换	80
3.6	小波变换	81
3.6.1	小波变换简介	81
3.6.2	连续小波变换	82

3.6.3	离散小波变换	86
	习题	87
第4章	图像处理的基本运算	88
4.1	基本运算的类型	88
4.2	点运算	88
4.2.1	点运算的种类	89
4.2.2	点运算与直方图	90
4.2.3	点运算的应用	91
4.3	代数运算	92
4.3.1	代数运算的意义	92
4.3.2	加法运算	93
4.3.3	减法运算	94
4.3.4	乘法运算	97
4.3.5	除法运算	98
4.4	几何运算	98
4.4.1	齐次坐标	99
4.4.2	图像平移	100
4.4.3	比例缩放	102
4.4.4	镜像变换	105
4.4.5	旋转变换	107
4.4.6	复合变换	109
4.4.7	控制点变换	111
4.4.8	透视变换	111
4.4.9	其他变换	113
4.5	灰度级插值	114
4.5.1	最近邻法	114
4.5.2	双线性插值法	115
4.5.3	三次内插法	116
	习题	117
第5章	图像空域增强	119
5.1	图像噪声	119
5.1.1	图像噪声的产生	120
5.1.2	图像噪声的分类	120
5.1.3	图像噪声的特点	120
5.2	图像增强处理分类	121
5.2.1	空域增强法	122
5.2.2	频域增强法	122
5.2.3	图像增强效果评价	122
5.3	直接灰度变换增强	122
5.3.1	线性灰度拉伸	123
5.3.2	非线性拉伸	125
5.3.3	光学增强	126
5.4	基于直方图的图像增强	126

88	5.4.1	基本原理	126
98	5.4.2	直方图均衡化	128
88	5.4.3	直方图规范化	131
88	5.5	代数运算增强	135
88	5.5.1	代数运算增强的应用	135
88	5.5.2	比值处理与应用	136
90	5.6	空域滤波增强	138
10	5.6.1	空域滤波模板	138
52	5.6.2	线性平滑滤波	140
80	5.6.3	非线性平滑滤波	142
80	5.6.4	锐化滤波器	143
12	5.7	空域平滑滤波处理实例	146
70	5.7.1	程序源代码	146
80	5.7.2	应用举例	156
80		习题	157
	第6章	图像频域增强	159
100	6.1	低通滤波	159
101	6.1.1	理想低通滤波器	160
101	6.1.2	巴特沃斯低通滤波器	161
101	6.1.3	指数低通滤波器	162
100	6.1.4	梯形低通滤波器	162
111	6.2	高通滤波	163
111	6.2.1	理想高通滤波器	163
111	6.2.2	巴特沃斯高通滤波器	165
111	6.2.3	指数高通滤波器	166
111	6.2.4	梯形高通滤波器	166
112	6.3	带通和带阻滤波	166
111	6.3.1	带通滤波器	166
111	6.3.2	带阻滤波器	167
111	6.4	同态滤波	167
111	6.4.1	同态滤波原理	167
130	6.4.2	同态滤波实现方法	168
130	6.4.3	同态滤波的应用	169
130		习题	170
	第7章	彩色图像处理	172
132	7.1	人眼的视觉特性	172
132	7.1.1	人眼的结构	172
132	7.1.2	人眼视觉模型	173
132	7.1.3	人类视觉特性	174
132	7.2	计算机的颜色模型	176
132	7.2.1	面向硬件的彩色模型	176
132	7.2.2	面向视觉感知的颜色模型	177
132	7.3	伪彩色图像处理	183

7.3.1	伪彩色处理简介	183
7.3.2	密度分割	184
7.3.3	灰度级伪彩色变换	185
7.4	全彩色图像处理	186
7.4.1	彩色图像处理方法分类	186
7.4.2	彩色图像直方图增强	187
7.4.3	彩色图像去噪	188
7.4.4	彩色频域处理	189
	习题	189
第 8 章	图像复原	191
8.1	图像退化机理	191
8.1.1	退化原因	191
8.1.2	复原机理	192
8.2	图像退化模型	192
8.2.1	退化模型的一般特性	193
8.2.2	连续退化模型	193
8.2.3	离散退化模型	194
8.3	无约束复原	197
8.3.1	无约束复原基本原理	197
8.3.2	无约束复原的奇异性	198
8.4	逆滤波	198
8.4.1	逆滤波基本原理	199
8.4.2	逆滤波的病态条件	199
8.4.3	逆滤波复原实例	200
8.5	有约束复原法	202
8.5.1	最小二乘类约束复原	202
8.5.2	维纳滤波	202
8.5.3	功率谱均衡	204
8.5.4	几何均值滤波器	205
8.6	匀速直线运动的模糊恢复	205
8.6.1	匀速运动模糊模型	205
8.6.2	匀速运动复原方法	206
8.7	其他纠正技术	207
8.7.1	几何畸变校正	207
8.7.2	盲目图像复原	208
8.8	中值滤波	209
8.8.1	中值滤波基本原理	209
8.8.2	中值滤波特性	211
8.8.3	加权中值滤波	211
	习题	212
第 9 章	图像编码	213
9.1	图像编码的基本原理	213
9.1.1	图像中的信息冗余	214

9.1.2	图像编码分类	215
9.1.3	图像编码新方法	216
9.2	图像编码评价	217
9.2.1	编码图像的质量	217
9.2.2	效率指标	217
9.2.3	复杂度与适用范围	218
9.3	图像统计编码	218
9.3.1	变长最佳编码定理	218
9.3.2	霍夫曼编码	219
9.3.3	香农-范诺编码	223
9.3.4	行程长度编码	226
9.3.5	算术编码	228
9.4	位平面编码	230
9.4.1	位平面二值分解	230
9.4.2	灰度码分解	231
9.5	预测编码	232
9.5.1	DPCM 的工作原理	233
9.5.2	线性预测编码	233
9.5.3	非线性预测	235
9.6	图像的变换编码	235
9.6.1	变换编码的基本原理	235
9.6.2	正交变换的物理意义	236
9.6.3	变换类型与子块大小的选择	237
9.6.4	变换编码的步骤	237
9.7	JPEG 标准	238
9.7.1	JPEG 基本系统	238
9.7.2	JPEG 编码方法	239
9.7.3	渐进式 DCT 方式编码	247
9.7.4	JPEG 2000	247
9.7.5	JPEG 编码实例	248
9.8	MPEG 标准	250
9.8.1	MPEG-1	250
9.8.2	MPEG-2	252
9.8.3	MPEG-4	253
	习题	253
第 10 章 数学形态学及应用		255
10.1	数学形态学基础	255
10.1.1	形态学简介	255
10.1.2	术语和定义	256
10.2	二值形态学	259
10.2.1	腐蚀	260
10.2.2	膨胀	261
10.2.3	开运算与闭运算	262

10.2.4	击中与击不中	264
10.3	灰度形态学	265
10.3.1	灰度腐蚀	265
10.3.2	灰度膨胀	266
10.3.3	灰度开运算与闭运算	266
10.4	数学形态学的应用	267
10.4.1	二值形态学平滑滤波	267
10.4.2	图像细化	267
10.4.3	图像粗化	268
	习题	269
第 11 章 图像分割		270
11.1	图像分割的基本概念	270
11.1.1	图像分割的基本原理	270
11.1.2	图像分割方法	271
11.2	阈值分割法	272
11.2.1	最佳阈值法	274
11.2.2	判别分析法	274
11.3	区域分割法	276
11.3.1	区域生长法	276
11.3.2	区域分裂与合并	277
11.4	边缘检测的基本原理	279
11.4.1	边缘与边缘信号	279
11.4.2	边缘的类型	279
11.4.3	典型边缘信号	280
11.5	边缘检测算子	281
11.5.1	一阶微分算子	281
11.5.2	二阶微分算子	284
11.5.3	Canny 边缘检测	287
11.6	轮廓提取	289
11.6.1	轮廓跟踪	289
11.6.2	二值图像轮廓	290
11.7	图像匹配	291
11.7.1	模板匹配	291
11.7.2	直方图匹配	293
11.7.3	形状匹配	294
11.8	边缘检测的 MATLAB 实现	295
11.8.1	程序代码	295
11.8.2	应用举例	306
	习题	308
第 12 章 图像特征与理解		309
12.1	几何特征	309
12.1.1	位置与方向	309
12.1.2	长轴与短轴	310

12.1.3	周长	311
12.1.4	面积	311
12.1.5	距离	312
12.2	形状特征	313
12.2.1	矩形体	313
12.2.2	宽长比	314
12.2.3	圆形体	314
12.2.4	球状度	315
12.2.5	不变矩	315
12.2.6	偏心率	317
12.3	颜色特征	317
12.3.1	颜色直方图	318
12.3.2	颜色集	319
12.3.3	颜色矩	319
12.3.4	颜色聚合向量	320
12.3.5	颜色相关图	320
12.4	形状描述子	320
12.4.1	傅里叶描述子	320
12.4.2	拓扑描述	321
12.4.3	边界链码	323
12.4.4	一阶差分链码	324
12.4.5	霍夫变换	325
12.5	纹理描述	326
12.5.1	纹理特征	326
12.5.2	统计法	327
12.5.3	频谱法	328
12.5.4	空间自相关函数法	330
12.5.5	灰度共生矩阵法	330
12.5.6	纹理句法结构分析	335
12.6	骨架提取	336
12.6.1	骨架的概念	336
12.6.2	中轴变换	336
	习题	338
	参考文献	340

第 1 章

CHAPTER 1

数字图像处理概论

从胶片相机的问世,到数码相机的普及,都标志着图像处理技术进入到了人们的日常生活之中,数字图像处理技术只有几十年的历史,是一门既年轻又酝酿着巨大潜力的学科,同时它又是一门充满活力的交叉学科,它与数学、光学、信息科学、工程技术、计算机技术、人工智能和航天技术等众多学科密切相关。21 世纪人类已进入了数字智能时代,数字图像处理技术的重要性将越来越凸显,其应用领域将越来越广泛,从早期的军用和医学等个别领域发展到现代工业、农业、军事、地理信息、采矿、气象预报、医学、航空航天、地质勘探、公安、边防、美术设计、游戏、网购等国民经济和社会生活的各个领域。数字图像处理的作用和魅力正日益显现,它几乎吸引了从科学家到平民百姓的普遍关注。可以预见,随着人工智能时代的到来,数字图像处理技术的应用将会更为普及和深入。

1.1 数字图像处理的产生

21 世纪是一个智能信息的时代,大数据研究表明,人们日常生活中所接收的信息总量,80%左右来源于图像信息,从这一角度看,“百闻不如一见”正是图像处理重要性的形象表达和经验总结。因此,图像是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段,是人类感知和认识世界的基础。

图像处理技术的早期应用较为单一,图像处理的目的是改善和提高图像质量,即主要考虑以人为对象,以改善人的视觉效果为目的。在图像处理中,输入的是质量低的图像,输出的是改善质量后的图像。常用的图像处理方法有图像增强、复原、编码、压缩等。现代数字图像处理技术始于 20 世纪 60 年代,它受益于微电子技术的快速发展、计算机运算速度的迅速提升和快速算法的出现,从而使得图像处理算法可以在计算机上真正实现。这一时期,美国 NASA 开始处理飞船从月球发回的照片,标志着数字图像处理技术开始在军事和尖端科技行业得到实际应用。

首次大规模成功应用图像处理技术的是美国喷气推进实验室(JPL)。1964 年,美国 JPL 实验室在图像处理的研究和应用方面进行了开拓性的工作。图像处理工程师利用“徘徊者 7 号”发回的数千张月球照片,使用计算机及图像处理设备,在充分考虑了太阳位置和月球环境对照片影响的基础上,采用灰度变换、去噪声、几何校正、傅里叶变换以及二维线性滤波等方法对图片进行处理,由计算机第一次绘制了月球表面地图。随后,1965 年又对“徘徊者 7 号”发回的数千张月球照片,使用计算机及图像处理设备,在充分考虑了太阳位置和月球环境对照片影响的基础上,采用灰度变换、去噪声、几何校正、傅里叶变换以及二维线性滤波等方法对图片进行处理,由计算机第一次绘制了月球表面地图。随后,1965 年又对“徘徊者 7 号”发回的数千张月球照片,使用计算机及图像处理设备,在充分考虑了太阳位置和月球环境对照片影响的基础上,采用灰度变换、去噪声、几何校正、傅里叶变换以及二维线性滤波等方法对图片进行处理,由计算机第一次绘制了月球表面地图。

徊者8号”发回的几万张照片进行解卷积和消除运动模糊等较为复杂的处理,使图像质量进一步提高,由计算机成功地绘制出月球表面地图。后来又对探测飞船发回的近十万张照片进行更为复杂的图像处理,获得了月球的地形图、彩色图及全景镶嵌图,为人类登月创举奠定了坚实的基础,也推动了数字图像处理这门学科的诞生。从此,数字图像处理被广泛应用于航空、航天以及遥感遥测等尖端领域并发挥着越来越重要的作用。

在我国,图像处理技术给人们带来巨大的震撼也常发生在航天领域。虽然我国航天技术一直走在世界前列,但一直在低调中奋进,2013年6月11日“神舟十号”飞船成功发射,2017年4月20日“天舟一号”货运飞船在文昌航天发射中心由长征七号遥二运载火箭成功发射升空。正是数字图像处理技术,使人们近距离感触到了我国航天技术的先进水平,即便人们足不出户,也可以详细地观看到航天员杨利伟、聂海胜、张晓光、王亚平、刘洋在“神舟”系列、“天舟”系列飞船上进行太空探索和科学试验活动。

数字图像处理技术的另一个重要应用是医学领域。1972年,英国EMI的工程师Housfield发明了用于头颅诊断的X射线计算机断层摄影装置,即通常所说的CT(computer tomograph)。CT的基础方法是根据人的头部截面的投影,经计算机处理来重建截面图像,称为图像重建。1975年,EMI又成功研制出全身用的CT装置,可获得人体各个部位清晰的断层图像。由于图像处理技术这一应用的重大意义,这一无损伤诊断技术的英国研究者Housfield和美国研究人员Commack获得了1979年诺贝尔奖,这说明图像处理技术对人类做出了划时代的贡献。

美国在卫星遥感、军事、气象等领域开始广泛应用数字图像处理技术,快速推动了数字图像处理技术的发展,而这一时期,也正是全球微电子技术走上快速发展的初期,包括CPU处理器、海量存储器、图像数字化和图像显示以及计算机硬件设备不断降价,客观上推动了该技术的发展和深入应用。也正是这一时期,美国开始将图像处理技术从军事领域扩展应用到了工业和民用领域,开始利用卫星云图进行天气预报,并利用卫星遥感监测全球气候,在公众安全领域开始使用指纹识别、人脸识别技术,数字图像处理技术为美国社会带来了巨大的经济和社会效益。

借助于信息技术和图像处理技术的领先优势,20世纪90年代,美国提出了“数字地球”的概念。显然,图像是构成“数字地球”的信息基础,不同的遥感平台提供的多源遥感图像为数字地球这一概念提供了基础信息支撑。今天,数字图像处理技术已经应用到科学研究的众多领域,数字图像处理技术对科学研究、国民经济甚至人类社会的发展具有深远的意义。

首先,图像处理技术是人类视觉延伸的重要手段。数字图像处理技术从宏观上扩展了人类视觉可触及的距离。2017年4月27日,我国“天舟一号”货运飞船实现了与“天宫二号”的首次推进剂在轨补加试验,借助于图像处理与通信技术,人们坐在家中就能观看到这一尖端科技壮举,看到了我国航天事业的巨大成就。

其次,数字图像处理技术拓宽了人类获取信息的渠道和窗口。对于人眼来说是模糊的或者不可见的图像,通过图像增强技术或其他处理方法,可以使模糊图像变得清晰明亮,使不可见图像变为视觉可见图像。人类视觉系统只能看到电磁波谱中很窄范围的可见光部分,紫外波段、红外波段和微波等波段对人眼都是不可见的,但以现阶段的科技水平,却可以利用红外、微波等波段的信息进行数字成像,通过数字图像处理技术将不可见的波谱信息变为可见图像信息。现代医学也正是利用了数字图像处理技术,将不可见的X射线进行成

像。遥感遥测技术也是非常典型的例子,陆地卫星的 TM 多光谱图像就充分利用了波长为 $0.78 \sim 0.94 \mu\text{m}$ 的近红外波段来探测植被信息和生长情况,获取植被宏观信息;利用波长为 $10.4 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 的热红外波段可监测地表大气层的热源污染情况,无论是近红外波段还是热红外波段,都是不可见光谱信息。

数字图像处理技术可以提高人类对信息的识别精度和识别能力。通过数字图像处理技术,可以将人眼无法识别的图像进行识别和分类处理。指纹识别是一个典型的例子,人眼很难区分识别不同个体的指纹,而计算机通过图像识别技术却可以快速准确地检索、匹配和识别数十亿级别的不同个体的指纹。

此外,数字图像处理技术可以帮助人们更加客观、准确、快速地了解世界和认识世界。人类的视觉系统可以帮助人类从外界获得 80% 左右的信息,而图像、图形是表示和传递信息的最佳载体。现阶段,绝大多数人没有登上过月球,但通过“嫦娥三号”月球探测器以及“玉兔号”月球车从月球传回的高清晰月球图像,人们能准确地了解了月球的概貌。

今天,数字图像处理技术已经广泛、深入地应用于国民经济的各个领域。在医学和生物工程领域,X 射线、CT、核磁共振等技术已经广泛用于临床诊断;在军事、航天和国土资源监测领域,卫星遥感图像技术已广泛应用于情报获取以及所有与地球资源相关的矿产勘探、资源监测、水土流失等方面的监测;在公共安全领域,指纹识别、人脸识别、虹膜识别技术已得到广泛的应用,数字安保系统已经在联合国及奥运会等各种重要场所发挥着不可替代的重要作用。

1.2 数字图像处理的基本概念

人出生以后,一睁开眼睛就开始接收各种各样的图像信息,因此有人说,图像与生俱来是人类生活中最直观、最丰富和最生动的信息表示形式。但对于数字图像处理学科而言,图像的定义并非是不言自明的,为研究和讨论的需要,应建立一个科学、统一的概念。

1.2.1 图像及其类型

数字图像处理(digital image processing)又称为计算机图像处理,它是指通过计算机对图像进行去除噪声、增强、变换、复原、分割、特征提取、识别等运算与处理。

图像包括各种各样的形式:可见图像和非可视图像;抽象图像和实际图像;适于和不适于计算机处理的图像。因此,不同种类的图像大量存在于人类生活之中。然而尽管大家天天接触图像,也知道什么是图像,但对图像却没有严格的定义。

在韦氏(Webster)英文词典中,图像(image)一词的英文定义是“an imitation or representation of a person or thing, drawn, painted, photographed...”,即图像是人或事物的一个逼真模仿或描述……著名图像专家 Castleman 博士将图像定义为“在一般意义下,一幅图像是一个物体或对象(objects)的另一种表示”。例如,美国总统布什的照片是他某时刻出现在镜头前的一种描述或表示。因此,图像是其所表示物体或对象信息的一个直接描述和浓缩表示。简而言之,即图像是物体在平面坐标上的直观再现。因此,一幅图像包含了所表示物体的描述信息和特征信息,或者说图像是与之对应的物体或对象的一个真实表示,这个表示可以通过某些技术手段实现。

日常生活中可能会遇到各种各样的图像,如非光学数字图像、高维图像(维数等于或大于3)、多光谱图像、非均匀采样图像、非均匀量化图像等。图像的分类方法也多种多样,通常情况下,图像可根据其形式或产生方法进行分类。目前被一致接受的分类方法是 Castleman 博士所采用的基于集合论的分类方法,如图 1-1 所示。如果考虑所有物体的集合,图像便形成了其中的一个子集,在图像子集中的每幅图像都和它所表示的物体存在对应关系。根据图像的产生方法,图像可以分为如下三类。

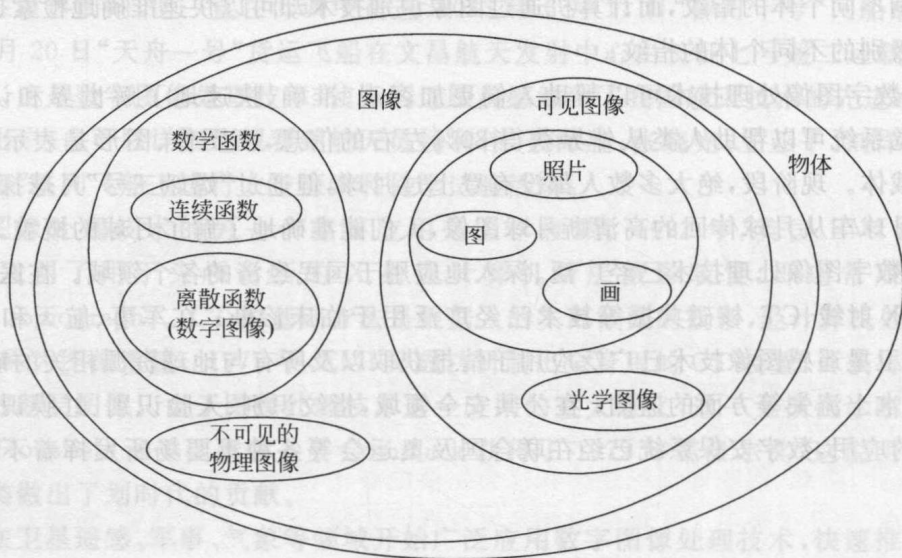


图 1-1 图像的基本类型

1. 可见图像

可见图像(visible images)是指视觉系统可以直接看见的图像,这也是大多数人在日常生活中所见到的和所理解的图像,这一类图像一般通过照像、手工绘制等传统方法获得,通常计算机不能直接处理,但经过数字化处理后可变为数字图像。在该集合中又包含几种不同方法产生的图像子集,其中一个子集为图片(picture),包括照片(photograph)、图(drawing)和画(painting);另一个子集为光学图像(optical image),即用透镜、光栅和全息术产生的图像。

2. 物理图像

物理图像(physical image)所反映的是物体的电磁波辐射能,包括可见光和不可见光图像。例如,光学图像是光强度的空间分布,它们能被肉眼所看到,因此也是可见的图像。不可见物理图像的例子包括温度、压力、高度以及人口密度等的分布图。物理图像一般可以通过某一种光电技术获得,第一类图像中的照片也可以归入此类。物理图像的一个重要子集是多光谱图像,包含物体的近红外、中红外、热红外等波谱信息。绝大部分的物理图像也是数字图像。多光谱图像的每一个点所包含的不只是一个局部特性,如红、绿、蓝三光谱图像,它的技术原理普遍用于彩色照相技术和彩色电视等实际应用当中。黑白图像在每个点只有一个亮度值,而彩色图像则在每个点具有红、绿、蓝三个亮度值,这三个值表示在不同波段上的强度,就是人眼看到的不同颜色。