

● 高等学校21世纪计算机教材

数字图像 处理技术

章 霄 董艳雪 赵文娟 张彦嘉 编著

冶金工业出版社

高等学校 21 世纪计算机教材

TN911.73

10

数字图像处理技术

章 霄 董艳雪 赵文娟 张彦嘉 编著

北 京

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书的内容用于解决工业或科学研究中常见的实际问题。除了对数字图像处理的应用技术的详细介绍之外,本书对数字图像处理的理论也有系统的阐述,对图像处理技术的数学基础也作了深入的介绍,这样可以使读者更加深入和全面地了解图像处理技术。

本书共 14 章,分为三个部分:1~2 章为第一部分,主要介绍数字图像处理技术的基本概念和理论知识;3~9 章为第二部分,主要介绍图像处理的数学基础以及技术手段,包括线性系统、傅立叶变换、采样数据处理、离散图像变换、滤波器设计、小波变换和图像的灰度直方图及基本运算;10~14 章为第三部分,主要涵盖了图像处理的应用方面和处理技巧,包括图像分割、基于形态学的图像处理、图像压缩技术、彩色图像处理和模式识别。

本书使用 MATLAB 作为实验平台,加入了大量的实验实例,并且有大量的实验结果图片,对读者的理解有很大的帮助。

本书既可作为大学本科生和研究生的教材或参考书,也可作为从事数字图像处理研究和开发的技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理技术 / 章霄等编著. —北京:冶金工业出版社, 2005.7

ISBN 7-5024-3774-6

I. 数... II. 章... III. 数字图像处理
IV. TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 065360 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 戈兰

佛山市新粤中印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2005 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 18.25 印张; 418 千字; 282 页

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010) 64044283 传真:(010) 64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010) 65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

一、关于本书

数字图像处理技术起源于 20 世纪 20 年代,当时通过海底电缆从英国伦敦到美国纽约采用数字压缩技术传输了第一张数字图片。几十年后的今天,数字图像处理技术已经成为一门飞速发展的新兴学科。图像处理是一种针对性很强的技术,不同应用、不同要求应采用不同的处理方法。采用的方法是由各学科较先进的成果综合而成的,如数学、物理学、生理学、医学、计算机科学、通信理论、信号分析、控制论和系统工程等。各学科互相补充、互相渗透,才使计算机图像处理技术飞速发展。由于技术的不断更新,所以本书侧重于数字图像处理的基本概念和方法的介绍,为读者进一步的学习和研究奠定坚实的基础。因此,本书并不局限于某个特殊问题的解决,而是希望读者在通过本书的学习之后,能够举一反三,由此及彼。

本书有一定的数学难度,要求具备数学分析、向量、矩阵、概率、统计方面的基础和初步的计算机编程能力,所以本书在涉及到较为深入的地方,都有详细的知识介绍和理论推理过程,同时对一些实例给出了 Matlab 编程的源程序。

二、本书结构

第 1 章:绪论。主要包括:引言、数字图像概述、数字图像处理的重要性、数字图像处理的应用领域、数字图像处理的基本步骤及数字图像处理系统等。

第 2 章:数字图像基础。主要包括:人眼视觉和色彩空间、数字图像文件的存储格式、数字图像表示、空间和灰度级分辨率、放大和收缩数字图像、像素间的基本关系、算术和逻辑运算、坐标变换等。

第 3 章:线性系统。主要包括:引言、调谐信号与复信号、卷积、一些有用函数、卷积滤波等。

第 4 章:傅立叶变换。主要包括:傅立叶变换的概念和性质、线性系统和傅立叶变换、二维傅立叶变换、相关性和能量谱概念、傅立叶变换性质总结等。

第 5 章:采样数据处理。主要包括:预备知识、采样和插值、频谱计算、混叠、截取、数字处理简介、混叠误差的控制等。

第 6 章:离散图像变换。主要包括:线性变换、基函数和基图像、正弦型变换和方波型变换、基于特征向量的变换、变换域滤波等。

第 7 章:滤波器设计。主要包括:低通滤波器、带通或带阻滤波器、高频增强滤波器、最优线性滤波器设计、排序统计滤波器等。

第 8 章:小波分析。主要包括:引言、傅立叶变换的局限性、连续 Wavelet 变换、离散小波变换、多分辨率分析、二维小波变换、小波变换的应用等。

第 9 章:图像的灰度直方图及基本运算。主要包括:灰度直方图、直方图的用途、点运算、点运算和直方图、点运算的应用等。

第 10 章：图像分割。主要包括：图像的不连续性的检测、边缘连接和边界检测、阈值处理、基于区域的分割、基于形态分水岭的分割、运动在图像分割中的运用等。

第 11 章：基于形态学的图像处理。主要包括：基本概念、膨胀与腐蚀、开启与闭合、击中与击不中变换、几个基本的形态学算法、灰度图像扩展等。

第 12 章：图像压缩技术简介。主要包括：绪论、数据压缩算法、无损压缩技术、有损压缩技术等。

第 13 章：彩色图像处理。主要包括：人眼视觉原理及彩色基础、彩色模型和彩色坐标转换、彩色变换、平滑和锐化、彩色分割、伪彩色和假彩色处理、彩色图像的噪声、彩色图像的压缩等。

第 14 章：模式识别初步。主要包括：模式识别和模式的概念、模式识别系统、关于模式识别的一些基本问题、模式识别简介等。

三、本书特点

本书注重基础知识和实用技能的培养，内容深入浅出、循序渐进，在选材上注重系统性和完整性，并尽可能做到简单易懂，便于读者学习及参考。

四、本书适用对象

本书既可作为大学本科生和研究生的教材或参考书，也可作为从事数字图像处理研究和开发的技术人员的参考书。

由于编者水平有限，书中难免存在错误及不当之处，真诚希望读者批评指正。

虽然经过严格的审核、精心的编辑，本书在质量上有了一定的保障，但我们的目标是力求尽善尽美，欢迎广大读者和专家对我们的工作提出宝贵意见和建议，联系方法如下：

电子邮件：service@cnbook.net

网址：www.cnbook.net

本书电子教案和练习题参考答案可在本网站免费下载，此外，该网站还有一些其他相关书籍的介绍，供读者选购参考。

编 者
2005 年 6 月

目 录

第1章 绪论	1	2.2.6 PCX 格式的图像文件	24
1.1 引言	1	2.3 数字图像表示	26
1.2 数字图像概述	2	2.4 空间和灰度级分辨率	27
1.2.1 图像和数字图像	2	2.5 放大和收缩数字图像	30
1.2.2 图像技术和图像工程	4	2.6 像素间的基本关系	31
1.3 数字图像处理的重要性	5	2.6.1 像素的邻域	31
1.4 数字图像处理的应用领域	5	2.6.2 像素的连通性	32
1.5 数字图像处理的基本步骤	9	2.6.3 距离量度	33
1.6 数字图像处理系统	11	2.7 算术和逻辑运算	34
1.6.1 图像处理和分析系统	11	2.7.1 算术运算	34
1.6.2 图像的采集	11	2.7.2 逻辑运算	37
1.6.3 图像的显示	13	2.8 坐标变换	38
1.6.4 图像的存储	13	小结	39
1.6.5 图像通信	14	练习二	40
1.6.6 图像处理和分析	14	一、选择题	40
小结	14	二、思考题	40
练习一	15	三、上机题	40
一、选择题	15	第3章 线性系统	41
二、思考题	15	3.1 引言	41
三、上机题	15	3.2 调谐信号与复信号	43
第2章 数字图像基础	16	3.2.1 调谐信号	43
2.1 人眼视觉和色彩空间	16	3.2.2 对调谐输入的响应	43
2.1.1 人眼成像	16	3.2.3 调谐信号与正弦性信号	44
2.1.2 亮度适应和区分	17	3.2.4 传递函数	45
2.1.3 颜色基础	19	3.3 卷积	45
2.1.4 色彩空间	19	3.3.1 卷积的由来	45
2.2 数字图像文件的存储格式	21	3.3.2 一维卷积	46
2.2.1 BMP 格式的图像文件	21	3.3.3 离散一维卷积	48
2.2.2 TIFF 格式的图像文件	22	3.3.4 二维卷积	49
2.2.3 GIF 格式的图像文件	22	3.3.5 离散二维卷积	50
2.2.4 JPEG 格式的图像文件	23	3.3.6 卷积的应用	52
2.2.5 TGA 格式的图像文件	23	3.4 一些有用函数	52

3.4.1 矩形脉冲	52	4.4.3 二维傅立叶变换的矩阵表示	81
3.4.2 三角脉冲	52	4.4.4 二维傅立叶变换的性质	81
3.4.3 高斯脉冲	53	4.4.5 圆对称和 Hankel 变换	84
3.4.4 冲激函数	54	4.5 相关性和能量谱概念	86
3.4.5 阶跃函数	56	4.5.1 互相关	86
3.5 卷积滤波	57	4.5.2 自相关	86
3.5.1 平滑	57	4.5.3 能量谱(功率谱)	87
3.5.2 边缘增强	58	4.6 傅立叶变换性质总结	87
小结	58	小结	88
练习三	59	练习四	89
一、选择题	59	一、选择题	89
二、思考题	60	二、思考题	89
三、上机题	60	三、上机题	89
第 4 章 傅立叶变换	61	第 5 章 采样数据处理	90
4.1 傅立叶变换的概念	61	5.1 预备知识	90
4.1.1 连续傅立叶变换	62	5.2 采样和插值	92
4.1.2 傅立叶变换的存在性	63	5.2.1 使用 Shah 函数采样及其频谱	92
4.1.3 傅立叶级数的展开	64	5.2.2 采样定理	93
4.1.4 离散傅立叶变换	65	5.2.3 欠采样与混叠效应	94
4.1.5 快速傅立叶变换(FFT)	66	5.2.4 内插	95
4.1.6 一些常用的傅立叶变换	67	5.2.5 采样与欠采样分析	95
4.2 傅立叶变换的性质	67	5.3 频谱计算	97
4.2.1 对称性	67	5.3.1 时域中截取	97
4.2.2 加法定理	69	5.3.2 频域上截取	97
4.2.3 位移定理	70	5.3.3 频谱计算	98
4.2.4 卷积定理	70	5.4 混叠	98
4.2.5 相似性定理	71	5.4.1 混叠的不可避免性	98
4.2.6 Rayleigh 定理	72	5.4.2 混叠误差的上界	99
4.3 线性系统和傅立叶变换	73	5.4.3 频谱分辨率	99
4.3.1 线性系统术语	73	5.5 截取	100
4.3.2 线性系统辨识	74	5.6 数字处理简介	101
4.3.3 正弦型分解	76	5.7 混叠误差的控制	103
4.3.4 复频率	79	小结	103
4.4 二维傅立叶变换	79	练习五	104
4.4.1 二维傅立叶变换的定义	79	一、选择题	104
4.4.2 二维离散傅立叶变换(DFT)	80	二、思考题	104

三、上机题	104	7.3 高频增强滤波器	126
第 6 章 离散图像变换	105	7.3.1 高斯差分 (DOG) 滤波器	127
6.1 线性变换	105	7.3.2 设计高通滤波器的经验规则	128
6.1.1 一维离散线性变换	105	7.4 最优线性滤波器设计	129
6.1.2 酉变换	106	7.4.1 随机变量	131
6.1.3 二维离散线性变换	107	7.4.2 维纳滤波器	131
6.2 基函数和基图像	108	7.4.3 维纳滤波器举例	135
6.2.1 基函数	108	7.4.4 匹配检测器 (Matched Detector)	138
6.2.2 基图像	108	7.4.5 匹配检测器举例	141
6.3 正弦型变换和方波型变换	109	7.4.6 通过求平均值降噪	142
6.3.1 正弦型变换	109	7.4.7 一个实例 (血管造影术)	143
6.3.2 方波型变换	110	7.5 排序统计滤波器	145
6.4 基于特征向量的变换	113	7.5.1 中值滤波器	145
6.4.1 特征分析	113	7.5.2 滤波模板因子	146
6.4.2 主分量分析 (PCA)	113	7.5.3 其他排序统计滤波器—— 第 X 百分点的滤波器	146
6.4.3 卡胡南-列夫变换 (K-L 变换) 的应用	115	小结	146
6.5 变换域滤波	119	练习七	147
6.5.1 边、线和点的检测	119	一、选择题	147
6.5.2 滤波器设计	120	二、思考题	147
小结	120	三、上机题	147
练习六	120	第 8 章 小波分析	149
一、选择题	120	8.1 引言	149
二、思考题	121	8.2 傅立叶变换的局限性	150
三、上机题	121	8.3 连续 Wavelet 变换	152
第 7 章 滤波器设计	122	8.4 离散小波变换	153
7.1 低通滤波器	122	8.5 多分辨率分析	154
7.1.1 常用低通滤波器	122	8.5.1 多分辨率分析	154
7.1.2 空间域	123	8.5.2 Mallat 塔式算法	155
7.1.3 频域	124	8.5.3 图像的小波特性	157
7.1.4 高频截止	124	8.6 二维小波变换	160
7.2 带通或带阻滤波器	124	8.7 小波变换的应用	161
7.2.1 理想的带通滤波器	124	小结	161
7.2.2 理想带阻滤波器	125	练习八	162
7.2.3 通用带通滤波器	126	一、选择题	162

二、思考题	162	10.3.1 基础	193
三、上机题	162	10.3.2 简单的全局阈值	194
第9章 图像的灰度直方图及基本运算	163	10.3.3 基本自适应阈值	195
9.1 灰度直方图	163	10.3.4 最佳全局阈值和自适应阈值	195
9.1.1 灰度直方图的概念	163	10.3.5 利用边界特性改进直方图和 局部阈值处理	197
9.1.2 二维直方图	165	10.3.6 基于不同变量的阈值	198
9.1.3 直方图的性质	165	10.4 基于区域的分割	198
9.2 直方图的用途	165	10.4.1 基本公式	198
9.2.1 数字化参数	165	10.4.2 区域生长	199
9.2.2 图像二值化边界阈值选择	165	10.4.3 区域分裂与合并	200
9.2.3 综合光密度	166	10.5 基于形态学分水岭的分割	201
9.3 点运算	167	10.5.1 基本概念	202
9.3.1 点运算的应用	167	10.5.2 水坝构造	203
9.3.2 点运算的种类	168	10.5.3 分水岭分割算法	204
9.4 点运算和直方图	169	10.5.4 应用标记	206
9.5 点运算的应用	170	10.6 运动在图像分割中的运用	207
9.5.1 直方图均衡化	170	10.6.1 空域分割技术	207
9.5.2 直方图匹配	173	10.6.2 频域技术	211
小结	173	小结	214
练习九	173	练习十	214
一、选择题	173	一、选择题	214
二、思考题	173	二、思考题	215
三、上机题	174	三、上机题	216
第10章 图像分割	175	第11章 基于形态学的图像处理	217
10.1 图像的不连续性的检测	175	11.1 基本概念	217
10.1.1 点检测	176	11.1.1 集合论的几个基本概念	217
10.1.2 线条检测	177	11.1.2 二值图像的逻辑运算	219
10.1.3 边缘检测	178	11.2 膨胀与腐蚀	219
10.1.4 组合检测	184	11.2.1 膨胀	219
10.2 边缘连接和边界检测	187	11.2.2 腐蚀	220
10.2.1 局部处理	187	11.2.3 膨胀与腐蚀的对偶性	221
10.2.2 运用 Hough 变换进行 全局处理	188	11.3 开启与闭合	222
10.2.3 运用图论技术进行全局处理	190	11.3.1 开启	222
10.3 阈值处理	192	11.3.2 闭合	223
		11.3.3 开启与闭合的对偶性	225

11.4 击中与击不中变换	225	第 13 章 彩色图像处理.....	242
11.5 几个基本的形态学算法	225	13.1 人眼视觉原理及彩色基础	242
11.5.1 连接约定方式	225	13.2 彩色模型和彩色坐标转换	244
11.5.2 对象标注	227	13.2.1 XYZ 计色体系	245
11.5.3 边界提取	228	13.2.2 UCS 均匀色标体系	246
11.5.4 区域填充	229	13.2.3 RGB 彩色模型	246
11.5.5 细化	230	13.2.4 CMY、CMYK 彩色模型	249
11.5.6 粗化	230	13.2.5 HSI 模型	250
11.5.7 抽骨架	231	13.2.6 RGB 到 HSI 彩色模型的转换 ..	252
11.6 灰度图像扩展	232	13.2.7 HSI 到 RGB 彩色模型的转换 ..	252
小结	232	13.3 彩色变换	253
练习十一	232	13.3.1 公式	253
一、选择题	232	13.3.2 补色	255
二、思考题	233	13.3.3 彩色分层	256
三、上机题	233	13.3.4 彩色平衡	257
第 12 章 图像压缩技术简介	234	13.3.5 直方图处理	258
12.1 绪论	234	13.4 平滑和锐化	259
12.1.1 数据的压缩	234	13.4.1 彩色图像的平滑	259
12.1.2 数据压缩的必要性	234	13.4.2 彩色图像锐化	260
12.1.3 压缩的条件	235	13.5 彩色分割	261
12.1.4 数据冗余	235	13.5.1 HSI 彩色空间分割	261
12.1.5 数据压缩的标准和应用	236	13.5.2 RGB 彩色空间分割	262
12.2 数据压缩算法	237	13.5.3 彩色图像的边缘检测	264
12.3 无损压缩技术	237	13.6 伪彩色和假彩色处理	267
12.3.1 基于字典的技术 (定长 编码)	238	13.6.1 伪彩色处理	267
12.3.2 统计编码方法 (不定长 编码)	238	13.6.2 假彩色处理	268
12.4 有损压缩技术	240	13.7 彩色图像的噪声	268
12.4.1 标量量化 (对应矢量量化)	240	13.8 彩色图像的压缩	270
12.4.2 率失真函数理论	240	小结	270
小结	241	练习十三	271
练习十二	241	一、选择题	271
一、选择题	241	二、思考题	271
二、思考题	241	三、上机题	272
三、上机题	241	第 14 章 模式识别初步	273
		14.1 模式识别和模式的概念	273
		14.2 模式识别系统	274

14.3 关于模式识别的一些基本问题	275	练习十四	281
14.4 模式识别简介	277	一、选择题	281
14.4.1 简介	277	二、思考题	281
14.4.2 特征选择	278	三、上机题	281
小结	280	参考文献	282

第 1 章 绪 论

当今是信息的时代,信息的获得、加工、处理和应用等都有了飞跃发展。图像信息处理已经得到一定的发展,但随着对图像处理的要求的不断提高,应用领域的不断扩大,图像理论必须不断补充和发展。图像的处理已经从可见光谱扩展到各个波段,从静止图像发展到运动图像,从物体的外部延伸到物体的内部,以及进行人工智能化的图像处理等。本章主要从介绍数字图像的概念入手,再逐步介绍图像处理的应用领域,以加深读者对图像处理技术的认识。同时介绍了为何要处理数字图像、如何处理,一个标准的图像处理系统是如何组合和运作的等等。

本章主要内容如下:

- (1) 数字图像概述。
- (2) 数字图像处理的重要性。
- (3) 数字图像处理的应用领域。
- (4) 数字图像处理的基本步骤。
- (5) 数字图像处理系统。

1.1 引言

视觉是人类最重要的感觉器官。视觉信息是人们由客观世界获得信息的主要来源。人们早已看到,视觉所提供的直观作用远不是语言和文字的描述所能达到的。人类对五彩缤纷的大千世界的认识,大至宇宙星云,小至细胞、基因、分子、原子、病毒,无一不是通过视觉获得深刻的感知而得到的正确的认识。

数字图像处理技术是一门新兴学科,20 世纪 80 年代中期到 90 年代才形成独立的学科体系。与人类视觉机理的历史相比,它是一门相对年轻的学科。但在其短短的历史当中,它在现实生活中的每一个成功应用,都给我们带来巨大的技术改变。几乎所有与成像相关的领域,数字图像处理都发挥着其巨大的作用。

数字图像处理技术在计算机技术的飞速发展的同时,将不断成熟。目前的计算机设备的价格下降,通过万维网及互联网的网络通信带宽的扩展,图像数字化和图像显示设备的普及,低成本的数字图像处理系统的应用,为数字图像处理技术的持续发展创造了前所未有的机会。数字图像处理技术的另一个巨大的推动力来自不断出现的应用领域,商业、工业、医学、军事、安全系统、计算机视觉和人工智能等等,由此可以预测,数字图像处理在不久的将来会发挥更大的作用。

图像是对客观世界的一种相似性、生动性的描述和写真。图像是客观对象的一种表示,它包含了有关被描述对象的信息。它是人们最主要的信息来源。图像可根据其形式或产生方法来分类。从人眼视觉特点上可将图像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,它包括照片、用线条画的图和画;另一个子集为光图像,是用透镜、光栅和信息技术产生的图像。不可见图像包含不可见光成像和不可见量,如温度、压力及人口密度等的分布图。

按波段多少图像可以分为单波段、多波段和超波段图像。单波段图像在每个点只有一个亮度值；多波段图像上每个点不止一个特性。例如：红、绿、蓝三波段光谱图像或彩色图像在每个点都具有红、绿、蓝三个亮度值，这三个值表示在不同光波段上的强度，人眼看来就是不同的颜色。超波段图像每个点具有几十或几百个特性。

按图像空间坐标和明暗程度的连续性可以分为模拟图像和数字图像。模拟图像指空间坐标和明暗程度变化都是连续变化的、计算机无法直接处理的图像。数字图像是一种空间坐标和灰度均不连续的、用离散的数字表示的图像。这样的图像才能被计算机处理，数字图像处理指的就是用计算机对这样的数字图像进行处理，即采用计算机对图像进行信息加工。它与数学、光学、电子学、计算机技术、成像技术、视觉心理学、视觉生理学有关，计算机视觉和人工智能密切相关。如图 1-1 所示，数字图像处理由五块处理功能组成：图像输入、图像存储、图像传送、图像处理、图像显示。

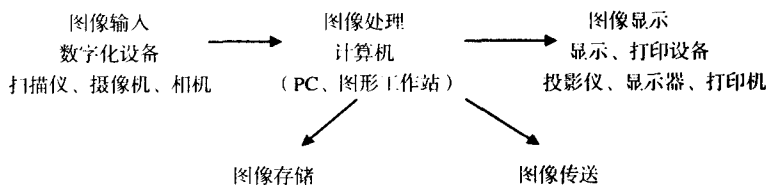


图 1-1 数字图像处理由五块处理功能组成

图像处理的主要内容有：图像的采集、增强、复原、变换、编码、重建、分割、配准、嵌拼、特征提取、模式识别和图像理解等等。本书主要介绍数字图像处理的基础理论：线性系统理论、图像增强、图像复原、图像分析等等。

1.2 数字图像概述

1.2.1 图像和数字图像

从广义上说，图像是自然界景物的客观反映，是人类认识世界和人类本身的重要知识源泉。它是用各种观测系统以不同形式和手段观测客观世界而获得的，可以直接或间接作用于人眼并进而产生视觉的实体。人的视觉系统就是一个观测系统，通过它得到的图像就是客观景物在人眼中形成的影像。图像信息不仅包含光通量分布，而且也还包含人类视觉的主观感受。随着计算机技术的迅速发展，人们还可以人为地创造出色彩斑斓、千姿百态的各种图像。

人们生活在一个信息时代，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，也就是从图像中获得的。这里图像是比较广义的，包括：照片、绘图、视像等等。图像带有大量的信息，“百闻不如一见”就说明了这个事实。

客观世界在空间上是三维（3-D）的，但一般从客观景物得到的图像是二维（2-D）的。一幅图像可以用一个 2-D 数组 $f(x, y)$ 来表示，这里 x 和 y 表示 2-D 空间 XY 中一个坐标点的位置，而 f 则代表图像在点 (x, y) 的某种性质 F 的数值。例如常用的图像一般是灰度图，这时 f 表示灰度值，它常对应客观景物被观察到的亮度值。

常见图像是连续定义的，即 f 、 x 、 y 的值可以是任意实数。为了能用数字计算机对图像进行加工处理，需要把连续的图像在坐标空间 X、Y 和性质空间 F 都进行离散化。这种

离散化了的图像就是数字图像，可以用 $I(r, c)$ 来表示。这里 I 代表离散化后的 f ， (r, c) 代表离散化后的 (x, y) ，其中 r 代表图像的行 (Row)， c 代表图像的列 (Column)。这里 I 、 c 、 r 的值都是整数。本书以后主要讨论数字图像，在不引起混淆的情况下用 $f(x, y)$ 代表数字图像，如不特别说明， f 、 x 、 y 都在整数集合中取值。早期英文书籍里一般用 *picture* 代表图像，英文 *picture* 的原意是指图片、图画、各种照片以及光学影像，是采用绘画或者拍照的方法获得的人、物、景的模拟。现在普遍采用 *image* 代表离散化了的数字图像。英文 *image* 的含义是“像”，是客观世界通过光学系统产生的视觉印象。图像中每个基本单元叫做图像元素，简称像素 (Picture Element)。对 2-D 图像，英文里常用 *pixel* 代表像素。对 3-D 图像，英文里常用 *volume element* 代表其基本单元，简称体素。

与数字图像相关的概念有视频 (Video)、图形 (Graphics) 和动画 (Animation)。

视频——视频图像又称为动态图像、活动图像或者运动图像。它是一组图像在时间轴上的有序排列，是二维图像在一维时间轴上构成的序列图像。考虑到人眼的视觉特征，视频图像的刷新速度都有一个明确的限制。如：NTSC 制式的电视视频是 30 帧/秒 (fps, frame per second)，PAL 制式的电视视频是 25 帧/秒，电影则是 24 帧/秒。

图形——图形是图像的一种抽象，它反映图像的几何特征，例如：点、线、面等。图形不直接描述图像中的每一点，而是描述产生这些点的过程和方法，被称为矢量图形。矢量图形以解析的形式描述一幅图所包含的直线、圆、弧线的形状和大小，甚至可用更复杂的形式表示图像中的曲面、光照、材质等。图形的矢量化能够对图中多个部分分别进行控制。所有图形都可用数学的方法加以描述，因而可以对其中任何对象进行任意的变换：放大、缩小、旋转、变形、移位、叠加、扭曲等，但仍保持图形特征。图形变换的灵活性以及处理上的更大自由度等都给计算机图形学的发展带来了巨大的活力。

动画——动画属于动态图像的一种。它与视频的区别在于视频的采集来源于自然的真实图像，而动画则是利用计算机产生出来的图像或图形，是合成的动态图像。动画包括二维动画、三维动画、真实感三维动画等多种形式。

【例 1-1】数字图像示例。

图 1-2 给出两幅典型的数字图像。图 (a) 所用的坐标系常在屏幕显示中采用，它的原点 O (Origin) 在图像的左上角，纵轴标记图像的行，横轴标记图像的列。 $I(r, c)$ 既可代表这幅图像，也可表示在 (r, c) 行列交点处的图像值。图 (b) 所用的坐标系常在图像计算中采用，它的原点在图像的左下角，横轴为 X 轴，纵轴为 Y 轴。 $f(x, y)$ 既可代表这幅图像，也可以表示在 (x, y) 坐标处像素的值。

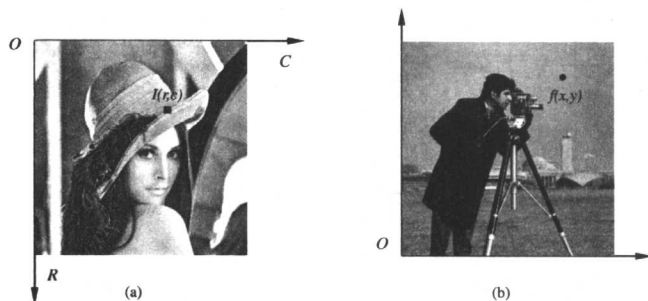


图 1-2 数字图像示例

1.2.2 图像技术和图像工程

图像技术在广义上是各种与图像有关的技术的总称。目前人们主要研究的是数字图像,主要应用的是计算机图像技术。这包括利用计算机和其他电子设备完成的一系列工作,例如:图像的采集、获取、编码、存储和传输,图像的合成和产生,图像的显示和输出,图像的变换、增强、恢复(复原)和重建,图像的分割,目标的检测、表达和描述,特征的提取和测量,序列图像的校正,3-D景物的重建复原,图像数据库的建立、索引和抽取,图像的分类、表示和识别,图像模型的建立和匹配,图像和场景的解释和理解,以及基于它们的判断决策和行为规划等等。另外,图像技术还可包括为完成上述功能而进行的硬件设计及制作等方面的技术。

尽管计算机图像技术的历史可追溯到1946年世界上第一台电子计算机的诞生,但在20世纪50年代计算机主要还是用于数值计算,满足不了处理大数据量图像的要求。在60年代,第三代计算机的研制成功以及快速傅里叶变换算法的发现和应用使得对图像的某些计算得以实现,人们从而逐步开始利用计算机对图像进行加工利用。在70年代,图像技术有了长足的进展,而且第一本重要的图像处理专著《Rosenfeld 1976》也得以出版。在80年代,各种硬件的发展使得人们不仅能处理2-D图像,而且开始处理3-D图像。许多能获得3-D图像的设备和处理分析3-D图像的系统研制成功,图像技术得到了广泛的应用。进入90年代,图像技术已逐步涉及人类生活和社会发展的各个方面。以近年得到广为宣传和应用的多媒体技术为例,图像在其中占据了主要地位。广义上来说,文本、图形、视频等都需要借助图像技术才能充分利用。由此,图像技术必将得到进一步的发展和应用,从而改变人们的生活方式。

由于图像技术近年来得到极大的重视和长足的进展,出现了许多新理论、新方法、新算法、新手段、新设备。众所周知,工程是指将自然科学的原理应用到工业部门而形成的各学科的总称。图像工作者普遍认为亟需对图像和它们的处理技术进行综合研究和集成应用,这个工作的框架就形成了图像工程。图像工程学科是将数学、光学等基础科学的原理结合在图像应用中积累的技术经验而发展起来的。

图像工程的内容非常丰富,根据抽象程度和研究方法等的不同可分为三个层次(如图1-3所示):图像处理、图像分析和图像理解。换句话说,图像工程是既有联系又有区别的图像处理、图像分析及图像理解三者的有机结合,另外还包括对它们的工程应用。

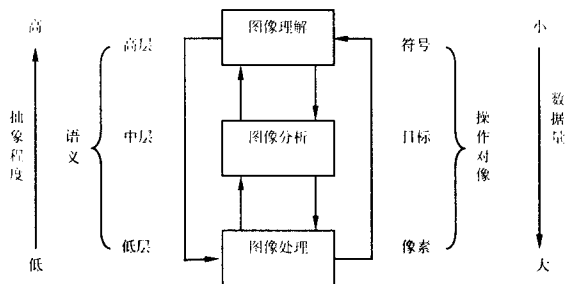


图 1-3 图像工程三层次示意图

图像处理着重强调在图像之间进行的变换。虽然人们常用图像处理泛指各种图像技术,但比较狭义的图像处理主要满足对图像进行各种加工,以改善图像的视觉效果并为自

动识别打下基础；或对图像进行压缩编码，以减少所需存储空间或传输时间、传输通路的要求。

图像分析则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。如果说图像处理是一个从图像到图像的过程，则图像分析是一个从图像到数据的过程。这里数据可以是对目标特征测量的结果，或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。

图像理解的重点是在图像分析的基础上，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。如果说图像分析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（包括没有直接观察到的事物）。

由上所述，图像处理、图像分析和图像理解是处在三个抽象程度和数据量各有特点的不同层次上。图像处理是比较低层的操作，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，分割和特征提取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。图像理解主要是高层操作，基本上是对从描述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可以有許多类似之处。另外，由图 1-3 可见，随着抽象程度的提高，数据量是逐渐减少的。具体说来，原始图像数据经过一系列的处理过程逐步转化为更有组织和用途的信息。在这个过程中，语义不断引入，操作对象发生变化，数据量得到了压缩。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能。

1.3 数字图像处理的重要性

图像是人们从客观世界取得信息的重要来源。

人类传递信息的主要媒介是语音和图像。在接受的信息中，听觉信息占 20%，视觉信息占 60%，其他如味觉、触觉、嗅觉总的加起来不过占 20%。图像信息处理是人类视觉延续的重要手段。人的眼睛只能看到可见光部分，波长为 380nm~780nm，而迄今为止人类发现可成像的射线已有多种，如： γ 射线、X 射线、紫外线、红外线、微波，它们扩大了人类认识客观世界的能力。

数字图像处理是一个跨学科的前沿科技领域。在诸如工程学、计算机科学、信息学、统计学、物理、化学、遥感、生物医学、地质、海洋、气象、农业、冶金等许多学科中都存在一个重要的课题：怎么获取图像？如何使用获得的图像满足人的视觉理解的要求？为了提高存储和传输的效率，如何进行编码和压缩？如何分析和理解一幅图像？

数字图像处理技术产生的经济效益显著。图像处理技术发展到今天，许多技术已日趋成熟，在各个领域的应用取得了巨大的成功和显著的经济效益。例如：CT、复印、传真、指纹识别等均受益于图像处理技术发展。

1.4 数字图像处理的应用领域

计算机图像处理和计算机、多媒体、智能机器人、专家系统等技术的发展密切相关。近年来计算机识别、理解图像的技术发展很快，图像处理除了直接供人观看外，还发展了

与计算机视觉有关的应用,如:邮件自动分拣、车辆自动驾驶等。下面仅列举一些典型应用实例,实际应用远远超出以下介绍的内容。

1. 生物学中的应用

- (1) 显微图像处理(见例 1-2)。
- (2) DNA(脱氧核糖核酸)显示分析。
- (3) 红、白血球分析计数。
- (4) 虫卵及组织切片的分析。
- (5) 癌细胞识别。
- (6) 染色体分析(见例 1-3)。
- (7) DSA(心血管数字减影)及其他减影技术。
- (8) 内脏大小形状及异常检查。
- (9) 微循环的分析判断。
- (10) 心脏活动的动态分析。
- (11) 热像分析,红外像分析。
- (12) X 光照片增强、冻结及伪彩色增强。
- (13) 超声图像成像、冻结、增强及伪彩色处理。
- (14) CT(见例 1-4), MRI, γ 射线照相机,正电子和质子 CT 的应用。
- (15) 专家系统如手术 PLANNING 规划的应用。
- (16) 生物进化的图像分析。

数字图像处理技术目前在医学领域的应用是比较广泛和比较成熟的,例 1-2 是一个细菌的显微图像的几个数字处理方法和二值化处理的过程。例 1-3 是一个医学上利用图像处理技术处理后的人脑的 CT 图像阵列显示,例 1-4 是人体血液细胞的数字图像显示,例中的图像基本上是经过图像增强技术处理之后的效果。

【例 1-2】如图 1-4 所示,在显微照相技术得到的图片的数字处理过程,这是一个很简单但是很常用的图像处理方法,通过图像的二值化处理,找到目标物体的边缘。这种边缘提取的方法比较简单,也比较常用,主要用在目标物体和背景的灰度差别较大,并且灰度直方图的双峰中的峰谷比较明显,比较好确定阈值。



(a) 显微图像获得的微生物灰度图



(b) 图像二值化分离出目标物体



(c) 获取目标物体边缘

图 1-4 显微图像处理实例