



普通高等教育“十二五”规划教材

# 数字图像处理 及MATLAB实现

(第2版)

◎ 主编: 杨 杰

◎ 副主编: 黄朝兵



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

013057235

TN911.73  
54-2

内容简介

本书是2010年出版的教材《数字图像处理》的修订版。本书在保持原书基本结构和主要内容的基础上，对全书进行了全面的修订。全书共分10章，第1章介绍数字图像处理的基本概念、方法和应用；第2章介绍数字图像处理的基本原理；第3章介绍数字图像处理的基本算法；第4章介绍数字图像处理的基本应用；第5章介绍数字图像处理的基本应用；第6章介绍数字图像处理的基本应用；第7章介绍数字图像处理的基本应用；第8章介绍数字图像处理的基本应用；第9章介绍数字图像处理的基本应用；第10章介绍数字图像处理的基本应用。

# 数字图像处理及 MATLAB 实现

## (第2版)

杨杰 主编

黄朝兵 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1669291

TN911.73

54-2

01302532

## 内 容 简 介

本书是在 2010 年出版的教材基础上做了修改、补充和完善。书中主要介绍了数字图像处理的基础知识、基本方法、程序实现和典型实践应用。全书分 3 部分共 10 章。第 1 部分（第 1~4 章）介绍数字图像处理的基础知识；第 2 部分（第 5~8 章）介绍数字图像处理的各种技术；第 3 部分（第 9~10 章）介绍数字图像处理的扩展内容。在每章的内容安排上，都是从介绍问题的背景开始，接着讲述基本内容和方法，然后介绍实践应用（通过 MATLAB 软件编程），最后进行结果分析。本书内容系统性强，重点突出，理论、应用与实际编程紧密结合，理论与实例并重，同时也能满足双语教学的部分要求和对本课程的专业英语词汇的学习。

本书可作为普通高等院校电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术、生物医学工程、电气工程及其自动化、控制科学与工程等相关专业的本科生及研究生教材，也可作为从事图像处理与分析、模式识别、人工智能和计算机应用研究与开发的工程技术人员的参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有，侵权必究。

### 图书在版编目（CIP）数据

数字图像处理及 MATLAB 实现 / 杨杰主编. —2 版. —北京：电子工业出版社，2013.8  
ISBN 978-7-121-20989-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 158036 号

责任编辑：董亚峰

印 刷：北京市李史山胶印厂

装 订：北京市李史山胶印厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：19 字数：488 千字

印 次：2013 年 8 月第 1 次印刷

定 价：38.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

# 前 言

近几十年来，由于大规模集成电路技术和计算机技术的迅猛发展、离散数学理论的创立和完善，数字图像处理技术正逐渐成为其他科学技术领域中不可缺少的一项重要工具。数字图像处理技术也在从空间探索到微观研究、从军事领域到工农业生产、从科学教育到娱乐游戏等越来越多的领域得到广泛应用。

针对数字图像处理课程概念多、内容抽象、读者入门较难的特点，本书以实践为导向，以实际应用为目标来介绍数字图像处理的基本概念和基础知识。数字图像处理主要研究内容包括图像变换、图像增强、图像复原、图像压缩、图像分割等，它是一门实用而综合性的边缘学科。本书在介绍数字图像处理技术基础理论及算法原理的同时，还特别注意如何用MATLAB 软件编程实现一些常用的图像处理的典型算法，使读者能够深刻理解和掌握图像处理的理论和方法，并注重实际应用。

本书每章附有习题，帮助读者巩固所学的知识点；我们还编写了与本书配套的《数字图像处理及 MATLAB 实现——学习与实验指导》，便于读者学习和上机实验；另配有电子课件，便于教师教学和学生自学。

本书第 1、2 章由杨杰编写，第 3、4 章由李庆编写，第 5、6 章由郑林编写，第 7 章由聂明新和许建霞编写，第 8 章由王昱编写，第 9、10 章由黄朝兵编写。全书由杨杰统稿，黄朝兵和李庆对部分章节程序进行了整理。另外，李俊鹤、熊玮佳、钟琴、董天昶等参加了部分文字的录入、程序调试、插图和校对工作。在编写本书过程中参考了大量的图像处理文献，作者对这些文献的作者表示真诚的感谢。

本书的编写得到武汉理工大学信息工程学院的大力支持，作者在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2013 年 5 月

3.1 概述 (Introduction) ..... 29

3.2 点运算 (Point Operation) ..... 29

3.2.1 线性点运算 (Linear Point Operation) ..... 30

3.2.2 非线性点运算 (Non-linear Point Operation) ..... 30

3.2.3 加法运算 (Addition) ..... 31

3.2.4 减法运算 (Subtraction) ..... 32

3.2.5 乘法运算 (Multiplication) ..... 36

3.2.6 除法运算 (Division) ..... 37

3.2.7 逻辑运算 (Logical Operation) ..... 37

# 目 录

**第1章 概述** ..... 1

1.1 数字图像处理及特点 (Characteristics and Processing of Digital Image) ..... 1

1.1.1 数字图像与数字图像处理 (Digital Images and Digital Image Processing) ..... 1

1.1.2 数字图像处理的特点 (Characteristics of Digital Image Processing) ..... 2

1.2 数字图像处理系统 (System of Digital Image Processing) ..... 3

1.2.1 数字图像处理系统的结构 (Structure of Digital Image Processing System) ..... 3

1.2.2 数字图像处理的优点 (Advantages of Digital Image Processing) ..... 4

1.3 数字图像处理的主要研究内容 (Research Content in Digital Image Processing) ..... 5

1.4 数字图像处理的应用和发展 (Applications and Development of Digital Image Processing) ..... 6

1.4.1 数字图像处理的应用 (Applications of Digital Image Processing) ..... 6

1.4.2 数字图像处理领域的发展动向 (Future Direction in the Field of Digital Image Processing) ..... 10

1.5 全书内容简介 (Brief Introduction of This Book) ..... 11

小结 (Summary) ..... 12

习题 (Exercises) ..... 12

**第2章 数字图像处理的基础** ..... 13

2.1 人类的视觉感知系统 (Visual System of Human Beings) ..... 13

2.1.1 视觉系统的基本构造 (Basic Structure of Visual System) ..... 13

2.1.2 亮度适应和鉴别 (Intensity Adaption and Identification) ..... 15

2.2 数字图像的基础知识 (Basics of Digital Image) ..... 18

2.2.1 图像数字化及表达 (Image Digitalization and Representation) ..... 18

2.2.2 图像的获取 (Image Acquisition) ..... 19

2.2.3 像素间的基本关系 (Basic Relationships between Pixels) ..... 22

2.2.4 图像的分类 (Image Classification) ..... 24

小结 (Summary) ..... 28

习题 (Exercises) ..... 28

<b>第 3 章 图像基本运算</b> .....	29
3.1 概述 (Introduction) .....	29
3.2 点运算 (Point Operation) .....	29
3.2.1 线性点运算 (Linear Point Operation) .....	30
3.2.2 非线性点运算 (Non-Linear Point Operation) .....	31
3.3 代数运算与逻辑运算 (Algebra and Logical Operation) .....	33
3.3.1 加法运算 (Addition) .....	33
3.3.2 减法运算 (Subtraction) .....	35
3.3.3 乘法运算 (Multiplication) .....	36
3.3.4 除法运算 (Division) .....	37
3.3.5 逻辑运算 (Logical Operation) .....	38
3.4 几何运算 (Geometric Operation) .....	38
3.4.1 图像的平移 (Image Translation) .....	39
3.4.2 图像的镜像 (Image Mirror) .....	41
3.4.3 图像的旋转 (Image Rotation) .....	42
3.4.4 图像的缩放 (Image Zoom) .....	43
3.4.5 灰度重采样 (Gray Resampling) .....	46
小结 (Summary) .....	49
习题 (Exercises) .....	49
<b>第 4 章 图像变换</b> .....	50
4.1 连续傅里叶变换 (Continuous Fourier Transform) .....	50
4.2 离散傅里叶变换 (Discrete Fourier Transform) .....	51
4.3 快速傅里叶变换 (Fast Fourier Transform) .....	52
4.4 傅里叶变换的性质 (Properties of Fourier Transform) .....	54
4.4.1 可分离性 (Separability) .....	54
4.4.2 平移性质 (Translation) .....	55
4.4.3 周期性和共轭对称性 (Periodicity and Conjugate Symmetry) .....	57
4.4.4 旋转性质 (Rotation) .....	58
4.4.5 分配律 (Distribution Law) .....	58
4.4.6 尺度变换 (Scaling) .....	59
4.4.7 平均值 (Average Value) .....	60
4.4.8 卷积定理 (Convolution Theorem) .....	61
4.5 图像傅里叶变换实例 (Examples of Image Fourier Transform) .....	61
4.6 其他离散变换 (Other Discrete Transform) .....	64
4.6.1 离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform) .....	64
4.6.2 二维离散沃尔什-哈达玛变换 (Walsh-Hadamard Transform) .....	67
4.6.3 卡胡楠-列夫变换 (Kahunen-Loeve Transform) .....	71

小结 (Summary) .....	72
习题 (Exercises) .....	73
<b>第 5 章 图像增强</b> .....	<b>74</b>
5.1 图像增强的概念和分类 (Concepts and Categories of Image Enhancement) .....	74
5.2 空间域图像增强 (Image Enhancement in the Spatial Domain) .....	75
5.2.1 基于灰度变换的图像增强 (Image Enhancement based on Gray Levels) .....	75
5.2.2 基于直方图处理的图像增强 (Image Enhancement based on Histogram Processing) .....	78
5.2.3 空间域滤波增强 (Spatial Filtering Enhancement) .....	83
5.3 频率域图像增强 (Image Enhancement in the Frequency Domain) .....	90
5.3.1 频率域图像增强基本理论 (Fundamentals of Image Enhancement in the Frequency Domain) .....	90
5.3.2 频率域平滑滤波器 (Frequency Smoothing Filters) .....	91
5.3.3 频率域锐化滤波器 (Frequency Sharpening Filters) .....	94
5.3.4 同态滤波器 (Homomorphic Filters) .....	95
小结 (Summary) .....	98
习题 (Exercises) .....	98
<b>第 6 章 图像复原</b> .....	<b>100</b>
6.1 图像复原及退化模型基础 (Fundamentals of Image Restoration and Degradation Model) .....	100
6.1.1 图像退化的原因及退化模型 (Causes of Image Degradation and Degradation Model) .....	101
6.1.2 图像退化的数学模型 (Mathematic Model of Image Degradation) .....	103
6.1.3 复原技术的概念及分类 (Concepts and Categories of Restoration) .....	104
6.2 噪声模型 (Noise Models) .....	105
6.2.1 一些重要噪声的概率密度函数 (Some Important Noise Probability Density Functions) .....	105
6.2.2 噪声参数的估计 (Estimation of Noise Parameters) .....	108
6.3 空间域滤波复原 (Restoration with Spatial Filtering) .....	109
6.3.1 均值滤波器 (Mean Filters) .....	109
6.3.2 顺序统计滤波器 (Order-Statistics Filters) .....	112
6.4 频率域滤波复原 (Restoration with Frequency Domain Filtering) .....	115
6.4.1 带阻滤波器 (Bandreject Filters) .....	116
6.4.2 带通滤波器 (Bandpass Filters) .....	118
6.4.3 其他频率域滤波器 (Other Filters in Frequency Domain) .....	118
6.5 估计退化函数 (Estimating the Degradation Function) .....	120
6.5.1 图像观察估计法 (Estimation by Image Observation) .....	120

6.5.2	试验估计法 (Estimation by Experimentation)	120
6.5.3	模型估计法 (Estimation by Modeling)	121
6.6	逆滤波 (Inverse Filtering)	123
6.7	最小均方误差滤波-维纳滤波 (Minimum Mean Square Error Filtering-Wiener Filtering)	124
6.8	几何失真校正 (Geometric Distortion Correction)	127
6.8.1	空间变换 (Spatial Transformation)	128
6.8.2	灰度插值 (Gray-Level Interpolation)	130
6.8.3	实现 (Implementation)	130
	小结 (Summary)	133
	习题 (Exercises)	134
<b>第 7 章</b>	<b>图像压缩编码</b>	<b>135</b>
7.1	概述 (Introduction)	135
7.1.1	图像的信息量与信息熵 (Information Content and Entropy)	135
7.1.2	图像数据冗余 (Image Data Redundancy)	137
7.1.3	图像压缩编码方法 (Coding Methods of Image Compression)	139
7.1.4	图像压缩技术的性能指标 (Evaluation Index of Image Compression Approaches)	139
7.1.5	保真度准则 (Fidelity Criteria)	141
7.2	无失真图像压缩编码 (Lossless Image Compression)	142
7.2.1	哈夫曼编码 (Huffman Coding)	142
7.2.2	游程编码 (Run-Length Coding)	144
7.2.3	算术编码 (Arithmetic Coding)	147
7.3	有限失真图像压缩编码 (Lossy Image Compression)	149
7.3.1	率失真函数 (Rate Distortion Function)	150
7.3.2	预测编码和变换编码 (Prediction Coding and Transform Coding)	151
7.3.3	矢量量化编码 (Vector Quantification Coding)	159
7.4	图像编码新技术 (New Image Coding Technology)	161
7.4.1	子带编码 (Subband Coding)	161
7.4.2	模型基编码 (Model-Based Coding)	162
7.4.3	分形编码 (Fractal Coding)	163
7.5	图像压缩技术标准 (Image Compression Standards)	163
7.5.1	概述 (Introduction)	163
7.5.2	JPEG 压缩 (JPEG Compression)	164
7.5.3	JPEG 2000	165
7.5.4	H.26x 标准 (H.26x Standards)	167
7.5.5	MPEG 标准 (MPEG Standards)	167
	小结 (Summary)	168
	习题 (Exercises)	169



第 8 章 图像分割 .....	170
8.1 概述 (Introduction) .....	170
8.2 边缘检测和连接 (Edge Detection and Connection) .....	172
8.2.1 边缘检测 (Edge Detection) .....	172
8.2.2 边缘连接 (Edge Connection) .....	180
8.3 阈值分割 (Image Segmentation using Threshold) .....	183
8.3.1 基础 (Foundation) .....	183
8.3.2 全局阈值 (Global Threshold) .....	184
8.3.3 自适应阈值 (Adaptive Threshold) .....	189
8.3.4 最佳阈值的选择 (Optimal Threshold) .....	189
8.3.5 分水岭算法 (Watershed Algorithm) .....	190
8.4 区域分割 (Region Segmentation) .....	192
8.4.1 区域生长 (Region Growing) .....	192
8.4.2 区域分裂合并法 (Region Splitting and Merging) .....	195
8.5 二值图像处理 (Binary Image Processing) .....	196
8.5.1 数学形态学图像处理 (Mathematical Morphology Image Processing) .....	197
8.5.2 开运算和闭运算 (Open Operation and Close Operation) .....	201
8.5.3 一些基本形态学算法 (Some Basic Morphological Algorithms) .....	202
8.6 分割图像的结构 (Construction of Image Segmentation) .....	205
8.6.1 物体隶属关系图 (Relationships between Objects) .....	205
8.6.2 边界链码 (Edge Chain Code) .....	206
小结 (Summary) .....	206
习题 (Exercises) .....	207
第 9 章 彩色图像处理 .....	209
9.1 彩色图像基础 (Fundamentals of Color Image) .....	209
9.1.1 彩色图像的概念 (Concepts of Color Image) .....	209
9.1.2 彩色基础 (Color Fundamentals) .....	210
9.2 彩色模型 (Color Models) .....	214
9.2.1 RGB 模型 (RGB Color Model) .....	215
9.2.2 CMY 和 CMYK 模型 (CMY and CMYK Color Model) .....	217
9.2.3 HSI 模型 (HSI Color Model) .....	218
9.3 伪彩色处理 (Pseudocolor Image Processing) .....	221
9.3.1 背景 (Background) .....	221
9.3.2 强度分层 (Intensity Slicing) .....	222
9.3.3 灰度级到彩色变换 (Transformation of Gray Levels to Color) .....	223
9.3.4 假彩色处理 (False-Color Image Processing) .....	226
9.4 全彩色图像处理 (Full-Color Image Processing) .....	227
9.4.1 全彩色图像处理基础 (Basics of Full-Color Image Processing) .....	227
9.4.2 彩色平衡 (Color Balance) .....	228

9.4.3 彩色图像增强 (Color Image Enhancement) .....	230
9.4.4 彩色图像平滑 (Color Image Smoothing) .....	233
9.4.5 彩色图像锐化 (Color Image Sharpening) .....	234
9.5 彩色图像分割 (Color Image Segmentation) .....	236
9.5.1 HSI 彩色空间分割 (Segmentation in HSI Color Space) .....	236
9.5.2 RGB 彩色空间分割 (Segmentation in RGB Color Space) .....	237
9.5.3 彩色边缘检测 (Color Edge Detection) .....	239
9.6 彩色图像处理的应用 (Applications of Color Image Processing) .....	242
小结 (Summary) .....	245
习题 (Exercises) .....	245
<b>第 10 章 图像表示与描述</b> .....	<b>247</b>
10.1 背景 (Background) .....	247
10.2 颜色特征 (Color Feature) .....	248
10.2.1 灰度特征 (Intensity Feature) .....	248
10.2.2 直方图特征 (Histogram Feature) .....	249
10.2.3 颜色矩 (Color Moments) .....	251
10.3 纹理特征 (Representation of Image Texture) .....	251
10.3.1 自相关函数 (Autocorrelation Function) .....	252
10.3.2 灰度差分统计 (Statistics of Intensity Difference) .....	253
10.3.3 灰度共生矩阵 (Gray-Level Co-occurrence Matrix) .....	255
10.3.4 频谱特征 (Spectrum Features) .....	258
10.4 边界特征 (Boundary Feature) .....	261
10.4.1 边界表达 (Boundary Representation) .....	261
10.4.2 边界特征描述 (Boundary Description) .....	265
10.5 区域特征 (Region Feature) .....	269
10.5.1 简单的区域描述 (Simple Region Descriptors) .....	269
10.5.2 拓扑描述 (Topological Descriptors) .....	274
10.5.3 形状描述 (Shape Descriptors) .....	275
10.5.4 矩 (Moment) .....	276
10.6 运用主成分进行描述 (Use of Principal Components for Description) .....	279
10.6.1 主成分基础 (Fundamentals of Principal Components Analysis) .....	279
10.6.2 主成分描述 (Description by Principal Components Analysis) .....	282
10.7 特征提取的应用 (Application of Feature Extraction) .....	284
10.7.1 粒度测定 (Granularity Mensuration) .....	284
10.7.2 圆形目标判别 (Circle Shape Recognition) .....	286
10.7.3 运动目标特征提取 (Feature Extraction of Moving Object) .....	288
小结 (Summary) .....	291
习题 (Exercises) .....	291
<b>参考文献</b> .....	<b>293</b>

# 第1章 概 述

(Introduction)

21 世纪是一个充满信息的时代, 图像作为人类感知世界的视觉基础, 是人类获取信息、表达信息和传递信息的重要手段。数字图像处理技术已经成为信息科学、计算机科学、工程科学、生物科学、地球科学等学科研究的热点。本章主要介绍有关数字图像处理中的基本概念、特点以及数字图像处理系统的构成、主要研究内容、应用领域和未来发展方向。

Images constitute the basics of visual information that mankind can acquire. The acquisition and processing of images, as well as the post-processing transmission, has become a very active research area. The superiority of digital image processing results its growing popularity in information science, computer science, engineering science, biology and earth science. This chapter mainly introduces the basic concepts and the constructions of digital image processing, as well as its applications and future directions.

## 1.1 数字图像处理及特点 (Characteristics and Processing of Digital Image)



### 1.1.1 数字图像与数字图像处理 (Digital Images and Digital Image Processing)

#### 1. 数字图像

我们在生产、科研或日常生活中看到的场景图像, 包含着物体的“大量”的信息, 通过感觉、知觉、记忆、认知、搜索形成概念, 直到最终理解和识别视觉刺激。据统计, 人类从自然界获取的信息中, 视觉信息占 75%~85%。俗话说“百闻不如一见”, 图像对有些场景或事物的描述可以做到“一目了然”。

“图”是物体透射或反射光的分布, 是客观存在的。“像”是人的视觉系统对图的接受在大脑中形成的印象或反映, 图像是图和像的有机结合, 是客观世界能量或状态以可视化形式在二维平面上的投影, 是其所表示物体的信息的一个浓缩和高度概括, 是对客观存在的物体的一种相似性的生动模仿或描述。数字图像则是物体的一个数字表示, 是以数字格式存放的

图像,它是目前社会生活中最常见的一种信息媒体,它传递着物理世界事物状态的信息,是人类获取外界信息的主要途径。

## 2. 数字图像处理

数字图像处理又称为计算机图像处理,它是指将图像信号转换成数字信号并利用计算机对其进行处理的过程,以提高图像的实用性,达到人们所要求的预期结果。从处理的目的来讲主要有:

- (1) 提高图像的视觉质量,以达到赏心悦目的目的;
- (2) 提取图像中所包含的某些特征或特殊信息,便于计算机分析;
- (3) 对图像数据进行变换、编码和压缩,便于图像的存储和传输。

数字图像处理技术是计算机技术、信息论和信号处理相结合的综合性学科。



### 1.1.2 数字图像处理的特点 (Characteristics of Digital Image Processing)

数字图像处理与模拟图像处理的根本不同在于,它不会因图像的存储、传输或复制等一系列变换操作而导致图像质量的退化,所以数字图像处理具有很好的再现性。按目前的技术,几乎可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组,现代扫描仪可以把每个像素的灰度等级量化为 16 位甚至更高,这意味着图像的数字化精度可以达到满足任一应用需求的处理精度;所处理的图像可以来自多种信息源,它们可以是可见光图像,也可以是不可见的波谱图像(如 X 射线图像、超声波图像或红外图像等),具有较宽的适用面;从图像反映的客观实体尺度看,可以小到电子显微镜图像,大到航空照片、遥感图像甚至天文望远镜图像。

图像处理大体上可分为图像的像质改善、图像分析和图像重建三大部分,每一部分均包含丰富的内容。由于图像的光学处理从原理上讲只能进行线性运算,这极大地限制了光学图像处理能实现的目标。而数字图像处理不仅能完成线性运算,而且能实现非线性处理,即凡是可以数学公式或逻辑关系来表达的一切运算均可用数字图像处理实现,具有很高的灵活性。除此以外,数字图像处理还有以下特点。

(1) 处理信息量很大。数字图像处理的信息大多是二维信息,如一幅  $256 \times 256$  低分辨率黑白图像,要求约 64Kb 的数据量;对中等分辨率真彩色  $640 \times 480$  图像,则要求 7.37Mb 数据量;如果要处理 25fps 的电视图像序列,则每秒要求 184Mb 数据量。因此对计算机的计算速度、存储容量等要求较高。

(2) 数字图像处理占用的频带较宽。与语音信息相比,占用的频带要大几个数量级。如电视图像的带宽约 5.6MHz,而语音带宽仅为 4kHz 左右。所以在成像、传输、存储、处理、显示等各个环节的实现上,技术难度较大,成本也高,这就对频带压缩技术提出了更高的要求。

(3) 数字图像中各个像素相关性大。在图像画面上,经常有很多像素有相同或接近的灰度。就电视画面而言,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,其相关系数可达 0.9 以上,而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性还要大些。因此,图像处理中信息压缩的潜力很大。

另外,由于图像是三维景物的二维投影,一幅图像本身不具备复现三维景物的全部几何信息的能力,很显然三维景物背后部分信息在二维图像画面上是反映不出来的。因此,要分析和理解三维景物就必须做合适的假设或附加新的测量,例如,双目图像或多视点图像。在理解三维景物时需要知识导引,这也是人工智能中正在致力解决的知识工程问题。

最后, 数字图像处理后的图像一般是给人观察和评价的, 因此受人的因素影响较大。由于人的视觉系统很复杂, 受环境条件、视觉性能、人的情绪爱好及知识状况影响很大, 作为图像质量的评价还有待进一步深入的研究。另外, 计算机视觉是模仿人的视觉, 人的感知机理必然影响着计算机视觉的研究。例如, 什么是感知的初始基元, 基元是如何组成的, 局部与全局感知的关系, 优先敏感的结构、属性和时间特征等, 这些都是心理学和神经心理学正在着力研究的课题。

## 1.2 数字图像处理系统 (System of Digital Image Processing)



### 1.2.1 数字图像处理系统的结构 (Structure of Digital Image Processing System)

数字图像处理系统所处理的信息量是十分庞大的, 对处理速度和精度都有一定的要求。目前的数字图像处理系统有各种各样的结构, 其商品化产品的种类也较多, 但不论何种用途, 一般数字图像处理系统是由图像数字化设备、图像处理计算机和图像输出设备等组成, 如图 1.1 所示。

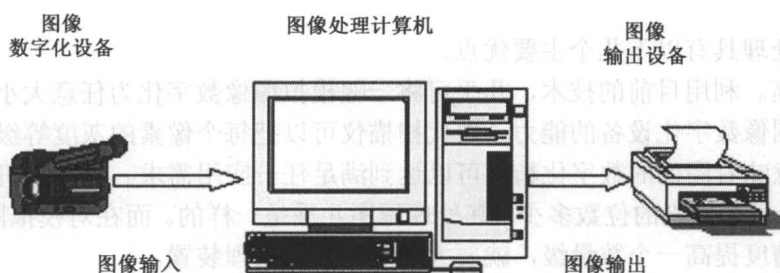


图 1.1 数字图像处理系统

图像数字化设备将图像输入的模拟物理量 (如光、超声波、X 射线等信息) 转变为数字化的电信号, 以供计算机处理, 可以是扫描仪、数码相机、摄像机与图像采集卡等。图像处理计算机系统是以软件方式完成对图像的各种处理和识别, 是数字图像处理系统的核心部分。由于图像处理的信息量大, 还必须要有外存储器, 如硬盘、移动硬盘、光盘、闪存等。图像输出设备则是将图像处理的中间结果或最后结果显示或打印记录。图像处理的工作过程可用图 1.2 表示。

连续的模拟电信号首先由 A/D 变换器转换为离散的数字信号, 以便于数字计算机运算处理。由于实际景物转换为图像信息时, 总会引入各种噪声或失真, 一般需要先进行图像预处理, 可采用图像增强或复原技术, 使图像质量在一定程度上得到提高; 有时还采用图像编码压缩技术大大减少信息量, 以满足对计算机存储容量和传输通道的要求。

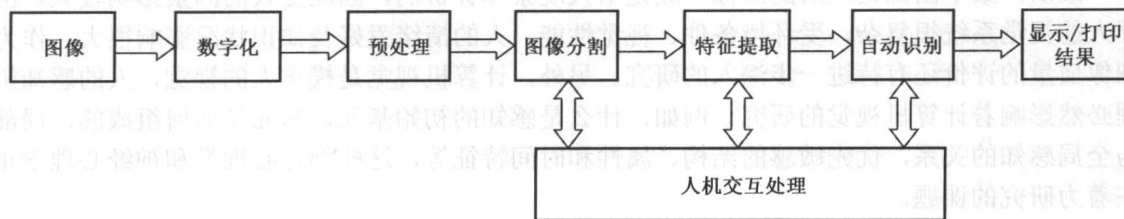


图 1.2 图像处理的工作过程

如果为了自动识别图像中的某些内容, 检测出某些特有的模式 (如目标图形), 以识别图像中感兴趣目标的性质, 就需要用图像分割技术, 将图像分割为一组较简单的部分, 并抽取一些能表示目标特征的信息, 用有意义的描绘形式将它们组织起来, 使计算机能自动地识别或分类。最后, 计算机处理结果通过输出设备显示或打印。

如果图像处理只要求达到改善图片质量的目的, 一般到预处理即可完成, 这通常称为图像预处理系统。如果不仅要改善图片质量, 而且要求自动识别, 就需图 1.2 的全过程, 这通常称为图像处理和识别系统。

在一些专用的图像处理系统中, 常用一些硬件化的图像处理器 (功能部件) 来进行一些特定的处理, 如进行一维或二维数字滤波、快速傅里叶变换 (FFT)、微分边缘检测、统计判决分类等。这些处理器往往采用并行处理的结构来提高处理速度。



## 1.2.2 数字图像处理的优点 (Advantages of Digital Image Processing)

数字图像处理具有以下几个主要优点。

(1) 精度高。利用目前的技术, 几乎可将一幅模拟图像数字化为任意大小的二维数组, 这主要取决于图像数字化设备的能力。现代扫描仪可以把每个像素的灰度等级量化为 16 位甚至更高, 这意味着图像的数字化精度可以达到满足任一应用需求。对计算机而言, 不论数组大小, 也不论每个像素的位数多少, 其处理程序几乎是一样的。而在对模拟图像的处理中, 为了要把处理精度提高一个数量级, 就要大幅度地改进处理装置。

(2) 再现性好。数字图像均用数组或数组集合表示, 并在计算机内部进行处理, 这样数据就不会丢失或遭到破坏, 保持了完好的再现性。而在模拟图像处理过程中, 就会因为各种干扰因素而无法保持图像的再现性。

(3) 通用性、灵活性强。不管是可视图像还是 X 光图像、热红外图像、超声波图像等不可见光图像, 尽管这些图像生成体系中的设备规模和精度各不相同, 但当把这些图像数字化后, 都可进行同样处理, 即具有很强通用性。另外, 计算机可对图像进行上下滚动、漫游、拼接、合成、变换、放大、缩小和各种逻辑运算等多种方式的处理, 所以灵活性很高。

图像处理发展的最大困难之一是图像数据量大、处理运算量大, 这一问题将随着高速大规模集成电路、大容量存储器的发展而逐渐得到解决。

## 1.3 数字图像处理的主要研究内容 (Research Content in Digital Image Processing)

数字图像处理技术经过多年的发展,经历了从静止图像到活动图像、从单色图像到彩色图像、从客观图像到主观图像、从二维图像到三维图像的发展历程。特别是与计算机图形学的结合已能产生高度逼真、非常纯净、更有创造性的图像。但就基本处理方式来说,数字图像处理研究的内容主要有以下几个方面。

### 1. 图像增强

图像增强是用于改善图像视感质量所采取的一种方法。图像增强的主要目的是突出图像中人所感兴趣的部分,如强化图像高频分量,可使图像中物体轮廓清晰,细节明显。因为增强技术并非是针对图像的某种退化所采取的方法,所以很难预测哪一种特定技术是最好的,只能通过试验和分析误差来选择一种合适的方法。有时可能需要彻底改变图像的视觉效果,以便突出重要特征的可观察性,使人或计算机更易观察或检测。

### 2. 图像编码

图像编码主要是利用图像信号的统计特性和人类视觉的生理学及心理学特性,对图像信号进行高效编码,即研究数据压缩技术,目的是在保证图像质量的前提下压缩数据,便于存储和传输,以解决数据量大的矛盾。一般来说,图像编码的目的有三个:①减少数据存储量;②降低数据速率以减少传输带宽;③压缩信息量,便于特征提取,为后续识别做准备。

### 3. 图像复原

图像复原主要目的是尽可能恢复图像本来面貌,是对图像整体而言的,而且在复原处理时往往必须追究图像降质的原因。而增强考虑的往往是图像的局部,而且也不一定要追究图像变差的原因。图像复原最关键的是对每种退化都需要有一个合理的模型。例如,掌握了聚焦不良成像系统的物理特性,便可建立复原模型,而且对获取图像的特定光学系统的直接测量也是可能的。退化模型和特定数据一起描述了图像的退化,因此,复原技术是基于模型和数据的图像恢复,其目的是消除退化的影响,从而产生一个等价于理想成像系统所获得的图像。

### 4. 图像分割

把图像按其灰度或集合特性分割成若干区域的过程就是图像分割,这是进一步进行图像处理(如模式识别、机器视觉等技术)的基础。图像中通常包含多个对象,例如,一幅医学图像中显示出正常的或有病变的各种器官和组织。图像处理为达到识别和理解的目的,按照一定的规则将图像分割成若干区域,每个区域代表被成像的一个物体(或部分)。

### 5. 图像分类

图像分类是随着图像处理技术的深入和发展,将图像经过某些预处理(压缩、增强、复

原)后,再将图像中 useful 物体的特征进行分割、特征提取,把不同类别的目标区分开来的图像处理方法。图像分类也可以认为是模式识别的一个分支。

模式识别是数字图像处理的又一个研究领域。当今,模式识别方法大致有三种,即统计识别法、句法结构识别法和模糊识别法。统计识别法侧重于特征,句法结构识别法侧重于结构和基元,模糊识别法是把模糊数学的一些概念和理论用于识别处理。

## 6. 图像重建

图像重建与上述图像增强、图像复原等不同。图像增强、图像复原的输入是图像,处理后输出的结果也是图像,而图像重建是指从数据到图像的处理,即输入的是某种数据,而经过处理后得到的结果是图像。CT(电子计算机 X 射线断层扫描)就是图像重建处理的典型应用实例。目前,图像重建与计算机图形学相结合,把多个二维图像合成三维图像,并加以光照模型和各种渲染技术,能生成各种具有强烈真实感的高质量图像。

# 1.4 数字图像处理的应用和发展

## (Applications and Development of Digital Image Processing)



### 1.4.1 数字图像处理的应用 (Applications of Digital Image Processing)

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人类生活和工作的方方面面。数字图像处理的发展开始于 20 世纪 60 年代初期,首次获得实际应用是美国喷气推进实验室(JPL),该实验室成功地对大批月球照片进行处理。而数字图像处理技术在此后的几十多年的时间里,迅速发展成一门独立的具有强大生命力的学科,随着计算机技术和半导体工业的发展,数字图像处理技术将更加迅速地广度和深度发展。

#### 1. 航天和航空技术方面的应用

航空遥感和卫星遥感图像需要用数字技术加工处理,并提取有用的信息。主要用于地形地质,矿藏探查,森林、水利、海洋、农业等资源调查,自然灾害预测预报,环境污染监测,气象卫星云图处理及地面军事目标的识别。如 JPL 对月球、火星照片的处理。在航空遥感和卫星遥感技术中,许多国家每天派出很多侦察飞机对地球上感兴趣的地区进行大量的空中摄影,对由此得来的照片进行处理分析,以前需要雇用几千人,而现在改用配备有高级计算机的图像处理系统来判读分析,既节省人力,又加快了速度,还可以从照片中提取人工所不能发现的大量有用情报。图 1.3~图 1.5 为航天和航空技术方面的应用例子。

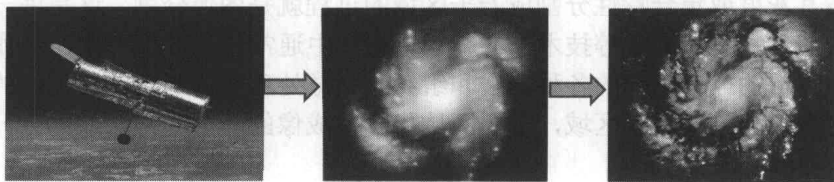


图 1.3 图像的修复

(1990 年发射的“哈勃”号太空望远镜拍摄超远距离的物体,借助于图像处理技术进行修复)



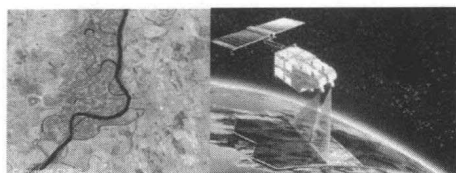


图 1.4 遥感图像监测 (森林火灾监护)



图 1.5 夜间灯光数据图像 (提供人类居住区的情况)

## 2. 生物医学工程方面的应用

图像处理在医学界的应用非常广泛,无论是在临床诊断还是病理研究方面都大量采用图像处理技术,它的直观、无创伤、安全方便的优点受到普遍的欢迎与接受。其主要应用有 X 射线照片的分析,血球计数与染色体分类等。目前广泛应用于临床诊断和治疗的各种成像技术,如超声波诊断等都用到图像处理技术。有人认为计算机图像处理在医学上应用最成功的例子就是 X 射线 CT (X-ray Computed Tomography)。1968—1972 年英国的 EMI 公司的 Hounsfield 研制了头部 CT,1975 年又研制了全身 CT。其中主要研制者 Hounsfield (英)和 Comrack (美)获得了 1979 年的诺贝尔生理医学奖。类似的设备目前已有多种,如核磁共振 CT (NMRI, Nuclear Magnetic Resonance Imaging)、电阻抗断层图像技术 (Electrical Impedance Tomography, EIT) 和阻抗成像 (Impedance Imaging),这是一种利用人体组织的电特性 (阻抗、导纳、介电常数) 形成人体内部图像的技术。图 1.6~图 1.9 为生物医学工程方面的应用例子。

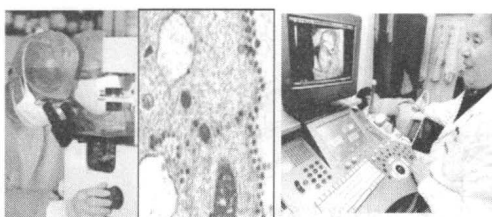


图 1.6 SARS 冠状病毒图像

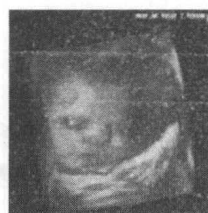


图 1.7 医学超声成像

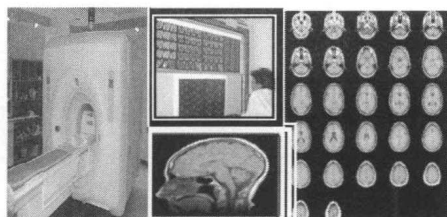


图 1.8 CT 图像处理

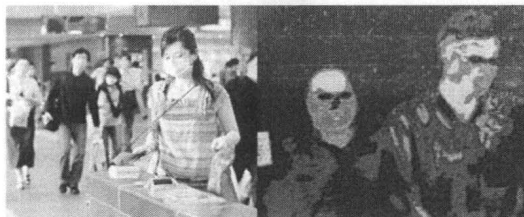


图 1.9 红外体温检测图像

## 3. 通信工程方面的应用

当前通信的主要发展方向是声音、文字、图像和数据结合的多媒体通信,具体地讲是将电话、电视和计算机信号以三网合一的方式在数字通信网上传输。其中以图像通信最为复杂和困难,因为图像的数据量十分巨大,如传送彩色电视信号的速率达 100Mbps 以上。要将这样高速率的数据实时传送出去,必须采用编码技术来压缩信息的比特量。在一定意义上讲,编码压缩是这些技术成败的关键。除了应用较广泛的熵编码、DPCM 编码、变换编码外,目前国内外正在大力开发研究新的编码方法,如分形编码、自适应网络编码、小波变换图像压缩编码等。图 1.10~图 1.15 为通信工程方面的应用例子。