



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
江苏省精品教材

◎ 电子信息科学与工程专业 规划教材

# 数字图像处理

## (第2版)

◎ 胡学龙 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
江苏省精品教材  
电子信息科学与工程专业规划教材

# 数字图像处理

## (第2版)

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材、江苏省精品教材、江苏省研究生优秀课程的主要参考书。本书强调现代数字图像处理理论与应用的紧密结合,在阐述基本原理的基础上,通过习题、实验和计算机软件工具介绍实现图像处理的基本方法。全书共10章,主要内容包括数字图像的发展简史、基本图像处理系统,图像数字化与显示,图像变换,图像增强,图像编码与压缩,图像复原,图像分割,彩色图像处理,数学形态学及其应用,图像处理软件、图像的数字水印、图像分析系统、图像数据库与基于内容的检索、图像存档与通信系统、图像融合等。本书配套电子课件、习题参考答案和课程网站。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、自动化等专业高年级本科生教材,也可作为相关专业研究生的教学参考书,还可供相关工程技术人员学习参考。

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/胡学龙编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2011.4

电子信息科学与工程专业规划教材

ISBN 978-7-121-13115-8

I. ①数… II. ①胡… III. ①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(2011)第045041号

策划编辑:王羽佳

责任编辑:王羽佳 特约编辑:王 崧

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

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:15 字数:400千字

印 次:2011年4月第1次印刷

印 数:5000册 定价:29.80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 zlts@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

在人类获取外界信息的渠道中，由眼睛感受的视觉信息占据举足轻重的地位。除了自然景观外，大量由计算机处理和生成的图像丰富了视觉的范畴，成为多媒体世界最重要的成员之一。图像处理产生于 20 世纪初，其发展速度之快、应用范围之广、与其他学科交叉之紧密，鲜有学科能与之相比。在 21 世纪，数字图像处理正以强劲的发展态势与后劲，朝着智能化、网络化、个人化、实时化等方向发展。近年来，图像处理技术在我国的研究科学与工程技术的振兴中做出了显著贡献，特别在宇航工程方面更是立下了汗马功劳！以 2007 年、2010 年“嫦娥”登月一期、二期工程为例，我国的“嫦娥一号”和“嫦娥二号”卫星所携带的干涉成像光谱仪、激光高度计和 CCD 立体相机共同完成了月球表面三维立体影像的获取工作。

在本科阶段作为电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、自动化等专业的专业课，“数字图像处理”对提高学生认识和改造世界的能力大有裨益。虽然各专业对图像信号的获取、变换、压缩、处理及硬件与软件的实现要求不尽不同，学生兴趣点也有差异，但基本理论、基础知识、基本技能对于不同专业都是不可缺少的。

图像处理具有鲜明的学科交叉性。学习图像处理涉及众多知识领域。获取图像，要了解光传感器的结构和成像原理，涉及光学和电子学基础；为了表示图像，要用到数学分析、矩阵论、随机过程；对图像进行增强，要了解视觉的生理和心理特点；对图像进行压缩，必须了解信息论和编码的基本理论和方法；在计算机上实际进行图像处理时，对编程语言和软件工具 MATLAB、C++ 和 Photoshop 等也应该熟悉。现代图像处理技术更是将最新的理论和方法与本学科紧密结合，如数学形态学、人工神经网络（ANN）、模糊逻辑等，这些技术的引入使图像处理更加智能化。

本课程作为专业课，学时较少，但承接前面课程的概念较多，新概念也较多。如何有效地组织教材，使之成为一个有机的整体，是摆在我们面前的难题。20 多年来，对图像处理技术的研究，使我们感到图像处理技术博大精深。我们将教材编写视为创新性的工作，尽管国内外类似的教材较多，但我们希望在立足于吸收众多专家成果的基础上，反映我们对图像处理学习、讲授、指导研究生和从事科研实践的体会和感受。严谨、求实、创新，是我们编写本书的基本原则。

目前，国内外关于图像处理的教材大致有三类：一类偏重理论，以追求严谨、学科的完整性为主，相应概念的阐述比较抽象，数学公式较多，但实用性不够，比较适合于研究生使用。第二类是应用型教材，讲清基本理论、基本知识，结合具体的编程语言（如 MATLAB 和 C++ 等）验证相应的理论和算法，培养图像处理的基本技能，进一步指导读者自己设计图像处理软件或硬件系统，比较适合于工科本科生使用。还有一类教材，偏重工具在图像处理中的作用，以 Photoshop 等在图像处理中的应用为主要内容，实用性强但缺少系统性，比较适合于艺术类、工业设计类专业使用。显然，对于理工科的电气与电子信息类专业，我们立足于编写第二种类型的教材。为了便于教学，我们在书后列出了在双语教学实践中选取的图像处理专业英文词汇和 MATLAB 图像处理工具箱。

本书的第 1 版在读者和专家们的关爱下，获得了良好的社会声誉：2006 年被评为普通高

等教育“十一五”国家级规划教材，2007年被评为江苏省精品教材，2010年又成为江苏省研究生优秀课程“图像信号处理”的主要参考书。同时，数十所高等学校的使用也在不断推动着第2版的问世。

本书提供免费电子课件、习题参考答案和配套课程网站。请登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.on>)注册下载。

本书的修订工作由扬州大学胡学龙教授完成，姜楠和尹翔等老师，陆慧敏、田维、张敏、邹韬、沈洁等研究生也参与了修订工作。本书的修订工作得到了扬州大学各级领导的支持。在与日本九州工业大学芹川圣一(Seiichi SERIKAWA)教授联合培养研究生的过程中，本书的内容得到了不断充实。电子工业出版社各级领导和相关编辑的精心组织、细心审阅和修改保证了本书高质量地如期出版。书中还参考了大量国内外期刊、专著、教材和图片。在此一并表示衷心的感谢！

本书的编著工作得到江苏省第七批“六大人才高峰”高层次人才项目、江苏省图像处理与图像通信重点实验室开放研究课题(ZK206008)、2010年度扬州大学教改项目等科研项目的资助。

由于作者的教学和科研水平有限，书中难免有不当之处，敬请同行专家和读者不吝指正。同行专家、读者的宝贵意见将给我更大的激励，并有助于提高以后面世的新版本的内容质量和进一步提高该课程的教学质量。读者意见请反馈至 [yzudsp@126.com](mailto:yzudsp@126.com) 和 [wylj@phei.com.cn](mailto:wylj@phei.com.cn)。

作 者  
2011年3月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1	4.3 同态增晰 .....	72
1.1 数字图像处理及发展简史 .....	2	4.4 平滑 .....	73
1.2 图像处理的目的、任务与特点 .....	5	4.5 锐化 .....	79
1.3 基本的图像处理系统 .....	11	4.6 实验: 图像增强 .....	84
1.4 数字图像处理的应用与 发展趋势 .....	16	本章小结 .....	86
1.5 实验: 计算图像的基本 统计指标 .....	19	思考题与习题 .....	86
本章小结 .....	22	<b>第 5 章 图像编码与压缩</b> .....	88
思考题与习题 .....	22	5.1 概述 .....	89
<b>第 2 章 图像的数字化与显示</b> .....	23	5.2 统计编码 .....	93
2.1 连续图像的数学描述 .....	24	5.3 预测编码 .....	98
2.2 图像数字化的基本过程 .....	24	5.4 变换编码 .....	101
2.3 图像的量化方法 .....	29	5.5 二值图像编码 .....	106
2.4 图像输入/输出设备 .....	33	5.6 新型的图像压缩编码方法 .....	108
2.5 实验: 图像的数字化 .....	37	5.7 图像压缩编码标准 .....	110
本章小结 .....	38	5.8 实验: 图像编码与压缩 .....	115
思考题与习题 .....	38	本章小结 .....	116
<b>第 3 章 图像变换</b> .....	39	思考题与习题 .....	117
3.1 二维离散傅里叶变换 (DFT) .....	40	<b>第 6 章 图像复原</b> .....	118
3.2 二维离散余弦变换 (DCT) .....	45	6.1 图像退化原因与复原 技术分类 .....	119
3.3 二维离散沃尔什-哈达玛 变换 (DHT) .....	47	6.2 逆滤波复原 .....	122
3.4 卡胡南-列夫变换 (K-L 变换) .....	51	6.3 约束复原 .....	122
3.5 二维离散小波变换 .....	53	6.4 非线性复原方法 .....	127
3.6 实验: 图像变换 .....	59	6.5 盲图像复原 .....	131
本章小结 .....	60	6.6 几何失真校正 .....	134
思考题与习题 .....	61	6.7 实验: 图像复原 .....	136
<b>第 4 章 图像增强</b> .....	62	本章小结 .....	138
4.1 概述 .....	63	思考题与习题 .....	138
4.2 灰度修正 .....	64	<b>第 7 章 图像分割</b> .....	139
		7.1 概述 .....	140
		7.2 像素的邻域和连通性 .....	141
		7.3 图像的阈值分割技术 .....	143
		7.4 图像的边缘检测 .....	146

7.5 霍夫变换 .....	152	本章小结 .....	187
7.6 区域生长法 .....	154	思考题与习题 .....	187
7.7 图像分割方法的比较 .....	156	<b>第 10 章 数字图像处理的应用</b> .....	188
7.8 实验: 图像的边缘检测 .....	157	10.1 图像处理在数字水印上 的应用 .....	189
本章小结 .....	158	10.2 基于数学形态学的图像 颗粒度分析系统 .....	192
思考题与习题 .....	158	10.3 基于内容的图像检索 (CBIR) .....	196
<b>第 8 章 彩色图像处理</b> .....	159	10.4 数字化医院中的图像存档与 通信系统 (PACS) .....	205
8.1 人类视觉与色度学基础 .....	160	10.5 基于多分辨率分析的图像 融合方法 .....	212
8.2 颜色空间的表示及其转换 .....	161	10.6 Photoshop 图像处理 软件简介 .....	216
8.3 颜色空间的量化 .....	167	10.7 实验: Photoshop 图像 处理 .....	220
8.4 抖动技术 .....	168	本章小结 .....	222
8.5 假彩色处理 .....	168	思考题与习题 .....	222
8.6 彩色图像增强 .....	169	<b>附录 A 常用词汇中英文对照表</b> .....	223
8.7 实验: 彩色空间的 表示和转换 .....	171	<b>附录 B 常用 MATLAB 图像处理 工具箱函数</b> .....	229
本章小结 .....	173	<b>参考文献</b> .....	234
思考题与习题 .....	173		
<b>第 9 章 数学形态学及其应用</b> .....	174		
9.1 概述 .....	175		
9.2 二值形态学 .....	176		
9.3 灰值形态学 .....	178		
9.4 彩色形态学 .....	182		
9.5 实验: 数学形态学及其应用 .....	185		

# 第1章 绪 论

## 内容提要

本章介绍数字图像处理的发展简史、图像处理的任务、基本的图像处理系统、图像的各种表示形式，并简介 MATLAB 图像处理工具箱。

## 知识要点

- 图像、数字图像、像素。
- 图像处理、数字图像处理。
- 数字图像处理的目的、任务与特点。
- 典型的数字图像处理系统。
- 图像的基本统计特征。

## 教学建议

- 本章教学安排 2 学时，对全书的学习有一定的导读作用。
- 学习本课程的先修知识主要包括：线性代数中矩阵的表示与运算、随机过程、数字信号处理、微机原理、软件技术基础等。
- 重点让读者了解图像处理的任务、基本的图像处理系统、微机图像处理系统、数字图像的表达、MATLAB 图像处理工具箱的初步使用。



## 1.1 数字图像处理及发展简史

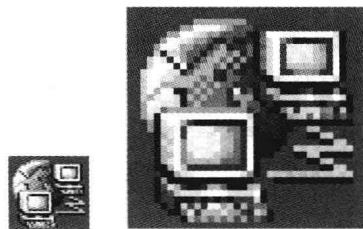
### 1.1.1 数字图像与像素

图像是自然界景物的客观反映。自然界的图像 (image) 无论是在亮度、色彩, 还是在空间分布上, 都是以模拟函数的形式出现的。现行的电视系统传输、显示的图像是模拟图像, 难以用连续数学理论分析、设计图像处理系统, 更无法采用数字计算机进行处理、传输和存储。图 1.1 是用照相机拍摄的自然景物图像。

在数字图像领域, 我们将图像视为由许多大小相同、形状一致的像素 (picture element, 简称 pixel) 组成。因此, 一幅图像可以用二维矩阵加以表示。图 1.2 所示为一个小图标及该图标放大 4 倍后的方形像素。这样, 数字图像可以用矩阵表示。图像的数字化包括离散和量化两个主要步骤。在空间对连续坐标进行采样的过程称为离散化 (discretion), 而进一步将图像的幅度值 (可能是灰度或色彩) 整数化的过程称为量化 (quantization)。



图 1.1 自然景物图像



(a) 原图 (b) 将原图放大 4 倍

图 1.2 像素

### 1.1.2 图像处理的发展简史

从远古时代开始, 人们对外界的感受是直观的, 象形文字就是用视觉印象表达抽象意义的一种表达形式。望远镜延伸了人的视觉宏观范围, 而显微镜则使人们能够洞察微观世界。照相机使人们对图像的印象成为永恒的记录。

20 世纪 20 年代, 图像处理首次采用图像压缩技术应用于改善伦敦和纽约之间海底电缆发送的图片质量。离散数学的创立和完善, 为数字图像处理奠定了理论基础。1946 年数字计算机的出现使图像的获取、处理、传输和存储产生了质的飞跃, 也使“数字图像处理”几乎成了“计算机图像处理”的代名词, 成了当代图像处理的主流。以下如不加特别说明, 所指的“图像处理”一般均指“数字图像处理”。数字图像处理最早出现于 20 世纪 50 年代, 当时的电子计算机已经发展到一定水平, 人们开始利用计算机来处理图形和图像信息。早期的计算机在计算速度、存储容量和软件处理功能等主要方面, 难于满足对图像数据进行实时处理的要求。随着计算机软硬件技术的迅速发展, 计算机处理图像的性能有了大幅度的提高。过去只能用大型计算机完成的处理功能, 现在 PC 上就能够方便地实现。

数字图像处理作为一门学科, 大约形成于 20 世纪 60 年代初期。早期的图像处理的目的是提高图像的质量, 以改善人的视觉效果为目的。常用的图像处理方法有图像增强、复原、编码、压缩等。数字图像处理首次成功地应用在 1964 年美国宇航局喷气推进实验室 (NASA JPL), 当时对“徘徊者 7 号”探测器发来的几千张月球照片进行了几何校正、灰度变换、去除噪声等处理, 并考虑了太阳位置和月球环境的影响, 用计算机绘制了月球表面的照片。随后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。在以后的宇航空间技术，如对火星、土星等星球的探测研究中，数字图像处理技术都发挥了巨大的作用。直到现在，图像处理在航天技术领域还是不可缺少的重要手段。2005年1月14日，“惠更斯”探测器拍摄了土星卫星“土卫六”的图像。通过图像，我们可以清楚看到35亿千米以外“土卫六”的地貌，发现它与40亿年的地球环境十分相似。这块平原可能由液态甲烷和碳氢化合物构成。这是一幅对相关数据进行处理加上反射光谱数据以后获得的彩色图。在这张“橙色”照片中，“惠更斯”前方的物体应该是岩石或是冰块，它们大多呈现鹅卵石的形状。图片中央下方有两个石块状物体，左边一块大约15 cm宽，中间一块大约4 cm宽，距离“惠更斯”探测器大约85 cm。科学家还从照片中物体的底部发现了侵蚀的痕迹，这表明它们此前可能遭到过河流的冲刷（见图1.3）。高达500 km的哈勃太空望远镜能辨别140亿光年以外的物体，人们甚至通过它观察到由于大爆炸形成时宇宙初期的奇形怪状的星体。

图像处理技术从航天技术扩展到遥感遥测、生物医学、军事和公安、工业机器人、人民生活等许多方面。陆地卫星5号TM（Thematic Mapper，主题测绘仪、主题成像传感器）图像，从可见光到红外一共七个光谱波段。所采用的全球参考系统以轨道号（PATH/ROW）来确定每一景图像的位置。每一景图像实际覆盖地面的面积为185 km×185 km，图1.4是轨道120/38采用321波段组合获取的遥感图像。

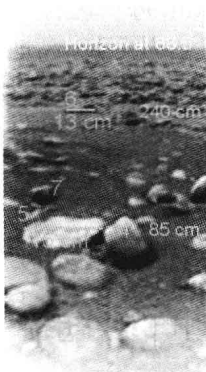


图 1.3 “土卫六”的地貌

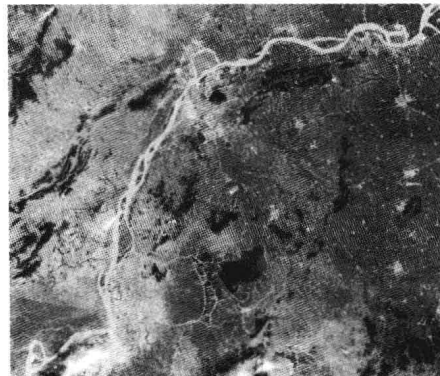


图 1.4 陆地卫星5号TM图像

1972年，英国EMI公司工程师Outfield发明了用于头颅诊断的X射线计算机断层摄影（Computer Tomograph, CT）装置。这种无损伤诊断技术的基本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公司又成功研制出全身用的CT装置，获得了人体各个部位鲜明清晰的断层图像。1979年，这项技术获得了诺贝尔奖。

20世纪70年代，个人计算机（PC）和各种图像输入、输出设备的大众化，为图像处理技术的普及铺平了道路。短短的三四十年，航天、军事、医学和工业等方面应用需求的不断增长，使数字图像处理技术发生了日新月异的变化，完成了从科学研究领域到工程应用的转变，从而进入普及、实用阶段，已经发展成具有强大生命力的学科和产业。特别是VCD、DVD、多媒体计算机、数码摄像机、数码相机等信息产品的出现和普及，给图像处理技术带来了无限的生机。新的数字电视制式将会取代现行的电视制式。数字图像处理理论、技术与设备已经成为当代信息技术重要的组成部分。

随着图像处理技术的深入发展，从20世纪70年代中期开始，随着计算机技术和人工智能、思维科学研究的迅速发展，数字图像处理向更高、更深层次发展。人们已开始研究如何用计算机系统解释图像，实现类似人类视觉系统理解外部世界，称为图像理解或计算机视觉。很多国

家，特别是发达国家，对这项研究投入了更多的人力、物力，取得了不少重要的研究成果。

在图像处理的理论和方法上，1965年快速傅里叶变换（FFT）的出现是一个具有代表性的成果，它为图像处理提供了一种高效率的处理工具。在图像处理基础上，人们进一步开展了图像分析和图像理解的研究与应用工作。这些工作需要人类的视觉过程有进一步的理解，甚至需要建立视觉的数学模型，以计算机视觉（机器视觉）来仿真人类视觉。一个具有代表性的成果是20世纪70年代末美国麻省理工学院（MIT）的Marr教授提出的视觉计算理论。该理论成为计算机视觉领域其后十多年的主导思想。

随着科学技术的发展，我国在航天、医学、工业、家用信息设备等领域发展了图像处理技术。同时，我国已经有一支较强的从事图像工程研究和应用的队伍。1990年，我国成立了全国性学术团体——中国图像图形学学会。它由中国从事图像图形学基础理论与应用研究，软、硬件技术开发及应用推广的专家学者和相关科技工作者组成。国内著名的高等学校、科研院所及IT企业都是本学会的重要成员单位。

近年来，图像处理技术为我国的宇航工程立下了汗马功劳。以“嫦娥”登月工程为例，我国的“嫦娥一号”卫星所携带的干涉成像光谱仪、激光高度计和CCD立体相机共同完成了月球表面三维立体影像的获取工作。2007年11月20日开始传回探测数据，经过处理制作完成了第一幅月面图像，并同时完成了三维影像的制作，标志着中国首次月球探测工程取得成功。CCD相机采用线阵推扫的方式获取图像，轨道高度约200 km，每一轨的月面幅宽60 km，图像共由19轨图像制作而成，像素分辨率为120 m。图像覆盖区域属月球高地，主要由斜长岩组成，分布有不同大小、形态、结构和形成年代的撞击坑，右上部暗色区域有玄武岩覆盖。图幅宽约280 km，长约460 km。2008年11月12日，我国第一幅全月影像图正式发布，如图1.5所示，它是由“嫦娥一号”卫星拍摄的589轨经过各种处理、校正和镶嵌拼接以后的合成照片，这也是目前世界上公布的最完整、清晰度最高、层次最分明、位置最精确的月球影像图，其图像质量和影像制作方面均达到国际先进水平。2007年12月，卫星在100 km轨道正常运行了13天。期间CCD立体相机获取了分辨率为65 m的月面图像。2009年3月1日，在撞击过程中，“嫦娥一号”卫星携带的CCD相机传回实时图像，图像清晰。图1-6所示为我国第一幅月面图像的飞行效果图。

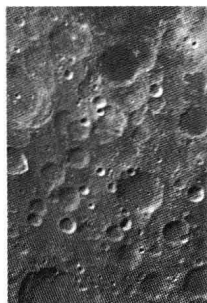


图 1.5 我国第一幅月面照片

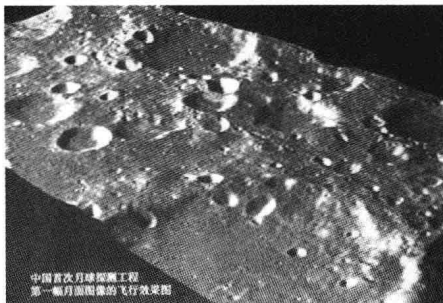


图 1.6 我国第一幅月面图像的飞行效果图

“嫦娥一号”卫星第一幅月面图像的处理过程如图1.7所示。

“嫦娥二号”卫星于2010年10月1日直飞月球，搭载的CCD相机在100 km圆形轨道和100 km×15 km椭圆轨道的近月点处，分别对“嫦娥三号”卫星的预选着陆区进行优于10 m和1.5 m分辨率的高分辨率成像试验，能获得更清晰、更详细的月球表面影像数据。图1.8是2010年10月28日月球虹湾局部三维景观图，卫星距月面约18.7 km，分辨率约为1.3 m。影像图对应月面东西宽约8 km、南北长约15.9 km的区域。影像图显示，该区域表面较平坦，

由玄武岩质的月壤覆盖,分布有不同大小的环形坑和石块,其中最大的环形坑直径约 2 km。“嫦娥二号”卫星的 CCD 相机在 100 km 圆形轨道上的实际分辨率能达到 7 m,进入 100 km×15 km 的椭圆轨道时,其分辨率能达到 1 m,均已超过了原先预定的指标。

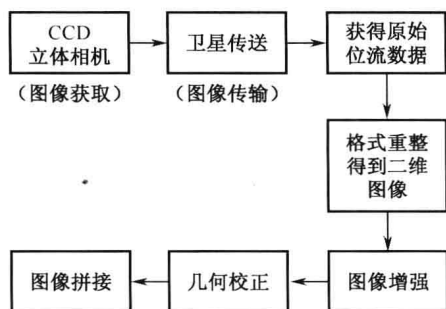


图 1.7 “嫦娥一号”卫星第一幅月面图像的处理过程

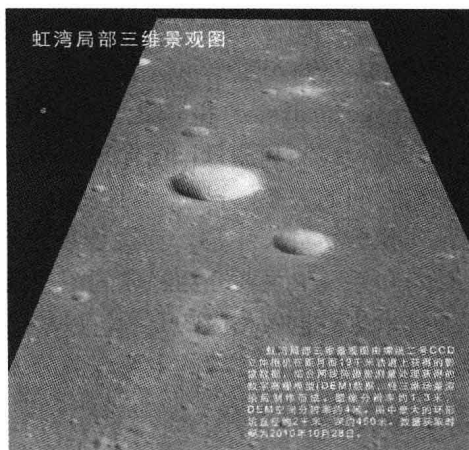


图 1.8 “嫦娥二号”卫星获得的月球虹湾局部三维景观图

## 1.2 图像处理的目的、任务与特点

### 1.2.1 图像处理的目的

一般地,图像处理需要完成以下一项或几项任务。

(1) 提高图像的视觉质量以提供人眼主观满意或较满意的效果。例如,图像的增强、图像的恢复、图像的几何变换、图像的代数运算、图像的滤波处理,有可能使受到污染、干扰等因素影响产生的低清晰度、变形图像等的质量得到有效改善。

(2) 提取图像中目标的某些特征,以便于计算机分析或机器人识别。这些处理也可以划归于“图像分析”的范畴。例如,边缘检测、图像分割、纹理分析常用做模式识别、计算机视觉等高级处理的预处理。

(3) 为了存储和传输庞大的图像和视频信息,常常对这类数据进行有效的压缩。常用的方法有统计编码、预测编码和正交变换等方法。

(4) 信息的可视化。许多信息(如温度场、流速场、生物组织内部等)并非可视的,但转化为视觉形式后可以充分利用人们对可视模式快速识别的自然能力,更便于人们观察、分析、研究、理解大规模数据和许多复杂现象。信息可视化结合了科学可视化、人机交互、数据挖掘、图像技术、图形学、认知科学等诸多学科的理论和方法,是研究人、计算机表示的信息以及它们相互影响的技术。

(5) 信息安全的需要。主要反映在数字图像水印和图像信息隐藏方面。这是新世纪图像工程出现的新热点之一。数字水印是利用多媒体数字产品中普遍存在的冗余数据与随机性,把水印信息可见或不可见地嵌入到数字作品中,以期达到保护数字产品的版权或完整性的一种技术。在计算机通信、密码学等学科中,数字水印也有其用武之地。

### 1.2.2 图像处理的任务

图像处理的任务是获取客观世界的景象并转化为数字图像后,进行增强、复原、重建、

变换、编码、压缩、分割等处理，从而将一幅图像转化为另一幅具有新的意义的图像。有时称静止的图像为图片（picture），而称活动的图像为视频（video）。

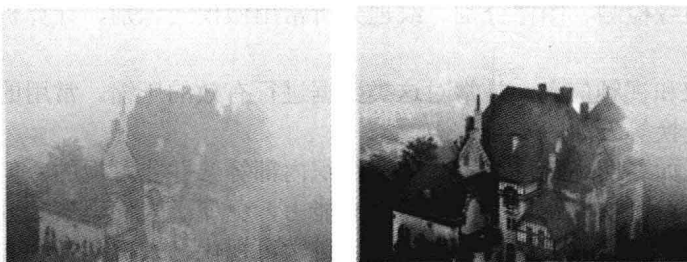
对“图像处理”的理解有广义与狭义之分。广义的“图像处理”，可以包含有些学者提出“图像技术”、“图像工程”等概念，而狭义的“图像处理”重点讨论为改善视觉效果、存储或传输效率，在输入图像和输出图像之间进行的变换。广义的“图像处理”还可以包括“图像分析”（image analysis）和“图像理解”（image understanding）等。图像分析指对图像中感兴趣的目标进行检测和测量，图像理解指在图像分析的基础上，进一步研究图像中各目标的性质和它们之间的关系，以得到对图像反映的场景的合理解释。从抽象程度看，图像处理处于低层，图像分析处于中层，而图像理解处于高层。本书中，“图像处理”指与图像有关的理论、技术和系统，主要介绍经典的图像处理理论和方法，对一些重要的图像分析内容和图像理解的技术热点也做相应的介绍，以扩展读者的知识面，同时进一步感受三者之间的联系与差异。我们可将图像处理的主要任务分成以下几类。

### 1. 图像获取与数字化

将自然界的图像通过光学系统成像并由电子器件或系统转化为模拟图像信号，再由模拟/数字转换器（ADC）得到原始的数字图像信号。图像的获取也称图像的采集（acquisition）。图像的采集十分重要。原始的图像质量高会大大减轻后期处理的负担。尽管图像处理硬件和软件可以在一定程度上弥补采集过程中存在的缺陷，但保证高信噪比、高保真度的原始图像仍然是首先必须重视的问题。

### 2. 图像增强

图像增强（image enhancement）的作用是对视觉不满意的图像进行改善，突出图像中所感兴趣的部分。如强化图像高频分量，可使图像中物体的轮廓清晰，细节明显，而强化低频分量可减少图像中噪声的影响，即对高频噪声起平滑作用。可见，尽管人们并不一定知道图像降质（degrade）或退化的原因，但通过使用图像增强技术得到的新图像的质量在主观视觉



(a) 原图像

(b) 去雾增强后的图像

图 1.9 图像增强

上更为良好。通过图像增强，可以改变原来图像全部或局部的亮度、对比度、色彩分布等参数，使增强后的图像更加赏心悦目。对于图像分析和图像理解来说，图像增强往往作为这些过程的前期处理（预处理），使分析效果更好或更容易理解。图 1.9 针对给定图像中的应用场合，有目的地增强了图像的整体

和局部特征，将原来不清晰的部分变得清晰，将过暗的部分变得亮度适中，使用去雾功能，使得模糊的原图像变得更加清晰。

### 3. 图像复原

图像复原（image restoration）也称图像恢复。如果我们对图像退化的原因或过程（如某种噪声的影响、运动造成的模糊、光学系统的几何失真等）有一定的了解，通过理论推导或实验数据甚至可以建立退化的数学模型（“降质模型”），那么我们可以采用某种滤波方法从



降质的图像在一定程度上恢复原始图像。在图像恢复中，建立图像的退化模型是关键。理论上，降质的模型一般是非线性、时变和空间变化的，但这种模型即使使用计算机也很难处理。所以，在一定的精度下，用线性、时不变和空间不变的降质模型代替上述模型具有实际意义。图 1.10 是对微装配准备对接模糊图像进行逆滤波方法进行复原的实例。可见恢复后的图像要比原来的模糊图像清晰得多。

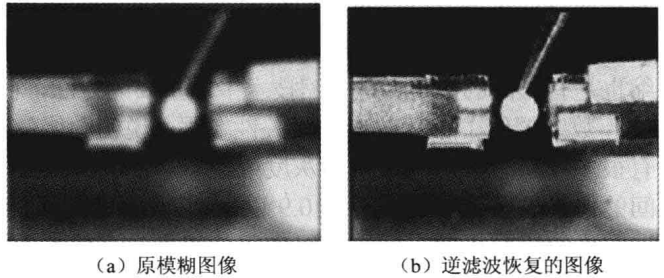


图 1.10 逆滤波复原方法

图像恢复与图像增强都是为了提高图像的质量，它们之间的区别在于前者需要考虑图像降质的原因，而后者并不需要做。

#### 4. 图像重建

图像重建 (image reconstruction) 是一类特殊的图像复原技术。图像的采集是由实际图像产生二维数组 (即二维数据) 的过程。相反的问题是，如果我们知道一组与图像相关的物理数据，又如何得到图像呢？图像重建就是试图从物体横剖面的一组投影数据建立图像。输入是一系列图像，输出是一幅重建图。事实上，图像重建在医学、工业检测、数据压缩等领域都有重要的应用价值。计算机断层摄影是图像重建的成功范例。物体内部的数据是由各种能量流 (如 X 射线、电子束、超声波等) 穿透物体而获得的。体视学 (volume visualization) 的思想是将图像重建与计算机图形学的光照模型和各种渲染技术相结合，把多幅二维图像合成为三维图像，生成高度真实感的图像。体视学在医学领域是应用最早的。现在利用有效的工具可以完成对人体器官、软组织和病变体的三维重建与三位显示。

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的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，就必须做合适的假定或附加新的测量，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于解决的知识工程问题。

目前主要有两类重建图像的方法：傅里叶逆变换和级数展开重建技术。通常图像重建的数学模型较复杂，计算量大，涉及投影模型、迭代计算等。医学设备中的 CT 和 MRI 都属于投影重建设备。

#### 5. 图像变换

图像阵列很大，直观性强，但图像的某些特性 (如频率特性、纹理特性等) 在空间域中难以获得和处理，计算量也很大。各种图像变换 (image transformation) 的方法，如离散傅里叶变换 (DFT)、离散沃尔什-哈达码变换 (WHT)、离散余弦变换 (DCT) 和离散小波变换 (DWT) 等，可以间接地将空间域的处理转换为变换域进行更有效的处理。通过 DFT，可以将空间域的图像变换为图像频谱，再在频率域进行各种数字滤波 (像在模拟域中一样有低通滤波器、高通滤波器等) 以获得图像质量的改善、数据量的压缩或突出某些后期处理的特征。离散小波变换在空间域和频率域中都具有良好的局部化特性，受到人们的普遍重视。一些图像编码算法已经吸收到国际标准中，如 JPEG 标准采用 DCT 算法，而 JPEG2000 采用 DWT 算法。

#### 6. 图像编码与压缩

图像编码与压缩 (image coding and compression) 在图像存储和传输中起着至关重要的作用。

我们知道,数据量庞大是数字图像的显著特点之一。在多媒体技术中,现有的大容量存储器和宽带网络技术仍不能满足对图像数据处理、存储和传输的需要。因此,图像乃至其他海量数据的压缩是必需的。而且,由于图像等数据中存在相当大的冗余信息,这类数据的无损和有损压缩也是有可能的。编码是压缩技术中最重要的方法,它是发展最早且比较成熟的图像处理技术。

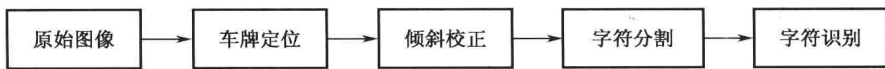
数字图像中相邻像素的相关性较强,说明图像信息压缩的潜力很大。在图像画面上,经常有很多像素有相同或接近的灰度或色彩。就电视画面而言,同一行中相邻两个像素或相邻两行间的像素,其相关系数可达 0.9 以上,而相邻两帧之间的相关性比帧内相关性还要大一些。通过图像编码与压缩,我们可以实现几倍到十几倍的无损压缩,几十倍甚至上百倍的有损压缩。图像编码压缩技术可减少描述图像的数据量(即比特数),以便节省图像传输、处理的时间并减少所占用的存储器容量。压缩可以在不失真的前提下获得,也可以在允许的失真条件下进行。

图像及视频压缩已经渗透到了人们的生活中,VCD、DVD 的普及就是明证。各种图像和视频压缩标准(如 JPEG 标准、MPEG 标准)大力推动了数据压缩技术的进步和相关软件与硬件的产业化。未来数字电视的普及将使压缩技术在图像通信领域得到更显著的发挥。尽管未来存储设备的容量会更大、信道带宽会更宽,但数据压缩技术仍然是多媒体系统不可缺少的一项关键技术之一。

## 7. 图像分割

图像可以视为由背景和一个或多个目标组成的。图像分割(image segmentation)是按一定的规则将图像分成若干个有意义或感兴趣区域的过程,每个区域可能代表一个对象(目标或目标的一部分)。通过图像分割,图像中有意义的特征部分(如边缘、区域等)被提取出来。图像的这些特征是进一步进行图像分析和理解的基础。

人眼对图像进行分割比较直观,也很迅速,但由计算机来进行图像分割并非易事。我们希望通过分割后的图像更便于计算机或机器人识别和理解,是图像处理向图像分析过渡的一个关键步骤。然而,一般图像的构成是十分复杂的,对图像自动分割十分困难,而分割的结果往往不能令人满意。目前,只有印刷体的光学字符识别(Optical Character Recognition, OCR)、指纹识别等应用领域开始使用自动分割技术。大部分图像的分割需要人工干预来提高分割的可靠性和有效性。由于图像分割是一个重要和难度较大的课题,至今仍然是图像处理工作者乐此不倦的研究对象。图 1.11 所示为某汽车车牌识别的系统程序流程图及效果图。



(a) 系统程序流程图



(b) 原始图像



(c) 车牌定位、倾斜校正



(d) 字符识别

图 1.11 汽车车牌识别的流程图及效果图

虽然目前已研究出不少边缘提取、区域分割的方法,但还没有一种普遍适用于各种图像的有效方法。因此,对图像分割的研究还在不断深入之中,是目前图像处理中研究的热点之一。

## 8. 图像融合

由于单一图像传感器获取的数据信息量有限,往往难以满足实际需要,而利用多源数据则可以提供对观测目标更加可靠的观察。图像融合(image fusion)利用了多源信息进行决策和行动的理论和工具,将多源信道(传感器、数据库或人为获取的信息)所采集到的关于同一目标的不同成像机理、不同工作波长范围、不同工作环境与要求的图像数据经过图像处理最大限度地提取各自信道中的有利信息,消除多传感器信息之间可能存在的冗余和矛盾,最后综合成高质量的图像,以供观察或进一步处理。图像融合以提高图像信息的利用率、改善图像获取的精度和可靠性、提升原始图像的空间分辨率和光谱分辨率为目的,以形成对目标清晰、完整、准确的信息描述,有利于系统对目标进行可靠的探测、识别、跟踪及情景感知。

各种传感器所获得的大量光谱遥感图像的分辨率、灰度等级可能相差很大,如能有效融合将为人们提供更加清晰、可用的图像。例如,对图 1.12 (a) 所示的 PAN 全色图像和图 1.12 (b) 所示的 TM 多光谱图像进行了融合,可得如图 1.12 (c) 所示的已融合图像。两幅源图像已经经过配准。



图 1.12 多光谱和全色图像的融合

多传感器图像融合技术最早被应用于遥感图像的分析与处理中,在测绘、地质、农业、气象及军事目标识别等方面得到了广泛应用。到 20 世纪 80 年代末,人们才开始将图像融合技术应用于一般图像处理。随着 20 世纪 90 年代 LANDSAT-7、SPOT-5、RADARSAT、JERS-1、ERS-1 卫星的发射升空,图像融合更成为遥感技术的研究热点。目前图像融合在医学、计算机视觉、对地观测、机场导航、安全监控、智能交通、地理信息系统、工业过程控制、智能机器人等民用领域也得到了广泛应用,甚至成为解决某些难题的关键技术之一。例如,在军事领域,以多传感器技术为核心内容的战场感知已成为现代战争中最具影响力的军事高技术。20 世纪 90 年代,美国海军在 SSN-691 (孟菲斯) 潜艇上安装了第一套图像融合样机,可使操作人员在最佳位置上直接观察到各传感器的全部图像。英国以 II 类通用组件为基础,研制出具有图像融合功能的双波段热像仪。英美联合研制的“追踪者”战术侦察车将热像仪、电视摄像仪及激光测距仪等多个传感器的信息进行融合。在医学领域中,通过多源医学图像融合可以综合不同模态医学图像的优点,从而为医学诊断、人体功能和结构研究提供更充分的信息。CT 和 MRI 图像的融合处理已应用于颅脑放射治疗和颅脑手术可视化中。

### 1.2.3 数字图像处理的特点

数字图像处理利用数字计算机或其他专用的数字设备处理图像,与光学等模拟方式相比具有以下鲜明的特点。

#### 1. 具有数字信号处理技术共有的特点。

(1) 处理精度高。图像采集设备可将一幅模拟图像数字化为任意大小和精度的二维数组



供处理设备加工。根据应用的需求，数字化的像素数可以从几十到几百万，每个像素的等级可以量化为从1位到16位甚至更高，活动图像的帧率可以从十几赫兹到60 Hz。而对处理设备来说，不同数据量的图像其处理程序大致是一样的。

(2) 重现性能好。理论上，数字图像处理不会因图像的存储、传输等过程而导致图像质量的退化。图像的质量主要受数字化过程时采样样本数、量化精度、处理过程中的处理精度等的限制。由于在一定范围内，人眼和机器视觉的分辨率都是有限的，所以只要保持足够的处理精度，则数字图像处理过程就能够保证原有图像的重现。

(3) 灵活性高。与模拟图像处理相比较，由于图像处理软件功能十分强大、扩展性好、与用户可以友好地交互，数字图像处理不仅能完成一般的线性和非线性处理，而且一切可以用程序实现的智能信息处理方法都可以加以采用。

**2. 数字图像处理后的图像可能是供人观察和评价的，也可能作为机器视觉的预处理结果。**

如果供人观察，则处理后的图像的质量优劣必然受人的主观因素影响。由于人的视觉系统十分复杂，受环境条件、视觉性能、人的心理和知识背景等因素的影响，其评价体系也难以统一，故通常对图像处理的评价往往从客观和主观两方面进行。另一方面，机器视觉是依靠计算机来模仿人的视觉功能的，通过人类视觉感知机理的研究促进计算机视觉的研究，但图像庞大的信息量、多义性、环境因素的影响以及不同知识的导引，使得机器视觉对图像的理解的正确性远远低于人类视觉。

### 3. 数字图像处理技术适用面宽。

原始模拟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，如各种射线图像（见图 1.13）、超声波图像或红外图像（见图 1.14）。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。这些来自不同信息源的图像只要被变换为数字编码形式后，均可用二维数组来表示，自然可用计算机来处理。

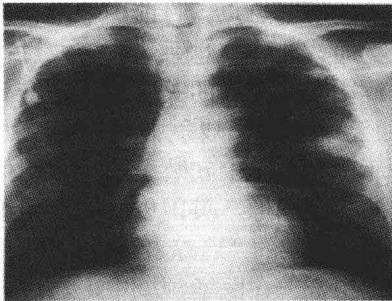


图 1.13 胸部 X 光片图像



图 1.14 红外热像仪检测的手

### 4. 数字图像处理技术综合性强。

由于数字图像处理技术适用面宽，涉及的技术领域也十分广泛，从学科分类来看，将其划分为交叉学科比较合适。数学、物理学（包括光学等）等领域是数字图像处理的理论基础，计算机技术、电子技术、摄影技术、电视技术、通信技术等都是其实现的支撑技术。

### 5. 数字图像处理与模拟方式处理图像相比，也有一些不足之处。

(1) 数字图像处理的信息大多是二维或二维以上的多维信息，数据量巨大。