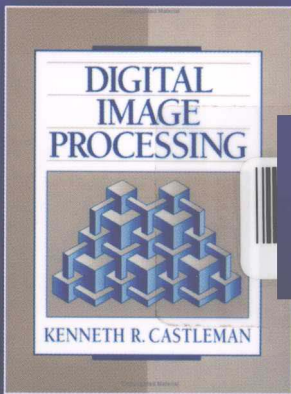


PEARSON

国外电子与通信教材系列

# 数字图像处理

Digital Image Processing



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国外电子与通信教材系列

# 数字图像处理

**Digital Image Processing**

[美] Kenneth R. Castleman 著

电子工业出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是数字图像处理理论与实践相结合的成功之作,强调如何应用理论知识解决工业和科学研究中常见的实际问题。本书着重阐述了数字图像处理的基本概念和实用技术,使读者能够使用这些技术解决数字图像处理过程中所遇到的各种问题。全书共22章,第1章至第5章讲述数字化图像及其显示,图像处理软件;第6章至第8章讲授点、代数和几何运算;第9章至第15章讲授线性系统理论、傅里叶变换、离散图像变换和小波变换;第16章至第20章讲授图像复原、图像压缩及模式识别;第21章至第22章讲授彩色、多光谱图像处理及三维图像处理。

本书可供大学本科生和研究生作为教材或参考书,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。

Authorized translation from the English language edition, entitled DIGITAL IMAGE PROCESSING, 9780132114677 by Kenneth R. Castleman, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 1996 Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright © 2011.

本书中文简体字版专有出版权由 Pearson Education(培生教育出版集团)授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-1997-1865

### 图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理/(美)卡斯尔曼(Castleman, K. R.)著;朱志刚等译.

北京:电子工业出版社,2011.3

书名原文:Digital Image Processing

(国外电子与通信教材系列)

ISBN 978-7-121-12762-5

I. ①数… II. ①卡… ②朱… III. ①数字图像处理-高等学校-教材 IV. ①TN911.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第004289号

策划编辑:冯小贝

责任编辑:冯小贝

印 刷:

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

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:35.25 字数:903千字

印 次:2011年3月第1次印刷

定 价:65.00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 zltts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授

“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入 21 世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入 WTO 后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在 2000 年至 2001 年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了 40 余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 教材出版委员会

主任	吴佑寿	中国工程院院士、清华大学教授
副主任	林金桐 杨千里	北京邮电大学校长、教授、博士生导师 总参通信部副部长，中国电子学会会士、副理事长 中国通信学会常务理事、博士生导师
委员	林孝康	清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 清华大学深圳研究生院副院长
	徐安士	北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
	樊昌信	西安电子科技大学教授、博士生导师 中国通信学会理事、IEEE 会士
	程时昕	东南大学教授、博士生导师
	郁道银	天津大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员
	阮秋琦	北京交通大学教授、博士生导师 计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 国务院学位委员会学科评议组成员
	张晓林	北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长 教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会副主任委员 中国电子学会常务理事
	郑宝玉	南京邮电大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	朱世华	西安交通大学副校长、教授、博士生导师 教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会副主任委员
	彭启琮	电子科技大学教授、博士生导师
	毛军发	上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	赵尔沅	北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报（英文版）》编委会主任
	钟允若	原邮电科学研究院副院长、总工程师
	刘彩	中国通信学会副理事长兼秘书长，教授级高工 信息产业部通信科技委副主任
	杜振民	电子工业出版社原副社长
	王志功	东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长 教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员
	张中兆	哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究院院长
	范平志	西南交通大学教授、博士生导师、信息科学与技术学院院长

## 译者序

尽管数字图像处理的发展历史不长,但却已经引起各方面人士的广泛重视。首先,视觉是人类最重要的感知手段,图像又是视觉的基础。因此,数字图像成为心理学、生理学、计算机科学等诸多领域内的学者们研究视觉感知的有效工具。其次,图像处理在军事、遥感、气象等大型应用中有不断增长的需求。此外,数字成像(如数字摄像机、扫描仪等)、图像打印机和数字印刷技术的快速发展,使得图像处理设备已不再昂贵,给图像处理的发展提供了很好的条件。随着多媒体技术的发展和普及,数字图像处理和视频技术等相关术语已经从专业术语变成了普通老百姓的日常用语了。

数字图像处理是一门实用的学科,同时也具有坚实的理论基础。但以往的数字图像处理书籍往往存在两种倾向:一种是偏重于理论推导和分析,适合于图像处理专业研究人员使用,当然也难免与实际的工程和应用脱节;另一种基本上是图像处理的编程指导,或某些图像处理工具包的用户使用说明书,或对某些输入输出设备性能的介绍,由于种种原因往往难见各种操作背后的理论基础,因此读者只能使用现有的技术,而无法进行深入学习和研究。

把理论和实践相结合是数字图像处理研究和应用成功的关键。我认为 Castleman 博士的著作《数字图像处理》就十分注重理论和实践相结合,因此,极富参考价值。该书既不是偏重理论深度和数学复杂性的研究著作,也不是只注重时下实际应用的工程指导,而是强调理论如何用于解决工业或研究中常见的实际问题,现总结其特色如下:

1. 在章节的安排上,分为循序渐进的三部分:基本概念(不需要复杂的高等数学知识);深入的课题(基于数学分析的深入讨论);专门的应用(工业、科研、医学应用),因此可适合不同程度的读者使用。对于一般的读者,只要学习第一部分就可以掌握数字图像处理的重要概念,而对于想在该领域进行深入研究或进行系统开发的人员,则可分别学习本书第二部分和第三部分。
2. 每章最后给出的大量练习题和设计题,有助于读者对内容进行深入的理解。这些题目通常反映了数字图像处理的专业人士在实际工作中会遇到的实际问题。
3. 在书末给出了数字图像的词汇解释,以及大量分门别类的参考文献(书目和研究论文),因此具有重要的资料价值。

能写出这样一本有特色的图像处理专著,是和本书作者 K.R.Castleman 博士的经历分不开的。Castleman 博士分别于 1967 年和 1970 年在 Texas 大学 Austin 分校获电子工程的硕士学位和生物医学工程的博士学位,早年曾在 Cal Tech 任教和从事科研工作,讲授“数字图像处理”,并于 1979 年出版了其第一本数字图像处理专著。在其后的几十年里,曾在 USC、UCLA、NASA/JPL 等著名学校或重要机构任职,1985 年到 1991 年任 Perceptive 的 System 公司的总裁兼 CEO,1991 年至今任扩大后的 Perceptive Scientific Instruments(PSI)公司主管 R&D 的副总裁,从事医学图像研究和应用产品开发。一个人同时在学术界和工业界有过如此的经历,又肯花时间将自己的工作经验融进书中,实在是广大读者的幸运。

本书是由清华大学计算机科学与技术系专门从事计算机图像处理的有关师生共同翻译的。朱志刚博士负责译校本书的第 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 17 和 21 章, 石定机教授负责译校本书的第 2, 3, 11, 12, 15, 16 章, 林学圃教授负责译校本书的第 14, 18, 19, 20, 22 章和附录 3。朱志刚博士和石定机教授负责审校了全书。参加初译的还有清华大学计算机系的硕士、博士研究生, 他们有白雪生、祝远新、杨波、祁卫、王振凯、王少杰、杨慧琼、李岩、谢峰、宋霖、张永越、王浩等同学。任玉红小姐和何雪梅小姐输入和打印了本书的初稿。本书中译本的完成是他们在脑力和体力上辛勤劳动的结果。

本书不仅可以作为大学高年级学生和研究生的教学参考书, 而且可作为数字图像处理研究和开发的参考资料。

徐光祐

清华大学计算机科学与技术系



## 序

十六年前,我出版了数字图像处理的第一本专著。十六年来,数字图像处理的应用范畴大大扩展了。有些算法在 20 世纪 60 年代,只能在大型机上运行,在 70 年代也只能在小型机上运行,而到了 80 年代,这些算法已能在台式机上运行了。始于 70 年代中的个人计算机(PC)已由少数爱好者的珍品变成普通家庭的生活用品。有关个人计算机的术语成了连接亚、欧、美大陆的通用语言。

娱乐行业的视频游戏和数字视频特技,以及大众传媒的有关文章,极大地提高了数字图像处理在公众中的知名度。目前的趋势表明,数字图像处理应用的爆炸式增长,将持续稳定地进入下个世纪。

20 世纪 90 年代以来,数字图像处理最显著的影响恐怕就是其在实际问题中的应用了。本书的读者对象主要是那些想采用图像处理技术进行研究或产品开发的人们,当然也可以为那些想推动技术发展的人们提供一个基础。

数字图像处理的应用就其范围和规模来说已发生了巨大的变化,它在别的方面的变化则相对小些。例如在今天应用到的性能可靠的许多基本技术,仍然是数字图像处理发展初期所采用的技术;而出现的热门新理论中,有些仍是建立在过去久经考验的理论之上,并没有取代传统的理论。

值得注意的是随着近来计算机技术的发展,在过去工作中所重视的问题已经不再是今天主要关心的对象了。因此本书不再把这些问题作为重点,同时,增加了一些新的专题。本书采用一些新的例子,以进一步说明如何应用理论知识解决工业或研究中常见的问题。

本书最明显的特色是在每章的最后给出一组习题和一组作业。题目选择的原则是有助于加深对内容的了解,这对于用理论知识解决实际问题是最重要的。习题和作业的绝大部分模拟了一个数字图像处理的专业人士在工作中会遇到的实际情况。解决这些题目中的实际问题是理论知识的有效补充,因为对理论知识的深入理解必须从解决实际问题的经历中获得,而这些题目正是力图给读者提供这方面的一个良好的开端。据我估计,如果读者不仅知道如何解决这些习题中的问题,如何完成作业,而且真的做对了其中的绝大部分,那么,就完全有能力胜任图像处理方面课题组的工作了。

二十五年来,我有幸了解许多应用数字图像处理解决实际问题的专业人员的工作,其中只有一小部分人几乎是屡战屡胜,在成功的道路上留下一串坚实的脚步。他们不断地对原理的应用提出了富有创造性和卓有成效的解决方案。

这些成果卓著的专业人员具有一些共同的特征,可以说这些特征构成了成功的公式,至少在数字图像处理领域内是如此。

一般来说,这些成功的人士具有如下特色:(1)对所从事技术有真正的兴趣,甚至达到着迷的程度;(2)对这个多学科高度交叉的技术的基础原理有透彻的理解;(3)理解上升到理性的领悟而绝不是对抽象理论的死记硬背;(4)用形象、图解的方式,从不只一个角度和视点看问题的技巧。与此相应的是,他们常会觉得,如果不用图形就很难解释自己的想法。

本书力图帮助读者开发上述后三个特色,也许还能加强第一个特色。材料的取舍,实例的使用、文献的引用以及习题和作业的安排无不以此为目的。

在数字图像处理领域中,数学分析是其坚实的基础,在此基础上可以对数字图像系统的性能做出明确的预测。尽管如此,在本书中,数学的地位更像一个忠实的仆人而不是一个无情的主人。本书强调概念上的理解,而数学分析只是用于支持这一目标。

本书的结构一般仍然沿用以往数字图像处理教程的结构,因为传统的结构安排已历经时间的考验。本书中,数学复杂程度从第一部分到第二部分是逐步增加的。具有所需数学基础的读者可以进一步深入学习第二部分的采样定理和傅里叶变换,而其他读者则可以就此打住。

更重要的是,大部分重要的概念可以在不需要高等数学帮助的情况下来获得。这样也许能增强一般读者的兴趣,减少学习过程中的负担,因而对所有的读者都有吸引力。总之,作为一般的原则,对各专题的重视程度是与其重要性相关的,而不与其复杂性成正比。

随着技术的发展,如今数字图像处理的领域已变得非常宽广,在一本篇幅有限的教程中不可能容纳所有的内容。因此我们将重点放在已被实践证明是有用的那些技术上,而将大部分的数学证明推给参考文献。篇幅的限制同样也不容许包含更多的实际例子,文献<sup>[1]</sup>在这方面具有丰富的内容。

第一部分阐述了几个重要的概念,这些概念的基本理解并不需要详细的数学分析;第二部分讲述的技术更依赖于其数学基础,这一部分同时也对在第一部分介绍的一些概念进行更深入的分析;第三部分讨论几个专门的应用。

**教师注意事项** 在本书的编写过程中,用了大量 MathCAD<sup>TM[2]</sup> 和 Wit<sup>TM[3]</sup> 中的数字图像例子及问题的解答。在 Web 网址 <http://www.phoenix.net/~castlman/> 上可以获得这些数据。欲与作者联系,可通过以下三种途径:

1. CompuServe(70214,1275)和出版社联系;
2. Internet e-mail 地址: castlman@persci.com 或 castlman@phoenix.net;
3. Usenet: sci.image.processing。

**学生注意事项** 数字图像处理是一门多学科综合的学科,其术语来自多个不同的领域。一般情况下,日常使用的词汇常会在没有特别说明的情况下就被赋予特殊的含义,如果读者对此没有清醒的意识则可能引起概念模糊。在附录 1 中定义了许多这些专门词汇。如果某一段中一个概念不甚明了,请检查一下是否有某个字显得别扭,如果有,请查阅附录 1 的词汇表或字典把它弄清楚。经常翻词汇表和字典对克服理解困难不失为一种可靠的解决办法。

图像处理的学习需要理论和实践的结合才能收到最佳效果。读者只有通过使用图像处理设备,解决实际图像处理的问题,才能获得相当的领悟。理论和实践的均衡结合可使本课程的学习变得非常有趣。在每章末所附的习题和作业题就是为了达到这一目的。

## 参考文献

1. G. A. Baxes, *Digital Image Processing: Principles and Applications*, Wiley, New York, 1994.
2. MathSoft, Inc., 201 Broadway, Cambridge, MA 02139.
3. Logical Vision, Ltd., 4299 Canada Way, Ste. 265, Burnaby, B. C., Canada V5G 1H3.

# 目 录

## 第一部分

<b>第 1 章 图像及其数字处理</b> .....	1
1.1 引言 .....	1
1.2 数字图像处理概述 .....	1
1.3 哲学观点 .....	6
1.4 数字图像处理的实践 .....	8
习题 .....	9
参考文献 .....	9
<b>第 2 章 图像数字化</b> .....	10
2.1 概述 .....	10
2.2 图像数字化器的性能 .....	10
2.3 图像数字化器的类型 .....	11
2.4 图像数字化器的组成元件 .....	12
2.5 电子成像管摄像机 .....	16
2.6 固态摄像机 .....	18
2.7 胶片扫描 .....	22
2.8 小结 .....	26
习题 .....	27
作业 .....	28
参考文献 .....	28
<b>第 3 章 数字图像显示</b> .....	30
3.1 引言 .....	30
3.2 显示特性 .....	31
3.3 暂时显示 .....	39
3.4 永久显示 .....	40
3.5 小结 .....	42
习题 .....	42
作业 .....	43
参考文献 .....	43
<b>第 4 章 图形处理软件</b> .....	45
4.1 引言 .....	45
4.2 图像处理系统 .....	45
4.3 用户界面 .....	46
4.4 软件开发过程 .....	49
4.5 小结 .....	55
习题 .....	56

作业 .....	56
参考文献 .....	56
<b>第5章 灰度直方图 .....</b>	<b>58</b>
5.1 引言 .....	58
5.2 直方图的用途 .....	61
5.3 直方图与图像的关系 .....	63
5.4 小结 .....	65
习题 .....	66
作业 .....	66
参考文献 .....	67
<b>第6章 点运算 .....</b>	<b>68</b>
6.1 引言 .....	68
6.2 点运算和直方图 .....	70
6.3 点运算的应用 .....	75
6.4 小结 .....	79
习题 .....	80
作业 .....	82
<b>第7章 代数运算 .....</b>	<b>83</b>
7.1 引言 .....	83
7.2 代数运算和直方图 .....	83
7.3 代数运算的应用 .....	87
7.4 小结 .....	91
习题 .....	92
作业 .....	93
<b>第8章 几何运算 .....</b>	<b>94</b>
8.1 引言 .....	94
8.2 灰度级插值 .....	95
8.3 空间变换 .....	98
8.4 几何运算的应用 .....	102
8.5 小结 .....	114
习题 .....	114
作业 .....	115
参考文献 .....	116

## 第二部分

<b>第9章 线性系统理论 .....</b>	<b>118</b>
9.1 引言 .....	118
9.2 调谐信号与复信号分析 .....	120
9.3 卷积 .....	122
9.4 若干有用的函数 .....	130

---

9.5 卷积滤波 .....	135
9.6 结论 .....	136
9.7 小结 .....	138
习题 .....	138
作业 .....	139
参考文献 .....	139
<b>第 10 章 傅里叶变换 .....</b>	<b>141</b>
10.1 引言 .....	141
10.2 傅里叶变换的性质 .....	146
10.3 线性系统和傅里叶变换 .....	152
10.4 二维傅里叶变换 .....	159
10.5 相关和能量谱 .....	165
10.6 傅里叶变换性质总结 .....	167
10.7 小结 .....	167
习题 .....	168
作业 .....	169
参考文献 .....	169
<b>第 11 章 滤波器设计 .....</b>	<b>171</b>
11.1 引言 .....	171
11.2 低通滤波器 .....	171
11.3 带通和带阻滤波器 .....	172
11.4 高频增强滤波器 .....	175
11.5 最优线性滤波器设计 .....	179
11.6 排序统计滤波器 .....	203
11.7 小结 .....	206
习题 .....	207
作业 .....	207
参考文献 .....	208
<b>第 12 章 采样数据的处理 .....</b>	<b>209</b>
12.1 引言 .....	209
12.2 采样和插值 .....	209
12.3 频谱计算 .....	217
12.4 混叠 .....	218
12.5 截取 .....	220
12.6 数字处理 .....	222
12.7 混叠误差的控制 .....	226
12.8 线性滤波的数字实现 .....	227
12.9 小结 .....	229
习题 .....	230
作业 .....	230

参考文献 .....	231
<b>第 13 章 离散图像变换 .....</b>	<b>233</b>
13.1 引言 .....	233
13.2 线性变换 .....	233
13.3 基函数和基图像 .....	236
13.4 正弦型变换 .....	237
13.5 方波型变换 .....	240
13.6 基于特征向量的变换 .....	244
13.7 变换域滤波 .....	247
13.8 小结 .....	248
习题 .....	249
作业 .....	249
参考文献 .....	250
<b>第 14 章 小波变换 .....</b>	<b>252</b>
14.1 引言 .....	252
14.2 连续小波变换 .....	256
14.3 小波级数展开 .....	260
14.4 离散小波变换 .....	262
14.5 小波的选取 .....	287
14.6 应用 .....	289
14.7 小结 .....	290
习题 .....	291
作业 .....	291
参考文献 .....	292
<b>第 15 章 光学和系统分析 .....</b>	<b>294</b>
15.1 引言 .....	294
15.2 光学和成像系统 .....	295
15.3 由衍射效应限制的光学系统 .....	298
15.4 成像系统的像差 .....	305
15.5 成像系统的分辨率 .....	308
15.6 整个系统的分析 .....	311
15.7 例子 .....	315
15.8 小结 .....	320
习题 .....	320
作业 .....	322
参考文献 .....	323

### 第三部分

<b>第 16 章 图像复原 .....</b>	<b>324</b>
16.1 引言 .....	324

---

16.2	经典复原滤波器	325
16.3	线性代数复原	329
16.4	限制较少的复原	332
16.5	超分辨率	337
16.6	系统辨识	341
16.7	噪声模型	346
16.8	实现方法	348
16.9	小结	355
	习题	356
	作业	357
	参考文献	358
<b>第 17 章</b>	<b>图像压缩</b>	<b>362</b>
17.1	引言	362
17.2	无损压缩技术	363
17.3	图像有损编码	365
17.4	图像的变换编码	367
17.5	图像压缩的标准	370
17.6	小结	371
	习题	371
	作业	372
	参考文献	372
<b>第 18 章</b>	<b>模式识别:图像分割</b>	<b>375</b>
18.1	引言	375
18.2	图像分割处理	378
18.3	使用阈值进行图像分割	378
18.4	基于梯度的图像分割方法	385
18.5	边缘检测和连接	389
18.6	区域增长	393
18.7	二值图像处理	394
18.8	分割图像的结构化	402
18.9	小结	404
	习题	405
	作业	405
	参考文献	406
<b>第 19 章</b>	<b>模式识别:物体测量</b>	<b>409</b>
19.1	引言	409
19.2	尺寸测量	409
19.3	形状分析	412
19.4	纹理分析	418
19.5	曲线和曲面拟合	420

19.6 小结 .....	425
习题 .....	425
作业 .....	427
参考文献 .....	427
<b>第 20 章 模式识别:分类与估计</b> .....	<b>430</b>
20.1 引言 .....	430
20.2 分类 .....	430
20.3 特征选择 .....	431
20.4 统计分类方法 .....	433
20.5 神经网络 .....	441
20.6 比例估计 .....	450
20.7 小结 .....	453
习题 .....	454
作业 .....	454
参考文献 .....	455
<b>第 21 章 彩色和多光谱图像处理</b> .....	<b>456</b>
21.1 引言 .....	456
21.2 多光谱图像分析 .....	456
21.3 彩色图像处理 .....	456
21.4 小结 .....	466
习题 .....	467
作业 .....	468
参考文献 .....	468
<b>第 22 章 三维图像处理</b> .....	<b>469</b>
22.1 引言 .....	469
22.2 三维图像 .....	471
22.3 计算机轴向断层扫描 .....	484
22.4 立体投影术 .....	487
22.5 体视图像显示 .....	491
22.6 带阴影的表面显示 .....	495
22.7 小结 .....	498
习题 .....	499
参考文献 .....	500
<b>附录 1 数字图像处理词汇表</b> .....	<b>503</b>
<b>附录 2 参考书目</b> .....	<b>509</b>
<b>附录 3 数学基础</b> .....	<b>535</b>



# 第一部分

## 第 1 章 图像及其数字处理

### 1.1 引言

数字图像处理,即用计算机对图像进行处理。与人类对视觉机理着迷的历史相比,它是一门相对年轻的学科。但在其短短的历史中,它却广泛应用于几乎所有与成像有关的领域。由于其表现方式(用图像显示)所固有的魅力,它几乎吸引了从科学家到平民百姓的普遍关注。

和其他多学科交叉的领域一样,数字图像处理领域内也同样充满了神话、误解、误会和误传。在这把大伞下汇聚了光学、电子学、数学、摄影技术、计算机技术等学科的众多方面,从而也受来自不同学科的不精确、甚至是相互矛盾的行话术语的困扰。本书试图将数字图像处理的基本概念包含在一个首尾一致的框架下,成为一本较易消化吸收的入门读物。

有几个因素表明数字图像处理领域将一直保持持续发展的势头。其主要因素是图像处理所需的计算机设备的不断降价,处理器和大容量存储器都一年比一年便宜。第二个因素是图像数字化和图像显示设备越来越普及。诸多迹象表明计算机设备的价格将继续下降。

几个新的技术发展趋势将进一步刺激此领域的发展:包括由低价位微处理器支持的并行处理技术;用于图像数字化的低成本电荷耦合器件(CCD);用于大容量、低成本存储阵列的新的存储技术;以及低成本、高分辨率的彩色显示系统。

另一个推动力来自于稳定涌现出的新的应用。在商业、工业、医学等领域内的应用中,对数字成像技术的使用正持续增长。尽管军费在削减,在遥感成像中却更多地使用了数字图像处理技术。低成本的硬件加上正在兴起的几个重要领域内的应用,我们可以预料:在未来社会数字图像处理将会发挥更为重要的作用。

### 1.2 数字图像处理概述

数字图像处理系统基本的三个部件是:处理图像的计算机、图像数字化仪和图像显示设备。

在其自然的形式下,图像并不能直接由计算机进行分析。因为计算机只能处理数字而不是图片,所以一幅图像在用计算机进行处理前必须先转化为数字形式。

图 1.1 表明如何用一个数字阵列来表示一个物理图像。物理图像被划分为称作图像元素(*picture element*)的小区域,图像元素简称为像素(*pixel*)。最常见的划分方案是图中所示的方形采样网格,图像被分割成由相邻像素组成的许多水平线,赋予每个像素位置的数值反映了物理