

国外计算机科 学教材系列

新版

数字图像处理

Digital Image Processing

[美] Kenneth R. Castleman 著
朱志刚 林学闾 石定机 等译



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
www.phei.com.cn

国外计算机科学教材系列

数字图像处理

Digital Image Processing

[美] Kenneth R. Castleman 著

朱志刚 林学闯 石定机 等译

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、多光谱图像处理以及三维图像处理。

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 published by Prentice - Hall, Inc. Copyright @ 1996.

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 the Publisher.

Simplified Chinese language edition published by Publishing House of Electronics Industry, Copyright @ 2002.

本书中文简体专有翻译出版版权由 Pearson 教育集团所属的 Prentice - Hall, Inc. 授予电子工业出版社。其原文版权及中文翻译出版版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

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,2002.2
(国外计算机科学教材系列)

书名原文: Digital Image Processing

ISBN 7-5053-7484-2

I. 数... II. ①卡... ②朱... III. 数字图像处理 - 教材 IV. TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007334 号

丛 书 名: 国外计算机科学教材系列

原 书 名: Digital Image Processing

书 名: 数字图像处理

著 者: Kenneth R. Castleman

译 者: 朱志刚 林学闯 石定机等

责任编辑: 罗琳琳

排版制作: 今日电子制作部

印 刷 者: 北京大中印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 35.25 字数: 903 千字

版 次: 2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5053-7484-2
TP·4328

定 价: 56.00 元

版权贸易合同登记号 图字: 01 - 97 - 1865

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010) 68279077

出版说明

随着 21 世纪的到来, 计算机技术的发展更加迅猛, 在各行各业的应用更加广泛, 越来越多的高等院校增设了有关计算机科学的课程内容, 或对现有计算机课程设置进行了适当调整, 以紧跟前沿技术。在这个教学体系和学科结构变革的大环境下, 对适合不同院系、不同专业、不同层次的教材的需求量与日俱增。此时, 如果能够借鉴、学习国外一流大学的先进教学体系, 引进具有先进性、实用性和权威性的国外一流大学计算机教材, 汲取其精华, 必能更好地促进中国高等院校教学的全局改革。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商, 自 1913 年成立以来, 一直致力于教材的出版, 所出版的计算机教材为美国众多大学采用, 其中有不少是专业领域中的经典名著, 已翻译成多种文字在世界各地的大学中使用, 成为全人类的共同财富。许多蜚声世界的教授、学者都是该公司的资深作者, 如道格拉斯·科默 (Douglas E. Comer)、威廉·斯大林 (William Stallings) 等。早在 1997 年, 电子工业出版社就从 Prentice Hall 引进了一套计算机英文版专业教材, 并将其翻译出版, 同时定名为《国外计算机科学教材系列》(下称: 第一轮教材)。截至 2000 年 12 月, 该系列教材已出版 23 种, 深受读者欢迎, 被许多大学选为高年级学生和研究生教材或参考书。

4 年过去了, 已出版的教材中多数已经有了后续版本。因此, 我们开始设计新一轮教材 (第二轮教材) 的出版, 成立了由我国计算机界著名专家和教授组成的“教材出版委员会”, 并结合第一轮教材的使用情况和师生反馈意见, 组织了第二轮《国外计算机科学教材系列》出版工作。

第二轮教材的出版原则为:

1. 引进 Prentice Hall 出版公司 2000 年和 2001 年推出的新版教材, 作为替换版本。
2. 在著名高校教授的建议下, 除了从 Prentice Hall 新选了一些教材之外, 还从 McGraw-Hill 和 Addison Wesley Longman 等著名专业教材出版社、麻省理工学院出版社和剑桥大学出版社等著名大学出版社引进了一些经典教材, 作为增补版本。
3. 对于第一轮中无新版本的优秀教材, 我们将其作为延用版本, 直接进入第二轮使用。
4. 对于第一轮中翻译质量较好且无新版本的教材, 我们将其进行了修订, 也作为沿用版本, 进入第二轮使用。

这次推出的教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多, 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。

按照计划, 本轮教材规划出版 37 种, 其中替换版本 8 种, 新增版本 14 种, 沿用版本 15 种。教材内容涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。本轮教材计划于 2001 年 7 月前全部出版。教材的使用年限平均为 3 年。我们还将陆续推出一些教材的参考课件, 希望能为授课老师提供帮助。

为了保证本轮教材的选题质量和翻译质量, 我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通

AJS23/01

大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本轮教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师和博士,也有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师。

在本轮教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括:

1. 对于新选题和新版本进行了全面论证。
2. 对于沿用版本,认真审查了前一版本教材,修改了其中的印刷错误。
3. 对于译者和编辑的选择,达到了专业对口。
4. 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,一一做了修改。
5. 对于翻译、审校、编辑、排版、印刷质量进行了严格的审查把关。

通过这些工作,保证了本轮教材的质量较前一轮有明显的提高。相信读者一定能够从字里行间体会到我们的这些努力。

今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

由于我们对国际计算机科学、我国高校计算机教育的发展存在认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多有待提高之处,恳请广大师生和读者提出批评和建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- | | | |
|----|-----|---|
| 主任 | 杨芙清 | 北京大学教授
中国科学院院士
北京大学信息与工程学部主任
北京大学软件工程研究所所长 |
| 委员 | 王 珊 | 中国人民大学信息学院院长、教授 |
| | 胡道元 | 清华大学计算机科学与技术系教授
国际信息处理联合会通信系统中国代表 |
| | 钟玉琢 | 清华大学计算机科学与技术系教授
中国计算机学会多媒体专业委员会主任 |
| | 谢希仁 | 中国人民解放军理工大学教授
全军网络技术研究中心主任、博士生导师 |
| | 尤晋元 | 上海交通大学计算机科学与工程系教授
上海分布计算技术中心主任 |
| | 施伯乐 | 上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授
中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长 |
| | 邹 鹏 | 国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师
教育部计算机基础教学课程指导委员会副主任委员 |
| | 张昆藏 | 青岛大学信息工程学院教授 |

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,林学闾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对理论知识的有力补充,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久经时间的考验。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^[1]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^{TM[2]} 和 Wit^{TM[3]} 中的数字图像例子及问题的解答。在 Web 网址 [http://www.phoenix.net/~ castlman/](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: castleman@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的设备,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

第 1 章 图像及其数字处理	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
第 2 章 图像数字化	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
第 3 章 数字图像显示	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
第 4 章 图形处理软件	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
第5章 灰度直方图	58
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
第6章 点运算	68
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
第7章 代数运算	83
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
第8章 几何运算	94
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

第9章 线性系统理论	118
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
第 10 章 傅里叶变换	141
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
第 11 章 滤波器设计	171
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
第 12 章 采样数据的处理	209
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
第 13 章 离散图像变换	233
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
第 14 章 小波变换	252
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
第 15 章 光学和系统分析	294
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

第 16 章 图像复原	324
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
第 17 章	图像压缩	362
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
第 18 章	模式识别:图像分割	375
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
第 19 章	模式识别:物体测量	409
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
第 20 章 模式识别:分类与估计	430
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
第 21 章 彩色和多光谱图像处理	456
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
第 22 章 三维图像处理	469
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
附录 1 数字图像处理词汇表	503
附录 2 参考书目	509
附录 3 数学基础	535

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