

国外电子与通信教材系列

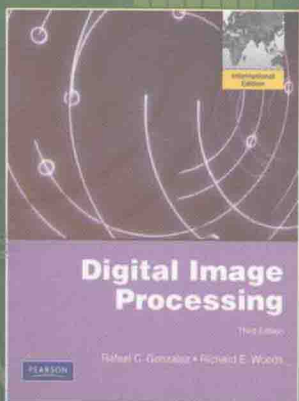
英文版

PEARSON

冈萨雷斯

数字图像处理 (第三版)

Digital Image Processing
Third Edition



[美]

Rafael C. Gonzalez
Richard E. Woods

著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

权威作者
经典力作

国外电子与通信教材系列

数字图像处理

(第三版)

(英文版)

Digital Image Processing

Third Edition

[美]

Rafael C. Gonzales
Richard E. Woods



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是数字图像处理经典著作，作者在对32个国家的134个院校和研究所的教师、学生及自学者进行广泛调查的基础上编写了第三版。除保留了第二版的大部分主要内容外，还根据收集的建议从13个方面进行了修订，新增400多幅图像、200多个图表和80多道习题，同时融入了近年来本科学领域的重要发展，使本书具有相当的特色与先进性。全书分为12章，包括绪论、数字图像基础、灰度变换与空间滤波、频域滤波、图像复原与重建、彩色图像处理、小波及多分辨率处理、图像压缩、形态学图像处理、图像分割、表现与描述、目标识别。本书已根据作者提供的勘误表进行过内容方面的更正。

本书适用对象主要是从事信号与信息处理、计算机科学与技术、自动化、电子科学与技术、通信工程、信息工程、地球物理、生物工程、生物医学工程、物理、化学、医学、遥感等领域的大学教师和科技工作者、研究生、大学本科高年级学生及工程技术人员。

Original edition, entitled Digital Image Processing, Third Edition, 9780132345637 by Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2010 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.

China edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY, Copyright © 2010.

This edition is manufactured in the People's Republic of China, and is authorized for sale only in the mainland of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR).

本书英文影印版专有出版权由 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。

此版本仅限在中国大陆出版发行。

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：01-2009-2866

图书在版编目 (CIP) 数据

数字图像处理：第3版 = Digital Image Processing, Third Edition: 英文 / (美) 冈萨雷斯 (Gonzalez, R. C.), (美) 伍兹 (Woods, R. E.) 著. - 北京：电子工业出版社，2010.1

(国外电子与通信教材系列)

ISBN 978-7-121-10207-3

I. 数… II. ①冈… ②伍… III. 数字图像处理—教材—英文 IV. TN919.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第005184号

责任编辑：马 岚

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司
装 订：

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 × 980 1/16 印张：61 字数：1776千字

印 次：2011年6月第3次印刷

定 价：79.80元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题，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 zltz@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和自由组合使用。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,我们通过与合作者联络、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	北京邮电大学校长、教授、博士生导师
	杨千里	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
	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 教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员
	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、通信与信息工程学院院长 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委员
	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	

Contents

<i>Preface</i>	15
<i>Acknowledgments</i>	19
<i>The Book Web Site</i>	20
<i>About the Authors</i>	21

1 Introduction 23

1.1	What Is Digital Image Processing?	23
1.2	The Origins of Digital Image Processing	25
1.3	Examples of Fields that Use Digital Image Processing	29
1.3.1	Gamma-Ray Imaging	30
1.3.2	X-Ray Imaging	31
1.3.3	Imaging in the Ultraviolet Band	33
1.3.4	Imaging in the Visible and Infrared Bands	34
1.3.5	Imaging in the Microwave Band	40
1.3.6	Imaging in the Radio Band	42
1.3.7	Examples in which Other Imaging Modalities Are Used	42
1.4	Fundamental Steps in Digital Image Processing	47
1.5	Components of an Image Processing System	50
	Summary	53
	References and Further Reading	53

2 Digital Image Fundamentals 57

2.1	Elements of Visual Perception	58
2.1.1	Structure of the Human Eye	58
2.1.2	Image Formation in the Eye	60
2.1.3	Brightness Adaptation and Discrimination	61
2.2	Light and the Electromagnetic Spectrum	65
2.3	Image Sensing and Acquisition	68
2.3.1	Image Acquisition Using a Single Sensor	70
2.3.2	Image Acquisition Using Sensor Strips	70
2.3.3	Image Acquisition Using Sensor Arrays	72
2.3.4	A Simple Image Formation Model	72
2.4	Image Sampling and Quantization	74
2.4.1	Basic Concepts in Sampling and Quantization	74
2.4.2	Representing Digital Images	77
2.4.3	Spatial and Intensity Resolution	81
2.4.4	Image Interpolation	87

- 2.5 Some Basic Relationships between Pixels 90**
 - 2.5.1 Neighbors of a Pixel 90
 - 2.5.2 Adjacency, Connectivity, Regions, and Boundaries 90
 - 2.5.3 Distance Measures 93
- 2.6 An Introduction to the Mathematical Tools Used in Digital Image Processing 94**
 - 2.6.1 Array versus Matrix Operations 94
 - 2.6.2 Linear versus Nonlinear Operations 95
 - 2.6.3 Arithmetic Operations 96
 - 2.6.4 Set and Logical Operations 102
 - 2.6.5 Spatial Operations 107
 - 2.6.6 Vector and Matrix Operations 114
 - 2.6.7 Image Transforms 115
 - 2.6.8 Probabilistic Methods 118
 - Summary 120**
 - References and Further Reading 120**
 - Problems 121**

3 *Intensity Transformations and Spatial Filtering 126*

- 3.1 Background 127**
 - 3.1.1 The Basics of Intensity Transformations and Spatial Filtering 127
 - 3.1.2 About the Examples in This Chapter 129
- 3.2 Some Basic Intensity Transformation Functions 129**
 - 3.2.1 Image Negatives 130
 - 3.2.2 Log Transformations 131
 - 3.2.3 Power-Law (Gamma) Transformations 132
 - 3.2.4 Piecewise-Linear Transformation Functions 137
- 3.3 Histogram Processing 142**
 - 3.3.1 Histogram Equalization 144
 - 3.3.2 Histogram Matching (Specification) 150
 - 3.3.3 Local Histogram Processing 161
 - 3.3.4 Using Histogram Statistics for Image Enhancement 161
- 3.4 Fundamentals of Spatial Filtering 166**
 - 3.4.1 The Mechanics of Spatial Filtering 167
 - 3.4.2 Spatial Correlation and Convolution 168
 - 3.4.3 Vector Representation of Linear Filtering 172
 - 3.4.4 Generating Spatial Filter Masks 173
- 3.5 Smoothing Spatial Filters 174**
 - 3.5.1 Smoothing Linear Filters 174
 - 3.5.2 Order-Statistic (Nonlinear) Filters 178
- 3.6 Sharpening Spatial Filters 179**
 - 3.6.1 Foundation 180
 - 3.6.2 Using the Second Derivative for Image Sharpening—The Laplacian 182

- 3.6.3 Unsharp Masking and Highboost Filtering 184
- 3.6.4 Using First-Order Derivatives for (Nonlinear) Image Sharpening—The Gradient 187
- 3.7 **Combining Spatial Enhancement Methods 191**
- 3.8 **Using Fuzzy Techniques for Intensity Transformations and Spatial Filtering 195**
 - 3.8.1 Introduction 195
 - 3.8.2 Principles of Fuzzy Set Theory 196
 - 3.8.3 Using Fuzzy Sets 200
 - 3.8.4 Using Fuzzy Sets for Intensity Transformations 208
 - 3.8.5 Using Fuzzy Sets for Spatial Filtering 211
 - Summary 214**
 - References and Further Reading 214**
 - Problems 215**

4 *Filtering in the Frequency Domain* 221

- 4.1 **Background 222**
 - 4.1.1 A Brief History of the Fourier Series and Transform 222
 - 4.1.2 About the Examples in this Chapter 223
- 4.2 **Preliminary Concepts 224**
 - 4.2.1 Complex Numbers 224
 - 4.2.2 Fourier Series 225
 - 4.2.3 Impulses and Their Sifting Property 225
 - 4.2.4 The Fourier Transform of Functions of One Continuous Variable 227
 - 4.2.5 Convolution 231
- 4.3 **Sampling and the Fourier Transform of Sampled Functions 233**
 - 4.3.1 Sampling 233
 - 4.3.2 The Fourier Transform of Sampled Functions 234
 - 4.3.3 The Sampling Theorem 235
 - 4.3.4 Aliasing 239
 - 4.3.5 Function Reconstruction (Recovery) from Sampled Data 241
- 4.4 **The Discrete Fourier Transform (DFT) of One Variable 242**
 - 4.4.1 Obtaining the DFT from the Continuous Transform of a Sampled Function 243
 - 4.4.2 Relationship Between the Sampling and Frequency Intervals 245
- 4.5 **Extension to Functions of Two Variables 247**
 - 4.5.1 The 2-D Impulse and Its Sifting Property 247
 - 4.5.2 The 2-D Continuous Fourier Transform Pair 248
 - 4.5.3 Two-Dimensional Sampling and the 2-D Sampling Theorem 249
 - 4.5.4 Aliasing in Images 250
 - 4.5.5 The 2-D Discrete Fourier Transform and Its Inverse 257

4.6	Some Properties of the 2-D Discrete Fourier Transform	258
4.6.1	Relationships Between Spatial and Frequency Intervals	258
4.6.2	Translation and Rotation	258
4.6.3	Periodicity	259
4.6.4	Symmetry Properties	261
4.6.5	Fourier Spectrum and Phase Angle	267
4.6.6	The 2-D Convolution Theorem	271
4.6.7	Summary of 2-D Discrete Fourier Transform Properties	275
4.7	The Basics of Filtering in the Frequency Domain	277
4.7.1	Additional Characteristics of the Frequency Domain	277
4.7.2	Frequency Domain Filtering Fundamentals	279
4.7.3	Summary of Steps for Filtering in the Frequency Domain	285
4.7.4	Correspondence Between Filtering in the Spatial and Frequency Domains	285
4.8	Image Smoothing Using Frequency Domain Filters	291
4.8.1	Ideal Lowpass Filters	291
4.8.2	Butterworth Lowpass Filters	295
4.8.3	Gaussian Lowpass Filters	298
4.8.4	Additional Examples of Lowpass Filtering	299
4.9	Image Sharpening Using Frequency Domain Filters	302
4.9.1	Ideal Highpass Filters	303
4.9.2	Butterworth Highpass Filters	306
4.9.3	Gaussian Highpass Filters	307
4.9.4	The Laplacian in the Frequency Domain	308
4.9.5	Unsharp Masking, Highboost Filtering, and High-Frequency-Emphasis Filtering	310
4.9.6	Homomorphic Filtering	311
4.10	Selective Filtering	316
4.10.1	Bandreject and Bandpass Filters	316
4.10.2	Notch Filters	316
4.11	Implementation	320
4.11.1	Separability of the 2-D DFT	320
4.11.2	Computing the IDFT Using a DFT Algorithm	321
4.11.3	The Fast Fourier Transform (FFT)	321
4.11.4	Some Comments on Filter Design	325
	Summary	325
	References and Further Reading	326
	Problems	326

5 *Image Restoration and Reconstruction* 333

5.1	A Model of the Image Degradation/Restoration Process	334
5.2	Noise Models	335
5.2.1	Spatial and Frequency Properties of Noise	335
5.2.2	Some Important Noise Probability Density Functions	336

- 5.2.3 Periodic Noise 340
- 5.2.4 Estimation of Noise Parameters 341
- 5.3 **Restoration in the Presence of Noise Only—Spatial Filtering** 344
 - 5.3.1 Mean Filters 344
 - 5.3.2 Order-Statistic Filters 347
 - 5.3.3 Adaptive Filters 352
- 5.4 **Periodic Noise Reduction by Frequency Domain Filtering** 357
 - 5.4.1 Bandreject Filters 357
 - 5.4.2 Bandpass Filters 358
 - 5.4.3 Notch Filters 359
 - 5.4.4 Optimum Notch Filtering 360
- 5.5 **Linear, Position-Invariant Degradations** 365
- 5.6 **Estimating the Degradation Function** 368
 - 5.6.1 Estimation by Image Observation 368
 - 5.6.2 Estimation by Experimentation 369
 - 5.6.3 Estimation by Modeling 369
- 5.7 **Inverse Filtering** 373
- 5.8 **Minimum Mean Square Error (Wiener) Filtering** 374
- 5.9 **Constrained Least Squares Filtering** 379
- 5.10 **Geometric Mean Filter** 383
- 5.11 **Image Reconstruction from Projections** 384
 - 5.11.1 Introduction 384
 - 5.11.2 Principles of Computed Tomography (CT) 387
 - 5.11.3 Projections and the Radon Transform 390
 - 5.11.4 The Fourier-Slice Theorem 396
 - 5.11.5 Reconstruction Using Parallel-Beam Filtered Backprojections 397
 - 5.11.6 Reconstruction Using Fan-Beam Filtered Backprojections 403
- Summary** 409
- References and Further Reading** 410
- Problems** 411

6 *Color Image Processing* 416

- 6.1 **Color Fundamentals** 417
- 6.2 **Color Models** 423
 - 6.2.1 The RGB Color Model 424
 - 6.2.2 The CMY and CMYK Color Models 428
 - 6.2.3 The HSI Color Model 429
- 6.3 **Pseudocolor Image Processing** 436
 - 6.3.1 Intensity Slicing 437
 - 6.3.2 Intensity to Color Transformations 440
- 6.4 **Basics of Full-Color Image Processing** 446
- 6.5 **Color Transformations** 448
 - 6.5.1 Formulation 448
 - 6.5.2 Color Complements 452

- 6.5.3 Color Slicing 453
- 6.5.4 Tone and Color Corrections 455
- 6.5.5 Histogram Processing 460
- 6.6 **Smoothing and Sharpening** 461
 - 6.6.1 Color Image Smoothing 461
 - 6.6.2 Color Image Sharpening 464
- 6.7 **Image Segmentation Based on Color** 465
 - 6.7.1 Segmentation in HSI Color Space 465
 - 6.7.2 Segmentation in RGB Vector Space 467
 - 6.7.3 Color Edge Detection 469
- 6.8 **Noise in Color Images** 473
- 6.9 **Color Image Compression** 476
 - Summary 477
 - References and Further Reading 478
 - Problems 478

7 *Wavelets and Multiresolution Processing* 483

- 7.1 **Background** 484
 - 7.1.1 Image Pyramids 485
 - 7.1.2 Subband Coding 488
 - 7.1.3 The Haar Transform 496
- 7.2 **Multiresolution Expansions** 499
 - 7.2.1 Series Expansions 499
 - 7.2.2 Scaling Functions 501
 - 7.2.3 Wavelet Functions 505
- 7.3 **Wavelet Transforms in One Dimension** 508
 - 7.3.1 The Wavelet Series Expansions 508
 - 7.3.2 The Discrete Wavelet Transform 510
 - 7.3.3 The Continuous Wavelet Transform 513
- 7.4 **The Fast Wavelet Transform** 515
- 7.5 **Wavelet Transforms in Two Dimensions** 523
- 7.6 **Wavelet Packets** 532
 - Summary 542
 - References and Further Reading 542
 - Problems 543

8 *Image Compression* 547

- 8.1 **Fundamentals** 548
 - 8.1.1 Coding Redundancy 550
 - 8.1.2 Spatial and Temporal Redundancy 551
 - 8.1.3 Irrelevant Information 552
 - 8.1.4 Measuring Image Information 553
 - 8.1.5 Fidelity Criteria 556

- 8.1.6 Image Compression Models 558
- 8.1.7 Image Formats, Containers, and Compression Standards 560
- 8.2 Some Basic Compression Methods 564**
 - 8.2.1 Huffman Coding 564
 - 8.2.2 Golomb Coding 566
 - 8.2.3 Arithmetic Coding 570
 - 8.2.4 LZW Coding 573
 - 8.2.5 Run-Length Coding 575
 - 8.2.6 Symbol-Based Coding 581
 - 8.2.7 Bit-Plane Coding 584
 - 8.2.8 Block Transform Coding 588
 - 8.2.9 Predictive Coding 606
 - 8.2.10 Wavelet Coding 626
- 8.3 Digital Image Watermarking 636**
 - Summary 643**
 - References and Further Reading 644**
 - Problems 645**

9 *Morphological Image Processing* 649

- 9.1 Preliminaries 650**
- 9.2 Erosion and Dilation 652**
 - 9.2.1 Erosion 653
 - 9.2.2 Dilation 655
 - 9.2.3 Duality 657
- 9.3 Opening and Closing 657**
- 9.4 The Hit-or-Miss Transformation 662**
- 9.5 Some Basic Morphological Algorithms 664**
 - 9.5.1 Boundary Extraction 664
 - 9.5.2 Hole Filling 665
 - 9.5.3 Extraction of Connected Components 667
 - 9.5.4 Convex Hull 669
 - 9.5.5 Thinning 671
 - 9.5.6 Thickening 672
 - 9.5.7 Skeletons 673
 - 9.5.8 Pruning 676
 - 9.5.9 Morphological Reconstruction 678
 - 9.5.10 Summary of Morphological Operations on Binary Images 684
- 9.6 Gray-Scale Morphology 687**
 - 9.6.1 Erosion and Dilation 688
 - 9.6.2 Opening and Closing 690
 - 9.6.3 Some Basic Gray-Scale Morphological Algorithms 692
 - 9.6.4 Gray-Scale Morphological Reconstruction 698
 - Summary 701**
 - References and Further Reading 701**
 - Problems 702**

10 *Image Segmentation* 711

- 10.1 Fundamentals** 712
- 10.2 Point, Line, and Edge Detection** 714
 - 10.2.1 Background 714
 - 10.2.2 Detection of Isolated Points 718
 - 10.2.3 Line Detection 719
 - 10.2.4 Edge Models 722
 - 10.2.5 Basic Edge Detection 728
 - 10.2.6 More Advanced Techniques for Edge Detection 736
 - 10.2.7 Edge Linking and Boundary Detection 747
- 10.3 Thresholding** 760
 - 10.3.1 Foundation 760
 - 10.3.2 Basic Global Thresholding 763
 - 10.3.3 Optimum Global Thresholding Using Otsu's Method 764
 - 10.3.4 Using Image Smoothing to Improve Global Thresholding 769
 - 10.3.5 Using Edges to Improve Global Thresholding 771
 - 10.3.6 Multiple Thresholds 774
 - 10.3.7 Variable Thresholding 778
 - 10.3.8 Multivariable Thresholding 783
- 10.4 Region-Based Segmentation** 785
 - 10.4.1 Region Growing 785
 - 10.4.2 Region Splitting and Merging 788
- 10.5 Segmentation Using Morphological Watersheds** 791
 - 10.5.1 Background 791
 - 10.5.2 Dam Construction 794
 - 10.5.3 Watershed Segmentation Algorithm 796
 - 10.5.4 The Use of Markers 798
- 10.6 The Use of Motion in Segmentation** 800
 - 10.6.1 Spatial Techniques 800
 - 10.6.2 Frequency Domain Techniques 804
- Summary** 807
- References and Further Reading** 807
- Problems** 809

11 *Representation and Description* 817

- 11.1 Representation** 818
 - 11.1.1 Boundary (Border) Following 818
 - 11.1.2 Chain Codes 820
 - 11.1.3 Polygonal Approximations Using Minimum-Perimeter Polygons 823
 - 11.1.4 Other Polygonal Approximation Approaches 829
 - 11.1.5 Signatures 830

- 11.1.6 Boundary Segments 832
- 11.1.7 Skeletons 834
- 11.2 Boundary Descriptors 837**
 - 11.2.1 Some Simple Descriptors 837
 - 11.2.2 Shape Numbers 838
 - 11.2.3 Fourier Descriptors 840
 - 11.2.4 Statistical Moments 843
- 11.3 Regional Descriptors 844**
 - 11.3.1 Some Simple Descriptors 844
 - 11.3.2 Topological Descriptors 845
 - 11.3.3 Texture 849
 - 11.3.4 Moment Invariants 861
- 11.4 Use of Principal Components for Description 864**
- 11.5 Relational Descriptors 874**
 - Summary 878**
 - References and Further Reading 878**
 - Problems 879**

12 *Object Recognition* 883

- 12.1 Patterns and Pattern Classes 883**
- 12.2 Recognition Based on Decision-Theoretic Methods 888**
 - 12.2.1 Matching 888
 - 12.2.2 Optimum Statistical Classifiers 894
 - 12.2.3 Neural Networks 904
- 12.3 Structural Methods 925**
 - 12.3.1 Matching Shape Numbers 925
 - 12.3.2 String Matching 926
 - Summary 928**
 - References and Further Reading 928**
 - Problems 929**

Appendix A 932

Bibliography 937

Index 965

前 言

《数字图像处理(第三版)》是这本经典教材的一次重要修订。正如由冈萨雷斯(Gonzalez)和温茨(Wintz)编著的1977年版和1988年版,以及由冈萨雷斯和伍茨(Woods)编著的1992年版和2002年版那样,这一第五代版本是基于学生和教师的需求而准备的。此书的主要目的仍是介绍数字图像处理的基本概念和方法,并为在该领域进一步学习和研究打好基础。为了达到这一目的,我们再一次把注意力集中在基础和应用上,而并不局限于特殊问题的解决。本书的数学复杂性保持在大学高年级和研究生一年级能很好地理解的水平上,他们已有数学分析、向量、矩阵、概率论、统计、线性系统和计算机编程方面的预备知识。本书配套Web站点提供了教学指导,以支持需要背景资料评述的读者。

本书在该领域处在引领地位30余年的主要原因是,我们对读者的不断变化的教育需求给予了极大关注。现在的版本是在不断进行最广泛的调查的基础上编写的。这些调查涉及了来自32个国家的134个院校和研究所的教师、学生和自学者。调查表明存在如下一些需求:

- 更早地介绍图像处理中所用的数学工具。
- 直方图处理技术的扩展说明。
- 逐步叙述复杂算法概要。
- 空域相关和卷积的扩展说明。
- 模糊集及其在图像处理中的应用的介绍。
- 频域处理相关内容的修订,从基本原理开始说明从数据取样得出的离散傅里叶变换。
- 计算机断层成像(CT)的内容。
- 在关于小波的一章中,基本概念更清晰。
- 数据压缩章节的修订,包括更多的视频压缩技术,更新了的标准,以及水印。
- 关于形态学的一章进行扩充,以包括形态学重构,另外还有灰度级形态学的修订。
- 包括更先进的边缘检测技术,如坎尼算法及图像阈值的更全面处理。
- 更新关于图像表示与描述的一章。
- 结构识别内容的合理化。

现在版本中的新内容和经过重新组织的内容,是在论述的严密性、描述的清晰性和市场调查结论之间的一个可接受的平衡点,同时全书也保持了适当的篇幅。下文列出了对这一版所做的主要改动。