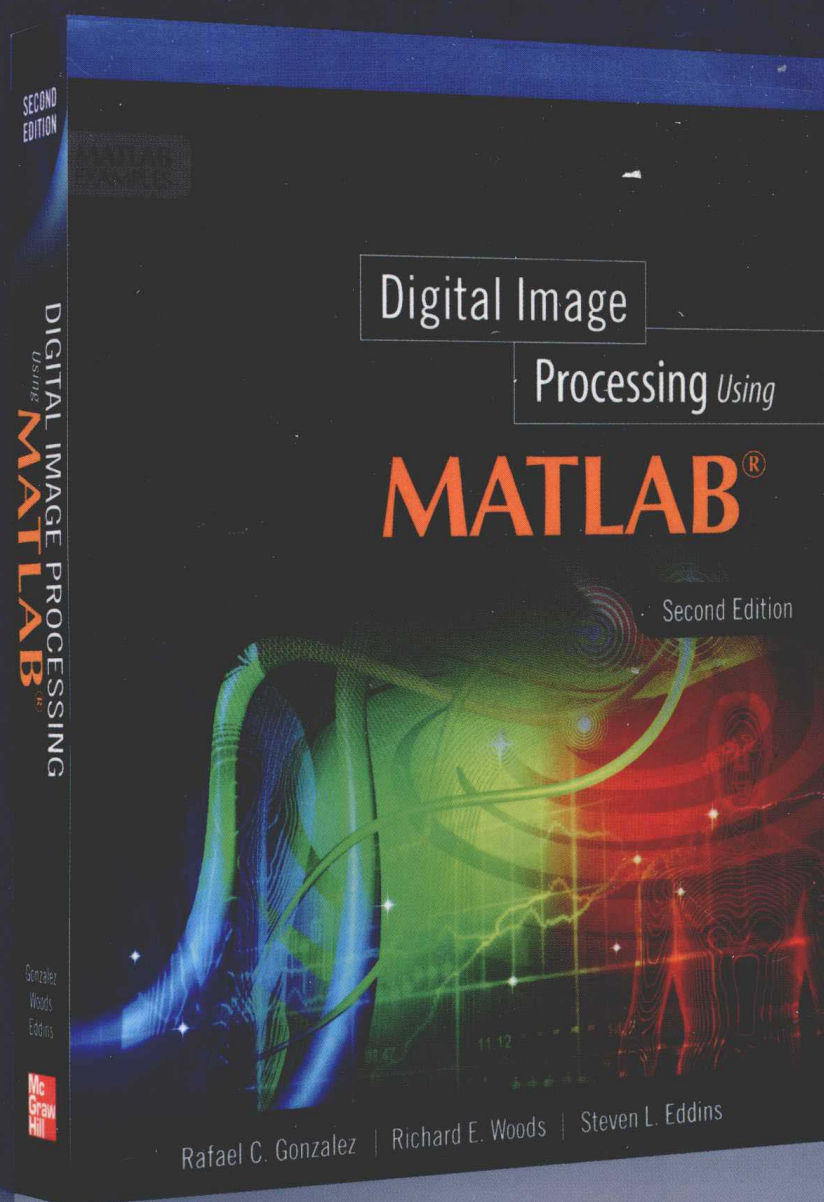


数字图像处理的 MATLAB实现(第2版)

[美] Rafael C. Gonzalez Richard E. Woods Steven L. Eddins 著
阮秋琦 译



国外计算机科学经典教材

数字图像处理的 MATLAB 实现

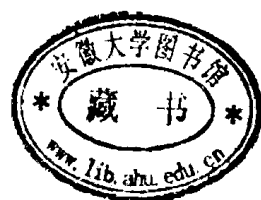
(第 2 版)

Rafael C. Gonzalez

[美] Richard E. Woods 著

Steven L. Eddins

阮秋琦 译



清华大学出版社

北 京

Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, Steven L. Eddins
Digital Image Processing Using MATLAB, Second Edition
EISBN: 978-0-071-08478-9

Copyright © 2011 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and Tsinghua University Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyright © 2013 by McGraw-Hill Education (Asia), a division of the Singapore Branch of The McGraw-Hill Companies, Inc. and Tsinghua University Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司和清华大学出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内(不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾)销售。

版权©2013 由麦格劳-希尔(亚洲)教育出版公司与清华大学出版社所有。

北京市版权局著作权合同登记号 图字：01-2011-6441

本书封面贴有 McGraw-Hill 公司防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理的 MATLAB 实现：第 2 版/(美)冈萨雷斯(Gonzalez, R.)，(美)伍兹(Woods, R.)，(美)艾丁斯(Eddins, S.) 著；阮秋琦 译。—北京：清华大学出版社，2013.4

(国外计算机科学经典教材)

书名原文：Digital Image Processing Using MATLAB, Second Edition

ISBN 978-7-302-30745-7

I. ①数… II. ①冈… ②伍… ③艾… ④阮… III. ①数字图像处理—Matlab 软件—教材
IV. ①TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 284173 号

责任编辑：王 军 李维杰

装帧设计：牛静敏

责任校对：邱晓玉

责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者：清华大学印刷厂

装 订 者：三河市溧源装订厂

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：37.5 彩 插：2 字 数：959 千字

版 次：2013 年 4 月第 1 版 印 次：2013 年 4 月第 1 次印刷

印 数：1~4000

定 价：69.80 元

产品编号：041524-01

出版说明

近年来，我国的高等教育特别是计算机学科教育，进行了一系列大的调整和改革，亟需一批门类齐全、具有国际先进水平的计算机经典教材，以适应我国当前计算机科学的教学需要。通过使用国外优秀的计算机科学经典教材，可以了解并吸收国际先进的教学思想和教学方法，使我国的计算机科学教育能够跟上国际计算机教育发展的步伐，从而培养出更多具有国际水准的计算机专业人才，增强我国计算机产业的核心竞争力。为此，我们从国外多家知名的出版机构 Pearson、McGraw-Hill、John Wiley & Sons、Springer、Cengage Learning 等精选、引进了这套“国外计算机科学经典教材”。

作为世界级的图书出版机构，Pearson、McGraw-Hill、John Wiley & Sons、Springer、Cengage Learning 通过与世界级的计算机教育大师携手，每年都为全球的计算机高等教育奉献大量的优秀教材。清华大学出版社和这些世界知名的出版机构长期保持着紧密友好的合作关系，这次引进的“国外计算机科学经典教材”便全是出自上述这些出版机构。同时，为了组织该套教材的出版，我们在国内聘请了一批知名的专家和教授，成立了专门的教材编审委员会。

教材编审委员会的运作从教材的选题阶段即开始启动，各位委员根据国内外高等院校计算机科学及相关专业的现有课程体系，并结合各个专业的培养方向，从上述这些出版机构出版的计算机系列教材中精心挑选针对性强的题材，以保证该套教材的优秀性和领先性，避免出现“低质重复引进”或“高质消化不良”的现象。

为了保证出版质量，我们为这套教材配备了一批经验丰富的编辑、排版、校对人员，制定了更加严格的出版流程。本套教材的译者，全部由对应专业的高校教师或拥有相关经验的 IT 专家担任。每本教材的责编在翻译伊始，就定期不间断地与该书的译者进行交流与反馈。为了尽可能地保留与发扬教材原著的精华，在经过翻译、排版和传统的三审三校之后，我们还请编审委员或相关的专家教授对文稿进行审读，以最大程度地弥补和修正在前面一系列加工过程中对教材造成的误差和瑕疵。

由于时间紧迫和受全体制作人员自身能力所限，该套教材在出版过程中很可能还存在一些遗憾，欢迎广大师生来电来信批评指正。同时，也欢迎读者朋友积极向我们推荐各类优秀的国外计算机教材，共同为我国高等院校计算机教育事业贡献力量。

清华大学出版社

国外计算机科学经典教材

编审委员会

主任委员:

孙家广 清华大学教授

副主任委员:

周立柱 清华大学教授

委员(按姓氏笔画排序):

王成山	天津大学教授
王 珊	中国人民大学教授
冯少荣	厦门大学教授
冯全源	西南交通大学教授
刘乐善	华中科技大学教授
刘腾红	中南财经政法大学教授
吉根林	南京师范大学教授
孙吉贵	吉林大学教授
阮秋琦	北京交通大学教授
何 晨	上海交通大学教授
吴百锋	复旦大学教授
李 彤	云南大学教授
沈钧毅	西安交通大学教授
邵志清	华东理工大学教授
陈 纯	浙江大学教授
陈 钟	北京大学教授
陈道蓄	南京大学教授
周伯生	北京航空航天大学教授
孟祥旭	山东大学教授
姚淑珍	北京航空航天大学教授
徐佩霞	中国科学技术大学教授
徐晓飞	哈尔滨工业大学教授
秦小麟	南京航空航天大学教授
钱培德	苏州大学教授
曹元大	北京理工大学教授
龚声蓉	苏州大学教授
谢希仁	中国人民解放军理工大学教授

作者简介

Rafael C. Gonzalez

Rafael C. Gonzalez 于 1965 年从美国迈阿密大学获得电子工程学士学位，并于 1967 年和 1970 年在美国佛罗里达大学分别获得电子工程硕士和博士学位。1970 年加盟田纳西大学(UTK)电子工程和计算机科学系。1973 年晋升为副教授，1978 年晋升为教授，1984 年成为杰出贡献教授。他从 1994 年到 1997 年任系主任。现已退休，担任田纳西大学的电子和计算机科学名誉教授。

他是田纳西大学图像和模式分析实验室、机器人和计算机视觉实验室的创始人。1982 年他还创建了 Perceptics 公司，直至 1992 年一直任董事长；1989 年 Westinghouse 股份有限公司收购了这家公司。在他的指导下，Perceptics 公司在图像处理、计算机视觉、光盘存储技术方面取得了极大成功。在刚开始的 10 年中，Perceptics 公司推出一系列创新产品，包括全球首款商用计算机视觉系统，该系统可自动读取行进中车辆的车牌；在遍布全美 6 个不同制造地点生产供美国海军使用的一系列大规模图像处理和归档系统，这种系统用于检测 Trident II 潜艇项目中导弹的火箭发动机；为先进的 Macintosh 计算机设计市场领先的图像板；拥有万亿字节的光盘生产线。

他还是模式识别、图像处理和机器学习领域企业和政府的常任顾问。他在这些领域获得的学术荣誉包括：1977 年 UTK 工学院职员成就奖、1978 年 UTK Chancellor 的研究学者奖、1980 年 Magnavox 工程教授奖以及 1980 年 M.E.Brooks 杰出教授奖。1981 年他成为田纳西大学的 IBM 教授，并于 1984 年被评为杰出贡献教授。他于 1985 年获得迈阿密大学授予的著名校友奖，1986 年获得 Phi Kappa Phi 学者奖，1992 年获得田纳西大学的 Nathan W. Dougherty 工程优秀奖。工业领域的荣誉包括：1987 年获得 IEEE 田纳西商业发展杰出工程师奖、1988 年获得 Albert Rose National 商业图像处理优秀奖、1989 年获得 B.Otto Wheeley 优秀技术传播奖、1989 年获得 Coopers 和 Lybrand 企业家年度奖、1992 年获得 IEEE 第 3 区杰出工程师奖以及 1993 年 Technology Development 的自动成像协会国家奖。

Gonzalez 博士在模式识别、图像处理和机器人领域单独撰写或与他人合作撰写了 100 多篇技术文章、两本技术书籍和 5 本教科书。他的书在遍布全球的 1000 多所大学和研究机构使用。他列入全美名人传、工程名人传、世界名人传和 10 个其他国家的国际名人传。他是两个美国专利持有者或合有者，并担任 *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics* 和《国际计算机和信息科学》杂志的副主编。他是多个专业和名誉学会的会员，包括 Tau Beta Pi、Phi Kappa Phi、Eta Kappa Nu 和 Sigma Xi。他还是 IEEE 的会士。

Richard E. Woods

Richard E. Woods 在田纳西大学获得电子工程学士、硕士和博士学位。他有广泛的专业经历,做过企业家、传统的学术工作者、政府顾问和工业管理者。最近他创立了 MedData 交互公司,这是一家专门开发医用手持计算机系统的高科技公司。他还是 Perceptics 公司的奠基人和副总裁,在该公司,负责许多公司的定量图像分析和自动决策产品的开发。

在加盟 Perceptics 和 MedData 之前, Woods 博士担任田纳西大学电子工程和计算机科学系的助理教授,还曾任 Union Carbide 公司的计算机应用工程师。作为顾问,他参与为多个空间和军事机关(包括 NASA、弹道导弹系统指挥和 Oak Ridge 国家实验室)开发各种专用数字处理器。

Woods 博士发表或合作发表了大量有关数字信号处理方面的文章,并且是本领域引领性教科书《数字图像处理》的合著者。他是多个专业学会(包括 Tau Beta Pi、Phi Kappa Phi 和 IEEE)的会员。1986 年他被评为田纳西大学杰出工程校友。

Steven L. Eddins

Steven L. Eddins 是 MathWorks 公司图像处理开发组的项目经理。他领导开发了该公司多个版本的图像处理工具箱。他的专业兴趣包括构建基于最新图像处理算法且广泛用于科学和工程领域的软件工具。在 1993 年加盟 MathWorks 公司之前, Eddins 博士是芝加哥伊利诺依大学电子工程和计算机科学系的教师。在那里,他为研究生和高年级学生讲授数字图像处理、计算机视觉、模式识别和滤波器设计课程,并从事图像压缩方面的研究。Eddins 博士于 1986 年在芝加哥工学院电子工程系获得学士学位,于 1990 年在该校获得博士学位,他是 IEEE 高级会员。



致 谢

在此衷心感谢学术界、工业界和政府部门中为本书作出贡献的多位人士，对于他们以各种方式为本书所做的重大贡献，感激之情无以言表。他们是 Mongi A. Abidi、Peter J. Acklam、Serge Beucher、Ernesto Bribiesca、Michael W. Davidson、Courtney Esposito、Naomi Fernandes、Susan L. Forsburg、Thomas R. Gest、Chris Griffin、Daniel A. Hammer、Roger Heady、Brian Johnson、Mike Karr、Lisa Kempler、Roy Lurie、Jeff Mather、Eugene McGoldrick、Ashley Mohamed、Joseph E. Pascente、David R. Pickens、Edgardo Felipe Riveron、Michael Robinson、Brett Shoelson、Loren Shure、Inpakala Simon、Jack Sklanski、Sally Stowe、Craig Watson、Greg Wolodkin 和 Mara Yale(按这些人士姓氏的首字母排序)。我们还要感谢允许在本书中使用与之相关的材料的组织。

前言

本书在上一版的基础上做了全面更新。像上一版一样，本书重点关注这样一个事实：在数字图像处理领域，问题求解通常需要完成大量实验工作，包括软件模拟和对大量样本图像的测试。虽然典型算法的开发是以理论知识为基础的，但这些算法的实际实现几乎总是要求参数评估，并常常做算法的修正和候选解决方案的比较。这样一来，灵活的、全面的选择和文档资料齐全的软件开发环境往往成为关键因素，软件开发环境在成本、开发时间和图像处理解决方法的可移植性上都具有重要的影响。

尽管如此重要，但意外的是很少有以教材形式编写的涉及数字图像处理的理论原理和软件实现方面的材料。2004年撰写的本书第1版正好满足了这一需要。这个新版本秉承了这一宗旨，它的主要目标是为用现代软件工具实现图像处理算法提供基础。额外目标是使本书自成系统，通俗易懂，便于具有数字图像处理、数学分析及计算机编程基础知识背景的人理解和学习，所有这些基础知识在技术学科初级或高级课程中都可以找到。同时也希望读者具备 MATLAB 的初级知识。

为达到这一目的，我们觉得需要两个关键因素。首先是选择图像处理素材，也就是在数字图像处理领域、涵盖在正规课程中的有代表性的素材；其次是选择已经得到充分支持和证明，并在现实世界中得到广泛应用的软件工具。

为了满足本书的主要目的，后续各章中的多数理论概念选自 Gonzalez 和 Woods 合著的《数字图像处理》一书，该书在 30 多年中被全世界教师选为引领性的教材。所选的软件工具来自 MATLAB 数字图像处理工具箱，该工具箱在教育 and 工业应用中同样占有优势。撰写本书的基本策略是继续在成熟的理论概念和使用最新软件工具的实现技巧之间提供无缝集成。

本书内容沿用了《数字图像处理》一书的组织方式。采用这种方法，读者很容易理解本书讨论的所有数字图像处理概念，并将它们作为进一步阅读的最新参考。

遵循这种方法，使得我们能以简明扼要的方法提供理论材料，从而集中精力解决图像处理问题的软件实现。因为图像处理工作在 MATLAB 计算环境下，所以图像处理工具箱具有极大的优势，这不仅体现在计算工具的宽泛性上，而且还体现在它支持今天所用的大多数操作系统上。这本书的鲜明特点是强调如何开发新代码以增强已有的 MATLAB 和工具箱功能。这在图像处理领域是重要特性，正如前面提到的那样，这是大量的算法开发和实验工作所需要的特性。

在介绍了 MATLAB 函数和编程基础知识后，本书接着讨论图像处理的主要方面，涵盖的内容包括灰度变换、模糊图像处理、线性和非线性空间滤波、频域滤波、图像复原和重建、几何变换和图像配准、彩色图像处理、小波、图像数据压缩、数学形态学图像处理、

图像分割、区域和边界表示及描述，还包括如何用 MATLAB 和工具箱函数解决图像处理问题的大量说明。在没有所需函数的情况下，编写新的函数和文本也作为本书教学中强调的内容。后续章节包括了120多个新函数。这些函数使图像处理工具箱的范围增加了近40%，也进一步说明了如何实现新的图像处理软件解决方案。

本书是一本教科书，并非软件手册。虽然本书自成系统，但我们还是建立了与本书配套的学习资源网站，该网站被设计用于支持很多领域(见 1.5 节)。对于学生来说，为便于跟踪正常课程学习，或者便于个别从事编程的人员自学，该网站包括背景材料的辅导和综述，以及方案和本书中所有图像的图像库。对于教师来说，该网站包含课堂上讲授的材料和书中使用的所有图像、图形的 PPT。已很熟悉图像处理和工具箱基础知识的人员可以发现该网站包含最新参考、最新实现技术以及在其他地方不容易找到的热点支持材料。所有新书选购者都有资格免费下载本书开发的所有新函数的可执行文件。

正像大多数此类书籍那样，在手稿完成以后，我们一直在努力修改。因此，我们在内容取舍方面已尽了很大努力，这些内容都是基本内容。虽然数字图像处理领域的知识体系在快速更新和完善，但本书介绍的知识不会过时，将会历久弥新。我们相信，本书的读者将从中受益，并因此发现本书在他们的工作中是适时且有用的。

本书配套学习资源网站

本书完全自成体系，配套学习资源网站 www.ImageProcessingPlace.com 为大量重要领域提供了有力支持。

对于学生或各位读者来说，网站包括：

- 回顾 MATLAB、概率、统计、向量和矩阵等方面的知识
- 计算机项目示例
- 用于指导完成本书讨论的大多数话题的辅导章节
- 包含本书全部图像的数据库

对于教师来说，网站包括：

- PPT 形式的课堂教学材料
- 指向其他培训资源的多个链接

对于从业者来说，网站包含了其他一些专题，例如：

- 与商业网站的链接
- 挑选出的最新参考资料
- 与商业图像数据库的链接

网站包含新话题、数字图像以及本书出版后出现的其他相关材料，可使读者不断了解到最前沿、最新的内容。

本书虽然经过千锤百炼，但个别错误仍在所难免，读者可以通过浏览本书配套学习资源网站来了解勘误信息。

目 录

第 1 章 绪言 1	
1.1 背景知识.....1	
1.2 什么是数字图像处理.....2	
1.3 MATLAB 和图像处理工具箱的 背景知识.....3	
1.4 本书涵盖的图像处理范围.....3	
1.5 本书配套学习资源网站.....4	
1.6 符号.....5	
1.7 MATLAB 基础.....5	
1.7.1 MATLAB 桌面.....5	
1.7.2 使用 MATLAB 编辑器和 调试器.....6	
1.7.3 获得帮助.....6	
1.7.4 保存和检索工作数据.....7	
1.7.5 数字图像的表达.....7	
1.7.6 图像的输入/输出和显示.....9	
1.7.7 类和图像类型..... 10	
1.7.8 M-函数编程..... 12	
1.8 关于本书的参考文献.....24	
1.9 小结.....24	
第 2 章 灰度变换与空间滤波 25	
2.1 背景知识.....25	
2.2 灰度变换函数.....26	
2.2.1 imadjust 和 stretchlim 函数..... 26	
2.2.2 对数及对比度扩展变换..... 28	
2.2.3 指定任意灰度变换..... 29	
2.2.4 针对灰度变换的某些公用 M-函数..... 30	
2.3 直方图处理与函数绘图.....35	
2.3.1 生成并绘制图像的直方图..... 35	
2.3.2 直方图均衡化..... 39	
2.3.3 直方图匹配法(规定化)..... 42	
2.3.4 函数 adapthisteq..... 45	
2.4 空间滤波.....46	
2.4.1 线性空间滤波..... 47	
2.4.2 非线性空间滤波..... 52	
2.5 图像处理工具箱中标准的 空间滤波器.....54	
2.5.1 线性空间滤波器..... 54	
2.5.2 非线性空间滤波..... 58	
2.6 将模糊技术用于灰度变换和 空间滤波.....59	
2.6.1 背景知识..... 60	
2.6.2 模糊集合介绍..... 60	
2.6.3 使用模糊集合..... 63	
2.6.4 一组自定义的模糊 M-函数..... 68	
2.6.5 将模糊集合用于灰度变换..... 81	
2.6.6 将模糊集合用于空间滤波..... 83	
2.7 小结.....87	
第 3 章 频域处理 89	
3.1 二维离散傅立叶变换.....89	
3.2 在 MATLAB 中计算及观察 二维 DFT.....92	
3.3 频域滤波.....95	
3.3.1 基础知识..... 95	
3.3.2 DFT 滤波的基本步骤..... 99	
3.3.3 频域滤波的 M-函数..... 100	
3.4 从空域滤波器获得 频域滤波器.....101	

3.5	在频域中直接生成滤波器	105	4.11.2	平行射束投影和雷登变换	156
3.5.1	建立网格数组以实现频域滤波器	105	4.11.3	傅立叶切片定理与滤波反投影	158
3.5.2	频域低通(平滑)滤波器	106	4.11.4	滤波器的实现	160
3.5.3	线框及表面绘制	108	4.11.5	利用扇形射束的滤波反投影重建	161
3.6	高通(锐化)频域滤波器	111	4.11.6	函数 radon	161
3.6.1	高通滤波函数	112	4.11.7	函数 iradon	163
3.6.2	高频强调滤波	113	4.11.8	扇形射束的数据处理	166
3.7	选择性滤波	115	4.12	小结	173
3.7.1	带阻和带通滤波器	115	第 5 章	几何变换与图像配准	175
3.7.2	陷波带阻和陷波带通滤波器	117	5.1	点变换	175
3.8	小结	122	5.2	仿射变换	179
第 4 章	图像复原	123	5.3	投影变换	181
4.1	图像退化/复原处理的模型	123	5.4	应用于图像的几何变换	182
4.2	噪声模型	124	5.5	MATLAB 中的图像坐标系统	184
4.2.1	用 imnoise 函数为图像添加噪声	124	5.5.1	输出图像位置	186
4.2.2	用给定分布产生空间随机噪声	125	5.5.2	控制输出网格	188
4.2.3	周期噪声	132	5.6	图像内插	190
4.2.4	估计噪声参数	135	5.6.1	二维内插	192
4.3	仅有噪声的复原——空间滤波	139	5.6.2	内插方法的比较	193
4.3.1	空间噪声滤波器	139	5.7	图像配准	194
4.3.2	自适应空间滤波器	142	5.7.1	配准处理	195
4.4	通过频域滤波减少周期噪声	144	5.7.2	使用 cpselect 的手工特征选择和匹配	195
4.5	退化函数建模	144	5.7.3	使用 cp2tform 推断变换参数	196
4.6	直接逆滤波	146	5.7.4	观察对准的图像	197
4.7	维纳滤波	147	5.7.5	基于区域的配准	199
4.8	约束的最小二乘法(规则化)滤波	149	5.7.6	基于特征的自动配准	202
4.9	利用露西-理查德森算法的迭代非线性复原	151	5.8	小结	203
4.10	盲去卷积	154	第 6 章	彩色图像处理	205
4.11	来自投影的图像重建	155	6.1	在 MATLAB 中彩色图像 表示	205
4.11.1	背景	155	6.1.1	RGB 图像	205

6.1.2	索引图像	207	8.2.1	霍夫曼码	289
6.1.3	处理 RGB 图像和索引 图像的函数	210	8.2.2	霍夫曼编码	293
6.2	彩色空间之间的转换	213	8.2.3	霍夫曼译码	298
6.2.1	NTSC 彩色空间	213	8.3	空间冗余	305
6.2.2	YCbCr 彩色空间	214	8.4	不相关的信息	309
6.2.3	HSV 彩色空间	214	8.5	JPEG 压缩	311
6.2.4	CMY 和 CMYK 彩色空间	215	8.5.1	JPEG	312
6.2.5	HSI 彩色空间	216	8.5.2	JPEG 2000	317
6.2.6	独立于设备的彩色空间	222	8.6	视频压缩	324
6.3	彩色图像处理的基础知识	229	8.6.1	MATLAB 图像序列和 电影	325
6.4	彩色变换	230	8.6.2	时间冗余和运动补偿	327
6.5	彩色图像的空间滤波	237	8.7	小结	334
6.5.1	彩色图像的平滑处理	237	第 9 章	形态学图像处理	335
6.5.2	彩色图像的锐化处理	240	9.1	预备知识	335
6.6	直接在 RGB 矢量空间中 处理	241	9.1.1	集合论中的基本概念	335
6.6.1	使用梯度的彩色边缘检测	241	9.1.2	二值图像、集合及 逻辑算子	337
6.6.2	在 RGB 向量空间中 分割图像	244	9.2	膨胀和腐蚀	338
6.7	小结	247	9.2.1	膨胀	338
第 7 章	小波	249	9.2.2	结构元的分解	340
7.1	背景	249	9.2.3	strel 函数	341
7.2	快速小波变换	251	9.2.4	腐蚀	343
7.2.1	使用小波工具箱的 FWT	252	9.3	膨胀与腐蚀的结合	345
7.2.2	不使用小波工具箱的 FWT	257	9.3.1	开操作和闭操作	345
7.3	小波分解结构的处理	264	9.3.2	击中或击不中变换	347
7.3.1	不使用小波工具箱编辑 小波分解系数	266	9.3.3	运用查询表	349
7.3.2	显示小波分解系数	270	9.3.4	bwmorph 函数	353
7.4	快速小波反变换	274	9.4	标记连通分量	355
7.5	图像处理中的小波	278	9.5	形态学重建	358
7.6	小结	282	9.5.1	通过重建进行开操作	359
第 8 章	图像压缩	283	9.5.2	填充孔洞	359
8.1	背景	283	9.5.3	清除边界物体	360
8.2	编码冗余	286	9.6	灰度级形态学	360
			9.6.1	膨胀和腐蚀	361
			9.6.2	开操作和闭操作	362
			9.6.3	重建	366
			9.7	小结	369

第 10 章 图像分割	371	第 11 章 表示与描述	415
10.1 点、线和边缘检测	371	11.1 背景知识	415
10.1.1 点检测	372	11.1.1 用于提取区域及其 边界的函数	416
10.1.2 线检测	373	11.1.2 本章使用的 MATLAB 和 IPT 附加函数	419
10.1.3 使用函数 edge 的 边缘检测	374	11.1.3 一些基本的实用 M-函数	420
10.2 使用霍夫变换的线检测	381	11.2 表示	422
10.2.1 背景	381	11.2.1 链码	422
10.2.2 与霍夫变换有关的 工具箱函数	383	11.2.2 使用最小周长多边形的 多边形近似	424
10.3 阈值处理	386	11.2.3 标记	430
10.3.1 基础知识	386	11.2.4 边界片段	431
10.3.2 基本全局阈值处理	387	11.2.5 骨骼	432
10.3.3 使用 Otsu's 方法的最佳 全局阈值处理	388	11.3 边界描述子	433
10.3.4 使用图像平滑改进全局 阈值处理	391	11.3.1 一些简单的描述子	433
10.3.5 使用边缘改进全局阈值 处理	392	11.3.2 形状数	434
10.3.6 基于局部统计的可变 阈值处理	396	11.3.3 傅立叶描述子	435
10.3.7 使用移动平均的图像 阈值处理	398	11.3.4 统计矩	438
10.4 基于区域的分割	400	11.3.5 拐角	439
10.4.1 基本表达式	401	11.4 区域描述子	445
10.4.2 区域生长	401	11.4.1 函数 regionprops	445
10.4.3 区域分离和聚合	404	11.4.2 纹理	447
10.5 使用分水岭变换的分割	408	11.4.3 不变矩	456
10.5.1 使用距离变换的分水岭 分割	409	11.5 主分量描述	458
10.5.2 使用梯度的分水岭 分割	410	11.6 小结	466
10.5.3 控制标记符的分水岭 分割	411	附录 A M-函数汇总	467
10.6 小结	413	附录 B ICE 和 MATLAB 的图形 用户界面	485
		附录 C 附加的自定义 M-函数	507
		参考文献	557
		索引	561

绪 言

数字图像处理的特点在于需要完成大量的实验工作来确立对给定问题的求解方法。本章概括性地介绍如何把数字图像处理中的基础理论和现代软件集成为原型环境，以便为解决图像处理中的各类问题提供一组良好的支持工具。

1.1 背景知识

图像处理系统基础设计的重要特点是测试和实验的有效程度，正常情况下，这在得出可接受的解决办法之前是必要的。这一特点意味着在实现时，公式化方法和快速原型候选求解能力在减少运算开销和时间方面会起重要作用。

以教学素材的方式在软件环境的充分支持下填补理论和应用之间空白的著作并不多。本书的宗旨是将宽泛的理论概念与用现代图像处理软件工具实现这些概念所需的知识集成在一起。在后续章节中，素材的基础理论主要来自 Gonzalez 和 Woods 合著的引领性教科书《数字图像处理》。软件代码和支持工具则基于 MathWorks 公司开发的在数字图像处理领域处于领先地位的软件：MATLAB 及图像处理工具箱(见 1.3 节)。书中的素材与 Gonzalez 和 Woods 合著图书常用的结构、符号及风格相同，这样，两本书相互对照就变得简单了。

本书自成系统。为了熟练掌握本书的内容，读者应该已经掌握图像处理方面的入门知识，或者学习本科高年级或研究生一年级的正规课程，或者具有自学编程所必需的背景。我们还假设读者熟悉 MATLAB 以及初步的计算机编程基础知识。因为 MATLAB 是面向矩阵的语言，掌握矩阵分析的基本知识也是很有帮助的。

本书以原理为基础，以教材的形式进行组织和介绍，而不是一本手册。因而，在开发任何新的程序之前都首先会介绍理论和软件的基本概念。通过列举大量的例子来说明和进一步阐述本书的概念，这些例子涵盖医学、工业检测、遥感乃至天文学等领域。利用这种编排方法，可以循序渐进地介绍简单概念乃至图像处理算法的复杂实现。然而，已经熟悉 MATLAB、图像处理工具箱(Image Processing Toolbox, IPT)和图像处理基础知识的读者可以直接转入自己感兴趣的具體应用；在这种情况下，书中的函数可作为工具箱函数的扩展来使用。本书开发的所有新函数都备有文档资料，并且每个函数的代码都包括在各章或附录 C 中。

本书后续章节开发了 120 多个自定义函数。这些函数将图像处理工具箱中大约 270 个函数集扩充了近 45%。另外，为了配合特殊应用，新函数还列举了例子，说明如何把已有的 MATLAB

和 IPT 函数与新的源码结合在一起,以便在数字图像处理中较宽泛的领域内开发原型求解方案。工具箱函数及本书开发的函数可在大多数操作系统下运行。本书的配套学习资源网站提供了完整的列表(见 1.5 节)。

1.2 什么是数字图像处理

一幅图像可以定义为一个二维函数 $f(x, y)$, 这里的 x 和 y 是空间坐标, 而在任意坐标 (x, y) 处的幅度 f 被称为这一坐标位置图像的亮度或灰度。当 x 、 y 和 f 的幅值都是有限的离散值时, 称图像为数字图像。数字图像处理的研究领域就是借助计算机处理数字图像。注意, 数字图像由有限数量的元素组成, 每个元素都有特殊的位置和数值。这些元素称为画像元素 (picture element)、图像元素 (image element) 和像素 (pixel)。像素是定义数字图像元素时使用最广泛的术语。在 1.7.5 节将正式讨论这些定义。

视觉是我们感觉中最高级的感知, 因此, 图像在人类感知中起着唯一最重要的作用并不奇怪。人类视觉被限制在电磁波谱的可视波段, 而成像机器则几乎覆盖全部电磁波谱, 范围从伽马射线到无线电波。它们还可以对那些由人类不常涉及的图像源产生的图像进行处理, 包括由超声波、电子显微镜和计算机产生的图像。这样, 数字图像处理就包含了很广泛的应用领域。

关于图像处理涉及的领域到哪里中止并没有统一的见解。例如, 开始时认为到图像分析和计算机视觉为止。有时把图像处理定义为一个学科, 即输入和输出都是图像处理的过程, 以便进行界定。我们相信这存在局限性, 并且有点人为界定的意思。例如, 在这个定义之下, 甚至计算图像的平均灰度这种简单任务都将认为不是图像处理操作。另一方面, 有的领域, 比如计算机视觉, 最终目的是采用计算机效仿人类视觉, 包括学习和作出推理, 并根据视觉输入采取行动。这个领域本身就是人工智能的一个分支, 目标就是模仿人类智能。人工智能的研究领域从发展的意义上看还处于初期阶段, 进展要比通常预期的慢得多。图像分析领域(也称为图像理解)则介于图像处理和计算机视觉之间。

图像处理和计算机视觉之间并没有清晰的划分界限。然而一个有用的范例是在这个连续的统一体中考虑三类计算机处理: 低级、中级和高级处理。低级处理包括原始操作, 如降低噪声的图像预处理、对比度增强和图像锐化。低级处理的特点是输入与输出通常都是图像。图像的中级处理包括诸如分割(把图像分为区域或目标)这样的任务, 对这些目标进行描述, 把它们缩减为适合计算机处理的形式, 并对单个目标进行分类(识别)。中级处理的特点是, 输入通常是图像, 输出则是从这些图像中提取的特征(如边缘、轮廓和单个目标的特性)。最后, 高级处理包括对识别的目标进行总体了解, 正如在图像分析以及在连续的统一体的远端那样, 执行通常与人类视觉相关的认知功能。

基于前面的讲解可知, 刚刚讨论的处理之间并没有明确划分的边界; 我们看到, 图像处理和图像分析的合理重叠区域是中级处理偏上的末端。这样一来, 我们在本书中所称的数字图像处理就将包括输入和输出都是图像的处理, 以及从图像中提取特性的处理。正像将在后续章节中看到的那样, 这一定义范围跨越许多领域, 给人们带来了巨大的社会和经济价值。