

世界著名计算机教材精选

实用MATLAB 图像和视频处理

Oge Marques 著

章毓晋 译

PRACTICAL IMAGE AND VIDEO
PROCESSING USING MATLAB

清华大学出版社



世界著名计算机教材精选

实用 MATLAB 图像和视频处理

Practical Image and Video Processing Using MATLAB

[美] Oge Marques 著
章毓晋 译

清华大学出版社
北京

Oge Marques

Practical Image and Video Processing Using MATLAB

EISBN: 9780470048153

Copyright © 2013 by Wiley Publishing, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license.

Simplified Chinese translation edition is published and distributed exclusively by Tsinghua University Press under the authorization by John Wiley & Sons, Inc., within the territory of the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字翻译版由美国 John Wiley & Sons, Inc. 公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)独家出版发行。未经许可之出口视为违反著作权法,将受法律之制裁。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。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2013-7450 号

本书封面贴有 John Wiley & Sons 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

实用 MATLAB 图像和视频处理 / (美) 马奎斯 (Marques, O.) 著; 章毓晋译. —北京: 清华大学出版社, 2013

书名原文: Practical Image and Video Processing Using MATLAB

世界著名计算机教材精选

ISBN 978-7-302-33916-8

I. ①实… II. ①马… ②章… III. ①MATLAB 软件—教材 IV. ①TP317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 220496 号

责任编辑: 龙启铭

封面设计: 傅瑞学

责任校对: 焦丽丽

责任印制: 杨 艳

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: 北京四季青印刷厂

装 订 者: 三河市李旗庄少明印装厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 31

字 数: 747 千字

版 次: 2013 年 12 月第 1 版

印 次: 2013 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1~2500

定 价: 69.00 元

产品编号: 053091-01

译者序

本书是一本介绍图像和视频处理技术并辅以 MATLAB 算法实现的书籍。目前介绍图像处理的书籍很多,也有一些介绍视频处理的书籍,但将两者结合在一本书中的还不太多。视频处理是对图像处理的一种扩展,近年来视频的广泛应用也促进了图像技术的推广。另外,学习图像和视频处理技术除了要理解原理,对算法进行实现也很重要。这一方面可帮助读者进一步理解原理,另一方面也有助于借助图像和视频处理技术解决实际问题。MATLAB 是面向科学和工程计算的软件平台,用其来展示现图像和视频处理技术既方便又实用。

本书是作为一本实用教材来编写的,没有过多地介绍图像和视频处理技术中的数学公式,而是注重方法的概念和算法的效果。全书每章都以“将学习什么?”开始,介绍本章要分析的主要问题;每章末尾都有“学到了什么?”,总结归纳该章的要点。大多数章节在介绍图像和视频处理技术后,还提供了相应的 MATLAB 教程,以一步一步引导读者实现相应技术的算法,并且可以看到处理的结果。另外,每章都有“了解更多”,给出深入学习或应用的参考(很多章还提供了相应的网站或网页,可以获得更新的信息)。

本书从结构上看,共有 22 章和两个附录。全书共有编了号的图 323 个、表格 35 个、公式 284 个,练习题 114 个。另外还有插图列表、表格列表、参考文献目录和索引术语。全书译成中文约合 747 千字。本书可作为相关专业本科生和其他专业研究生学习图像技术的课程教材,也可供从事相关领域科技开发和应用的专业技术人员自学参考。

本书的翻译基本忠实于原来的结构和文字风格。根据中文书籍规范,将序言、前言、致谢、插图列表和表格列表均移到目录前。另外,对原书的索引,考虑中文习惯进行了一些调整,并重新按中文次序进行了排列,以方便使用。

本书作者将全书分为了两个单元:图像处理(第 1~19 章)和视频处理(第 20~22 章)。据译者从教学角度看,似可分为 4 个部分:(1) 基础概述(包括第 1、2、3、4 章),(2) 图像处理(包括第 5、6、7、8、9、10、11、12、16、17 章),(3) 图像分析(包括第 13、14、15、18、19 章),(4) 视频处理(包括第 20、21、22 章)。可使用前两部分作为一门 40~48 学时的入门图像技术课程的教材,而使用后两部分作为一门 30~36 学时的后续图像技术课程的教材。

感谢清华大学出版社编辑的精心组稿、认真审阅和细心修改。

最后，作者感谢妻子何芸、女儿章荷铭以及父母家人在各方面的理解和支持。

章毓晋

2013 年国际劳动节于北京

通信：北京清华大学电子工程系，100084

电话：(010) 62798540

传真：(010) 62770317

邮箱：zhang-yj@tsinghua.edu.cn

主页：oa.ee.tsinghua.edu.cn/~zhangyujin/

序 言

今年早些时候，在为办公室搬迁而打包时，我震惊地发现我的很多书（很多情况下是出版商免费送给我用于评估和潜在用途的）都是仿制品：书中的材料都是从多年甚至几十年前的教材中综合和重新包装而来的。Oge Marque 的这本书不是仿制品，尽管其许多题材已经存在多年了。她包含经过深思熟虑而汇编出来的材料，与当今成像科学、成像技术、图像理解，尤其是图像处理的学生非常相关。

成像是我主要的专业领域。我对这本书很感兴趣，因为成像和图像处理近年来共同发展。一些成像的方式（计算成像是首先想到的流行语）假定将有（事实上必须）对由传感器系统所收集原始信息的后检测处理。确实，如果没有关键的后处理操作，传感器可能给出对观察者很少或根本没有意义的输出。

归根结底，图像处理在商业化的大规模生产系统中是由特殊的硬件实现的。而在一个成像系统的研究和开发阶段，处理几乎都是使用 MATLAB 来实现的。Marque 的这本书通过直接将所描述的许多处理操作与 MATLAB 相联系来解决这个问题。

已有大量的文本介绍数字图像处理操作和算法。但是，没有一本书像这本书所做的那样强调人类视觉系统以及它与机器视觉系统之间的相互作用和相互比较。

该书包括丰富的实用材料和一个最新的宝贵参考文献列表，其中有杂志、期刊和网站。我希望看到该书的再版中还有对应的更新列表。对教师有价值的还有她包含许多现代教材所具有的特征，简洁的各章摘要回答了“学到了什么？”的问题。教程圈点文字，引导学生以一个主动学习的过程来了解重要的材料。

我写这个序言不仅是因为我认为这本书很好地考虑了其所预期的图像处理读者，而且因为我看到它影响了我自己学生的思维，这些学生从物理和技术的角度对成像系统感兴趣，但他们必须理解成像系统和图像处理系统之间的联系。

William T. RHODES

William T. RHODES 是乔治理工学院电气和计算机工程荣誉退休教授。他在 2005 年加入了佛罗里达大西洋大学电气工程学院并成为学校成像技术中心的副主任。他是美国光学工程学会和国际光学工程协会的会员，斯普林格光学科学系列的主编和在线刊物“SPIE 评论”的主编。

前 言

在三十多年中，使用计算机来仿真人类视觉系统某些属性的前景一直让科学家、工程师和数学家感兴趣，使得图像处理成为应用计算机科学研究中发展最快的领域之一。在过去的 15 年中，图像和视频处理的领域经历了巨大的增长并变得更流行和方便。这种增长由若干个因素所驱动：广泛使用和价格相对低廉的硬件；各种图像和视频编辑、操作和处理的软件工具；网络的流行和它对视觉信息的高度重视，这是对使用过时胶片相机摄影的一次真正革命；电影工业的发展，以及人们观看、记录、分享电视节目和视频短片方式的突破性变化。

方法/方式

本书对图像和视频处理中最重要的主题提供了一个实用的介绍，并使用 MATLAB（和它的图像处理工具箱）作为工具来展示相关技术和算法。“实用”一词在书名中出现并不是指覆盖了这些领域中最新的消费类电子产品；这方面的知识充其量是肤浅的且将在本书出版后不久（甚至在此之前！）被淘汰。“实用”一词应该被解读为“让读者/学生借助从书中获得的知识来制定切实可行的项目，即工作原型”。它还有另一个含义，就是采用“刚刚足够的数学”理念，即更关注书中所描述技术的计算、算法和概念内容，而不是过度的数学形式主义。

因此，本书不仅适合其原有的目标受众作为教材使用（如计算机科学、计算机工程、电子工程和相关课程的高年级本科和低年级研究生），而且也适合使用 MATLAB，具有坚实的计算和编程技能，且希望自学图像和视频处理基础的研究者和实践者。

本书主要特点

- 是将图像处理、视频处理以及面向 MATLAB 的对图像和视频算法和技术进行试验相结合的第一本书。
- 对图像和视频处理技术基本主题的全面、最新、技术上准确和实用的覆盖。
- 37 个 MATLAB 教程可用来作为个人使用 MATLAB 探究图像和视频处理技术的逐步指南，也可用来由使用本书的教师作为课程的实验室作业。
- 为说明和总结文中描述的主要技术和概念，使用了 330 多幅图片和 30 个表格。
- 本书采用了“刚刚足够的数学”理念。许多学生害怕面对非常强调技术的数学方面的图像和视频处理书籍。本书通过在不牺牲解释的完整性条件下仅提供能完全理解一个技术所需的最少量的数学来解决这个问题。
- 本书强调并鼓励实际的实验。在介绍了一个主题后，邀请读者自己操作，从而增强和拓展他们刚学习过的东西并在相同主题下探索新的路径。
- 本书被设计来回答第一次接触这个主题的学生/读者可能提出的最基本问题。它基于我讲授图像和视频处理 20 年的经历/经验以及一路获得的见解/理解。

- 本书包括许多增强对其主题理解的额外特征（并允许读者更多地学习它们），如练习题和程序设计项目、有用的网站，以及在各章结束处的详尽参考文献列表。

全书一览

本书组织成两个部分：图像处理和视频处理。

第 1 部分（图像处理）从对领域的介绍和概述开始（第 1 章），希望激励学生对其余章节的材料贡献时间和精力。第 2 章介绍与图像表达和图像处理操作相关的基本概念、符号和术语。第 3 章和第 4 章分别介绍 MATLAB 和它的图像处理工具箱，并从此开始构建一系列在其末尾以逐步教程为方式介绍实践活动的章（除第 5 章）。第 5 章讨论在图像采集和数字化中涉及的因素。第 6 章介绍算术和逻辑操作并介绍感兴趣区域（ROI）的处理。第 7 章介绍几何操作，如大小调整、旋转、剪切和扭曲。第 8 章~第 10 章致力于基于点（第 8 章），基于直方图（第 9 章）和基于邻域（第 10 章）的图像增强技术。第 11 章将图像处理操作扩展到频率域并介绍傅里叶变换和相关的频域图像滤波技术。对图像恢复问题（特别是有噪声和模糊时）的解决在第 12 章中讨论。第 13 章详细介绍了数学形态学和它在图像处理中的应用。第 14 章致力于边缘检测技术。第 15 章覆盖图像分割。第 16 章从灰度图像转到彩色图像，介绍有代表性的彩色图像处理技术和算法。图像压缩和编码，包括最现代和相关的标准是第 17 章的内容。第 18 章考察特征提取和表达问题，并自然地引到第 19 章，所得到的特征矢量在那里可用于分类和识别目的。

第 2 部分（视频处理）从介绍与模拟视频和系统以及数字视频格式和标准的主要概念和术语开始（第 20 章）。它接下来描述在标准之间转换而出现的技术问题（第 21 章）。第 22 章讨论运动估计和补偿技术，展示如何可滤波视频序列，并用一个使用 MATLAB 解决在视频序列中目标检测和跟踪问题的简单例子来结束。

本书包括两个附录。附录 A 选择一些在设计图像和视频处理系统中起作用的人类视觉系统特性。附录 B 提供一个有关在 MATLAB 中如何开发图形用户界面（GUI）的教程。

教师注意事项

本书可用于一个或两个学期的高年级本科生或研究生入门的图像和视频处理课程。本书中的大多数材料已经在过去 20 年里很多这样的课程中检验过。下面是对采用本教材教师的建议总汇。

第 1 部分围绕一个典型的机器视觉系统进行组织，从图像采集到模式识别。第 1 部分中的所有章（除第 16 章和第 17 章）遵循一个自然的顺序，它覆盖了在图像采集、对它们预处理以消除缺陷或改进它们的性质，分割它们为感兴趣的目标，提取目标特征，以及将目标划分到不同类型中的所有步骤。第 1 章的目标是提供可以用图像处理算法获得的有广度和远景的初步示例，以及构成一个机器视觉系统的系统性观点。有些教师可能希望将这些信息与第 2 章的材料结合起来作为在该课程早期介绍的主题。

来自第 3 章和第 4 章的材料经过细心选择以使本书自成一体，它们给学生提供了学习 MATLAB 和图像处理工具箱教程所有可能会需要的信息。读者在其后课程中需要与 MATLAB 相关的帮助还可以参考这两章。只有有限教学时间的教师可以选择仅仅简短地概述这两章，布置对应的教程，并通过让学生学习教程并回答相关问题来监控其学习进度。

第 5 章简洁地介绍图像感知和采集的主题。它的主要目标是用把一个三维（3-D）真

实世界场景转换为一个二维 (2-D) 数字版本的信息来装备读者。非常强调图像捕获和采集硬件的课程教师可以用详细的参考文献 (如关于在可见光谱外工作的传感器、立体视觉相机、相机校正, 以及很多其他主题) 补充那里的材料。

第 6 章~第 10 章很简单明了地涵盖了任何图像处理课程中的基本主题。它们还为感兴趣的讨论、实验室作业和小的项目提供了很多空间。

第 11 章对某些学生有点挑战, 这源自与傅里叶变换相关的数学推导。教师可以使用那章介绍的 MATLAB 交互频域演示 (fddemo), 它是一个培养学生对频域滤波技术基本概念的理解信心的有价值工具。第 12 章构建在第 10 章和第 11 章的知识基础上, 它聚焦于噪声消除和去模糊技术。有些教师可以选择淡化对噪声模型 (12.1 节和 12.2 节) 的讨论, 而较早地介绍在 12.3 节~12.5 节中描述的空域和频域滤波技术的应用。

第 13 章自成一体, 它给了教师调整层次 (从完全跳过它到详细介绍它) 而不会对课程中其他主题产生重要影响的灵活性。

第 14 章和第 15 章介绍了任何图像处理课程中的两个基本主题。希望在课程里较早介绍其中部分内容或以不同顺序介绍的教师应该可以方便地提取相关的节并将它们移动到不同的时间点。

第 16 章包含彩色图像处理的信息, 且以某种形式与先前的章 (特别地与那些有关增强、分割和边缘提取的章) 相联系。保持彩色于一个分离的章中而不是将彩色图像处理分布在文本的各处是一个有意识的决定。相信当读者接触到第 16 章时, 他们将能很容易地浏览其中的内容并将注意力放在他们早期从灰度图像中学到的东西与在彩色图像中对应东西的区别上。不同意这个观点的教师可以很容易地将第 16 章的相应节移提前介绍。

第 17 章考虑图像压缩和编码, 它们是非常广泛和技术上复杂的主题, 有些书籍整本都介绍它们。因为本书关注的是使用 MATLAB 来构建实用的图像处理和机器视觉解决方案, 所以将从一个较宽的角度 (当今使用的标准、压缩技术的分类和它们的主要特性, 等等) 来考虑而不试图对这些主题进行深入讨论, 因为那样有可能分散注意力而没有多少意义。从务实的角度来看, 因为读者的目标是使用 MATLAB 来处理图像和利用它从很多格式 (大多数使用某种形式的压缩) 读取和写入图像的能力, 所以本书关注的是如何以有意义的方式使用这些能力。教师可以根据其目标用不同的方式进行, 从用更多的参考文献扩展第 17 章 (如果图像编码和压缩是课程教学大纲的重要部分) 到将整章跳过 (如果课程的主要目标是对一个实际问题构建机器视觉方案, 其中可能不需要这种类型的知识)。

第 18 章和第 19 章紧密联系。它们提供了设计和实现图像处理和机器视觉方案时最关键阶段中两个方面的信息: 特征提取和模式分类。依赖于图像的种类和所设计方案的特殊需求, 第 18 章给出了特征提取和表达技术的广泛选择。教师可能会对第 19 章为所有学生所提供的从相关模式识别、数据挖掘和信息检索领域需要的基本概念感到满意而不需要另外的参考文献。如果课程不对任何这些领域有先修的要求, 这点就尤为重要。在第 19 章结尾的教程是根据对第 18 章和第 19 章所介绍算法的选择、设计和微调来构建的。希望在学习到本书的这个位置时, 学生不仅流畅掌握了 MATLAB 和图像处理而且获得了回过头来批判地反思什么可以工作, 什么不能工作, 以及为什么的能力。

第 2 部分组织成 3 章, 可以用在一个或两个学期 (结合图像和视频处理) 课程的后段或在专门涉及视频处理课程的前端。在后一种情况下, 教师可以用附加的文献 (如对研究

生层次课程，视频处理的学术文章和相关主题）对第 2 部分的材料进行补充。

第 20 章涵盖了广泛的主题，从基本的模拟视频概念到数字视频标准和编解码器。它提供了在多个方向扩展的空间，从更深入地学习电视广播系统到更详细的分析现代视频压缩框架和标准。第 21 章涵盖了标准转换的主题，并讨论实现它们的最流行技术。第 22 章将讨论扩展到包括运动估计和补偿，以及（帧内和帧间）视频滤波技术。它以一个用 MATLAB 实现的实用项目结尾，该项目是由我从前的一位学生完成的：在一个用固定的相机获得且具有复杂运动背景的视频序列中进行目标检测和跟踪的系统。将这个案例研究包括在内的目的是总结第 2 部分（和全书）的讨论，提醒读者在此时他们将应该具有足够的知识以完成类似的项目（教师可在课程结束项目中布置）。

在附录 A 中的材料与图像和视频处理系统非常相关，因为它解释了人类视觉系统特性与其在构建相似系统的设计决策中影响的联系。教师也可考虑将它（或部分）在课程的更早阶段介绍。

附录 B 是一个对开发 MATLAB 应用 GUI 的实用指导。它应该能让学生在它们的 MATLAB 项目中开发视觉上吸引人、具有交互性和功能性的界面。

还有一个对 MATLAB 和章末教程的注解。使用 MATLAB（和它的特性处理工具箱）十多年后，我完全同意 Rudra Pratap [Pra02]所写的话，“MATLAB 的易用性是它的主要特征”。MATLAB 有一个平缓的学习曲线，允许用户加入到一个交互学习的方式中，在一定程度上提升用户正确应对挑战的技能，并逐步提高。本书中所包含的 MATLAB 教程也是在这个理念下构思的。

网站

本书配套的网站（<http://www.ogemarques.com>）包含很多为学生和教师准备的补充材料：书中所有 MATLAB 教程的代码，所选图片的 MATLAB 代码，测试图像和视频序列，补充问题，教程和项目（不能制成印刷版），以及一个不断增长和经常维护的网站名单，包括图像处理会议、软件、硬件、研究团体、测试图像库以及更多内容（的链接）。

Oge Marques

致 谢

我深深地感谢许多为此项目（直接或间接）合作过的人。这本书没有他们的帮助是不可能完成的。

我希望感谢许多在图像和视频处理以及相关领域给我以指导的教授、导师和同事，特别是 Maria G. Te Vaarwerk、Wim Hoeks、Bart de Greef、Eric Persoon、John Bernsen、Borko Furht 和 Bob Cooper。

特别感谢我的朋友和同事 Hugo Vieira Neto，他在该项目中从早期规划阶段到完成都给予了极大的支持。

我深深感谢 Gustavo Benvenuti Borba 在创建这本书中大部分图片中的出色工作，他有见地的评论和意见、持续的鼓励，以及很多小时的时间投入是不能用仅若干行的感谢所回报的。

还要感谢 Liam M. Mayron 在这个项目所有步骤中的鼓励、支持和专业帮助。

这本书没有 Jeremy Jacob 的宝贵贡献将不能出版，他编写、修订并记录了书和教程中相关的 MATLAB 代码，并贡献了附录 B 中的内容。

特别要感谢这些年来 MathWorks 图书计划（Courtney Esposito、Naomi Fernandes 和 Meg Vulliez）的支持。

若干个朋友和同事审阅了书中所选部分的草稿：Liam M. Mayron、Hugo Vieira Neto、Mathias Lux、Gustavo Benvenuti Borba、Pierre Baillargeon、Humberto Remigio Gamba、Vladimir Nedovic、Pavani Chilamakuri 和 Joel Gibson。我想对他们仔细审稿和有见地的意见和建议表示感谢。我已经尽力修改了他们指出的错误并根据他们的建议改进了书里的内容。如果还有任何遗留的错误，它将完全是我的责任而不是他们的。如果你发现了任何错误，请给我发邮件：omarques@ieee.org。我将在以后印刷这本书时改正它们。

我的最大感谢给我的出版商 John Wiley & Sons 以及 George J. Telecki 和他的优秀工作人员。他们在这个项目的整个期间耐心地与我一起工作：Lucy Hitz、Rachel Witmer 和 Melissa Valentine。他们的善良和敬业精神使得此书的出版是一个非常愉快的过程。

感谢 Amy Hendrickson (TeXnology Inc.) 在有关 LATEX 方面的专业帮助。

最后但肯定不是最不重要的是，我要感谢我的家庭始终如一的慈爱、耐心和理解。

Oge Marques

插图列表

编号	图 题	页码
图 1.1	图像锐化: (a) 原始图像; (b) 锐化后	5
图 1.2	噪声消除: (a) 原始 (有噪) 图像; (b) 噪声消除后	5
图 1.3	去模糊: (a) 原始 (模糊) 图像; (b) 消除 (运动) 模糊后。原始图像由 MathWorks 提供	6
图 1.4	边缘提取: (a) 原始图像; (b) 提取出最有关的边缘后。原始图像由 MathWorks 提供	6
图 1.5	二值化: (a) 原始灰度图像; (b) 转换成黑白版本后。原始图像由 MathWorks 提供	6
图 1.6	模糊: (a) 原始图像; (b) 模糊以消除不需要的细节后。原始图像由 MathWorks 提供	7
图 1.7	增强对比度: (a) 原始图像; (b) 直方图均衡化以增强对比度后	7
图 1.8	目标分割和标记: (a) 原始图像; (b) 分割和标记单个目标后。原始图像由 MathWorks 提供	7
图 1.9	数字图像处理系统的组成。参考[Umb05]并重新绘制	8
图 1.10	机器视觉系统的流程图。参考[GW08]并重新绘制	9
图 1.11	设计一个机器视觉系统所用的测试图像, 需要读出印刷电路板上主要集成电路上的标号	13
图 1.12	(a) 用于估计距离的测试图像: 平行线的长度最多有 5% 的不同; (b) 用于估计面积的测试图像: 圆的半径最多有 10% 的不同。所有图像都参考[Jah05]并重新绘制	14
图 1.13	(a) 用于基于纹理的目标分割的测试图像; (b) 用于基于目标轮廓“插值”的目标分割的测试图像。所有图像都参考[Jah05]并重新绘制	14
图 2.1	一幅单色图像和本书用来表示行 (x) 和列 (y) 的约定	15
图 2.2	一幅二值图像和在一个 6×6 邻域中的像素值。原始图像由 MathWorks 提供	16
图 2.3	一幅灰度图像和在一个 6×6 邻域中的像素值	17
图 2.4	彩色图像(a)和它的 R (b)、 G (c)、 B (d)分量	18
图 2.5	一幅索引的彩色图像和它的一个 4×4 邻域的指针。原始图像由 MathWorks 提供	18
图 2.6	一个邻域中的像素	20
图 2.7	像素 p 的邻域概念 (从图像拓扑的角度看): (a) 4-邻域; (b) 8-邻域; (c) 对角邻域	20
图 2.8	连通组元: (a) 原始 (二值) 图像; (b) 8-连接的结果; (c) 4-连接的结果	21
图 2.9	使用变换函数减少亮度的示例: (a) 原始图像; (b) 输出图像	22
图 2.10	一个 3×3 的卷积模板, 其权重为 W_1, \dots, W_9	23
图 2.11	逐像素算术和逻辑操作	23
图 2.12	变换域的操作	24
图 3.1	MATLAB 环境	32
图 4.1	显示一幅图像: (a) 没有放缩; (b) 为显示而放缩; (c) 仅选择在一个特定范围的像素。原始图像由 MathWorks 提供	50
图 4.2	显示一幅图像并用像素区域工具探索它的内容。原始图像由 MathWorks 提供	51
图 4.3	图像信息工具	51

图 4.4	对比度调整工具。原始图像由 MathWorks 提供	51
图 4.5	距离工具。原始图像由 MathWorks 提供	52
图 4.6	读写图像: (a) 原始图像 (PNG); (b) 压缩图像 (JPG, $q=75$, 文件尺寸 = 24KB); (c) 压缩图像 (JPG, $q=5$, 文件尺寸 = 8KB); (d) 压缩图像 (JPG, $q=95$, 文件尺寸 = 60KB)。原始图像由 MathWorks 提供	52
图 4.7	使用 subplot 对窗的划分	56
图 5.1	图像采集、构建和数字化。参考[GW08]并重新绘制	60
图 5.2	电磁频谱	61
图 5.3	记录各种辐射与目标和表面相互作用的类型。根据[Bov00a]重新绘制	62
图 5.4	牛顿的三棱镜: 阳光中有很多“彩色”	62
图 5.5	常用物理光源的谱功率分布。根据[Pra07]重新绘制	63
图 5.6	单 CCD 相机的贝叶斯模式	65
图 5.7	三 CCD 彩色相机的光束分离器	65
图 5.8	X3 彩色传感器	65
图 5.9	使用透镜的图像形成	66
图 5.10	镜头像差示例: (a) 枕形失真; (b) 桶形失真	67
图 5.11	MATLAB 图像采集工具箱的主要组件	67
图 5.12	数字化 = 采样 + 量化。根据[Poy03]重新绘制	67
图 5.13	若干种成像标准的像素数组。根据[Poy03]重新绘制	68
图 5.14	1-D 混叠的解释。根据[Wat00]重新绘制	69
图 5.15	用于均匀量化 ($N=4$) 的映射函数	69
图 5.16	采样分辨率对图形质量的影响: (a) 一幅 1944×2592 图像, 256 个灰度, 1250dpi 分辨率。相同图像重采样到(b) 300dpi; (c) 150dpi; (d) 72dpi	70
图 5.17	(a) 一幅 480×640 图像, 256 个灰度; (b)~(h) 图像重新量化到 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2 灰度级	71
图 6.1	两幅图像相加: (a) 第 1 幅图像 (X); (b) 第 2 幅图像 (Y); (c) 结果 ($Z=X+Y$)	74
图 6.2	加性图像偏移: (a) 原始图像 (X); (b) 增亮版本 ($Z=X+75$)	75
图 6.3	加噪声到图像中: (a) 原始图像 (X); (b) 零均值高斯白噪声 (方差 = 0.01) (N); (c) 结果 ($Z=X+Y$)	75
图 6.4	减性图像偏移: (a) 原始图像 (X); (b) 暗淡版本 ($Z=X-75$)	76
图 6.5	图像翻转示例: (a) 原始图像; (b) 翻转图像	78
图 6.6	用一个常数进行乘和除: (a) 原始图像 (X); (b) 乘法结果 ($X \times 0.7$); (c) 除法结果 ($X/0.7$)	78
图 6.7	二值图像的逻辑运算	80
图 6.8	用于单色图像的 AND 运算: (a) X ; (b) Y ; (c) $X \text{ AND } Y$	80
图 6.9	用于单色图像的 OR 运算: (a) X ; (b) Y ; (c) $X \text{ OR } Y$	80
图 6.10	用于单色图像的 XOR 运算: (a) X ; (b) Y ; (c) $X \text{ XOR } Y$	80
图 6.11	用于单色图像的 NOT 运算: (a) X ; (b) NOT X	80
图 7.1	典型几何操作的例子: (a) 原始图像; (b) 平移 (移位); (c) 放缩 (大小调整); (d) 旋转	89
图 7.2	利用仿射变换将一个三角形映射为另一个三角形	90

图 7.3	前向映射: 对输入图像中的每个像素位置, 要在输出图像中找到对应的(连续)目标位置(该位置源于使用了几何变换 T)。一般情况下, 目标位置 (x', y') 并不正好对应任何离散的光栅点, 在输入图像中的像素值被复制到相邻的目标像素。根据[BB08]重新绘制	92
图 7.4	后向映射: 对输出图像中的每个离散像素位置, 要通过使用逆映射函数 T^{-1} 在输入图像中找到对应的连续位置。在输入图像中 (x, y) 的邻域里通过插值确定新的像素值。根据[BB08]重新绘制	93
图 7.5	不同插值技术在旋转图像上的效果: (a) 原始图像; (b) 对旋转 35° 图像使用零阶(最近邻)插值并放大的版本; (c) 对旋转 35° 图像使用一阶(双线性)插值并放大的版本; (d) 对旋转 35° 图像使用三阶(双立方)插值并放大的版本	94
图 7.6	使用 Photo Booth 得到的图像形变效果	97
图 7.7	为内容感知的图像大小调整使用接缝焊接: (a) 原始图像 (334×500 像素); (b) 裁剪的图像 (256×256 像素)。原始图像来自 Flickr。通过使用 Mathias Lux 的开源执行码 (http://code.google.com/p/java-image seams) 来获得接缝焊接的结果	98
图 7.8	使用 MATLAB 和 IPT 进行图像配准	103
图 7.9	交互式图像配准: (a) 基准图像; (b) 未配准图像	103
图 7.10	控制点选择工具	104
图 7.11	选择的点	104
图 8.1	图像增强过程。参考[Umb05]并重新绘制	108
图 8.2	基本灰度变换函数	109
图 8.3	线性点变换示例: 输入图像	110
图 8.4	线性点变换和它们对一幅图像总体亮度和对比度的影响: 变亮(左), 变暗(中), 对比度减小(右)	110
图 8.5	用于对比度增强的灰度变换示例。根据[GW08]重新绘制	111
图 8.6	自动对比度操作。根据[BB08]重新绘制	111
图 8.7	(a) 一幅原始灰度范围为 $[90, 162]$ 的图像; (b) 使用自动对比度变换(式(8.4))的结果	112
图 8.8	使用不同 γ 值的幂律变换示例	113
图 8.9	使用两个不同的 γ 值进行伽玛校正的例子, 左图: $\gamma = 0.5$; 右图: $\gamma = 2.2$	113
图 8.10	使用对数变换的示例: (a) 大米图像(MATLAB 中有)的傅里叶频谱(仅振幅); (b) 先使用式(8.6) ($c=1$) 后接自动对比度的结果	114
图 8.11	使用 <code>glsdemo</code> 的分段线性变换	114
图 8.12	使用 <code>glsdemo</code> 的灰度切割。原始图像由 MathWorks 提供	115
图 8.13	使用查找表的例子: (a) 输入图像; (b) 由式(8.7)指定的变换函数; (c) 输出图像	116
图 9.1	一幅有 8 个灰度级图像的直方图示例	123
图 9.2	图像和对应的直方图示例。(b)中的原始图像由 MathWorks 提供	124
图 9.3	用于直方图均衡化的变换函数	126
图 9.4	均衡化的直方图: 绘图	127
图 9.5	使用直方图均衡化以增强图像对比度	127
图 9.6	全局相对于局部直方图均衡化。原始图像由 MathWorks 提供	128
图 9.7	直方图匹配: (a) 期望的(指定的)直方图; (b) 结果直方图	130

- 图 9.8 直方图匹配: (a) 原始图像; (b) 结果图像; (c) 原始直方图; (d) 期望直方图; (e) 结果直方图 131
- 图 9.9 直方图滑动: (a) 原始图像; (b) 向右滑动 50 的结果; (c) 向左滑动 50 的结果; (d)~(f) 对应(a)~(c)中图像的直方图 132
- 图 9.10 使用直方图伸展改善对比度: (a) 原始图像 ($r_{\min} = 129$, $r_{\max} = 204$); (b) 使用式(9.12)伸展的结果; (c)和(d)对应(a)和(b)中图像的直方图 132
- 图 9.11 使用直方图收缩以减少对比度: (a) 原始图像; (b) 取 $r_{\min} = 4$, $r_{\max} = 254$, $s_{\min} = 49$, $s_{\max} = 140$, 使用式(9.13)收缩的结果; (c)和(d)对应(a)和(b)中图像的直方图 133
- 图 9.12 使用不同伽玛值的伽玛变换。根据[GWE04]重画 140
- 图 10.1 线性滤波中的邻域处理 146
- 图 10.2 2-D 卷积示例 148
- 图 10.3 对相同的输入图像使用不同的卷积模板: (a) 原始图像; (b)~(d)使用表 10.1 的目标进行 2-D 卷积的结果 149
- 图 10.4 边界几何。根据[BB08]重画 150
- 图 10.5 使用不同平均滤波器模板的示例: (a) 输入图像 (899×675 像素); (b)~(d) 输出图像对应平均模板尺寸 7×7 , 15×15 和 31×31 153
- 图 10.6 一个 2-D 高斯函数 ($\sigma=3$) 154
- 图 10.7 使用高斯模糊滤波器的示例 154
- 图 10.8 中值滤波器。根据[BB08]重画 155
- 图 10.9 (a) 原始图像; (b) 带有椒盐噪声的图像; (c) 用 3×3 中值滤波器的结果; (d) 用 3×3 邻域平均的结果 155
- 图 10.10 使用拉普拉斯算子模板增强一幅图像的示例 158
- 图 10.11 感兴趣区域处理示例: (a) 原始图像; (b) 对选择的 ROI 使用高斯模糊的结果; (c) 对选择的 ROI 使用 HPF 的结果; (d) 对选择的 ROI 使用拉普拉斯算子模板的结果 159
- 图 10.12 一个 3×3 的图像区域 160
- 图 10.13 一个 3×3 的模板 160
- 图 10.14 同质和非同质的平均模板 162
- 图 10.15 考虑了对角像素的拉普拉斯算子模板 (标准的和复合的) 164
- 图 10.16 包括直方图调整的非锐化掩膜过程 164
- 图 10.17 使用锐化图像的非锐化掩膜过程 165
- 图 10.18 使用卷积模板的非锐化掩膜过程 166
- 图 10.19 考虑和不考虑对角像素的高频提升模板 166
- 图 11.1 频域操作 169
- 图 11.2 两个频域滤波器响应函数的例子: (a) 与空域 3×3 平均滤波器等价的低通滤波器; (b) 与空域 3×3 复合拉普拉斯锐化滤波器等价的高通滤波器 170
- 图 11.3 变换域中的操作 171
- 图 11.4 (a) 原始图像 (256×256 像素); (b) (a) 中图像的傅里叶频谱 172
- 图 11.5 原始图像(a)和它的 2-D FT 频谱(b); 旋转图像(c)和它的 2-D FT 频谱(d) 173
- 图 11.6 使用 LPF 以平滑虚假轮廓的示例: (a) 原始图像; (b) 使用 LPF 的结果 174

- 图 11.7 使用 LPF 以消除噪声的示例: (a) 原始图像; (b) 使用 LPF 的结果 174
- 图 11.8 一个理想 LPF 的频率响应曲线: (a) 3-D 透视图; (b) 从上向下看的 2-D 图 175
- 图 11.9 (a) 原始图像 (256×256 像素); (b) 对应(a)中图像的傅里叶频谱。环表示下面描述的低通滤波器示例的截断频率 175
- 图 11.10 (a) 原始图像 (256×256 像素); (b)~(f)对应图 11.9(b) 中不同半径 (分别是 8, 16, 32, 64, 128 个像素) 的截断频率的理想 LPF 结果 176
- 图 11.11 一个高斯 LPF 的频率响应曲线: (a) 3-D 透视图; (b) 从上向下看的 2-D 图 176
- 图 11.12 (a) 原始图像 (256×256 像素); (b)~(f)取不同 σ 值 (分别是 5, 10, 20, 30, 75) 的高斯 LPF 结果 177
- 图 11.13 一个阶数 $n=4$ 的巴特沃斯 LPF 的频率响应曲线: (a) 3-D 透视图; (b) 从上向下看的 2-D 图 178
- 图 11.14 (a) 原始图像 (512×512 像素); (b)~(f)截断频率对应图 11.9(b) 半径 (分别是 8, 16, 32, 64, 128 像素) 的 4 阶巴特沃斯 LPF 的结果 178
- 图 11.15 一个理想 HPF 的频率响应曲线: (a) 3-D 透视图; (b) 从上向下看的 2-D 图 179
- 图 11.16 一个高斯 HPF 的频率响应曲线: (a) 3-D 透视图; (b) 从上向下看的 2-D 图 179
- 图 11.17 一个阶数 $n=4$ 的巴特沃斯 HPF 的频率响应曲线: (a) 3-D 透视图; (b) 从上向下看的 2-D 图 180
- 图 11.18 高频增强: (a) 输入图像; (b) 对输入图像使用一个 2 阶巴特沃斯 HPF ($D_0=30$) 的结果; (c) 高频增强的结果 ($a=0.5, b=1$) 180
- 图 12.1 图像的退化和恢复 191
- 图 12.2 有代表性噪声类型的直方图: (a) 高斯; (b) 脉冲 (椒盐); (c) 均匀; (d) 瑞利; (e) 伽玛 (厄朗); (f) 指数。根据[Pra07]重画 193
- 图 12.3 测试图像和对应的由不同类型噪声污染的直方图: (a)和(b) 高斯; (c)和(d) 指数; (e)和(f) 脉冲 (椒盐) 195
- 图 12.4 测试图像和对应的由不同类型噪声污染的直方图: (a)和(b) 瑞利; (c)和(d) 伽玛; (e)和(f) 均匀 195
- 图 12.5 从一幅图像中的均匀块来估计噪声种类: (a) 原始图像; (b) 噪声图像 (其中的矩形指示一个手工选择的块); (c) 原始图像的直方图; (d) 噪声图像的直方图; (e) 所选块的直方图明显指示这里是高斯类噪声 196
- 图 12.6 (a) 原始图像; (b) 高斯噪声图像; (c) 3×3 算术均值滤波的结果; (d) 5×5 算术均值滤波的结果; (e) 3×3 几何均值滤波的结果; (f) 3×3 调和均值滤波的结果 198
- 图 12.7 (a) 椒盐噪声图像; (b) 3×3 算术均值滤波的结果; (c) 3×3 几何均值滤波的结果; (d) 3×3 调和均值滤波的结果; (e) 3×3 逆调和均值滤波的结果, $R=0.5$; (f) 3×3 逆调和均值滤波的结果, $R=-0.5$ 199
- 图 12.8 (a) 椒盐噪声图像; (b) 3×3 算术均值滤波的结果 (用于比较); (c) 3×3 中值滤波的结果; (d) 3×3 中点滤波的结果 201
- 图 12.9 一幅周期性噪声污染图像的示例: (a) 噪声图像; (b) 周期性噪声分量; (c) 噪声分量的傅里叶频谱 (亮点为观察目的而放大了) 202
- 图 12.10 使用带阻滤波器消减周期性噪声的示例: (a) 噪声图像; (b) 噪声图像频谱 (为可视化目

- 的, 8 个对应噪声的点被加亮和加大了); (c) 使用带阻滤波器后的傅里叶频谱; (d) 结果图像 203
- 图 12.11 使用逆滤波的图像恢复示例: (a) 输入 (模糊) 图像; (b) 简单逆滤波的结果; (c) 使用截断频率为 20 的 10 阶巴特沃斯滤波器; (d) 与(c)相同, 但截断频率为 50; (e) 使用约束除法的结果, $T=0.01$; (f) 与(e)相同, 但 $T=0.001$ 206
- 图 12.12 使用逆滤波消除运动模糊的例子: (a) 输入图像; (b) 使用约束除法逆滤波的结果, $T=0.05$; 运动模糊被消除了, 代价是产生了垂直的伪影 207
- 图 12.13 使用维纳滤波的图像恢复示例: (a) 输入图像 (模糊且有噪声); (b) 逆滤波结果, 使用截断频率为 50 的 10 阶巴特沃斯滤波器; (c) 维纳滤波的结果, $K=10^{-3}$; (d) 与(c)相同, 但 $K=0.1$ 207
- 图 12.14 使用维纳滤波的图像恢复示例: (a) 输入 (模糊) 图像; (b) 逆滤波结果, 使用截断频率为 50 的 10 阶巴特沃斯滤波器; (c) 维纳滤波的结果, $K=10^{-5}$; (d) 与(c) 相同, 但 $K=0.1$ 208
- 图 13.1 基本集合操作: (a) 集合 A ; (b) 用 $x=(x_1, x_2)$ 对 A 的平移; (c) 集合 B ; (d) B 的反射; (e) 集合 A 和它的补集 A^c ; (f) 集合差 $(A-B)$ 217
- 图 13.2 集合论操作的逻辑等价操作: (a) 二值图像 (A); (b) 二值图像 (B); (c) 补集 (A^c); (d) 并集 ($A \cup B$); (e) 交集 ($A \cap B$); (f) 集合差 ($A-B$) 218
- 图 13.3 结构元素的示例: (a) 正方形; (b) 十字形 218
- 图 13.4 使用 3 个不同的矩形结构元素膨胀的示例 220
- 图 13.5 使用 3 个不同的矩形结构元素腐蚀的示例 221
- 图 13.6 形态开启示例 224
- 图 13.7 对形态开启操作的几何解释 224
- 图 13.8 形态闭合示例 225
- 图 13.9 形态闭合操作的几何解释。根据[GW08]改编并重新绘制 225
- 图 13.10 击中-击不中变换示例 226
- 图 13.11 形态滤波。(a) 输入 (噪声) 图像; (b) 阶段结果 (开启后), 结构元素的半径 = 2 个像素; (c) 最终结果, 结构元素的半径 = 2 个像素; (d) 最终结果, 结构元素的半径 = 4 个像素 227
- 图 13.12 形态算法。(a) 输入图像; (b) (a) 的骨架; (c) 从(b)中剪除寄生像素; (d) 从(a)中移除内部像素; (e) 粗化(d)中的图像; (f) 细化(e)中的图像。原始图像由 MathWorks 提供 228
- 图 13.13 边界提取 229
- 图 13.14 区域填充: (a) 输入图像; (b) (a) 的补; (c) 阶段结果 (根据式(13.27)所描述算法的迭代次数编号); (d) 最终结果; (e) 结构元素 230
- 图 13.15 连通组元提取: (a) 输入图像; (b) 第 1 次迭代; (c) 第 2 次迭代; (d) 最终结果, 显示了各次迭代的贡献 (用正方形中数字指示); (e) 结构元素 231
- 图 13.16 用非平坦球形结构元素的灰度腐蚀和膨胀 (半径为 5): (a) 输入图像; (b) 膨胀结果; (c) 腐蚀结果 232
- 图 13.17 用平坦圆盘形结构元素的灰度开启和闭合 (半径为 13): (a) 输入图像 (高斯噪声); (b) 开启(a)图像的结果; (c) 闭合(b)图像的结果; (d) 输入图像 (椒盐噪声); (e) 开启(d)图像的结果; (f) 闭合(e)图像的结果 233
- 图 13.18 使用高帽和低帽滤波增强对比度的例子: (a) 输入图像; (b) 输出图像 234