

计 算 机 科 学 丛 书

数字图像处理 疑难解析

(英) Maria Petrou (希) Panagiota Bosdogianni 著 赖剑煌 冯国灿 等译

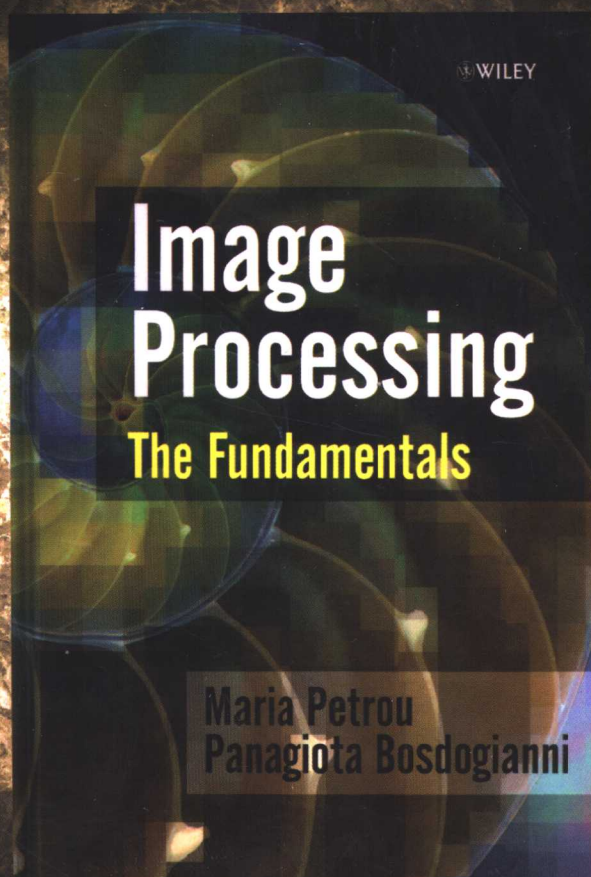


Image Processing
The Fundamentals



机械工业出版社
China Machine Press

计 算 机 科 学 丛 书

数字图像处理 疑难解析

(英) Maria Petrou (希) Panagiota Bosdogianni 著 赖剑煌 冯国灿 等译

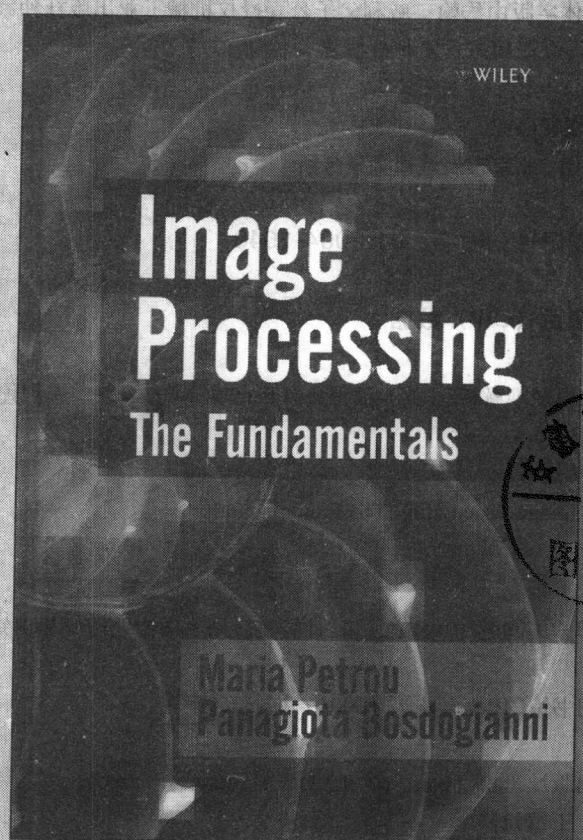


Image Processing
The Fundamentals



机械工业出版社
China Machine Press

本书通过问答形式介绍数字图像处理的基础理论, 涉及图像处理技术的各个层面。
本书作者有丰富教学经验, 全书用例详实, 内容深入浅出, 实用性强。

本书可作为大学计算机及相关专业本科生、研究生的教学参考书, 也可供广大从事
数字图像处理与应用研究的专业人员参考。

Maria Petrou, et al: Image Processing, The Fundamentals (ISBN: 0-471-99883-4).

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley &
Sons, Inc.

Copyright © 1999 by John Wiley & Sons, Inc.

All rights reserved.

本书中文简体字版由约翰·威利父子公司授权机械工业出版社独家出版。未经出版
者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有, 侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2004-1648

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理疑难解析/ (英) 彼得鲁 (Petrou, M.) 等著; 赖剑煌等译. -北京: 机
械工业出版社, 2005.4

(计算机科学丛书)

书名原文: Image Processing, The Fundamentals

ISBN 7-111-15544-0

I. 数… II. ① 彼… ② 赖… III. 计算机应用 - 图像处理 - 基本知识 IV. TP391.41

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第130693号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王镇元

北京昌平奔腾印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年4月第1版第1次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 17.5印张

印数: 0 001 - 4 000册

定价: 33.00元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换
本社购书热线: (010) 68326294

出版者的话

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅肇划了研究的范畴，还揭橥了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短、从业人员较少的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章图文信息有限公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，华章公司就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过几年的不懈努力，我们与Prentice Hall, Addison-Wesley, McGraw-Hill, Morgan Kaufmann等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从它们现有的数百种教材中甄选出Tanenbaum, Stroustrup, Kernighan, Jim Gray等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及度藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专诚为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍，为进一步推广与发展打下了坚实的基础。

随着学科建设的初步完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都步入一个新的阶段。为此，华章公司将加大引进教材的力度，在“华章教育”的总规划之下出版三个系列的计算机教材：除“计算机科学丛书”之外，对影印版的教材，则单独开辟出“经典原版书库”；同时，引进全美通行的教学辅导书“Schaum's Outlines”系列组成“全美经典学习指导系列”。为了保证这三套丛书的权威性，同时也为了更好地为学校和老师服务，华章公司聘请了中国科学院、北京大学、清华大学、国防科技大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科技大学、哈尔滨工业大学、西安交通大学、中国人民大学、北京航空航天大学、北京邮电大学、中山大学、解放军理工大学、郑州大学、湖北工学院、中国国家信息安全测评认证中心等国内重点大学和科研机构在计算机的各个领域的著名学者组成“专家指导委员会”，为我们提供选题意见和出版监督。

这三套丛书是响应教育部提出的使用外版教材的号召，为国内高校的计算机及相关专业

的教学度身订造的。其中许多教材均已为M. I. T., Stanford, U.C. Berkeley, C. M. U. 等世界名牌大学所采用。不仅涵盖了程序设计、数据结构、操作系统、计算机体系结构、数据库、编译原理、软件工程、图形学、通信与网络、离散数学等国内大学计算机专业普遍开设的核心课程,而且各具特色——有的出自语言设计者之手、有的历经三十年而不衰、有的已被全世界的几百所高校采用。在这些圆熟通博的名师大作的指引之下,读者必将在计算机科学的宫殿中由登堂而入室。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑,这些因素使我们的图书有了质量的保证,但我们的目标是尽善尽美,而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。教材的出版只是我们的后续服务的起点。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正,我们的联系方法如下:

电子邮件: hzedu@hzbook.com

联系电话: (010) 68995264

联系地址: 北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码: 100037

专家指导委员会

(按姓氏笔画顺序)

尤晋元	王 珊	冯博琴	史忠植	史美林
石教英	吕 建	孙玉芳	吴世忠	吴时霖
张立昂	李伟琴	李师贤	李建中	杨冬青
邵维忠	陆丽娜	陆鑫达	陈向群	周伯生
周立柱	周克定	周傲英	孟小峰	岳丽华
范 明	郑国梁	施伯乐	钟玉琢	唐世渭
袁崇义	高传善	梅 宏	程 旭	程时端
谢希仁	裘宗燕	戴 葵		

秘 书 组

武卫东

温莉芳

刘 江

杨海玲

译者序

数字图像处理是一门新兴学科，它起源于20世纪20年代，但是直到80至90年代，随着计算机应用的发展，数字图像处理才逐渐形成一套独立的学科体系。近20年来，由于遥感、医学、军事、工业和通信等领域应用的需要，数字图像处理的科学理论与技术手段得到迅猛发展，已成为一个跨越计算机科学、数学、遥感、气象、冶金、地球物理学、生物医学等多学科的前沿科技领域。从CT的发明、数码相机的普及和数字电视业务的开展，到遥感图像处理、生物特征鉴别和智能交通的应用，数字图像处理的应用随处可见，它已极大地促进了人类的科学研究的发展、社会生产率的提高和生活方式的改善。因此，作为一个有广阔应用前景的新兴学科，无论是在理论研究方面，还是在应用生产方面，数字图像处理目前都存在许多问题有待我们去探索。

数字图像处理的核心是数学理论，图像的采集、变换、表达、增强、滤波、复原和分割，无一不与数学密切相关。对于初学者来说，学习数字图像处理这门学科往往会有许多疑问，也会因为表面深奥的数学公式而裹足不前。本书刚好可以解决这些问题。

这本书是作者在数字图像处理领域11年教学工作的成果，它有如下特色：

- 写作形式独特。它以提问和回答的形式循序渐进、深入浅出地阐述了图像处理的基本原理。其中许多问题都来源于教学中学生的提问，很有代表性。这些问题往往是读者都会遇到的。
- 对数学的处理恰到好处。它给出了两个层次的详细数学解释：一个层次是为了便于看懂而做的叙述，尽可能少地涉及数学；另一个是高层次的，严格的数学证明。
- 对图像处理问题的来龙去脉解释清楚。使读者能够理解每种方法的“基本的细节”，包括有关问题来源及在实践中可能会遇到的问题。
- 通过用尺度小的图像来解释概念，使读者不必借助计算机就可以做运算。
- 分析了大量的实例，指导读者克服难点，获得答案。

本书由中山大学数学与计算科学学院从事数字图像处理的有关师生共同翻译。赖剑煌教授和冯国灿教授负责翻译并审校了全书，其中赖剑煌教授负责本书的第1、5、6、7章，冯国灿教授负责本书的第2、3、4章。参加翻译的还有冯莉、李星、石林英、陈家大、陈羽、郑伟诗、谭丹娜、苏秋斌、何婧、江永宏等。

由于时间仓促，译者水平有限，书中难免存在错误和疏漏，欢迎读者批评指正。

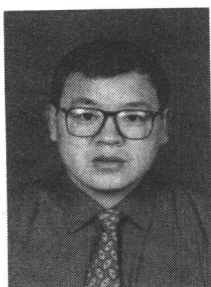
赖剑煌、冯国灿

2004年8月26日

译者简介



赖剑煌，1986年毕业于中山大学，1989年获硕士学位，1999年获博士学位。曾到美国HARRIS数字系统公司、联合国大学软件技术研究所（澳门）等作访问学者。现任中山大学数学系教授、博士生导师、应用数学教研室主任、中国图像图形学会常务理事、广东省图像图形学会常务理事和秘书长。主要研究方向是图像处理和模式识别，尤其是人脸检测与人脸识别技术。迄今，已在国际学术期刊和会议上发表论文50余篇。曾获商业部科技进步二等奖及其他科技奖励多项。



冯国灿，1988年获得中山大学硕士学位，1999年获香港浸会大学计算机科学博士学位。2000年10月~2002年11月获邀请到英国格莱莫根大学（University of Glamorgan）数字图像实验室和布拉德福大学（University of Bradford）数字媒体实验室做博士后研究员，主要从事压缩域图像特征提取和基于内容的图像检索技术的研究。现任中山大学教授、数学系副主任、博士生导师。近年来，主要从事模式识别和计算机视觉的研究，尤其是人脸识别技术和压缩域图像及视频特征提取。迄今，已在国际学术期刊和会议上发表论文50余篇。

前言

本书是作者给Surrey大学信号处理和机器智能专业的硕士研究生开设本门课程11年来的教学成果的总结。

图像处理作为机器智能的一门学科，最近几年得到了蓬勃发展，因此，引起了来自心理学、生理学、工程学和数学等不同领域研究人员的关注。机器智能的各种问题可以用不同的工具来解决。但是，当我们要用计算机来完成一项任务时，就必须要用机器所能理解的语言，而且这种语言是一种从数学领域发展出来算术语言，因此解决机器智能问题的方法主要是数学方法。图像处理是所有与机器智能相关的视觉和图像研究的基础。那种撇开图像处理去实现计算机视觉的想法就像希望从屋顶开始建造房子一样是不现实的，而不借助数学来做图像处理就像挥动胳膊去飞翔一样也是不可能的。

由于打算在机器智能领域工作的人员层次不同，所以本书分为两个层次。第一个层次用有限的数学知识就很容易地理解，这个层次适合于那些进入这个领域的新手和研究生。第二个层次就比较复杂，需要用到各种复杂的数学方法和证明，适合于那些不屈不挠地刨根问底，想要知道“为什么”和“怎么样”的有好奇心的学生。对较低层次的读者，阅读本书时可以不参考为高层次读者所写的内容。所有涉及到高层次的内容都放在方框里，可以忽略。本书包含了大量例子。与方框中内容相联系的例子都用大写字母B标记出来了，如果愿意，它们可以和那些高级内容一样忽略。读者需要具备的基本的数学背景知识是如何进行矩阵的加减运算，矩阵的特征值分析的知识也是很重要的。但是，本书会有几个完全可行的例子，使得即使不熟悉这些知识的人，也能通过本书很容易地学会这种基本要点。本书介绍的随机方法也一样：读者可以从随机变量的基本概念开始学习，然后达到理解和运用遍历概念的水平。

借此机会我要感谢无数的硕士生这么多年帮助我完善这本书，他们尖锐的提问，或者有时候看起来天真的问题，都对我有很大帮助。其实，人们在学习的时候是没有天真的问题的，天真的反而是那些不问问题的人！学生的提问有助于我清楚地规划好学习进度，并给了我内容用提问和回答的形式表示出来的想法。

写这本书对于Panagiota和我来说都是一个学习的过程。通过示例图像我们找到很大的乐趣，并且发现了这些方法的秘密。最困扰我们的一件事就是连续和离散方法之间的差别。一个解析推导得出的适用于连续域的公式通常和计算机编程来完成任务的公式没什么联系。这一点在第6章“图像复原”中会看到清晰的例证。这也是为什么在展示所有我们提出的方法时都使用了小的离散的图像的原因，这使得我们可以人工地操作这些图像，而又能知道当一幅真实大小的图像输入计算机时计算机将如何处理。谈到真实大小的图像，我们要感谢Constantinos Boukouvalas帮助编写了一些方法的程序。

最后，我要感谢Surrey大学的视觉、语音和信号处理中心的同事们，尤其感谢Josef Kittler博士提供给我的所有机会和支持，还有我们的主管Graeme Wilford的热心帮助。

Maria Petrou

目 录

出版者的话	
专家指导委员会	
译者序	
译者简介	
前言	
第1章 导论	1
1.1 为什么要做图像处理	1
1.2 什么是一幅图像	1
1.3 什么是一幅图像在一个像素点的亮度	1
1.4 为什么图像经常用 512×512 、 256×256 、 128×128 等形式表述	2
1.5 存储一幅图像需要多少比特	2
1.6 什么是图像的分辨率	2
1.7 如何进行图像处理	3
1.8 什么是一个线性算子	4
1.9 算子是如何定义的	5
1.10 一个算子是如何对一幅图像进行变换的	5
1.11 什么是点扩散函数	5
1.12 如何表达一个线性算子作用于—幅图像的实际效果	7
1.13 矩阵H结构的可分离性假设的含义是什么	11
1.14 可分离变换如何用矩阵形式来表示	11
1.15 可分离性假设的含义是什么	12
1.16 本章要点	14
1.17 图像处理的目的是什么	14
1.18 本书要点	15
第2章 图像变换	17
2.1 本章概述	17
2.2 如何定义基图像	17
2.3 什么是两个向量的外积	17
2.4 如何用向量外积进行图像展开	17
2.5 什么是酉变换	19
2.6 什么是酉矩阵	19
2.7 什么是酉变换的逆	19
2.8 如何构造酉矩阵	19
2.9 如何选择矩阵 U 和 V 使得 g 能用比 f 少的比特来表示	19
2.10 如何对角化矩阵	20
2.11 如何计算图像对角化时所需要的矩阵 U 、 V 及 $\Lambda^{\frac{1}{2}}$	24
2.12 什么是图像的奇异值分解	27
2.13 如何用SVD逼近一幅图像	27
2.14 用SVD逼近图像的误差是多少	28
2.15 如何最小化重构误差	29
2.16 用SVD进行图像展开时的基图像是怎样的	30
2.17 任意被展开的图像是否存在基图像集	35
2.18 什么是函数的完全标准正交集	35
2.19 是否存在标准正交离散函数完全集	36
2.20 如何定义哈尔函数	36
2.21 如何定义沃尔什函数	37
2.22 如何从哈尔函数和沃尔什函数创建一个图像变换矩阵	37
2.23 哈尔变换的基图像是怎样的	40
2.24 如何仅用+1或-1定义一个正交矩阵	45
2.25 哈达玛/沃尔什变换的基图像是怎样的	45
2.26 沃尔什和哈尔变换的优缺点是什么	49
2.27 什么是哈尔小波	49
2.28 傅里叶变换的离散形式是怎样的	49
2.29 离散傅里叶变换如何用矩阵形式表示	51
2.30 矩阵 U 可否用于DFT的酉矩阵	52
2.31 用DFT进行图像展开时的基图像是怎样的	53
2.32 为什么离散傅里叶变换比其他变换使用更普遍	56

2.33	什么是卷积定理	57	3.22	遍历性的含义是什么	79
2.34	如何显示图像的离散傅里叶变换	62	3.23	如何利用遍历性来减少表示一幅图像所需要的比特数	79
2.35	图像旋转时的离散傅里叶变换是怎样的	63	3.24	具有不相关随机变量的随机场的自相关函数的形式是怎样的	79
2.36	图像平移时的离散傅里叶变换是怎样的	64	3.25	如何变换图像使得它的自相关矩阵是对角的	80
2.37	函数平均值和它的DFT之间的关系是怎样的	65	3.26	遍历性的假设是现实的吗	80
2.38	图像伸缩时的离散傅里叶变换是怎样的	66	3.27	如何用K-L变换来逼近一幅图像	85
2.39	什么是离散余弦变换	68	3.28	当我们截断K-L扩展来逼近一幅图像时的误差是怎样的	85
2.40	本章要点	68	3.29	K-L变换的基图像是怎样的	85
第3章	图像的统计描述	69	3.30	本章要点	96
3.1	本章概述	69	第4章	图像增强	97
3.2	为什么需要对图像进行统计描述	69	4.1	什么是图像增强	97
3.3	是否存在一个用不相关数据来表示的图像变换可以按最小均方误差来近似图像	69	4.2	如何增强图像	97
3.4	什么是随机场	69	4.3	利用图像的灰度级统计进行图像增强有哪些方法	97
3.5	什么是随机变量	69	4.4	什么是图像的直方图	97
3.6	如何描述随机变量	69	4.5	什么时候有必要修改图像的直方图	97
3.7	什么是事件的概率	69	4.6	如何修改图像的直方图	97
3.8	什么是随机变量的分布函数	70	4.7	什么是直方图均衡化	98
3.9	什么是随机变量取特定值的概率	70	4.8	为什么直方图均衡化并不会产生具有平坦直方图的图像	98
3.10	什么是随机变量的概率密度函数	71	4.9	增强图像使它具有绝对平坦的直方图是否可能	98
3.11	如何描述多个随机变量	71	4.10	如果我们不想要一幅有绝对平坦直方图的图像应该怎么做	100
3.12	n 个随机变量之间的可能关系是怎样的	71	4.11	为什么除了进行直方图均衡化之外还希望实现其他的操作	101
3.13	如何定义随机场	72	4.12	如果图像的对比度不均一该如何处理	102
3.14	如何联系同一随机场中两个随机变量	73	4.13	对直方图的操作是否还有其他的办法	103
3.15	如何联系两个随机场中两个随机变量	73	4.14	如何提高多光谱图像的对比度	105
3.16	既然我们总是只有图像的一个版本,如何计算以前定义中的期望值	74	4.15	什么是主分量分析	106
3.17	什么时候随机场是齐次的	74	4.16	本章讨论的K-L变换和第3章所讨论的有什么联系	106
3.18	如何计算随机场的空间统计量	75	4.17	如何实现主分量分析	106
3.19	什么时候随机场是遍历性的	75	4.18	使用主分量来表示图像的优点是什么	107
3.20	什么时候随机场对于均值是遍历性的	75	4.19	主分量分析的缺点是什么	107
3.21	什么时候随机场对于自相关函数是遍历性的	75			

4.20 有一些增强了对比度的图像看起来 噪声很明显。如何处理这种情况	112	5.17 为什么根据Chebyshev范数而不是均 方误差来评价一个近似值	134
4.21 图像噪声的类型有哪些	112	5.18 如何获得一个系统函数的逼近	135
4.22 什么是排序滤波器	114	5.19 什么是窗口法	135
4.23 什么是中值滤波	114	5.20 窗口法存在什么问题	135
4.24 如果图像的噪声不是脉冲的应该 怎么办	114	5.21 如何提高窗口法处理的效果	135
4.25 为什么低通滤波可以减少噪声	115	5.22 如何用一维信号的窗口函数来定义 图像的窗口函数	136
4.26 如果我们感兴趣的是图像的高频 部分应该怎么做	116	5.23 所要解决的逼近问题的形式定义 是什么	136
4.27 什么是理想高通滤波器	116	5.24 什么是线性规划	136
4.28 如何改善有光照变化的图像	116	5.25 如何把滤波器设计问题转化为线性 规划问题	137
4.29 是否可以用第2章的线性方法实现 图像增强的目的	118	5.26 如何减少线性规划求解的计算强度	141
4.30 本章要点	119	5.27 迭代方法的主要思想是什么	141
第5章 二维滤波器	121	5.28 有什么算法可以减少吻合误差的 上限吗	141
5.1 本章概述	121	5.29 最大化算法是如何工作的	141
5.2 如何定义一个二维滤波器	121	5.30 什么是等式的极限集合	142
5.3 系统函数和滤波器的单位采样响应 是如何联系在一起的	121	5.31 什么是La Vallee Poussin定理	142
5.4 为什么我们对实域的滤波器函数 感兴趣	121	5.32 如何证明La Vallee Poussin定理	142
5.5 $h(k, l)$ 需要满足什么条件才可以做为 一个卷积滤波器	122	5.33 迭代算法的步骤是怎样的	142
5.6 一维理想低通滤波器和二维理想低通 滤波器之间的关系	125	5.34 可以逼近一个在频域上有效的 滤波器吗	143
5.7 如何实现无限域上的滤波器	126	5.35 如何构造一个函数去实现用 滤波器的其他频率值表达它 的某些频率的值	143
5.8 如何定义数字化一维滤波器的 z 变换	126	5.36 当仅在频域设计滤波器时要 怎样做	149
5.9 为什么要用 z 变换	127	5.37 如何求解未知值 $H(k, l)$	150
5.10 二维的 z 变换如何定义	127	5.38 根据Chebyshev准则频率采样方法 是否能得到最优解	150
5.11 一维递归滤波器和二维递归滤波器 有什么基本的区别	133	5.39 本章要点	151
5.12 如何知道滤波器没有扩大噪声	134	第6章 图像复原	153
5.13 是否有另一种方法使用无限脉冲 响应滤波器	134	6.1 什么是图像复原	153
5.14 为什么需要逼近理论	134	6.2 图像增强和图像复原之间的区别 是什么	153
5.15 如何知道一个近似滤波器是否性能 良好	134	6.3 为什么图像需要复原	153
5.16 对一个给定的理想系统函数的最佳 逼近是什么	134	6.4 几何畸变是如何产生的	153
		6.5 几何畸变的图像如何被复原	154

6.6 如何实现空间变换	154	6.27 假定退化过程是线性的,为什么 我们要用卷积定理而不是通过解 一组线性方程来恢复结果呢	182
6.7 为什么灰度插值是必要的	154	6.28 式(6-76)看起来简单明了,为什么还 要那么麻烦地去用其他方法呢	183
6.8 退化图像是如何依赖非退化图像和 线性退化过程的点扩展函数的	157	6.29 是否存在对矩阵 H 求逆的方法	184
6.9 退化图像是如何依赖于非退化图像 和线性移不变退化过程的点扩展 函数的	157	6.30 什么矩阵是块循环的	184
6.10 对于离散图像式(6-5)的形式是 怎样的	158	6.31 什么矩阵是循环矩阵	184
6.11 图像复原的问题是什么	158	6.32 为什么块循环矩阵可以很容易地 求逆	184
6.12 如何解决图像复原的问题	158	6.33 什么是循环矩阵的特征值和特征 向量	184
6.13 如何获得退化过程的传递函数 $\hat{H}(u,v)$ 的信息	158	6.34 已知矩阵特征值和特征向量如何 求矩阵的逆	185
6.14 如果知道退化过程的传递函数, 图像复原问题的解决方法是否 就更简单	165	6.35 如何知道表达线性退化过程的矩 阵 H 是块循环的	189
6.15 在 $\hat{H}(u,v) = 0$ 的点 (u,v) 会发生什么 样的情况	165	6.36 如何对角化一个块循环矩阵	190
6.16 是否 $\hat{H}(u,v)$ 和 $\hat{G}(u,v)$ 的零点总是 一致的	165	6.37 现在我们知道了如何解决对 H 求 逆的问题,但是如何解决式(6-76) 对噪声的极端敏感问题	198
6.17 当我们写线性退化方程的时候如何 把噪声考虑进去	165	6.38 如何利用矩阵逆的约束	199
6.18 如何避免扩大噪声	166	6.39 Wiener滤波器和加约束的矩阵逆 滤波器之间的关系是怎样的	201
6.19 如何形式化地表达图像复原问题	171	6.40 本章要点	208
6.20 式(6-37)的解是什么	172	第7章 图像分割和边缘检测	209
6.21 可以求出式(6-37)的线性解吗	172	7.1 本章概述	209
6.22 图像复原问题的线性最小均方误差 解是什么	172	7.2 图像分割和边缘检测的目的是 什么	209
6.23 如果原图像 $f(r)$ 未知,如何利用依 赖于退化图像的互谱密度函数的 式(6-41)来推导需要的滤波器	173	7.3 如何将一幅图像分成一些统一的 区域	209
6.24 如果我们对于未知图像 $f(r)$ 的统计 信息完全不知道,应该如何使用 式(6-47)	174	7.4 给图像加“标记”有什么意义	210
6.25 Wiener滤波器式(6-47)和式(6-25) 的逆滤波器之间的关系是怎样的	174	7.5 当直方图的谷不是很明显时如何 处理	210
6.26 假定知道未知图像 $f(r)$ 的统计信息, 能否确定由 $S_w(r)$ 所表达的噪声的 统计信息	174	7.6 如何最小化错分像素的数目	211
		7.7 如何选择最小误差阈值	211
		7.8 当物体和背景像素是正态分布时的 最小误差阈值是什么	215
		7.9 式(7-6)的两个解的意义是什么	216
		7.10 最小误差阈值方法的缺点是什么	219
		7.11 是否有一种可以不依赖于物体和 背景像素分布模型的方法	219

7.12 Otsu方法有缺点吗	222	7.23 可以选择的最小窗口是什么样的	228
7.13 如何对在变化光照下所获得的图像 定阈值	222	7.24 当图像有噪声的时候会发生什么 情况	229
7.14 如果可以根据 $\ln f(x, y)$ 的直方图来 定图像的阈值, 是否可以根据图像 表面的反射性质来定阈值	222	7.25 对于边缘检测如何选择 3×3 模板的 权重	232
7.15 如果直接阈值化方法在变化光照的 情况下失效, 应该如何处理	224	7.26 参数 K 的最佳值是什么	233
7.16 阈值方法有哪些缺点	225	7.27 一般情况下, 如何决定一个像素 是否是边缘像素	238
7.17 如何处理看起来一致而实际上包含 了不一致区域的图像	226	7.28 Sobel模板是否对所有图像都适用	241
7.18 有哪些方法考虑了像素的空间邻接 关系	226	7.29 如果因为图像中存在着明显的噪声 而需要选择一个更大的模板, 我们 要如何选择权重	241
7.19 如何选择种子像素	226	7.30 能否用边缘检测的最优滤波器以 最优的方式检测图像中的线	243
7.20 拆分和合成方法是如何进行的	227	7.31 阶跃边缘和线的基本差别是什么	244
7.21 与考虑像素之间的相似性相反, 是 否可以考虑区域之间的不相似性来 进行图像分割	227	7.32 本章要点	254
7.22 如何度量相邻像素之间的不相 似性	227	参考文献	255
		主题词索引	259

第1章 导 论

1.1 为什么要做图像处理

图像处理已在三个与图像相关的重要问题上获得了迅速发展:

- 图像数字化和编码, 以便于图像的传输、打印和存储。
- 图像的增强和复原, 以便于更容易地辨别各种探测器所拍摄到的其他行星表面的图像。
- 图像的分割和描述, 可作为机器视觉的前期环节。

1.2 什么是一幅图像

一幅单色图像是一个二维的光强函数 $f(x, y)$, 其中 x 和 y 是空间坐标, f 在 (x, y) 点的值是正比于图像在该点的亮度值的。如果是一幅彩色图像, f 则是一个向量, 它的每一个分量代表图像在该点相应颜色通道(band)的亮度值。

数字图像是在空间坐标和亮度值都离散化的图像 $f(x, y)$, 它可以用一个二维的整数数组来表示, 或者一系列的二维数组来表示, 每一个二维数组代表一个颜色通道。数字化后的亮度值称为灰度级(grey level)的值。

数组的每一个元素称为像素(pixel或pel), 这个名称是来自术语“图像元素”(picture element)。通常, 一般数组的大小是几百乘几百个像素, 并且可能出现大量不同的灰度级。因此, 一个数字化图像通常具有如下的形式:

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(N-1, 0) & f(N-1, 1) & \dots & f(N-1, N-1) \end{bmatrix}$$

1

其中 $0 \leq f(x, y) \leq G-1$, 这里 N 和 G 通常用2的整数幂来表示($N = 2^n$, $G = 2^m$)。

1.3 什么是一幅图像在一个像素点的亮度

图像的每一个像素对应着三维世界里的一个实体的一个部分。这个实体受到光线的照射, 其中一些光线被反射, 而另一些被吸收。被反射的一部分光线到达成像传感器, 从而产生了由传感器记录下的这个特定像素点的值。当然, 这个记录下的值是依赖于用来成像的传感器的类型, 以及这种类型的传感器对反射光光谱的响应方式的。但是, 当一个整体场景被同样的传感器成像时, 我们常常会忽略这些细节。值得提醒重要的事就是不同像素的亮度值只是相对而言才有意义, 否则是毫无意义的。因此只有两幅图像被同一个物理过程获取时, 或者已对两幅图像的亮度值进行标准化去除不同物理过程的影响的时候, 我们才比较不同图像之间的像素值。

1.4 为什么图像经常用 512×512 、 256×256 、 128×128 等形式表述

因为当图像的大小是2的次幂时，图像的许多计算可以得到简化。

1.5 存储一幅图像需要多少比特

存储一幅大小为 $N \times N$ ，有 2^m 个不同灰度级的图像所要的比特数 b 是：

$$b = N \times N \times m \quad (1-1)$$

因此，对于一幅典型的 512×512 、有256个灰度级($m = 8$)的图像，需要2 097 152比特或者262 144字节(8比特)。这就是为什么只要不是严重影响图像的质量，我们会尽量减小 m 和 N 的原因。

1.6 什么是图像的分辨率

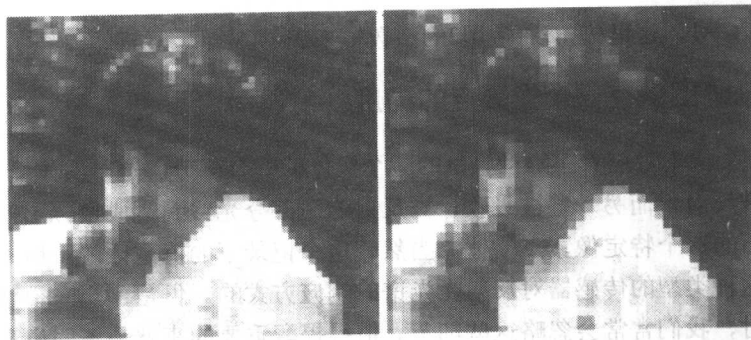
图像的分辨率表示的是能看到图像细节的多少，它显然依赖于 N 和 m 。

保持 m 不变而减少 N 会导致棋盘状效果(checkerboard effect, 见图1-1)。保持 N 不变而减少 m 则会导致假轮廓(false contouring, 见图1-2)。实验表明一幅图像的细节越多，那么用保持 N 恒定而增加 m 的方法来提高图像的显示效果就越不明显。因此，对于一幅细节丰富的图像，比如一幅人群的图像(见图1-3)，所使用的灰度级的数目并不需要太多。



a) 完整大小的图像

b) 原像素数6.17%的图像



c) 原像素数2.78%的图像

d) 原像素数1.54%的图像

图1-1 保持 m 不变而把图像的大小从 338×298 减少到
 84×74 、 56×50 、 42×37 就产生了棋盘状效果

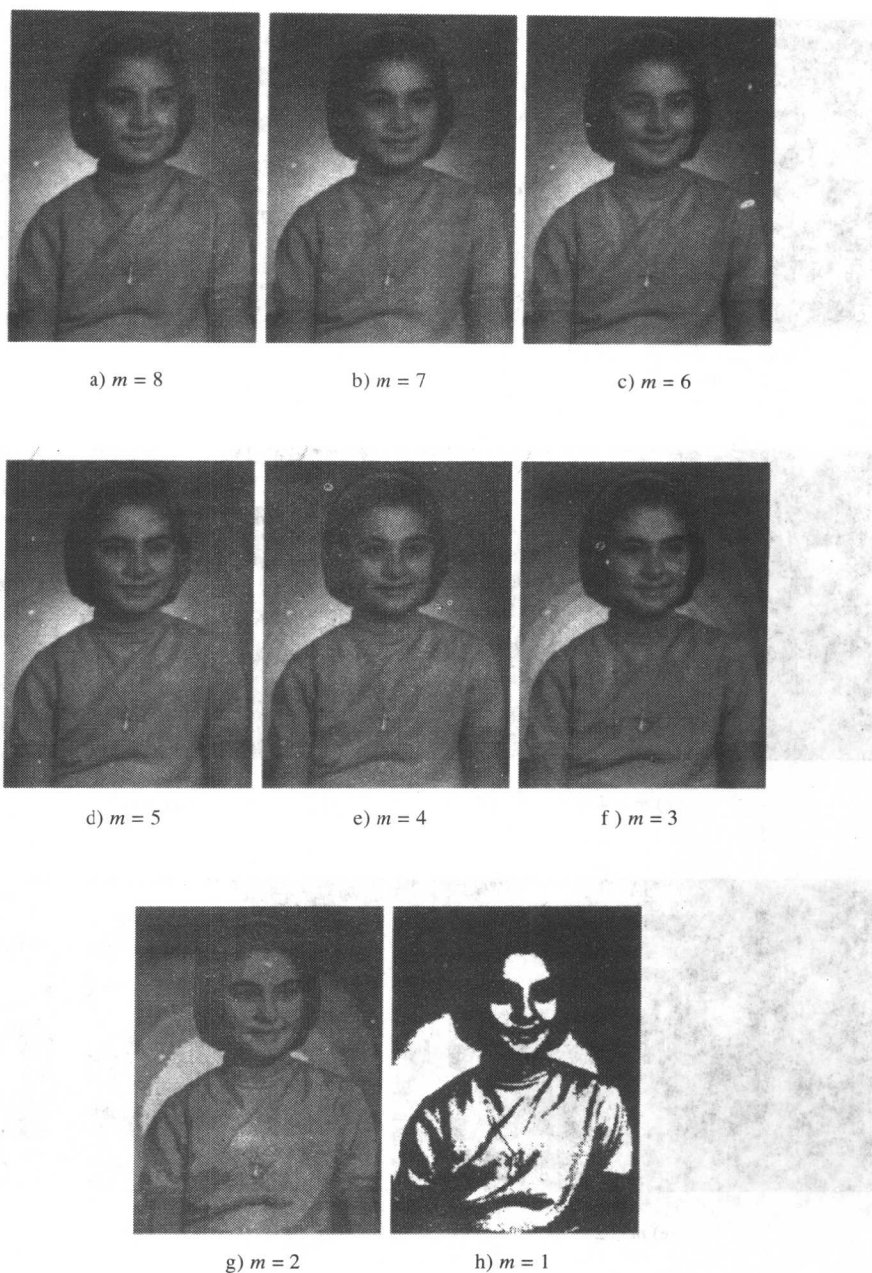


图1-2 保持图像大小不变 (247×333) 而减少灰度级别
($=2^m$) 的数目就产生了假轮廓

2

4

1.7 如何进行图像处理

我们用图像变换来进行图像处理, 而图像变换用算子 (operator) 来实现。对一幅输入图像应用一个算子就能产生另一幅图像。本书中我们将主要考虑一类特定的算子, 称为线性算子 (Linear operator)。