



国际信息工程先进技术译丛



WILEY
www.wiley.com

数字图像处理

(原书第4版)

Digital Image Processing
(Fourth Edition)

(美) William K. Pratt 著

张 引 李 虹
肖春虹 李颖华 等译
王玲芳 闫永业



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

数字图像处理

(原书第4版)

(美) William K. Pratt 著

张引 李虹 肖春虹

李颖华 王玲芳 闫永业

等译



机械工业出版社

数字图像处理（原书第4版）详细完整地涵盖了数字图像处理领域连续图像、离散图像、二维信号处理等经典内容，同时还包括了最新（IEEE 图像处理会报、IEEE 模式分析和机器智能会报、John Wiley & Sons 公司图像系统和技术国际期刊，图像处理技术会议）的技术内容。本书探讨了图像增强和恢复、图像分析等新专题，并包括了形象地说明本书理论内容的交互计算机显示图像示例及计算机编程练习。这些练习可以使用程序员图像内核系统（PIKS）应用程序接口来实现。

本书可作为数字图像处理的研究工作指南，用作关于这个主题的电子工程或计算机科学课程的教材。同样，本书可用作献身于图像处理研究的科技人员、图像处理硬件和软件系统的开发人员和在其应用中以图像处理作为工具的实践工程师和科技人员的参考手册。

All Rights Reserved. Authorised translation from the English Language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

This translation published under license.

Original English language edition Copyright © 2007 by John Wiley Ltd.

Simplified Chinese Translation Copyright © 2009 by China Machine Press.

本书中文简体字版由机械工业出版社出版，未经出版者书面允许，本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有，翻印必究。

本书版权登记号：图字 01-2007-3555 号

图书在版编目(CIP)数据

数字图像处理：原书第4版/（美）普特拉（Pratt, W. K.）著；张引等译. —北京：机械工业出版社，2009.12

（国际信息工程先进技术译丛）

书名原文：Digital Image Processing (Fourth Edition)

ISBN 978 - 7 - 111 - 28968 - 5

I. 数… II. ①普… ②张… III. 数字图像处理 IV. TN911.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 198676 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张俊红 责任编辑：林 桢 版式设计：霍永明

封面设计：马精明 责任校对：张晓蓉 责任印制：杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2010 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 39.5 印张 · 801 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978 - 7 - 111 - 28968 - 5

定价：98.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者服务部：(010)68993821

译者序

早在作者撰写第1版的1978年,图像处理就开始发生从模拟处理向数字处理的转变,历经40余年,在这多媒体弥漫在我们身边,尤其是互联网无所不在的21世纪,数字图像处理更是涉及到我们身边的所有可视媒体内容。本书经过1991年的第2版、2000年的第3版,除介绍经典数字图像处理外,第4版在如下方面有所改进,包括了最新(IEEE图像处理会报、IEEE模式分析和机器智能会报、John Wiley & Sons公司图像系统和技术国际期刊,图像处理技术会议)的技术内容。另外,第4版还探讨了新的专题,并包括了形象地说明本书理论内容的交互计算机显示图像示例及计算机编程练习。基于上述原因,我们欣然接受了这本书的翻译工作。

本书分为6部分。前3部分涵盖基本技术:第1部分包含有关连续图像特征的3章内容,包括连续图像的数学表示、人类视觉的精神物理学属性以及光度学和色度学;第2部分深入探讨了离散图像的数学表示、图像采样和量化技术;第3部分讨论二维信号处理技术,包括一般线性运算和一元变换,这部分的最后一章分析并比较由直接积分和傅里叶域滤波实现的线性处理技术;第4部分进行了图像增强和恢复技术的讨论,包括恢复模型、点和空间恢复以及几何图像修正;第5部分的图像分析,焦点放在从一幅图像中抽取信息,特定专题包括形态学图像处理、边缘检测、图像特征抽取、图像分割、物体形状分析和物体检测;第6部分讨论图像处理应用的软件实现,这部分描述程序员图像内核系统(PIKS)应用程序接口(API)和图像处理编程练习。

本书由李颖华、王玲芳负责全书统稿和校对工作,李虹负责第1~5章的翻译,张引负责第6~16章的翻译工作,肖春虹、闫永业负责第17~21章和附录的翻译工作。本书内容繁巨,在翻译过程中,李敏、高强、吴秋义、李冬梅、徐帆、潘东升、肖玮、钱志远、刘河霞、于金洋、邢韵、吕慧敏、常宁、闫利颖、车红莉、高晶晶、刘唤唤、麻芳、刘凤艳、卢寒芳、任辉、杨晓兰、魏永修、李慧、霍敬裕、李一恬、唐萍萍、黄小金、韩峰、邵丹丹、柏景娇等同志参加了部分的翻译工作,在此表示感谢。另外,感谢数字图像处理领域的先驱者、工作者和研究人员。本书的翻译得到国家自然科学基金项目(60972082)的资助,在此表示感谢。

不过,需要指出的是,本书的内容仅代表作者个人的观点和见解,并不代表译者及其所在单位的观点。另外,由于翻译时间比较仓促,疏漏错误之处在所难免,敬请读者原谅和指正。

译者
2010年春北京

原 书 前 言

1978年1月，在开始撰写《数字图像处理》第1版的前言时，我写道：“在过去10年中，图像处理领域发展迅速，在大量应用中，人们越来越多地采用图像，该领域与数字计算机在尺寸、速度和成本有效性以及相关信号处理技术等方面保持同步发展。图像处理在科学、工业、空间技术和政府应用中已经成为一个重要角色。”

1991年1月，在第2版前言中，我写道：“13年后，当我为第2版写此前言时，我发现所引述的句子仍然有效。20世纪80年代是这个领域迅速成长和成熟的10年，这10年的伊始，许多图像处理技术仅是研究人员的学术兴趣而已；当时这些技术的应用速度太慢，且开销太大。今天，感谢算法及其实现方法的进展，图像处理已经在众多应用中成为一项重要的成本划算的技术。”

2000年8月，在第3版前言中，我写道：“现在，在21世纪的这个开端，图像处理已经成为一门成熟的工程学科，但图像处理理论基础中的进展仍在继续。撰写本书第3版的一些原因是改正第2版中的缺陷、删除人们不太关注方面的内容，并添加新的、重要的专题讨论。撰写第3版的另一个推动因素是包括交互性的、计算机显示图像示例，以便说明图像处理的概念。最后一方面就是在第3版包括计算机编程练习，以便巩固其理论内容。这些练习可以使用程序员图像内核系统（PIKS）应用程序接口（API）进行实现。PIKS是国际标准化组织（ISO）的一个标准库，是图像处理运算和相关工具的标准库。”

再次修订的第4版，为的是我要将《数字图像处理》的新版奉献给图像处理研究团体。为什么？一个原因是因为图像处理技术理论方面的进展继续在快速地向发展，而没有停步的迹象。例如，在2005年，IEEE图像处理会报发表了2191页的研究论文。IEEE模式分析和机器智能会报在2005年排在第二位，有2002页公开发表的内容。此外，有独立期刊的内容，例如John Wiley & Sons公司图像系统和技术国际期刊，加上许多图像处理技术会议。这些刊物吸纳了数量巨大的崭新的图像处理技术。通过浏览并挑选图像处理领域的文献，我试图作为出版材料的过滤装置（为的是精选出好的内容），这是因为第3版是在2002年（已经过去几年）出版的，另外我想对这以后出版的，我认为是最重要的文章做出摘要，以便方便人们了解最新进展。

出版《数字图像处理》第4版的另一个原因是在没有多少附加成本的情况下，使PIKS科学API软件对于教育目的和工业软件开发是可以得到并使用的。

我打算将本书作为数字图像处理的“业界力量”的入门介绍材料，用作关于

这个主题的电子工程或计算机科学课程的教材。同样,本书可用作如下人员的参考手册:献身于图像处理研究的科学家、图像处理硬件和软件系统的开发人员以及应用中以图像处理作为工具的实践工程师和科学家。本书为多数算法给出了数学推导。本书假定读者具有如下方面的基本背景知识:线性系统理论、向量空间代数和随机过程。精通 C 语言编程对于使用 PIKS 运行图像处理编程练习是必要的。

本书分为 6 部分。前 3 部分涵盖图像处理应用所需要的基本技术。

第 1 部分包含有关连续图像特征的 3 章内容。讨论主题包括连续图像的数学表示、人类视觉的精神物理学属性以及光度学和色度学。本次修订没有对这些基础材料做大的改动。

第 2 部分深入探讨了离散图像的数学表示、图像采样和量化技术。关于彩色图像采样系统的新内容也加到了第 4 章。

第 3 部分讨论二维信号处理技术,包括一般线性运算和一元变换,例如傅里叶、Hadamard、Daubechies 和 Karhunen-Loeve 变换。第 3 部分中的最后一章分析并比较由直接积分和傅里叶域滤波实现的线性处理技术。

本书接下来的两部分涵盖了图像处理的两个主要应用领域:图像改进和图像分析。

第 4 部分进行了图像增强和恢复技术的讨论,包括恢复模型、点和空间恢复以及几何图像修正。第 10 章介绍图像增强,包括对比度处理、直方图调整、噪声去除和彩色图像增强。在第 12 章图像恢复技术中,添加了盲图像恢复和多平面图像恢复的内容。在关于几何图像修正的章节中包括了关于极坐标变换的新的一节内容。

第 5 部分图像分析,我们将焦点放在从一幅图像中抽取信息的讨论。具体讨论主题包括形态学图像处理、边缘检测、图像特征提取、图像分割、物体形状分析和物体检测。关于结构化元素分解的附加材料已包括在“形态学图像处理”一章中。在第 15 章中丰富了关于一阶导数边缘检测和彩色图像边缘检测的内容。在第 16 章中已添加纹理特征的内容。在关于图像分割的章节中,添加了关于幅度、区域、边界和纹理分割的内容。有关距离、周长和面积测量的新内容添加到形状分析章节中。关于非形态学的细化和绘制轮廓的新的一节内容添加到第 16 章。最后,在第 19 章添加了关于模板匹配和图像配准的新内容。

第 6 部分讨论图像处理应用的软件实现。这部分描述 PIKS API,并解释该软件的用途,这里是将其作为实现图像处理算法的一种方法使用的。第 6 部分还包括了图像处理编程练习。

在关于图像处理理论基础的前 19 章的内容之中,包括了我认为有重要意义的最新文献的引用,本意是将其作为后来者扩展研究的指南。

虽然读者可能发现本书已经是相当全面的了,但为了限制本书的篇幅和成本,

我还是略去了与数字图像处理领域相关的许多重要专题。最明显的没有谈到的专题包括如下方面：模式识别、投影重构图像、图像理解、图像编码、科学视觉和计算机图形学。

William K. Pratt

加利福尼亚州，洛斯阿尔托斯

目 录

译者序
原书前言

第 1 部分 连续图像特征

第 1 章 连续图像的数学特征	3
1.1 图像表示	3
1.2 二维系统	4
1.2.1 单算子	5
1.2.2 加法线性算子	5
1.2.3 微分算子	8
1.3 二维傅里叶变换	8
1.4 图像随机特征	11
参考文献	15
第 2 章 心理物理学视觉性质	16
2.1 光感知	16
2.2 眼睛的生理机能	19
2.3 视觉现象	21
2.4 单色视觉模型	24
2.5 彩色视觉模型	29
参考文献	32
第 3 章 光度学和色度学	35
3.1 光度学	35
3.2 配色	38
3.2.1 加法配色	38
3.2.2 减法配色	41
3.2.3 配色公理	41
3.3 色度学概念	42
3.3.1 彩色视觉模型验证	43
3.3.2 三色值计算	44
3.3.3 亮度计算	46
3.4 三色值变换	47

3.5 彩色空间	50
3.5.1 色度学彩色空间	50
3.5.2 减法彩色空间	59
3.5.3 视频彩色空间	61
3.5.4 非标准彩色空间	67
参考文献	69

第2部分 数字图像特征

第4章 图像的采样和重构	75
4.1 图像的采样和重构概念	75
4.1.1 采样确定性的场	75
4.1.2 采样随机图像场	79
4.2 单色图像采样系统	81
4.2.1 采样脉冲效应	81
4.2.2 交叠影响	84
4.3 单色图像重构系统	90
4.3.1 实现技术	90
4.3.2 插值函数	91
4.3.3 不完善的重构滤波器的影响	94
4.4 彩色图像采样系统	97
4.4.1 三滤波器方法	97
4.4.2 Fovean 传感器方法	98
4.4.3 Bayer 彩色滤波器阵列方法	98
参考文献	102
第5章 图像量化	105
5.1 标量量化	105
5.2 处理量化变量	110
5.3 单色和彩色图像量化	112
5.3.1 单色图像量化	112
5.3.2 彩色图像量化	114
参考文献	118

第3部分 离散二维处理

第6章 离散图像数学特征	121
6.1 向量空间图像表示	121
6.2 泛化二维线性算子	122

6.3 图像统计特征	125
6.4 图像概率密度模型	129
6.5 线性算子统计描述	132
参考文献.....	133
第7章 叠加和卷积	135
7.1 有限区域的叠加和卷积	135
7.1.1 有限区域的叠加和卷积: 级数形式	135
7.1.2 有限区域的叠加和卷积: 向量空间等式	139
7.2 采样图像的叠加和卷积	141
7.3 循环叠加和卷积	147
7.4 叠加和卷积算子的关系	150
参考文献.....	152
第8章 酉变换	153
8.1 酉变换概要	153
8.2 傅里叶变换	155
8.3 余弦、正弦及哈特利变换	160
8.3.1 余弦变换	161
8.3.2 正弦变换	161
8.3.3 哈特利变换	164
8.4 Hadamard、Haar 和 Daubechies 变换	164
8.4.1 Hadamard 变换	164
8.4.2 Haar 变换	165
8.4.3 Daubechies 变换	169
8.5 Karhunen-Loeve 变换	170
参考文献.....	172
第9章 线性处理技术	175
9.1 变换域处理	175
9.2 变换域叠加	177
9.3 快速傅里叶变换卷积	181
9.4 傅里叶变换滤波	187
9.4.1 变换函数生成	188
9.4.2 窗口函数	189
9.4.3 离散域变换函数.....	190
9.5 小生成核卷积	194
参考文献.....	195

第4部分 图像改进

第10章 图像增强	199
10.1 图像对比度处理	199
10.1.1 幅度缩放	200
10.1.2 对比度调整	201
10.1.3 大动态范围的图像幅度缩放	207
10.2 直方图调整	208
10.2.1 非自适应直方图调整	209
10.2.2 自适应直方图调整	214
10.3 噪声去除	216
10.3.1 线性噪声去除	217
10.3.2 非线性噪声去除	222
10.4 边缘锐化	230
10.4.1 线性边缘锐化	230
10.4.2 统计差分	233
10.5 彩色图像增强	235
10.5.1 自然彩色图像增强	235
10.5.2 伪彩色	237
10.5.3 假彩色	238
10.6 多光谱图像增强	241
参考文献	244
第11章 图像恢复模型	248
11.1 常规图像恢复模型	248
11.2 光学系统模型	250
11.3 拍摄过程模型	253
11.3.1 单色摄影技术	253
11.3.2 彩色照片	256
11.4 离散图像恢复系统	259
参考文献	263
第12章 图像恢复技术	264
12.1 传感器和显示器的点非线性校正	264
12.1.1 传感器点非线性校正	264
12.1.2 显示器点非线性校正	267
12.2 连续图像信号的空域滤波恢复	269
12.2.1 逆滤波	270

12.2.2 维纳滤波器	271
12.2.3 参数估计滤波器	274
12.2.4 离散图像中的应用	275
12.3 伪逆空间图像恢复	279
12.3.1 伪逆: 图像模糊	279
12.3.2 伪逆矩阵: 图像模糊及加性噪声	282
12.3.3 伪逆计算算法	285
12.4 SVD 伪逆空域图像恢复	288
12.5 统计估计空域图像恢复	292
12.5.1 回归空域统计图像恢复	293
12.5.2 维纳估计空域图像恢复	293
12.6 有约束图像恢复	297
12.6.1 平滑方法	297
12.6.2 有约束恢复技术	298
12.7 盲图像恢复	299
12.7.1 直接测量方法	300
12.7.2 间接估计方法	300
12.8 多平面图像恢复	305
参考文献	307
第13章 图像的几何变换	311
13.1 基本的几何方法	311
13.1.1 平移	312
13.1.2 缩放	312
13.1.3 旋转	313
13.1.4 一般化的线性几何变换	313
13.1.5 仿射变换	315
13.1.6 可分离的旋转	315
13.1.7 极坐标变换	318
13.2 空间扭曲	321
13.3 透视变换	324
13.4 相机成像模型	327
13.5 几何图像重采样	330
13.5.1 插值方法	330
13.5.2 卷积	331
参考文献	334

第5部分 图像分析

第14章 形态学图像处理	339
14.1 二值图像的连通性	339
14.2 二值图像的击中-击不中变换	341
14.2.1 加性算子	342
14.2.2 减性算子	345
14.2.3 绝大多数变黑算子	346
14.3 二值图像的收缩、细化、轮廓化和粗化	347
14.3.1 二值图像的收缩	347
14.3.2 二值图像的细化	351
14.3.3 二值图像的轮廓化	353
14.3.4 二值图像的粗化	356
14.4 二值图像的广义膨胀和腐蚀	356
14.4.1 广义膨胀	357
14.4.2 广义腐蚀	360
14.4.3 广义膨胀和腐蚀的特性	362
14.4.4 结构元素分解	363
14.5 二值图像的闭合运算和开启运算	366
14.6 灰度图像的形态学操作	368
14.6.1 灰度图像的膨胀和腐蚀	368
14.6.2 灰度图像的闭运算和开运算	370
14.6.3 条件化灰度图像的形态学运算	372
参考文献	372
第15章 边缘检测	374
15.1 边缘、线、点模型	374
15.2 一阶导数边缘检测	377
15.2.1 正交方向上的梯度计算	378
15.2.2 边缘模板梯度生成	388
15.2.3 阈值选择	391
15.2.4 形态学预处理	394
15.3 二阶导数边缘检测	395
15.3.1 拉普拉斯边缘检测	395
15.3.2 拉普拉斯零点检测	399
15.3.3 有向二阶导数边缘检测	400
15.4 边缘检测曲线拟合	405

15.5 边缘检测性能描述	406
15.5.1 边缘检测概率	406
15.5.2 边缘方向检测	407
15.5.3 边缘检测局部化	408
15.5.4 边缘检测品质因数	411
15.6 彩色图像边缘检测	417
15.7 线和点的检测	424
参考文献	425
第16章 图像特征提取	428
16.1 图像特征评估	428
16.2 幅度特征	429
16.3 变换系数特征	433
16.4 纹理定义	435
16.5 视觉纹理识别	437
16.5.1 Julesz 纹理场	438
16.5.2 Pratt、Faugeras 和 Gagalowicz 纹理场	440
16.6 纹理特征	444
16.6.1 傅里叶频谱方法	444
16.6.2 边缘检测方法	445
16.6.3 自相关方法	445
16.6.4 相关消除方法	446
16.6.5 相关矩阵法	450
16.6.6 微结构法	452
16.6.7 Gabor 滤波器方法	456
16.6.8 变换与小波方法	457
16.6.9 奇异值分解法	458
参考文献	460
第17章 图像分割	463
17.1 幅度分割方法	463
17.1.1 双水平亮度阈值分割	463
17.1.2 多水平亮度阈值分割	465
17.1.3 多水平彩色元素阈值分割	468
17.1.4 幅度投影	469
17.2 聚类分割方法	470
17.3 区域分割方法	472
17.3.1 区域增长	472

17.3.2 分离-合并区域方法	474
17.3.3 分水岭方法	475
17.4 边界检测	476
17.4.1 曲线拟合边缘连接	476
17.4.2 启发式边缘连接方法	479
17.4.3 霍夫变换边缘连接	480
17.4.4 弯曲边界检测	488
17.5 纹理分割	489
17.6 分割段标记	491
参考文献	493
第18章 形状分析	500
18.1 拓扑特性	500
18.2 距离、周长和面积的测量	501
18.2.1 距离测量	501
18.2.2 周长和面积测量	502
18.2.3 位四边形	504
18.2.4 几何特性	505
18.3 空间矩	507
18.3.1 离散图像空间矩	507
18.3.2 Hu 不变量矩	513
18.3.3 非几何空间矩	514
18.4 形状方位描述子	514
18.5 傅里叶描述子	516
18.6 细化和绘制轮廓	518
参考文献	518
第19章 图像的检测和配准	522
19.1 模板匹配	522
19.2 连续图像的匹配滤波	525
19.2.1 确定性连续图像的匹配滤波	525
19.2.2 随机连续图像的匹配滤波	528
19.3 离散图像的匹配滤波	530
19.4 图像配准	531
19.4.1 平移性失调检测	532
19.4.2 缩放和旋转失调检测	539
19.4.3 广义失调检测	539
19.4.4 高级图像配准方法	541

参考文献	541
------------	-----

第 6 部分 图像处理软件

第 20 章 PIKS 图像处理软件	547
20.1 PIKS 功能概述	547
20.1.1 PIKS 成像模型	547
20.1.2 PIKS 数据对象	548
20.1.3 PIKS 算子、工具、应用程序和机制	550
20.1.4 PIKS 算子模型	559
20.1.5 PIKS 应用程序界面	566
20.1.6 PIKS 一致性能力集合	567
20.2 PIKS 科学工具综述	568
20.2.1 PIKS 科学工具的非图像数据对象	568
20.2.2 PIKS 核心图像数据对象	572
20.2.3 PIKS 科学工具 C 语言联编	572
参考文献	575
第 21 章 PIKS 图像处理编程练习	576
21.1 程序生成练习	576
21.2 图像处理练习	577
21.3 色彩空间练习	578
21.4 关注区域练习	579
21.5 图像测试练习	580
21.6 量化练习	581
21.7 卷积练习	582
21.8 酉变换练习	583
21.9 线性处理练习	584
21.10 图像增强练习	584
21.11 图像恢复模型练习	586
21.12 图像恢复练习	587
21.13 几何图像修正练习	588
21.14 形态学图像处理练习	588
21.15 边缘检测练习	590
21.16 图像特征提取练习	590
21.17 图像分割练习	592
21.18 形状分析练习	592
21.19 图像检测和配准练习	592

附 录

附录 A 向量空间代数的概念..... 594

 A.1 向量代数 594

 A.2 奇异值矩阵分解 597

 A.3 伪逆运算 598

 A.4 线性系统的解 600

 A.4.1 相容线性系统的解..... 601

 A.4.2 不相容线性系统的近似解 602

 参考文献..... 603

附录 B 色彩坐标变换..... 604

附录 C 图像误差测量..... 607

 参考文献..... 608