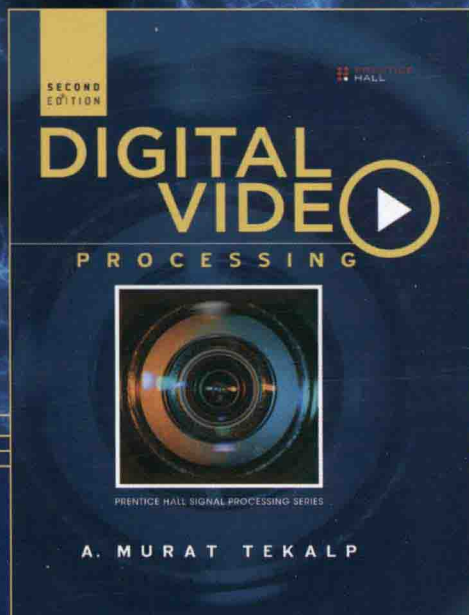


数字视频处理

(英文版·第2版)

[土耳其] A. 缪拉·泰卡尔普 (A. Murat Tekalp) 著

Digital Video Processing
Second Edition



机械工业出版社
China Machine Press

国外电子与电气工程技术丛书

数字视频处理

(英文版·第2版)

[土耳其] A. 缪拉·泰卡尔普 (A. Murat Tekalp) 著

Digital Video Processing
Second Edition



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数字视频处理 (英文版·第2版) / (土) 泰卡尔普 (Tekalp, A. M.) 著. —北京: 机械工业出版社, 2016.4

(国外电子与电气工程技术丛书)

书名原文: Digital Video Processing (Second Edition)

ISBN 978-7-111-53286-6

I. 数… II. 泰… III. 数字视频系统—数字信号处理—英文 IV. TN941.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 055446 号

本书版权登记号: 图字: 01-2016-0767

Authorized Adaptation from the English Language edition, entitled *Digital Video Processing, Second Edition* (ISBN 978-0-13-399100-0) by A. Murat Tekalp, Copyright © 2015 by 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.

English language adaptation edition published by Pearson Education Asia Ltd., and China Machine Press Copyright © 2016.

English language adaptation edition is manufactured in the People's Republic of China and is authorized for sale only in People's Republic of China excluding Taiwan, Hong Kong SAR and Macau SAR.

本书英文影印版由 Pearson Education Asia Ltd. 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。

仅限于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) 销售发行。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售。

出版发行: 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: 张梦玲

责任校对: 董纪丽

印刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版次: 2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 186mm × 240mm 1/16

印张: 34.5

书号: ISBN 978-7-111-53286-6

定价: 99.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

出版者的话

文艺复兴以来，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中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，信息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，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，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，我国的信息产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对我国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的现状下，美国等发达国家在其信息科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀教材将对我国教育事业的发展起到积极的推动作用，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公司较早意识到“出版要为教育服务”。自1998年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与Pearson、McGraw-Hill、Elsevier、John Wiley & Sons、CRC、Springer等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出Thomas L. Floyd、Charles K. Alexander、Behzad Razavi、John G. Proakis、Stephen Brown、Allan R. Hambley、Albert Malvino、Mark I. Montrose、David A. Johns、Peter Wilson、H. Vincent Poor、Dikshitulu K. Kalluri、Bhag Singh Guru、Stephane Mallat等大师名家的经典教材，以“国外电子与电气工程技术丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。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。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也越来越多被实施双语教学的学校所采用。

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。随着电气与电子信息学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外电子与电气工程教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，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。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，我们的联系方式如下：

华章网站：www.hzbook.com

电子邮件：hzit@hzbook.com

联系电话：(010) 88379604

联系地址：北京市西城区百万庄南街1号

邮政编码：100037



华章科技图书出版中心

前 言

本书于 1995 年出版了第 1 版，是一本全面介绍数字视频处理的教材。其中根据视频处理领域的重要论题分成了 25 章，在一个学期的课程中，每章可以用一到两次课进行讲授。那个时期的数字视频技术和视频处理算法还不太成熟，数码摄像机和 DVD 刚刚商业化，数字电视标准正在制定，而数字电影则还没有纳入议程。因此，与当今的技术水平相比，第 1 版提到的一些方法 / 算法和技术已经过时，比如像素级递归的运动估计、矢量量化、不规则形状压缩、基于模型的编码等已不再先进，还有一些诸如模拟视频 / 电视和 128K 可视电话等技术则已经淘汰了；同时近 20 年来此领域的重大进展显然也无法体现出来。

第 1 版出版至今已有 20 多年了，在现今这个数字化时代，数字视频已广泛应用于我们的日常生活。信号处理与计算机视觉领域的重大发展促进了视频处理算法的不断成熟，能够应用于不同用途的最常用又有效的算法与技术也更加清晰。因此，现在是本书推出新版的最好时机。本书围绕图像与视频处理的最新发展进行了精心编排，力图成为一本内容全面、结构严谨的教材。

第 2 版大幅度改进了内容与表述的组织方式，包含当今最先进的技术、最有效的算法和最新的知识。全书共分 8 章，每章对应一个主题，分别是多维信号与系统、数字图像和视频、图像滤波、运动估计、视频分割与跟踪、视频滤波、图像压缩、视频压缩等，每个主题侧重介绍最有效的技术。与第 1 版相比，本版不是简单的内容增补，而是一次全新的改写。

本书可作为高年级本科生或研究生的数字图像与视频处理课程的教材，要求读者预先掌握微积分、线性代数、概率论和一些基本的数字信号处理概念。具有计算机科学背景但不熟悉信号处理基本概念的读者可以跳过第 1 章，从第 2 章开始学习。尽管本书表述严谨，但仍然像一般教材一样从原理开始讲起，因此也可以用作产业界或学术界的工程师和研究人员自学的参考书。本书可帮助读者理解图像和视频处理方法的理论基础；学习用最常用、最有效的算法解决常见的图像与视频处理问题；通过每章最后的习题集和 MATLAB 项目，可加深对知识的理解和方法的掌握。

数字视频处理就是对数字视频比特流的各种操作。所有的数字视频应用都离不开压缩。此外，为了获得高质量图像或提取特定信息，数字视频应用也离不开广泛应用于格式转换、增强、复原、超分辨率重建等场合的滤波处理；有些应用还需要用到其他的处理，以实现运动估计、视频分割和 3D 场景分析。视频的帧与帧之间存在着大量的时

间相关性（冗余），这使得视频处理不同于静态图像处理。可以将视频看成是静态图像序列，并逐帧独立处理；但若采用基于帧间相关性的多帧联合处理技术，我们能够开发出更有效的视频处理算法，例如运动补偿滤波和预测。此外，某些任务，比如运动估计或动态场景分析，显然是无法基于单个图像来进行的。

本书的目的是为读者提供图像（单帧）和视频（多帧）处理方法的数学基础。特别是，本书还回答了以下基本问题：

- 如何从噪声中分离出图像（信号）？
- 内插、复原和超分辨率重建之间是否有内在的联系？
- 对于不同的应用，该如何估计 2D 和 3D 运动？
- 如何将图像和视频分割成感兴趣的区域？
- 如何跟踪视频中的对象？
- 与图像滤波相比，视频滤波问题是否更趋向于适定？
- 超分辨率重建为何能够实现？
- 能否从视频片段中得到高质量的静态图像？
- 图像和视频压缩为什么能够实现？
- 如何压缩图像和视频？
- 图像 / 视频压缩的最新国际标准是什么？
- 3D 视频表现和压缩的最新标准是什么？

图像和视频处理问题大都是病态的（欠定的和 / 或对噪声敏感的），并且它们的解都依赖于某些图像和视频模型。在附录 A 中讨论了用于病态问题解的图像建模方法。实际上，图像模型可以分成基于局部平滑的、基于变换域稀疏的和基于非局部自相似的等种类。

图像处理算法大都使用了以上模型中的一种或多种。此外，视频模型还包括基于全局平移或块运动、参数化运动、运动（空间上）的平滑性、时域运动单调性（时域连续或平滑）、3D 空 - 时频域的平面支撑等种类。

各章概述如下：

第 1 章回顾了多维信号、变换和系统的基础知识，它们是一些图像和视频处理方法的理论基础。我们还介绍了空 - 时采样的体制（如逐行和隔行采样），以及采样格式转换理论。读者如果具有计算机科学背景而只是不熟悉信号处理概念，则可以跳过本章，直接从第 2 章开始学习。

第 2 章给出了数字图像与视频的基础知识，主要内容包括人类视觉、空间频率、彩色模型、模拟和多视角视频表示、数字视频质量评估等基本概念，以及一些常见的数字视频应用，如数字电视、数字电影和互联网视频流等。

第3章介绍图像（静止帧）滤波类问题，比如图像重采样（抽取与内插）、梯度估计与边缘检测、增强、去噪、复原等。还介绍了线性移不变滤波器、自适应滤波器和非线性滤波器。附录A中给出了求解病态逆问题的一般性框架。

第4章介绍2D和3D的运动估计方法。运动估计是数字视频处理的核心，因为运动是视频的显著特征，并且运动补偿滤波是利用时间冗余的最有效的方法。再者，许多计算机视觉工作的第一步都是2D或3D的运动估计与跟踪。2D运动估计一般分为稠密光流估计或稀疏特征对应估计两类，可以基于参数法和非参数法来实现。非参数法包括基于图像梯度的光流估计法、块匹配法、像素递归法、贝叶斯法和相位相关法。基于仿射模型或单应性的参数法可以用于图像配准或局部变形估计。3D运动/结构估计法一般都基于双帧极线约束法（主要是针对立体对的）或多帧因子分解法。欧氏3D结构重建需要对所有相机进行标定，而投影重建法则可以无需标定。

第5章介绍图像分割和变化检测，以及基于参数聚类法和贝叶斯法的主要运动或复杂运动分割。我们还讨论了运动估计与分割的同时实现问题。因为双视角运动估计技术对于图像梯度或对应点的估计精度很敏感，而对于单视角长序列对，其分割对象的运动跟踪结果更鲁棒，所以我们也对它们进行了相关讨论。

第6章介绍视频滤波，包括标准转换、去噪和超分辨率重建等内容。首先介绍了运动补偿滤波的基本原理，随后介绍了标准转换问题，包括帧速转换和去隔行等。视频帧的画面中经常存在颗粒，尤其在静止帧模式下观看时更加严重。为此，讨论了用于噪声抑制的运动自适应和运动补偿滤波。最后介绍了一种统一各种视频滤波问题的综合模型，可用于低分辨率视频获取和超分辨率重建。

第7章介绍包括二值图像（传真）和灰度图像在内的静态图像压缩方法与标准，如JPEG和JPEG 2000等。还特别讨论了有损的离散余弦变换编码和小波变换编码等方法。

第8章讨论视频压缩方法和标准，它们是实现数字电视、数字电影等数字视频应用的基础。在简要介绍视频压缩的不同方法后，详细描述MPEG-2、AVC/H.264和HEVC等标准，以及这些标准在可伸缩视频编码和立体/多视角视频编码方面的扩展。

本教材是近20多年来我在数字图像与视频处理领域的教学结晶。本书内容丰富、组织严谨，全面覆盖了图像滤波、运动估计与跟踪、图像/视频分割、视频滤波、图像/视频压缩等方面的基本原理和最新成就。然而，一本教材无法覆盖数字视频处理和计算机视觉领域所有的最新成就，因此本书只对最基本、最常用的技术和算法加以详解，而对更多的先进算法和最新研究成果只进行简介，并提供用于自学的参考文献。每章最后都包含问题集和MATLAB项目，以便读者对所学到的方法进行练习。

教师可以通过申请获得教学资料。根据各校的课时安排可在一个学期的数字图像与视频处理课程中讲完本书的全部内容。另一种方式是将本书内容分到两个学期中，这样

就有更多的时间对每个主题的细节进行探讨：第一学期可以开设数字图像处理课程，讲解第 1 ~ 3 章、第 7 章的内容；第二学期后续开设数字视频处理课程，讲解第 4 ~ 6 章、第 8 章的内容。

显然，本书是信号处理和计算机科学相关组织研究成果的荟萃。每章都有很多引用并列出了相关参考文献，但肯定无法涵盖图像与视频领域科研与工业部门杰出研究者的所有成就。此外，对 ISO 和 ITU 组织中各位科学家经多年工作取得的图像与视频编码的显著成果，在这里也难以一一致意。

最后，衷心感谢 Xin Li (美国西弗吉尼亚大学, WVU)、Eli Saber、Moncef Gabbouj、Janusz Konrad 和 H.Joel Trussell 在本书成稿过程中的贡献。同时感谢 Prentice Hall 出版社的 Bernard Goodwin、Kim Boedigheimer 和 Julie Nahil 的帮助与支持。

——A. Murat Tekalp

于土耳其，伊斯坦布尔，Koc 大学

Contents

1	Multi-Dimensional Signals and Systems	1
1.1	Multi-Dimensional Signals	2
1.1.1	Finite-Extent Signals and Periodic Signals	2
1.1.2	Symmetric Signals	5
1.1.3	Special Multi-Dimensional Signals	5
1.2	Multi-Dimensional Transforms	8
1.2.1	Fourier Transform of Continuous Signals	8
1.2.2	Fourier Transform of Discrete Signals	12
1.2.3	Discrete Fourier Transform (DFT)	14
1.2.4	Discrete Cosine Transform (DCT)	18
1.3	Multi-Dimensional Systems	20
1.3.1	Impulse Response and 2D Convolution	20
1.3.2	Frequency Response	23
1.3.3	FIR Filters and Symmetry	25
1.3.4	IIR Filters and Partial Difference Equations	27
1.4	Multi-Dimensional Sampling Theory	30
1.4.1	Sampling on a Lattice	30
1.4.2	Spectrum of Signals Sampled on a Lattice	34
1.4.3	Nyquist Criterion for Sampling on a Lattice	36
1.4.4	Reconstruction from Samples on a Lattice	41
1.5	Sampling Structure Conversion	42
	References	47
	Exercises	48
	Problem Set 1	48
	MATLAB Exercises	50
2	Digital Images and Video	53
2.1	Human Visual System and Color	54
2.1.1	Color Vision and Models	54
2.1.2	Contrast Sensitivity	57
2.1.3	Spatio-Temporal Frequency Response	59
2.1.4	Stereo/Depth Perception	62
2.2	Digital Video	63
2.2.1	Spatial Resolution and Frame Rate	64
2.2.2	Color, Dynamic Range, and Bit-Depth	65

2.2.3	Color Image Processing	67
2.2.4	Digital-Video Standards	70
2.3	3D Video	75
2.3.1	3D-Display Technologies	75
2.3.2	Stereoscopic Video	79
2.3.3	Multi-View Video	79
2.4	Digital-Video Applications	81
2.4.1	Digital TV	81
2.4.2	Digital Cinema	85
2.4.3	Video Streaming over the Internet	88
2.4.4	Computer Vision and Scene/Activity Understanding	91
2.5	Image and Video Quality	92
2.5.1	Visual Artifacts	92
2.5.2	Subjective Quality Assessment	93
2.5.3	Objective Quality Assessment	94
	References	96

3 Image Filtering 101

3.1	Image Smoothing	102
3.1.1	Linear Shift-Invariant Low-Pass Filtering	102
3.1.2	Bi-Lateral Filtering	105
3.2	Image Re-Sampling and Multi-Resolution Representations	106
3.2.1	Image Decimation	107
3.2.2	Interpolation	109
3.2.3	Multi-Resolution Pyramid Representations	116
3.2.4	Wavelet Representations	117
3.3	Image-Gradient Estimation, Edge and Feature Detection	123
3.3.1	Estimation of the Image Gradient	124
3.3.2	Estimation of the Laplacian	128
3.3.3	Canny Edge Detection	130
3.3.4	Harris Corner Detection	131
3.4	Image Enhancement	133
3.4.1	Pixel-Based Contrast Enhancement	133
3.4.2	Spatial Filtering for Tone Mapping and Image Sharpening	138
3.5	Image Denoising	143
3.5.1	Image and Noise Models	144
3.5.2	Linear Space-Invariant Filters in the DFT Domain	146
3.5.3	Local Adaptive Filtering	149
3.5.4	Nonlinear Filtering: Order-Statistics, Wavelet Shrinkage,	

	and Bi-Lateral Filtering	154
3.5.5	Non-Local Filtering: NL-Means and BM3D	158
3.6	Image Restoration	160
3.6.1	Blur Models	161
3.6.2	Restoration of Images Degraded by Linear Space-Invariant Blurs	165
3.6.3	Blind Restoration – Blur Identification	171
3.6.4	Restoration of Images Degraded by Space-Varying Blurs	173
3.6.5	Image In-Painting	176
	References	177
	Exercises	182
	Problem Set 3	182
	MATLAB Exercises	185
	MATLAB Resources	189
4	Motion Estimation	191
4.1	Image Formation	192
4.1.1	Camera Models	192
4.1.2	Photometric Effects of 3D Motion	197
4.2	Motion Models	198
4.2.1	Projected Motion vs. Apparent Motion	199
4.2.2	Projected 3D Rigid-Motion Models	203
4.2.3	2D Apparent-Motion Models	206
4.3	2D Apparent-Motion Estimation	210
4.3.1	Sparse Correspondence, Optical-Flow Estimation, and Image-Registration Problems	210
4.3.2	Optical-Flow Equation and Normal Flow	213
4.3.3	Displaced-Frame Difference	215
4.3.4	Motion Estimation is Ill-Posed: Occlusion and Aperture Problems	216
4.3.5	Hierarchical Motion Estimation	219
4.3.6	Performance Measures for Motion Estimation	220
4.4	Differential Methods	221
4.4.1	Lukas–Kanade Method	221
4.4.2	Horn–Schunk Motion Estimation	226
4.5	Matching Methods	229
4.5.1	Basic Block-Matching	230
4.5.2	Variable-Size Block-Matching	234
4.5.3	Hierarchical Block-Matching	236
4.5.4	Generalized Block-Matching – Local Deformable Motion	237

4.5.5	Homography Estimation from Feature Correspondences	239
4.6	Nonlinear Optimization Methods	241
4.6.1	Pel-Recursive Motion Estimation	241
4.6.2	Bayesian Motion Estimation	243
4.7	Transform-Domain Methods	245
4.7.1	Phase-Correlation Method	245
4.7.2	Space-Frequency Spectral Methods	247
4.8	3D Motion and Structure Estimation	247
4.8.1	Camera Calibration	248
4.8.2	Affine Reconstruction	249
4.8.3	Projective Reconstruction	251
4.8.4	Euclidean Reconstruction	256
4.8.5	Planar-Parallax and Relative Affine Structure Reconstruction	257
4.8.6	Dense Structure from Stereo	259
	References	259
	Exercises	264
	Problem Set 4	264
	MATLAB Exercises	266
	MATLAB Resources	268

5 Video Segmentation and Tracking 269

5.1	Image Segmentation	271
5.1.1	Thresholding	271
5.1.2	Clustering	273
5.1.3	Bayesian Methods	277
5.1.4	Graph-Based Methods	281
5.1.5	Active-Contour Models	283
5.2	Change Detection	285
5.2.1	Shot-Boundary Detection	285
5.2.2	Background Subtraction	287
5.3	Motion Segmentation	294
5.3.1	Dominant-Motion Segmentation	295
5.3.2	Multiple-Motion Segmentation	298
5.3.3	Region-Based Motion Segmentation: Fusion of Color and Motion	307
5.3.4	Simultaneous Motion Estimation and Segmentation	309
5.4	Motion Tracking	313
5.4.1	Graph-Based Spatio-Temporal Segmentation and Tracking	315
5.4.2	Kanade–Lucas–Tomasi Tracking	315

5.4.3	Mean-Shift Tracking	317
5.4.4	Particle-Filter Tracking	319
5.4.5	Active-Contour Tracking	321
5.4.6	2D-Mesh Tracking	323
5.5	Image and Video Matting	324
5.6	Performance Evaluation	326
	References	327
	MATLAB Exercises	334
	Internet Resources	335
6	Video Filtering	337
6.1	Theory of Spatio-Temporal Filtering	338
6.1.1	Frequency Spectrum of Video	338
6.1.2	Motion-Adaptive Filtering	341
6.1.3	Motion-Compensated Filtering	341
6.2	Video-Format Conversion	345
6.2.1	Down-Conversion	347
6.2.2	De-Interlacing	351
6.2.3	Frame-Rate Conversion	357
6.3	Multi-Frame Noise Filtering	363
6.3.1	Motion-Adaptive Noise Filtering	363
6.3.2	Motion-Compensated Noise Filtering	365
6.4	Multi-Frame Restoration	370
6.4.1	Multi-Frame Modeling	371
6.4.2	Multi-Frame Wiener Restoration	371
6.5	Multi-Frame Super-Resolution	373
6.5.1	What Is Super-Resolution?	374
6.5.2	Modeling Low-Resolution Sampling	377
6.5.3	Super-Resolution in the Frequency Domain	382
6.5.4	Multi-Frame Spatial-Domain Methods	385
	References	390
	Exercises	395
	Problem Set 6	395
	MATLAB Exercises	396
7	Image Compression	397
7.1	Basics of Image Compression	398
7.1.1	Information Theoretic Concepts	398
7.1.2	Elements of Image-Compression Systems	401
7.1.3	Quantization	402

7.1.4	Symbol Coding	405
7.1.5	Huffman Coding	406
7.1.6	Arithmetic Coding	410
7.2	Discrete-Cosine Transform Coding and JPEG	413
7.2.1	Discrete-Cosine Transform	414
7.2.2	ISO JPEG Standard	416
7.2.3	Encoder Control and Compression Artifacts	423
7.3	Wavelet-Transform Coding and JPEG 2000	424
7.3.1	Wavelet Transform and Choice of Filters	425
7.3.2	ISO JPEG 2000 Standard	429
	References	435
	Exercises	437
	Internet Resources	440
8	Video Compression	441
8.1	Video-Compression Approaches	442
8.1.1	Intra-Frame Compression, Motion JPEG 2000, and Digital Cinema	442
8.1.2	3D-Transform Coding	443
8.1.3	Motion-Compensated Transform Coding	446
8.2	Early Video-Compression Standards	447
8.2.1	ISO and ITU Standards	447
8.2.2	MPEG-1 Standard	448
8.2.3	MPEG-2 Standard	456
8.3	MPEG-4 AVC/ITU-T H.264 Standard	463
8.3.1	Input-Video Formats and Data Structure	464
8.3.2	Intra-Prediction	465
8.3.3	Motion Compensation	466
8.3.4	Transform	468
8.3.5	Other Tools and Improvements	469
8.4	High-Efficiency Video-Coding (HEVC) Standard	471
8.4.1	Video-Input Format and Data Structure	471
8.4.2	Coding-Tree Units	472
8.4.3	Tools for Parallel Encoding/Decoding	473
8.4.4	Other Tools and Improvements	475
8.5	Scalable-Video Compression	477
8.5.1	Temporal Scalability	478
8.5.2	Spatial Scalability	479
8.5.3	Quality (SNR) Scalability	480
8.5.4	Hybrid Scalability	482

8.6	Stereo and Multi-View Video Compression	482
8.6.1	Frame-Compatible Stereo-Video Compression	483
8.6.2	Stereo and Multi-View Video-Coding Extensions of the H.264/AVC Standard	484
8.6.3	Multi-View Video Plus Depth Compression	487
	References	492
	Exercises	494
	Internet Resources	495

A Ill-Posed Problems in Image and Video Processing 497

A.1	Image Representations	497
A.1.1	Deterministic Framework – Function/Vector Spaces	497
A.1.2	Bayesian Framework – Random Fields	498
A.2	Overview of Image Models	498
A.3	Basics of Sparse-Image Modeling	500
A.4	Well-Posed Formulations of Ill-Posed Problems	501
A.4.1	Constrained-Optimization Problem	501
A.4.2	Bayesian-Estimation Problem	502
	References	502

B Markov and Gibbs Random Fields 503

B.1	Equivalence of Markov Random Fields and Gibbs Random Fields	503
B.1.1	Markov Random Fields	504
B.1.2	Gibbs Random Fields	505
B.1.3	Equivalence of MRF and GRF	506
B.2	Gibbs Distribution as an <i>a priori</i> PDF Model	507
B.3	Computation of Local Conditional Probabilities from a Gibbs Distribution	508
	References	509

C Optimization Methods 511

C.1	Gradient-Based Optimization	512
C.1.1	Steepest-Descent Method	512
C.1.2	Newton–Raphson Method	513
C.2	Simulated Annealing	514
C.2.1	Metropolis Algorithm	515
C.2.2	Gibbs Sampler	516
C.3	Greedy Methods	517
C.3.1	Iterated Conditional Modes	517
C.3.2	Mean-Field Annealing	518

C.3.3 Highest Confidence First 518

References 519

D Model Fitting 521

D.1 Least-Squares Fitting 521

D.2 Least-Squares Solution of Homogeneous Linear Equations 522

D.2.1 Alternate Derivation 523

D.3 Total Least-Squares Fitting 524

D.4 Random-Sample Consensus (RANSAC) 526

References 526

Glossary 527

目 录

第 1 章 多维信号与系统	1	2.1.3 时空频率响应	59
1.1 多维信号	2	2.1.4 立体 / 深度感知	62
1.1.1 有限域信号和周期信号	2	2.2 数字视频	63
1.1.2 对称信号	5	2.2.1 空间分辨率和帧速	64
1.1.3 特殊的多维信号	5	2.2.2 颜色、动态范围和位深	65
1.2 多维变换	8	2.2.3 彩色图像处理	67
1.2.1 连续信号的傅里叶变换	8	2.2.4 数字视频标准	70
1.2.2 离散信号的傅里叶变换	12	2.3 3D 视频	75
1.2.3 离散傅里叶变换 (DFT)	14	2.3.1 3D 显示技术	75
1.2.4 离散余弦变换 (DCT)	18	2.3.2 立体视频	79
1.3 多维系统	20	2.3.3 多视角视频	79
1.3.1 脉冲响应和 2D 卷积	20	2.4 数字视频应用	81
1.3.2 频率响应	23	2.4.1 数字电视	81
1.3.3 FIR 滤波器及对称性	25	2.4.2 数字影院	85
1.3.4 IIR 滤波器及偏微分方程	27	2.4.3 互联网中的视频流	88
1.4 多维采样理论	30	2.4.4 计算机视觉和场景 / 行为理解	91
1.4.1 格上采样	30	2.5 图像和视频的质量	92
1.4.2 格上采样信号的谱	34	2.5.1 视觉效果损伤	92
1.4.3 格上采样中的奈奎斯特准则	36	2.5.2 主观质量评估	93
1.4.4 格上采样信号重建	41	2.5.3 客观质量评估	94
1.5 采样格式转换	42	参考文献	96
参考文献	47	第 3 章 图像滤波	101
习题	48	3.1 图像平滑	102
问题集 1	48	3.1.1 线性移不变低通滤波	102
MATLAB 习题	50	3.1.2 双边滤波	105
第 2 章 数字图像和视频	53	3.2 图像重采样和多分辨率表示	106
2.1 人类视觉系统和色彩	54	3.2.1 图像抽取	107
2.1.1 色觉及彩色模型	54	3.2.2 图像内插	109
2.1.2 对比敏感度	57	3.2.3 多分辨率金字塔表示	116