

小波编码

与

网络视频传输

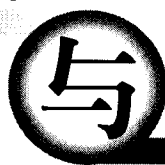
沈兰荪 卓力 编著



科学出版社

www.sciencep.com

小波编码



网络视频传输

沈兰荪 卓 力 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是关于小波编码与网络视频传输的一本学术专著,反映了相关技术领域近年来的最新研究进展。

全书共分四篇十六章,主要介绍了图像/视频编码的基础知识、小波分析的数学基础、图像/视频编码的基本方法与有关国际标准;对视频编码中的运动估计技术、可扩展编码方法、人脸检测与跟踪技术以及面向网络的视频传输技术,包括差错控制技术、视频流传输、DSP 实现等均作了详尽的论述。

本书可供通信与电子系统、信号与信息处理、计算机应用等相关专业的研究人员,工程技术人员,高校教师、研究生和高年级本科生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

小波编码与网络视频传输/沈兰荪,卓力编著. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-014836-3

I. 小… II. ①沈… ②卓… III. 计算机网络-多媒体技术 IV. TP37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 008375 号

责任编辑:崔炳哲 / 责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平 / 封面设计:天梯艺术

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005 年 4 月第一次印刷 印张: 28 1/4

印数: 1—3 000 字数: 547 000

定 价: 49.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)



► 沈兰荪

北京工业大学教授、博士生导师，北京市信号与信息处理研究室主任。IEEE 学会高级会员、国际欧亚科学院院士、北京市突出贡献专家。历任中国科技大学电

子工程系主任、中国科技大学高技术学院副院长、北京工业大学副校长、北京市自然科学基金会副会长等。现任中国大百科全书（二版）电子学学科副主编、中国微弱信号检测学会副理事长，以及国家自然科学基金委信息科学部专家评审组成员，中国科技大学等校兼职教授等。

主要研究领域为图像/视频编码、传输、处理与应用技术研究，著有《数据采集技术》、《图像编码与异步传输》、《视频编码与低速率传输》等著作。

► 卓力

北京工业大学副教授，1992 年获得电子科技大学工学学士学位，1998 年获得东南大学工学硕士学位，2004 年获得北京工业大学工学博士学位。



作为项目负责人和主要研究人员先后参加了国家 863 计划、国家自然科学基金、北京市自然科学基金以及北京市教委等多个项目的研究工作。先后出版专著、译著 3 部，发表学术论文 30 余篇。目前的研究方向为视频编码与传输、视频转码等。

本书特点

- ▼ 有关小波编码与网络视频传输的学术专著
- ▼ 反映相关领域的最新研究进展
- ▼ 科研工作的理想参考书
- ▼ 注重理论基础知识和系统概念之间的平衡
- ▼ 先进性和实用性的完美统一
- ▼ 语言流畅，图文并茂，可读性好

本书的研究工作曾受到国家自然科学基金、国家 863 计划、北京市自然科学基金以及国家 211 工程的资助。

前 言

近年来,随着因特网在全球范围的日益普及,移动通信的迅猛发展,网络传输以及各种新兴多媒体业务的出现,如视频会议、可视电话、高清晰度电视、视频点播、视频检索、数字图书馆、远程医疗以及视频监控等,都向图像/视频编码技术提出了许多新的要求。图像/视频编码的研究已从面向存储转为面向传输,除了传统的良好压缩性能与重建质量外,人们还要求编码算法能提供关于质量、分辨率、信噪比等多种可扩展编码结构,实现多分辨率编码、嵌入式编码及抗误码传输,从而能在无线移动环境向用户提供个性化的服务。图像/视频编码技术已成为当今信息科学与技术的研究热点。

压缩是图像/视频编码的一个主要目的。压缩就是要用尽可能少的比特数表征信号。为了提高图像/视频信号的编码效率,就要给出信号的稀疏表达式。基于分块的离散余弦变换(DCT; Discrete Cosine Transform)编码方法,由于其良好的去相关性与能量压缩特性,已使其成为现有大多数图像/视频压缩国际标准的核心技术。但是随着研究和应用的不断深入,人们发现,基于 DCT 变换的压缩图像不可避免地会出现块效应和飞蚊噪声。

小波分析及其多分辨率分析理论,摒弃了传统傅里叶分析的前提假设——平稳性,成为分析非平稳信号的有力工具。小波变换因其特有的与人眼视觉相符的多分辨率分析能力以及方向选择能力而被广泛应用于图像压缩领域,并取得了良好的效果。小波编码的研究表明,现代应用所需要的许多特征,如多分辨率编码、多层质量控制、嵌入式码流等,均能与小波图像编码结构非常自然地融合在一起。小波变换编码是变换编码新的、重要的发展方向,随着 JPEG2000 的推出,可以预见小波编码将成为图像/视频编码的主流技术。

本书是关于小波编码与网络视频传输的一本学术专著,主要论述图像/视频编码的基础知识、小波分析的数学基础、视频编码的基本方法与有关国际标准,以及面向因特网与无线网的视频传输技术等。

全书共十六章,分成四篇。第一篇为基础知识(第 1~3 章),介绍视频格式和质量评价、信息论基础以及图像/视频编码技术的发展;第二篇为小波编码(第 4~6 章),阐述小波分析基础、基于小波变换的图像编码技术以及 JPEG-2000 国际编码标准;第三篇为视频编码(第 7~11 章),介绍视频编码

中的运动估计补偿技术、可扩展视频编码方法、MPEG-4 FGS 编码标准、H. 264/MPEG-4 AVC 视频编码标准以及人脸检测与跟踪技术;第四篇为网络传输(第 12~16 章),则叙述视频传输网络、网络视频传输差错控制技术、因特网视频流传输技术,以及无线网络视频流传输技术、视频编码的 DSP (Digital Signal Processing, 数字信号处理)实现。

编写本书时,采用或引用了北京市信号与信息处理研究室的一些科研成果。先后参与这些科研工作的有:陈霏博士、贾文辉博士、张文忠博士、陈芳博士、汪孔桥博士、魏海博士、田栋博士、毋立芳博士、卓力博士、薛金柱博士、刘党辉博士、李晓华博士、张小玲硕士、邢昕硕士、宋磊硕士、李勃硕士以及孔潇同志等,在此一并致谢。

在此感谢北京工业大学数学系教授刘有明博士审阅了本书第 4 章有关小波分析的数学内容,并提出了许多宝贵意见;感谢北京邮电大学吴伟陵教授在信息论方面给予的帮助。

在本书即将出版之际,不禁使我们深深怀念我国著名的电子学和空间系统科学家、“两弹一星”功勋奖章获得者、“863”计划倡始人之一——中科院院士陈芳允先生。陈先生生前十分关心视频编码与传输技术的研究,曾多次来室指导工作,参加课题鉴定、学生论文答辩。20 世纪 90 年代初陈先生就对“小波”非常关注,指出其潜在的应用前景,有关的话语还仿佛是昨天的事情。我想先生如能知道本书的出版,必将十分欣慰。

沈兰荪

于综合科技楼

2004 年 8 月 19 日

目 录

第一篇 基础知识

第 1 章 视频格式和质量评价	2
1.1 图像与视频	2
1.2 彩色空间	4
1.2.1 RGB 彩色空间	4
1.2.2 YCbCr 彩色空间	4
1.3 采样格式	6
1.4 视频格式	7
1.5 图像质量的评价	8
1.5.1 概 述	8
1.5.2 客观质量评价	9
1.5.3 主观质量评价	9
1.5.4 感兴趣区质量评价	9
1.5.5 图像质量评价的实验结果	11
1.6 视频序列的质量评价	13
1.6.1 基本概念	13
1.6.2 视频序列的质量评价方法	15
1.6.3 视频序列质量评价的实验结果	16
参考文献	17
第 2 章 信息论基础	19
2.1 通信系统模型	19
2.2 信息的度量	20
2.3 信源编码	21
2.4 信道编码	22
2.5 率失真理论	23
参考文献	25
第 3 章 图像/视频编码技术的发展	26
3.1 概 述	26
3.2 熵编码	27
3.3 传统的图像/视频编码技术	28
3.3.1 预测编码	28
3.3.2 变换编码	29

3.3.3 矢量量化	34
3.4 新型图像/视频编码技术	35
3.4.1 第二代图像编码方法	35
3.4.2 分形编码	36
3.4.3 模型编码	37
3.4.4 小波编码	38
3.5 图像/视频编码标准	39
3.5.1 静止图像编码标准	41
3.5.2 视频编码标准	43
3.6 讨 论	51
参考文献	53

第二篇 小波编码

第4章 小波分析基础	58
4.1 时-频局部化分析和连续小波变换	58
4.1.1 短时傅里叶变换	59
4.1.2 连续小波变换	60
4.1.3 连续小波变换的离散化	62
4.2 多分辨率分析	63
4.2.1 由理想滤波器组引入	63
4.2.2 从函数空间的剖分引入	64
4.3 小波基的构造	67
4.4 离散小波变换的快速算法	68
4.5 小波变换编码	70
4.5.1 小波变换编码的基本框架	70
4.5.2 小波图像的特点	72
4.5.3 讨 论	75
参考文献	83
第5章 基于小波变换的图像编码技术	85
5.1 概 述	85
5.2 提升小波变换	86
5.2.1 提升算法原理	86
5.2.2 提升算法描述	87
5.2.3 整型小波变换	88
5.2.4 整型小波变换的例子	89
5.3 适形离散小波变换	91
5.3.1 基于正交小波的任意长度小波分解	91
5.3.2 基于奇对称双正交小波的任意	

长度小波分解	93
5.3.3 基于偶对称双正交小波的任意 长度小波分解	95
5.3.4 适形离散小波变换中的下采样策略	96
5.3.5 二维适形离散小波变换	96
5.4 嵌入式小波编码方法	97
5.4.1 EZW 编码方法	98
5.4.2 SPIHT 编码算法	100
5.4.3 SPECK 编码算法	103
5.4.4 TARP 算法	106
5.4.5 EBCOT 算法	109
5.4.6 其他嵌入式小波编码方法	109
5.5 非嵌入式小波编码方法	112
5.5.1 SFQ	112
5.5.2 FSSQ 算法	114
5.6 几种小波算法的编码性能比较	116
参考文献	118
第 6 章 JPEG 2000 国际编码标准	121
6.1 概 述	121
6.2 JPEG 2000 编码流程	122
6.2.1 图像预处理	123
6.2.2 小波变换	124
6.2.3 量 化	124
6.2.4 熵编码	126
6.2.5 码流组织	126
6.2.6 码率控制	128
6.3 两种滤波器	128
6.4 EBCOT 算法	130
6.4.1 码块内扫描模式	130
6.4.2 比特平面上的编码通道	131
6.4.3 编码扫描的例子	133
6.4.4 MQ 算术编码器	135
6.4.5 最佳嵌入编码	135
6.5 感兴趣区编码	137
6.5.1 ROI 的两种编码方式	137
6.5.2 掩模的计算	138
6.6 容 错	139
6.7 几种标准的比较	140
6.7.1 无损压缩	141

6.7.2 有损压缩	142
6.7.3 功能比较	143
参考文献	143

第三篇 视频编码

第7章 视频编码中的运动估计技术	146
7.1 概 述	146
7.2 二维运动估计	148
7.2.1 区域匹配法	148
7.2.2 频率法	153
7.2.3 光流法	155
7.2.4 像素递归法	156
7.2.5 随机法	157
7.2.6 分层运动估计法	159
7.2.7 半像素精度运动估计	160
7.3 三维运动估计	161
7.3.1 本质矩阵法——八点法	161
7.3.2 三维运动估计与编码	162
7.4 运动矢量编码	162
7.5 讨 论	163
参考文献	164
第8章 可扩展视频编码方法	169
8.1 概 述	169
8.2 基于DCT变换的分层可扩展视频编码方法	171
8.2.1 时域可扩展	171
8.2.2 空域可扩展	172
8.2.3 质量可扩展	172
8.3 基于小波变换的可扩展视频编码方法	173
8.3.1 二维小波视频编码方法	174
8.3.2 三维小波视频编码方法	176
8.4 内容自适应的运动补偿三维小波变换结构	183
8.4.1 固定变换结构的特点和局限性	183
8.4.2 通用的运动补偿三维小波变换结构	184
8.4.3 内容自适应的三维小波变换结构	186
参考文献	188
第9章 MPEG-4 FGS 编码标准	190
9.1 概 述	190
9.2 MPEG-4 FGS 的编码框架	191

9.3	DCT 系数的比特平面编码	193
9.3.1	比特平面编码	193
9.3.2	彩色分量的不同比特平面数	195
9.3.3	VLC 编码	195
9.3.4	截断码流的解码	196
9.3.5	FGS 的差错恢复技术	197
9.3.6	标准 FGS 编码结构的变形	197
9.4	FGS 质量可扩展视频编码的效率	199
9.4.1	FGS 与多层质量可扩展编码的比较	199
9.4.2	FGS 与非可扩展编码的比较	199
9.5	自适应量化技术	201
9.5.1	频率加权	202
9.5.2	选择性增强技术	203
9.6	MPEG-4 FGS 增强层码率分配算法	204
9.6.1	MPEG-4 FGS 增强层率失真模型	205
9.6.2	基于分段率失真模型的 MPEG-4 FGS 增强层码率分配算法	206
9.6.3	实验结果及分析	208
9.6.4	基于感兴趣区的 MPEG-4 FGS 增强层码率分配算法	211
9.7	FGS 质量-时间混合可扩展编码	215
9.8	渐进的 FGS 编码	217
	参考文献	219
第 10 章	H. 264/MPEG-4 AVC 视频编码标准	221
10.1	H. 264 的基本编码结构	222
10.2	H. 264 标准的结构	223
10.2.1	档次和级别	223
10.2.2	视频格式	224
10.2.3	编码数据格式	224
10.2.4	多参考帧	225
10.2.5	分片	225
10.2.6	宏块	226
10.3	基本档次	227
10.3.1	参考图像管理	227
10.3.2	I 分片和 P 分片	228
10.3.3	宏块预测	229
10.3.4	帧间预测	229
10.3.5	帧内预测	233
10.3.6	去块效应滤波器	236

10.3.7	变换和量化	239
10.3.8	4×4 亮度直流系数的变换和量化 (仅用于 16×16 帧内模式)	245
10.3.9	2×2 色度直流系数的变换和量化	246
10.3.10	变换,量化,重缩放和反变换全过程	246
10.3.11	重排	247
10.3.12	熵编码	248
10.4	主档次	252
10.4.1	B 分片	252
10.4.2	加权预测	254
10.4.3	隔行扫描视频	255
10.4.4	CABAC	255
10.5	扩展档次	257
10.5.1	SP 分片	258
10.5.2	SI 分片	261
10.5.3	数据分割分片	261
10.6	高档次	261
10.6.1	8×8 亮度帧内预测	262
10.6.2	8×8 整型变换	263
10.6.3	基于感知的量化缩放矩阵	263
10.6.4	无损宏块模式	263
10.6.5	彩色空间和残差彩色变换	263
10.7	H.264 编码性能分析	264
10.8	H.264 的传输	266
10.9	H.264 的应用领域	268
10.10	H.264 的实现	269
	参考文献	269
第 11 章	人脸检测与跟踪技术	271
11.1	概 述	271
11.2	人脸特征与分类算法	272
11.2.1	人脸特征	272
11.2.2	分类算法	273
11.3	肤色预分割	275
11.3.1	CrCbCg 彩色空间	275
11.3.2	基于模糊聚类的肤色分割	276
11.3.3	实验结果	279
11.4	基于类 Haar 特征的多级分类器	281
11.4.1	AdaBoost 算法	281
11.4.2	类 Haar 特征	282

11.4.3	分类器的构建	285
11.4.4	算法加速策略	286
11.4.5	实验结果	287
11.5	人脸检测算法的扩展	288
11.5.1	平面内旋转人脸	288
11.5.2	平面外旋转人脸	290
11.5.3	检测算法的扩展	291
11.6	人脸跟踪技术	293
11.6.1	概 述	293
11.6.2	背景去除	294
11.6.3	处理目标人脸区域	297
11.7	讨 论	299
	参考文献	299

第四篇 网络视频传输

第 12 章	视频传输网络	306
12.1	视频通信的基本模式	306
12.2	适用于视频传输的网络性能参数	307
12.3	视频传输对网络的要求	310
12.4	无线信道	310
12.4.1	无线信道特点	310
12.4.2	无线信道模型	315
12.5	IP 网络	317
12.5.1	IP 网络的体系结构	317
12.5.2	IP 网络协议	318
	参考文献	326
第 13 章	网络视频传输的差错控制技术	327
13.1	概 述	327
13.2	容错编码	329
13.2.1	鲁棒熵编码	329
13.2.2	容错预测	330
13.2.3	分层编码与不等错误保护机制	332
13.2.4	多描述编码	333
13.3	传输层的差错控制技术	335
13.3.1	FEC	335
13.3.2	ARQ	337
13.3.3	不等错误保护机制	338
13.4	解码端的差错控制	338

13.4.1	误码检测	338
13.4.2	误码隐藏	340
13.5	信源信道联合编码	343
13.5.1	信源信道联合编码原理	344
13.5.2	信源信道联合编码模型	346
13.5.3	信源信道联合编码的研究进展	346
13.6	交互式抗误码技术	347
13.6.1	选择性编码	348
13.6.2	自适应编码	348
13.6.3	自适应传输	348
13.7	讨 论	349
	参考文献	349
第 14 章	因特网视频流传输技术	354
14.1	概 述	354
14.2	视频流编解码技术	355
14.3	VCR 功能的支持	356
14.4	应用层的 QoS 控制机制	357
14.4.1	阻塞控制技术	358
14.4.2	差错控制	359
14.5	基于 Intra 帧刷新的差错控制方法	361
14.5.1	概 述	361
14.5.2	传统的周期 Intra 帧刷新方法	361
14.5.3	基于敏感度的 Intra 帧刷新方法	363
14.5.4	基于反馈信息的 Intra 帧刷新方法	367
14.6	因特网信源信道联合编码策略	368
14.6.1	概 述	368
14.6.2	信源编码的失真估计	369
14.6.3	信道编码的失真估计	370
14.6.4	因特网信源信道联合编码策略	374
14.7	面向视频业务的 QoS 控制机制	377
14.7.1	概 述	377
14.7.2	QoS 规范与协商机制	379
14.7.3	基于网络的队列管理方法	381
14.7.4	基于终端的速率控制技术	385
	参考文献	389
第 15 章	无线网络视频流传输技术	392
15.1	概 述	392
15.2	无线视频传输系统	393

15.2.1	端到端的失真	394
15.2.2	总体失真度量方法	395
15.3	无线信道中的抗误码技术	396
15.3.1	无线移动通信的特性	396
15.3.2	调 制	398
15.3.3	差错控制	398
15.4	无线 IP 网络	399
15.5	几种无线视频流传输结构	399
15.6	无线视频流传输差错控制机制	401
15.6.1	有效可解码长度最大的码率最优 分配算法	402
15.6.2	平均失真和重建质量波动最小的 码率分配算法	409
	参考文献	415
第 16 章	视频编码的 DSP 实现	417
16.1	DSP 芯片的发展	418
16.2	视频编码算法的并行特性	421
16.3	视频编码的 DSP 实现策略	421
16.3.1	核心算法优化策略	421
16.3.2	数据传输策略	423
16.3.3	内存分配策略	423
16.4	H.263 编码的 TMS320C6201 实现	424
16.4.1	核心算法优化	424
16.4.2	使用 DMA 优化数据传输	425
16.4.3	内存分配方法	426
16.4.4	实验结果	427
16.5	基于块等级预判的 DCT 算法	427
16.5.1	块等级的划分	427
16.5.2	BCP-DCT 算法基本思想	428
16.5.3	预判准则	429
16.5.4	快速 DCT 实现方法	430
16.5.5	实验结果	432
	参考文献	433
后 记		435