

信号与信息处理丛书

数字图像压缩编码

张春田 苏育挺 张 静 编著

清华大学出版社

信号与信息处理丛书



数字图像压缩编码

张春田 苏育挺 张 静 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍数字图像与视频压缩编码的基本原理、主要技术及其应用。全书分为 15 章,前 12 章讲述图像与视频压缩编码的基本原理,包括统计编码、预测编码、变换编码、子带编码、小波变换编码、分形编码、模型基编码以及矢量量化编码等,第 13 章和第 14 章介绍现行的数字图像与视频压缩编码国际标准,第 15 章介绍与图像及视频压缩编码密切相关的数字水印技术。

本书可供通信工程、信号与信息处理、计算机科学与技术等专业的本科高年级学生和研究生以及从事多媒体技术、计算机应用、电视技术、网络通信等相关专业的工程技术人员选作教材、参考书或培训用书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

数字图像压缩编码/张春田,苏育挺,张静编著. —北京:清华大学出版社,2006.1

(信号与信息处理丛书)

ISBN 7-302-11411-0

I. 数… II. ①张… ②苏… ③张… III. 数字图像处理—数据压缩 IV. TN919.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 082161 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 陈国新

印 刷 者: 三河市春园印刷有限公司

装 订 者: 三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 30.75 字数: 732 千字

版 次: 2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-11411-0/TN·265

印 数: 1~3000

定 价: 48.00 元

《信号与信息处理丛书》编委会

主 编 李衍达

编 委 (排名不分先后)

王宏禹 张贤达 李衍达 何振亚

迟惠生 保 铮 侯朝焕 袁保宗

阎平凡 谭铁牛

责任编辑 陈国新

丛书出版说明

信号与信息处理可以说是信息技术中的核心部分。随着信息科学与技术的飞速发展和信息技术深入到各个领域而得到广泛的应用,信号与信息处理也作为前沿技术而发生着重大的变化。编辑出版“信号与信息处理丛书”正是为了反映这种变化,为了加速培养这方面的人才,也为了进一步推动这一领域的发展。本丛书的内容力求能反映信号与信息处理技术的前沿内容,具有高的学术意义与应用价值。入选的书稿可以是创作的专著,也可以是高水平的译书。

这套丛书不仅适合于研究生教学,也可作为高校教师与有关领域研究人员学习与工作的参考书。

从历史来看,真正影响着生活的是不断增长的知识与技术的积累和经反复探索所形成的观念。相信这套丛书的出版,会增加正在成长中的信号与信息处理技术的积累,而它对生活的作用则是显而易见的。

李衍达

2004年8月24日

前言

PREFACE

多媒体技术和网络与移动通信的飞速发展激发了人们进行视频信息交流的需求,推动了图像通信和数字视频技术的全面发展。图像和视频信号数字化可以避免远距离传输的累积失真,数字化存储可以高保真还原,并且容易借助计算机进行灵活处理和管理。但数字化为人们带来诸多便利的同时,也带来两方面的挑战。一方面是数字化的高质量是以高数码率为代价的,相对于模拟信号而言,频带成数量级扩展极不经济,一度成为数字视频发展的瓶颈。本书介绍的压缩编码技术集学术界 1/4 世纪以来的出色研究成果,成功地解决了这一关键问题,成为计算机、通信、消费电子三大信息支柱产业共同的核心技术。数字化带来的另一不利方面是数字信号的易操作性也方便了盗版、篡改、伪造等非法行为,威胁信息安全。近年发展起来的数字水印技术成为解决这一问题的可行手段。隐蔽嵌入图像和视频信号中的水印信息能实现版权保护、真伪鉴别等功能。压缩编码与数字水印工作机理接近,使用中又彼此相融,本书也将这一学科前沿技术介绍给读者。

本书内容分成 3 大部分。第 1 部分为图像与视频压缩编码基础;第 2 部分为图像与视频压缩编码标准;第 3 部分为图像与视频信号中的数字水印。

第 1 部分包括本书的前 12 章。第 1 章是关于图像和视频压缩编码技术的概述,重点阐述数据压缩的必要性和可行性以及图像编码技术的研究内容。第 2 章和第 3 章分别就人的主观视觉特性和图像信号的统计特性进行介绍,这两者是实现图像和视频数据压缩的理论依据。第 4 章介绍单纯利用信号统计特性的压缩编码算法,这些方法不但本身可以实现无损压缩,而且与其他压缩方法相结合,成为各类图像与视频压缩编码系统中不可或缺的组成部分。第 5 章简要介绍有损压缩编码的信息论基础——率失真理论。第 6 章至第 12 章介绍各种有损压缩编码算法,包括预测编码、变换编码、子带编码、小波变换编码、分形编码、模型基编码以及矢量量化编码。

第 2 部分包括第 13 章和第 14 章,介绍现行的数字图像与视频压缩编码国际标准。第 13 章介绍 JPEG 和 JPEG 2000。第 14 章介绍 H. 261、H. 263、H. 264、MPEG-1、MPEG-2、MPEG-4 等标准以及标准化研究方面的新进展。

第 3 部分是第 15 章,介绍图像与视频数字水印技术及其应用。

数字压缩技术涉及多学科内容和较多的数学知识,如何做到既易于理解又不失准确地讲清楚压缩编码的原理至关重要;有关图像与视频压缩编码的国际

标准一般篇幅较长,也较繁琐,较少实际使用经验的人员需要通过帮助来迅速熟悉和掌握。在本书中,作者将根据多年来在天津大学为研究生讲授“图像编码”及其相关课程的教学经验和从事视频压缩编码研究的成果与体会,在这两方面做出努力,旨在帮助读者透彻理解和掌握图像与视频压缩技术的基本原理及相关标准,提高正确选择、使用、设计、实现图像与视频压缩编码方案和系统的能力,了解本学科领域的发展趋势和有待进一步深入研究的问题。

本书由张春田主编,第1章至第12章由张春田编写,第13章由张静编写,第14章由苏育挺编写,第15章由苏育挺、张静合作编写。程磊和闫宇二位研究生为本书的插图付出了辛勤劳动,在此表示感谢。

本书参考和引用了很多学者的研究成果和论著,作者谨对这些文献资料的著者表示诚挚的谢意。

鉴于本学科涉及知识面宽广,学科发展迅猛,限于作者的学术水平,不妥甚至错误之处在所难免,敬请读者不吝指正。

作 者

2005年10月 于天津大学

目录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 图像信息及其数字化	1
1.2 图像数据压缩	2
1.2.1 图像数据压缩的必要性	2
1.2.2 图像数据压缩的可能性	3
1.3 图像压缩信源编码过程	5
1.4 信源编码与信道编码	6
1.5 图像编码算法分类	7
1.6 图像编码的标准化	9
1.7 图像编码与数字水印	11
参考文献	12
第 2 章 视觉特性与图像质量	14
2.1 视觉系统中的信息处理	14
2.1.1 视觉与神经系统	14
2.1.2 眼睛	15
2.1.3 视皮层	19
2.2 视觉系统模型	20
2.2.1 单色视觉模型	20
2.2.2 彩色视觉模型	21
2.3 门限视觉	22
2.3.1 总体门限效应	23
2.3.2 局部门限效应	24
2.3.3 多激励的综合	25
2.3.4 运动觉察和时间掩盖	27
2.4 图像质量	28
2.4.1 图像质量的主观评价	29
2.4.2 图像质量的客观测量	31
参考文献	32

第3章 图像信号的统计特性及模型	34
3.1 图像信号的概率分布、信息量和信息熵	34
3.1.1 信息量和信息熵	34
3.1.2 图像信号的概率分布	36
3.2 图像信号的相关函数	39
3.3 图像信号的功率谱	42
3.4 图像差值信号的统计特性	43
3.5 活动图像的统计特性	45
3.6 图像信号统计模型	48
3.6.1 高斯模型	49
3.6.2 均匀模型	50
3.6.3 拉普拉斯模型	51
3.6.4 广义高斯模型	52
3.6.5 组合信源模型	52
参考文献	53
第4章 统计编码与无损压缩	55
4.1 单译可逆码和非续长码	55
4.2 离散、无记忆信源的无失真编码	58
4.3 离散、有记忆信源的无失真编码	60
4.4 赫夫曼编码	60
4.5 准最佳变字长编码	62
4.6 算术编码	64
4.6.1 赫夫曼编码存在的问题	64
4.6.2 算术编码的原理	65
4.7 比特平面编码	68
4.8 游程编码	70
4.8.1 一维游程编码	70
4.8.2 二维游程编码	72
4.9 LZW 编码	75
4.10 无损预测编码	78
附录 4-A 格雷码	81
参考文献	82
第5章 率失真理论基础	83
5.1 有损信源编码	83
5.2 互信息量和传输信息量	84

5.2.1 离散信源的互信息量	84
5.2.2 连续信源的互信息量	85
5.3 失真函数	86
5.4 率失真函数	87
5.5 限失真信源编码定理	92
5.6 离散信源率失真函数的计算	93
5.7 连续信源率失真函数的计算	96
5.8 率失真函数的应用及应用中的困难	101
附录 5-A 一维高斯信源的熵	102
参考文献	103

第 6 章 预测编码

6.1 概述	105
6.2 差分脉冲编码调制系统	106
6.3 基于最小均方误差准则的 DPCM 系统优化设计	108
6.3.1 最小均方误差预测器	108
6.3.2 最小均方误差量化器	110
6.3.3 DPCM 系统中的量化噪声	113
6.4 考虑主观视觉特性的 DPCM 系统优化设计	115
6.4.1 基于主观视觉特性的量化器优化设计	115
6.4.2 预测器与量化器间的相互作用	117
6.4.3 Pirsch 预测器	119
6.5 自适应预测编码	120
6.5.1 自适应预测器	120
6.5.2 自适应量化器	123
6.6 帧间预测编码	126
6.6.1 条件帧间补偿	126
6.6.2 帧内/帧间自适应预测编码	127
6.6.3 运动补偿预测编码	128
6.7 运动位移估值	129
6.7.1 块匹配运动位移估值	131
6.7.2 像素递归运动位移估值	138
6.7.3 相位相关法位移估值	141
参考文献	141

第 7 章 变换编码

7.1 变换编码的基本原理	144
7.1.1 变换编码的基本思想	144

7.1.2	正交变换的物理意义	144
7.1.3	变换编码的基本系统	147
7.2	图像信号的线性变换	148
7.2.1	离散信号的线性变换	148
7.2.2	基本图像	150
7.3	最佳变换	152
7.3.1	协方差矩阵及其性质	152
7.3.2	离散 K-L 变换	153
7.4	离散傅里叶变换	158
7.4.1	一维离散傅里叶变换	158
7.4.2	二维离散傅里叶变换	159
7.4.3	快速傅里叶变换	160
7.4.4	图像信号的二维傅里叶变换	163
7.5	离散余弦变换	165
7.5.1	一维离散余弦变换	165
7.5.2	二维离散余弦变换	167
7.5.3	DCT 与 DFT 的关系	167
7.5.4	快速离散余弦变换	169
7.5.5	图像信号的二维离散余弦变换	173
7.6	沃尔什-哈达玛变换	174
7.6.1	非正弦函数的正交变换	174
7.6.2	雷德马赫函数和沃尔什函数	175
7.6.3	沃尔什变换	176
7.6.4	哈达玛变换	179
7.6.5	快速沃尔什-哈达玛变换	181
7.7	哈尔变换	184
7.7.1	哈尔函数	184
7.7.2	离散哈尔变换	186
7.7.3	快速哈尔变换	187
7.8	斜变换	187
7.8.1	斜向量与斜矩阵	187
7.8.2	斜变换	189
7.9	变换域的数据压缩	190
7.9.1	几种变换的比较	190
7.9.2	比特分配与统计编码	191
附录 7-A	关于向量微分算子的运算	195
参考文献		197

第 8 章 子带编码	198
8.1 概述	198
8.2 子带滤波	199
8.2.1 双信道子带滤波器组	199
8.2.2 取样率转换	200
8.2.3 输入输出关系	202
8.3 正交镜像滤波器	203
8.4 二维子带编码	205
8.5 子带树状分割	207
8.6 子带分解的边界处理	207
8.7 子带图像的统计特性	209
8.8 子带图像编码	210
8.8.1 HDTV 的帧内子带编码	210
8.8.2 运动补偿视频子带编码	212
参考文献	213
第 9 章 小波变换编码	214
9.1 时-频局部化和加窗傅里叶变换	214
9.1.1 傅里叶变换的不足	214
9.1.2 Gabor 变换	215
9.1.3 时-频窗与窗函数条件	215
9.1.4 Gabor 变换的局限	217
9.2 连续小波变换	218
9.2.1 连续小波基函数	218
9.2.2 连续小波变换	218
9.2.3 小波变换的时-频窗	219
9.3 离散小波变换	221
9.3.1 连续小波变换的冗余	221
9.3.2 离散小波变换	222
9.3.3 离散二进小波变换	222
9.4 多分辨率分析	223
9.4.1 $L^2(R)$ 的多分辨率近似	223
9.4.2 尺度函数	225
9.4.3 细节信号与正交小波	227
9.4.4 Mallat 算法	227
9.4.5 二维信号的小波表示	231
9.5 小波变换的选择	234

9.5.1	紧支集正交小波·····	234
9.5.2	紧支集双正交小波·····	234
9.6	图像信号的小波变换编码·····	237
9.6.1	图像信号的二维小波变换·····	237
9.6.2	图像小波分解的特点·····	238
9.6.3	小波变换与矢量量化结合的编码方案·····	240
9.6.4	嵌入式零树小波编码·····	241
9.7	基于小波变换的视频编码·····	247
	参考文献·····	251
第 10 章	分形图像压缩编码 ·····	252
10.1	自相似性与分形·····	252
10.2	分形图像压缩的数学基础·····	253
10.2.1	仿射变换·····	253
10.2.2	度量空间与 Hausdorff 距离·····	254
10.2.3	压缩变换与压缩变换定理·····	255
10.2.4	迭代函数系统·····	256
10.3	分形图像压缩编码原理·····	258
10.3.1	基于 IFS 的分形图像编码基本原理·····	258
10.3.2	局部迭代函数系统 LIFS·····	259
10.3.3	基于分块的分形图像编码方法·····	260
10.4	关于分形编码的进一步讨论·····	264
10.4.1	加快分形编码的速度·····	264
10.4.2	提高分形编码的质量·····	265
10.5	分形视频编码·····	267
10.5.1	三维分形块编码·····	267
10.5.2	分形与 DCT 混合编码·····	268
10.5.3	区分前景与背景的分形编码·····	268
10.6	小结·····	269
	参考文献·····	270
第 11 章	模型基图像编码 ·····	271
11.1	前言·····	271
11.2	物体基图像编码·····	272
11.2.1	物体基分析-综合编码的基本方案·····	272
11.2.2	参数编码·····	275
11.2.3	方块基编码与物体基编码·····	276
11.2.4	信源模型·····	277



11.3	语义基图像编码	277
11.3.1	语义基编码的基本思想	277
11.3.2	人脸图像综合	278
11.3.3	人脸图像分析	281
11.3.4	长序列运动跟踪	282
	参考文献	282
第 12 章	矢量量化编码	284
12.1	从标量量化到矢量量化	284
12.2	矢量量化与失真测度	285
12.2.1	矢量量化定义	285
12.2.2	失真测度	286
12.3	码书设计	287
12.3.1	最优码书设计思路	287
12.3.2	LBG 码书设计算法	288
12.4	VQ 的变型及其实现	291
12.4.1	码树结构	291
12.4.2	多级 VQ	291
12.4.3	均值-残差 VQ	292
12.4.4	块分类自适应 VQ	293
12.4.5	预测 VQ	293
12.5	子空间失真测度技术	293
12.5.1	矢量子空间	293
12.5.2	子空间失真测度	294
12.5.3	子空间 LBG 算法	295
12.5.4	子空间选择	296
12.6	矢量量化编码的性能	297
	参考文献	297
第 13 章	静止图像压缩编码国际标准	298
13.1	JPEG 标准	298
13.1.1	JPEG 基本系统	299
13.1.2	累进编码	309
13.1.3	无损编码	311
13.1.4	分层编码	312
13.1.5	压缩码流语法	313
13.1.6	小结	316
13.2	JPEG 2000 标准	316



数字图像压缩编码

13.2.1	JPEG 2000 基本系统框图	317
13.2.2	源图像的预处理	318
13.2.3	离散小波变换	321
13.2.4	量化	327
13.2.5	熵编码	329
13.2.6	码流组织	334
13.2.7	其他主要特性	340
13.2.8	码流语法	343
13.2.9	基本系统的功能扩展	345
13.2.10	小结	349
	参考文献	349
第 14 章	视频压缩编码国际标准	350
14.1	引言	350
14.1.1	多媒体音视频压缩编码标准的特点	350
14.1.2	两大系列音视频压缩编码标准的比较	351
14.2	H. 261 视频压缩编码标准	352
14.2.1	H. 261 编解码系统概述	353
14.2.2	H. 261 中的核心编码技术分析	357
14.2.3	小结	360
14.3	MPEG-1 视频压缩编码标准	361
14.3.1	MPEG-1 视频编码系统分析	362
14.3.2	小结	366
14.4	MPEG-2 视频压缩编码标准	366
14.4.1	MPEG-2 视频编码系统分析	366
14.4.2	小结	374
14.5	H. 263 视频压缩编码标准	374
14.5.1	H. 263 视频编码系统分析	375
14.5.2	小结	381
14.6	H. 263 视频压缩编码标准的第二版(H. 263+)和第三版(H. 263++)	382
14.6.1	H. 263+与 H. 263++在预测编码技术上的改进	382
14.6.2	H. 263+与 H. 263++在变换编码和量化技术上的改进	385
14.6.3	H. 263+与 H. 263++在统计熵编码技术上的改进	386
14.6.4	H. 263+与 H. 263++在其他技术环节上的改进	386
14.6.5	改进编码选项组合方式	388
14.6.6	小结	390
14.7	MPEG-4 多媒体音视频压缩编码标准	390
14.7.1	MPEG-4 的系统特点	391



14.7.2	MPEG-4 的标准组成	392
14.7.3	MPEG-4 基本视频编码系统	394
14.7.4	MPEG-4 中的 VOP 编码技术	395
14.7.5	MPEG-4 的类与等级	405
14.7.6	小结	406
14.8	H.264 视频压缩编码标准	407
14.8.1	H.264 视频系统的分层结构	408
14.8.2	H.264 视频编码层技术分析	409
14.8.3	H.264 中的预测编码技术	410
14.8.4	H.264 中的变换编码与量化技术	413
14.8.5	H.264 中的统计编码技术	417
14.8.6	H.264 的其他特点	420
14.8.7	小结	421
	参考文献	423
第 15 章	图像和视频中的数字水印	425
15.1	信息隐藏与数字水印	425
15.1.1	信息隐藏历史与现状	426
15.1.2	信息隐藏与密码技术	427
15.2	数字水印系统的框架模型与特性	428
15.2.1	数字水印系统的框架模型	428
15.2.2	数字水印系统的基本特性	428
15.3	数字水印技术的应用	430
15.3.1	版权保护	430
15.3.2	隐含标识	432
15.3.3	认证	433
15.3.4	隐蔽通信	433
15.4	静止图像数字水印技术	433
15.4.1	图像水印系统基本框图	434
15.4.2	早期数字水印技术	435
15.4.3	鲁棒性水印技术	435
15.4.4	脆弱性水印技术	443
15.5	视频数字水印技术	452
15.5.1	视频水印的技术特点	452
15.5.2	视频水印技术分类	453
15.5.3	前置式视频水印技术	453
15.5.4	内置式视频水印技术	457
15.5.5	后置式视频水印技术	460



● 数字图像压缩编码

15.6 DVD 版权保护系统	462
15.6.1 DVD 版权保护技术的发展现状	462
15.6.2 DHSG 数字水印系统的技术要求	464
15.6.3 基于 DHSG 需求的数字水印系统	465
参考文献	468