

图像图形技术研究与应用 2009
Study and Application of Image and Graphics Technology

北京图像图形学学会 编

中国传媒大学出版社



图像图形技术研究与应用 2009

Study and Application of Image and Graphics Technology

北京图像图形学学会

编

第四届图像图形技术与应用学术会议
(IGTA2009)

论文集

中国传媒大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

图像图形技术研究与应用. 2009/北京图像图形学学会编.

—北京:中国传媒大学出版社,2009.3

ISBN 978-7-81127-426-4

I. 图… II. 北… III. 计算机图形学—学术会议—

文集 IV. TP391.41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 032580 号

图像图形技术研究与应用 2009

编 者 北京图像图形学学会

策 划 愚 言

责任编辑 愚 言

封面设计 风得信·阿东

责任印制 范明懿

出 版 人 蔡 翔

出版发行 中国传媒大学出版社(原北京广播学院出版社)

北京市朝阳区定福庄东街1号 邮编:100024

电话:65450528 65450532 传真:010-65779405

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

经 销 新华书店总店北京发行所

印 刷 北京京晟纪元印刷有限公司

开 本 787×1092mm 1/16

印 张 24.25

版 次 2009年5月第1版 2009年5月第1次印刷

书 号 978-7-81127-426-4/TP·426 定 价 69.00 元

版权所有

翻印必究

印装错误

负责调换

目 录

图像压缩、编码及数字电视

- 基于 JPEG 的低运算复杂度多描述编码方法 /2
- 基于稀疏分解的彩色图像编码技术的研究 /9
- 基于 TMS320DM642 的数字抽帧器的实现 /15
- EMBCCD 时序信号电压转换电路的设计 /21
- H. 264 解码器中反变换的硬件实现 /25
- 基于 Wyner-Ziv 编码的容错视频传输方案 /30
- 基于数字电视收视率调查的新方法研究 /36
- H. 264 运动估计搜索窗口的动态调整算法 /40
- 基于特征提取的视频通信质量客观评价模型 /46
- 一种基于视觉感知的视频质量客观评价方法 /52
- 3D 电视技术科研进展与展望 /58
- 高清非编系统中图像质量评价研究 /63
- H. 264 解码器中帧内预测的硬件实现 /69
- 宽带互动电视双模有条件接收系统架构 /74

图像处理及加密

- 基于自适应递归 LPA-ICI 的图像去噪算法 /86
- 基于外边界匹配的时域变块错误隐藏算法 /93
- 用于自适应视频水印的感知失真控制模型 /98
- 一种基于视觉模型的 DCT 域水印算法 /104
- 基于音频水印技术的广播电视网络监控系统方案 /110

运动目标检测及图像检索

- 新闻视频中主持人帧检测方法的研究 /116
- 基于无向概率图模型的视频语义状态建模 /121

- 基于支持向量回归机的相关反馈图像检索算法 /126
- 基于 PHD 的实时目标识别与跟踪研究 /133
- 基于动态时间规整的步态自动识别 /139
- 基于光流和水平集方法的多相运动对象分割 /146
- 扫雪车车载雷达运动目标检测算法 /152
- 基于组合特征和 Adaboost 级联分类器的行人检测 /157
- 视频运动对象的检测与跟踪技术研究 /162
- 基于边缘方向直方图的 mean-shift 人脸跟踪 /168

遥感图像处理

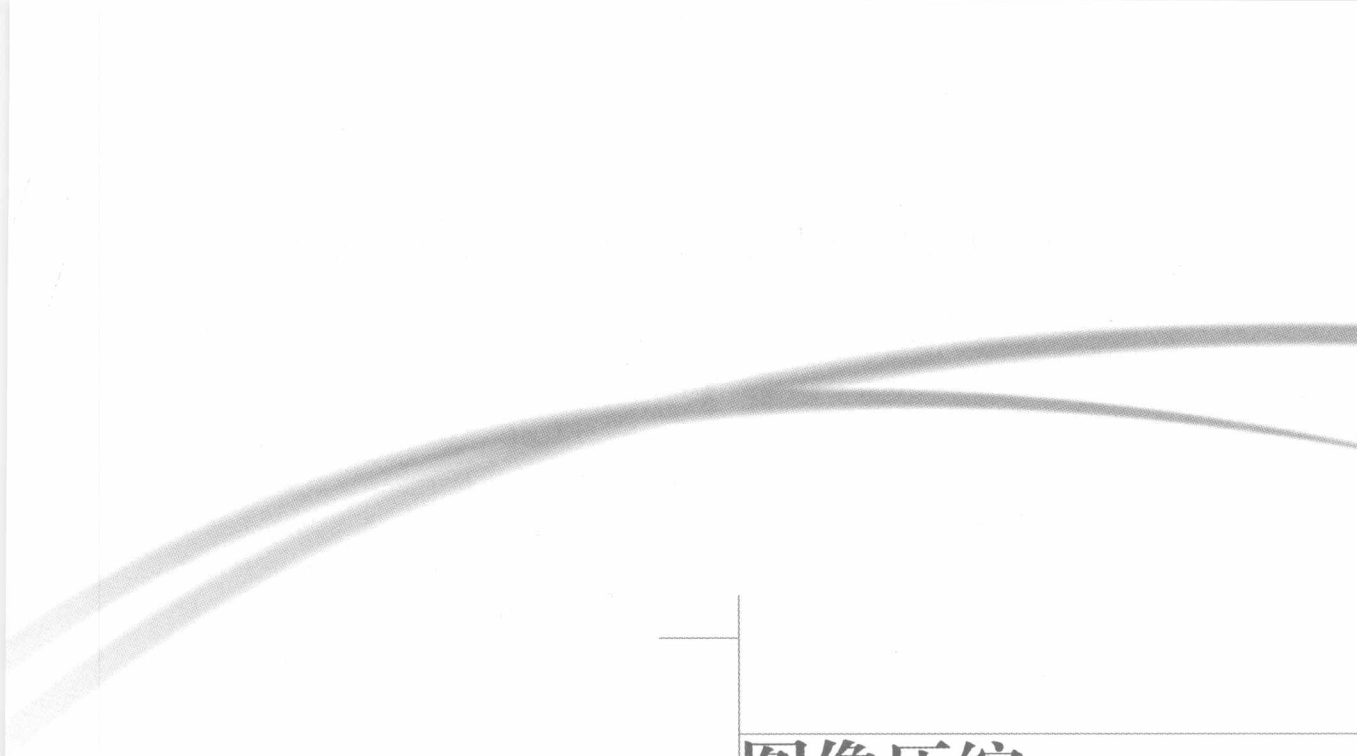
- 基于 Sloped Facet 模型的 MODIS 遥感影像条带噪声去除方法研究 /174
- 一种健壮的图像拼接技术 /179
- 基于模糊掩模方法的遥感图像预处理研究 /183
- 基于多特征融合的图像检索研究 /189
- 基于地理本体的空间数据集成研究 /194
- 多模遥感图像高精度配准并行算法研究与实现 /200

虚拟现实与多媒体仿真

- 轻便型新式交互投影墙 /208
- 虚拟现实技术在宇宙辐射剂量评估研究中的应用 /214
- 基于区域分割随机树的特征识别匹配算法 /221
- 一种基于双路视觉实时立体显示的交互界面设计 /227
- 一种面向对象知识的模型数据库管理系统的设计与实现 /232
- 基于 OpenGL 的六自由度机械臂建模及仿真 /236
- 基于多个固定摄像机的增强现实飞行模拟器 /240
- 基于虚实像结合的增强现实研究 /245
- 虚拟演播室中的线性色键的软件实现 /251
- 坦克红外成像建模与视景仿真 /256
- 城市作战仿真中智能虚拟士兵感知模型研究 /261
- 球面调和逼近表示 3D 模型的度量估计 /267
- 基于 GPU 计算的光线投射法体绘制研究 /272
- 基于视觉特性的多义人脸合成系统 /278
- 双路视觉的自适应立体影像合成及显示 /284

图像识别与图像分割

- SIFT 特征在三维物体识别中的应用 /290
- 基于图像灰度特征改进误差扩散算法 /295
- 基于 Canny 算法的一种边缘提取改进算法 /300
- 印刷体中文文档识别系统的研究 /305
- CCD 近红外图像特征研究 /311
- 一种车辆的宏观光流速度的计算方法 /315
- 基于烟气图像识别的火灾探测方法 /320
- 一种基于特征串比较的自动眉毛识别方法 /326
- 基于 Zernike 矩与网格特征的车牌字符识别方法 /331
- OCR 技术在高压断路器开关图像识别中的应用 /337
- 基于区域分割和小波变换的多分辨率图像融合方法 /342
- 基于图像分析的树木叶片面积计算方法 /349
- 合成孔径雷达图像识别的马尔科夫随机场方法研究 /354
- 一种改进的虹膜定位方法 /357
- 基于 CDMA 与 GIS 的车辆监控与管理系统 /361
- 基于 DM642 的智能交通灯控制系统 /366
- 隐式曲面上图像分割的 Chan-Vese 模型 /373
- 天文导航中星图识别算法的研究 /379



图像压缩、 编码及数字电视

基于JPEG的低运算复杂度多描述编码方法

基于稀疏分解的彩色图像编码技术的研究

基于TMS320DM642的数字抽帧器的实现

EMBCCD时序信号电压转换电路的设计

H.264解码器中反变换的硬件实现

基于Wyner-Ziv编码的容错视频传输方案

基于数字电视收视率调查的新方法研究

H.264运动估计搜索窗口的动态调整算法

基于特征提取的视频通信质量客观评价模型

一种基于视觉感知的视频质量客观评价方法

3D电视技术科研进展与展望

高清非编系统中图像质量评价研究

H.264解码器中帧内预测的硬件实现

宽带互动电视双模有条件接收系统架构

基于 JPEG 的低运算复杂度多描述编码方法

单莹莹 王翊

(中国传媒大学 信息工程学院, 北京 100024)

摘 要 本文提出一种基于 JPEG 的低运算复杂度多描述图像编码方法, 以避免压缩图像在网络传输中因数据包丢失而导致图像质量下降。基本思想是结合 MDSQ 编码原理, 根据 JPEG 量化表中的量化步长设置相对应的索引矩阵, 并利用这些矩阵对 DCT 变换系数进行索引分配, 从而产生图像的多个压缩编码描述。实验结果表明, 该算法具有较高的传输质量, 并且运算复杂度低。

关键词 多描述编码 多描述标量量化编码 JPEG

A Low Computational Complexity Multiple Description Image Coding Algorithm Based on JPEG Standard

Shan Yingying, Wang Xuan

(School of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024)

Abstract In this paper, a low complexity multiple description image coding scheme based on JPEG is proposed, which mitigates the image quality reduction due to packet loss during network transmission. The basic idea is to divide an image into multiple descriptions through multiple description scalar quantization (MDSQ) of DCT coefficients. Index assignment matrixes are produced according to the JPEG quantization table, which is implemented during the MDSQ process. Experimental results show that the proposed algorithm has a high transmission quality with lower computational complexity.

Key words Multiple Description Coding, MDSQ, JPEG

1 引言

在图像压缩编码中, JPEG 压缩是一个高性能的广泛应用的方法, 它能在图像压缩操作中获得较高的压缩比, 并且具有较低的

运算复杂度。虽然 JPEG 编码性能优良, 但若由于网络拥塞引起数据包丢失, 会导致接收端图像质量严重下降。多描述编码 (MDC) 是减少传输误码影响比较有效的方法之一, 它将单个图像信源编码成多个独立的比特流, 并通过多个信道同时传输这些相

互独立的比特流(每个比特流称为一个描述),它们具有同等的重要性。当接收到其中一个描述时可以恢复出粗糙但可以接受的图像效果,接收到的描述越多,则恢复出的图像质量越好^[1]。

近年来,多描述方法得到了广泛的研究和发展,主要方法有:多描述标量及矢量量化方法^[2,3]、相关变换方法^[4,5]、空间下采样方法^[6]、运动补偿方法^[7]等。多描述标量量化编码(MDSQ)是第一个实用的 MDC 方法,1993 年 Vaishampayan 设计了具有好的渐进特性的多描述标量量化器^[2],后来又在原有的基础上进行了改进,采用变长码代替了定长码,提出受熵约束的 ECMDSQ^[8],避免了固定大小的码书。但由于其编码复杂性较高,在图像传输系统中并不实用。

本文结合文献[2]中的多描述标量量化编码原理,提出了一种基于 JPEG 的多描述图像编码新方案,在 JPEG 压缩过程中将信号分成两个同等而相关的压缩码流。实验证明,该算法具备较好的传输质量和较低的运算复杂度。

2 多描述标量量化编码原理

多描述标量量化编码算法是一个成熟的、综合性能较高的多描述方法。图 1 给出了多描述标量量化编码系统框图,编码端可分为两个步骤:标量量化过程和索引分配过程。标量过程由常规的标量量化器实现,将直线分割成若干间隔的单元,如图 2 所示;索引分配过程为每个标量采样分配一组量化索引 (i, j) ,是一个一维到二维的映射 $I: N \rightarrow N \times N$,如表 1 所示。被量化的系数对应于矩阵中的点,行、列标号成为该系数的索引对 (i, j) , i, j 相当于索引匹配器产生的两个描述,分别通过两个独立信道进行传送。在解码端,三个解码器 g_0 、 g_1 和 g_2 分别从 (i, j) , i 和 j 重建信号:当接收端同时收到两个描述时,可用中心解码器 g_0 根据索引对 (i, j) 准确恢复该系数值,当接收端只收到一个描述时,用边缘解码器 g_1 或 g_2 根据行索引 i 或者列索引 j 的值来近似求出该系数值。索引分配必须可逆才可重建信号。

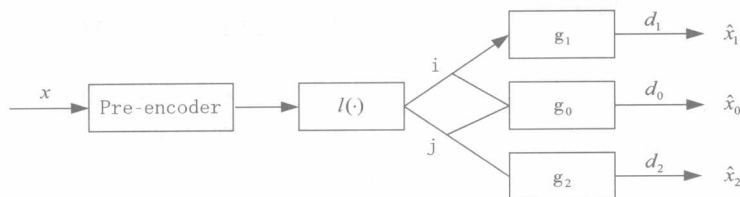


图 1 多描述标量量化编码结构

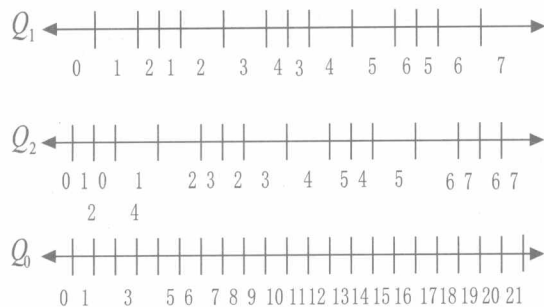


图 2 三种量化器的标号分配

表 1 对应于图 2 的 MDSQ 量化索引表

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3						
2	2	4	5					
3		6	7	9				
4			8	10	11			
5				12	13	15		
6					14	16	17	
7						18	19	21
8							20	22

MDSQ 的关键之处是索引分配矩阵的设计,索引区间的长度及分配方案将直接影响算法性能。索引的分配遵循以下规则:经标量化后的 x 个单元,从 0 到 $x-1$ 编码,从左上到右下,从主对角线向外开始填充,量化系数分布的范围由所占据的对角线数 $2k+1$ 来表征。编码的冗余由 k 值的大小来控制, k 越大冗余越小,同时在只收到一种描述时重建图像的失真也就越大。文献[2]提出了两种不同的标量分配方案,即嵌套索引分配和线性索引分配,如表 2(a)和 2(b):

表 2(a) 嵌套分配模式

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3						
2	2	4	5					
3		6	7	9				
4			8	10	11			
5				12	13	15		
6					14	16	17	
7						18	19	21
8							20	22

表 2(b) 线性分配模式

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3						
2	2	4	5					
3		6	7	9				
4			8	10	11			
5					12	14		
6					13	15	16	
7						17	18	20
8							19	21

嵌套索引分配模式由“E”和“S”两种扫描方式组成,我们定义扫描方式“E”如下: $(i, i), (i, i+1), (i+1, i), (i, i+2), (i+2, i), \dots, (i, i+k), (i+k, i)$, 扫描方式“S”如下: $(i, i), (i+1, i), (i, i+1), (i+2, i), (i, i+2), \dots, (i+k, i), (i, i+k)$ 。如用 $(E_i)_{i=1}^m$ 来表示序列 $E_1 E_{i+1} L E_m$, 当 $k > 0$ 时,嵌套索引分

配可表示为:

$$((E_i)_{i=(2p+1)k+1}^{(2p+1)k} (S_i)_{i=(2p+1)k+1}^{(2p+2)k})_p \quad (2-1)$$

线性索引分配模式由“ U_j ”和“ D_j ”两种扫描方式组成,当 j 为偶数时,我们定义扫描方式“ U_j ”如下: $(i+[k/2], i-[k/2]), (i+[k/2]-1, i-[k/2]+1), \dots, (i-[k/2], i+[k/2])$, 扫描方式“ D_j ”如下: $(i-[k/2], i+[k/2]), (i-[k/2]+1, i+[k/2]-1), \dots, (i+[k/2], i-[k/2])$; 当 j 为奇数时,扫描方式“ U_j ”如下: $(i+1+[k/2], i-[k/2]), (i+[k/2], i-[k/2]+1), \dots, (i-[k/2], i+1+[k/2])$, 扫描方式“ D_j ”如下: $(i-[k/2], i+1+[k/2]), (i-[k/2]+1, i+1+[k/2]-1), \dots, (i+1+[k/2], i-[k/2])$ 。当 $k > 0$ 时,线性索引分配可表示为:

$$((U_j)_{j=(2p+1)(2k)+1}^{(2p+1)(2k)} (D_j)_{j=(2p+1)(2k)+1}^{(2p+2)(2k)})_p \quad (2-2)$$

3 基于 JPEG 的多描述编码算法

3.1 JPEG 图像编码原理

JPEG 图像压缩基本包括四个过程:颜色模式变换及采样、 (8×8) DCT 变换、量化和编码。JPEG 压缩的重要环节是对 DCT 系数的量化过程,量化的核心是量化表, JPEG 推荐了亮度与色度两个量化表,如表 3(a)和表 3(b)所示:

表 3(a) JPEG 亮度量化表

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	14	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

表 3(b) JPEG 色度量化表

17	18	24	47	99	99	99	99
18	21	26	66	99	99	99	99
24	26	56	99	99	99	99	99
47	66	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99
99	99	99	99	99	99	99	99

3.2 基于 JPEG 的 MDC 系统

本文通过将 JPEG 图像编码标准与 MDSQ 编码相结合来达到数据压缩和抗误码的目的。系统框图如图 3 所示,在发送端将源图像数据进行 DCT 变换,再根据 JPEG 量化表中的量化步长设置相应的索引分配矩阵,将 DCT 变换系数进行索引分配,从而形成图像的两个描述。

本算法性能取决于索引分配矩阵和 k 值的大小, k 值的大小与 JPEG 量化矩阵中的量化步长相对应。我们用 q 来表示量化表中的量化步长,当 q 为偶数时,定义 k 值为:

$$k = (q - 2) / 2 \quad (3-1)$$

当 q 为奇数时,定义 k 值为:

$$k = (q - 1) / 2 \quad (3-2)$$

由此可知,若量化步长小则索引矩阵的 k 值就小,量化步长大对应的矩阵 k 值就大。

实验表明,线性索引分配模式性能略优于嵌套索引分配模式,所以本算法采用线性索引分配模式。

算法具体步骤如下:

(1)同 JPEG 编码标准类似,将图像划分为 8×8 像素的子块,分别对每个子块进行 DCT 变换;

(2)根据 JPEG 量化表设置索引分配矩阵,表中每一个量化步长对应一个索引矩阵,索引矩阵采用线性分配模式,具体设置如表 4、表 5 所示;

(3)将每个 DCT 变换系数对应到相应的索引分配矩阵中进行 MDSQ 编码,从而形成两个描述;

(4)应用平均压缩比最高的 Huffman 码对两描述进行熵编码,通过两个独立信道进行传输。

表 4 与量化表 3(a)相对应的 k 值
(对角线为 $2k+1$,对角线数为奇数)

7	5	4	7	11	19	25	30
5	5	6	9	12	28	29	27
6	6	7	11	19	28	34	27
6	8	10	14	25	43	39	30
8	10	18	27	33	54	51	38
11	17	27	31	40	51	56	45
24	31	38	43	51	60	59	50
35	45	47	48	55	49	51	49

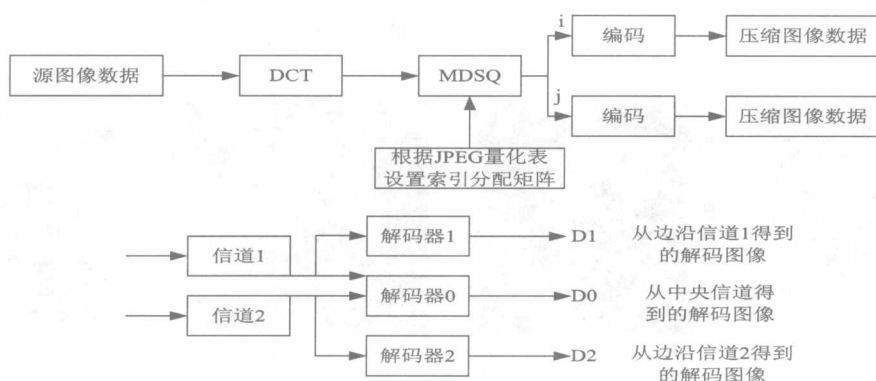


图 3 基于 JPEG 的多描述图像编解码系统框图

表 5 $k=4$ 时索引分配矩阵

...	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	...
-5	...		-27		-19							
-4		-26	-24	-20	-15	-10						
-3	-25		-21	-16	-11	-6						
-2		-22	-17	-12	-7	-3						
-1	-23	-18	-13	-8	-4	-1						
0		-14	-9	-5	-2	0	1	3	6	10		
1						2	4	7	11	15	19	
2						5	8	12	16	20		
3						9	13	17	21	24	27	
4						14	18	22		26		
5							23		25		...	

在解码端,先将接收到的描述进行 Huffman 解码,再通过中心解码器或边缘解码器获得重建图像。当接收端同时收到两个描述时,可用中心解码器根据表 4 对应的索引矩阵准确恢复该系数值,当接收端只收到一个描述时,用边缘解码器根据行索引或者列索引的值来近似求出该系数值。每一个接收到的描述都能够独立解码,恢复出一定质量的图像。每增加一个描述的信息,解码器恢复的图像质量也越来越高。

4 仿真结果及分析

实验在 JPEG 标准的基础上,对 256×256 像素的 8 位灰度图“Lena”采用本文提出的方法进行多描述编码。图 4 为采用本方案进行多描述编码后的主观重建图像,由图可以看出当两个码流同时接收时,可以得到较好的主观质量。当接收到一个描述码流时,仍然可以得到一定的主观图像恢复质量,失真度也可以得到较好的控制;随着码率的增加,图像质量越来越好。

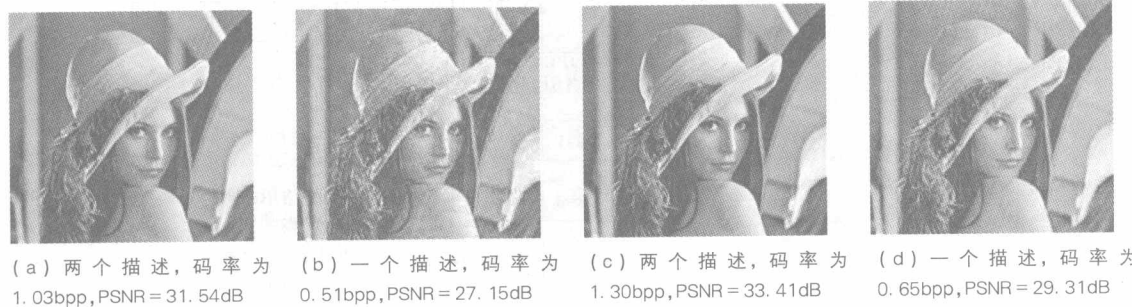


图 4 中心解码器和边缘解码器重建图像

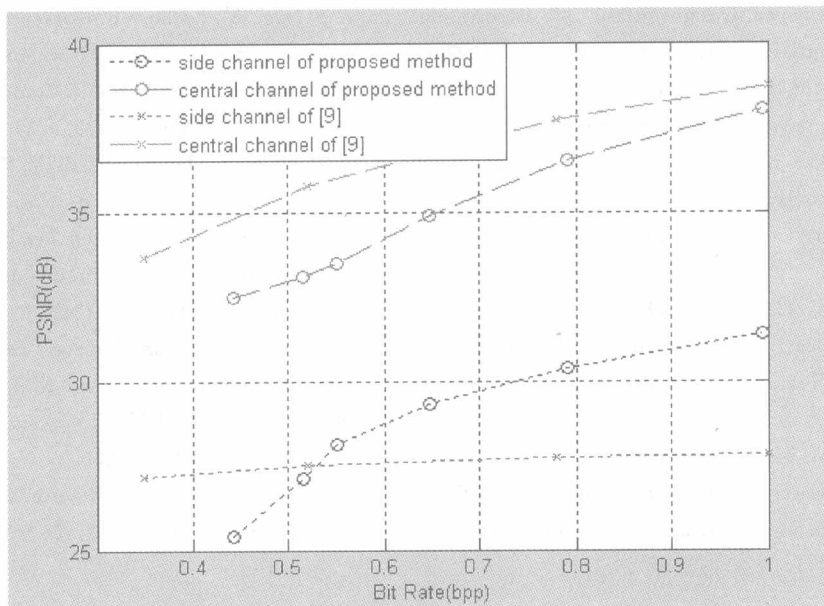


图5 在不同码率下本文方法与文献[9]方法 PSNR 值的比较

图5为本文方法与文献[9]中提到的一种基于 JPEG 多描述编码的 PSNR 值比较图,由此图可以看出压缩效率与重建图像质量的关系。对于边沿信道来说,本方案在较高码率(大于 0.5bpp)的情况下图像重建的 PSNR 值要明显高于文献[9]中的多描述编码方法,即在冗余度较高时,编码效果较好。而在低码率情况下,略差于文献[9]。另一方面,对于中央信道来说,本方案的 PSNR 值在低码率情况下比[9]大约低 2dB,随着码率的增大,相差逐渐减小。

仿真结果表明本算法运算复杂度与 JPEG 相似,单描述编解码(使用 JPEG 编码标准)的运算时间为 0.185 秒,本算法在只收到 1 个描述时编解码时间为 0.443 秒,收到 2 个描述时为 1.002 秒。本算法相对于 JPEG 编解码方法的额外运行时间用于生成多个索引分配矩阵,若在多描述图像编解码之前索引分配矩阵已经生成,就不存在额外时间的消耗,而只是需要内存来存储索引分配矩阵。由于 JPEG 量化表中量化步长数量为 64,那么索引分配矩阵的数量少于 64,即最多只需要 2M 的内存用来存储已经提前生成的索引分

配矩阵。

实验证明,本算法不仅相对于其他的 MDC 方法简单,且有良好的编码性能。虽然在只有一个描述的低码率情况下,其恢复的图像质量略差,但人眼还是能够接受的,并且这种方法与现有的 JPEG 标准相结合,易于实现。

5 结论

本文算法是一种试图实现压缩图像健壮传输的高效编码方法,它将多描述标量量化编码运用于广泛应用的 JPEG 图像压缩当中,提出了在多描述编码中根据量化步长而采用多个索引分配矩阵的方案。实验证明,该算法具有重构质量佳、压缩码率可控、编解码运算复杂度低等良好特性,并且与传统 JPEG 图像压缩标准相结合,易于实现。

参考文献

- [1] V. K. Goyal. Multiple Description Coding: Compression Meets the Network. IEEE Signal Process, 2001,18(5):74-93.

- [2] V. Vaishampayan. Design of Multiple Description Scalar Quantizers. *IEEE Transactions on Inf. Theory*, 1993, 39(3): 821—834.
- [3] V. Vaishampayan, N. J. A. Sloane, S. D. Servetto. Multiple Description Vector Quantization with Lattice Codebooks Design and Analysis. *IEEE Transactions on Inf. Theory*, 2001, 47(5): 1718—1734.
- [4] V. K. Goyal, J. Kovacevic, R. Arian, M. Vetterli. Multiple Description Transform Coding of Images. *IEEE Transactions on Inf. Process*, 1998: 674—678.
- [5] Y. Wang, M. T. Orchard, V. Vaishampayan, et al. Multiple Description Coding Using Pairwise Correlating Transforms. *IEEE Transactions on Image Process*, 2001, 10(3): 351—366.
- [6] S. Shirani, M. Gallant, F. Kossentini. Multiple Description Image Coding Using Pre-and Post-processing. *IEEE International Conference on Information Technology*, 2001: 35—39.
- [7] A. R. Reibman, H. Jafarkhani, Y. Wang, M. T. Orchard, R. Puri. Multiple Description Video Coding Using Motion Compensated Temporal Prediction. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2002, 12(3): 193—204.
- [8] V. A. Vaishampayan, Jaroslaw Domaszewicz. Design of Entropy-constrained Multiple Description Scalar Quantizers. *IEEE Transactions on Inf. Theory*, 1994, 40(1): 245—250.
- [9] 计文平, 沈兰荪. 基于 Mojette 变换的多描述编码. *电子学报*, 2007, 35(3): 526—529.

基于稀疏分解的彩色图像编码技术的研究

曾选 杨盈昀

(中国传媒大学 信息工程学院, 北京 100024)

摘 要 本文基于黑白图像的稀疏分解算法, 将其推广到彩色图像上, 以实现彩色图像的稀疏分解。一幅彩色图像可以看成是 R、G、B 或是 Y、U、V 三个分量组成, 对此三个分量分别采用黑白图像的稀疏分解算法, 得到其各自的稀疏表示, 从而最终实现彩色图像的稀疏分解。本文通过大量实验证明了这一方法的可行性, 并对比了在两个彩色空间进行处理的优劣性, 最终选择了 YUV 空间。最后本文对彩色图像稀疏表示得到的数据进行了量化, 并将其压缩效果与传统的 JPEG 压缩进行了比较, 证明了稀疏分解在彩色图像的低比特压缩时的优良特性。

关键词 彩色图像处理 稀疏分解 匹配追踪

The Research of Color Image Sparse Coding

Zeng Xuan, Yang Yingyun

(School of Information Engineering, Communication University of China, Beijing 100024)

Abstract In this paper, we extend the theory of sparse coding from black and white image into color image, in order to achieve the sparse representation of color image. A color image has three components, such as R, G, B or Y, U, V. We use the same algorithm of black and white image sparse coding to the three channels, to realize the color image sparse coding. This method has been proved to be feasible though abundant experiments. By compared the effects of the reconstructed color image in the RGB space and YUV space, finally we choose the YUV color space. At last, we do some simple quantization to the data we get from the color image sparse coding in order to realize color image compression. By compared the compression effect to current JPEG, this sparse coding is proved to be better at very low bit-rate.

Key words color image processing, sparse decomposition, matching pursuit

1 引言

在数字图像处理的理论研究和实际工程

应用中, 数字图像的表达或分解研究是一个关键性的环节, 因而具有非常重要的意义。为了实现对信号的更加灵活、简洁和自适应的表示, 在小波分析的基础上, 文献[1]总结

前人研究成果,于1993年提出了信号在过完备库(over-complete dictionary)上分解的思想。通过信号在过完备库上的分解,用来表示信号的基可以自适应地根据信号本身的特点灵活选取,分解的结果,将可以得到信号的一个非常简洁的表达(即稀疏表示, Sparse Representation),而得到信号稀疏表示的过程称为信号的稀疏分解。由于信号的稀疏表示的优良特性,稀疏分解很快从一维信号推广到作为二维信号的图像表示上,并被成功应用于图像处理的多个方面,如图像的压缩、去噪和识别等^[2-4]。

虽然稀疏分解在图像处理的多个方面得到了成功应用,但都局限在信号及黑白图像上,而对于彩色图像的稀疏分解研究比较少。针对这一问题,本文在基于黑白图像稀疏分解算法的基础上,将其推广到彩色图像,通过对彩色图像的三个通道分别采用黑白图像的稀疏分解算法,最终实现基于稀疏分解的彩色图像编码,并通过与传统的 JPEG 压缩效果的比较,证明了其在低比特率压缩时的优良性能,从而使稀疏分解的各种优良特性能在彩色图像处理上得到更广泛的应用。

2 基于 MP 的彩色图像稀疏分解

彩色图像包含 R、G、B 或 Y、U、V 三个分量。彩色图像的稀疏分解有两种方法:(1)三个分量图像分别采用黑白图像的稀疏分解算法,得到三个分量的稀疏表示,从而最终实现彩色图像的稀疏分解;(2)将三个分量构成一个向量,对应构成多维的原子库进行处理,实现彩色图像的稀疏表示。本文采用方法一,图1为此种思路实现框图,下文将对各个主要部分做详细介绍。

2.1 彩色空间的选择

对于颜色空间的选择,主要考虑到以下三个方面:(1)YUV 是广播电视领域中普遍

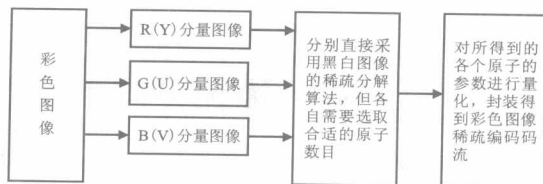


图1 基于黑白图像稀疏分解算法的彩色图像稀疏分解实现框图

采用的彩色表示方法;(2)YUV 彩色表示可以将亮色分开处理,便于某些只需要对黑白图像进行处理的场合;(3)考虑到人眼对色度信息不如亮度信息敏感这一特性,一幅彩色图像的 U、V 分量图像是否可以采用比 Y 分量图像更少的原子数来表示,从而得到彩色图像更稀疏的表达。

图2给出了在相同的码率下——(a)(b)总原子数为600,(c)(d)总原子数为300——分别在 RGB 与 YUV 空间进行不同处理时重建出的彩色图像,其中(a)和(c)属于 RGB 空间,(b)和(d)属于 YUV 空间,实验结果(a)(b)(c)和(d)的 PSNR 值分别为31.2606dB、31.4894dB、30.4170dB 和30.7168dB。

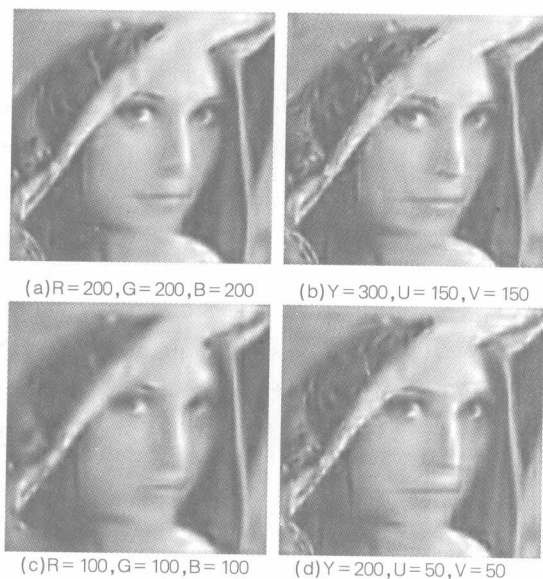


图2 相同码率下在 RGB、YUV 进行处理时重建出的各个彩色图像

由图 2 可知,当在 YUV 空间进行处理时,适当提高表示 Y 分量图像的原子数,重建出的彩色图像相对于同码率下的 RGB 空间重建出的彩色图像的信噪比提高了,图像细节更清晰,主观感觉质量也更好,这种特性在低比特率的情况下尤为显著。因此在相同的码率下进行处理时,尤其是在低码率的情况下,如果选择 YUV 空间,则可以灵活地通过适当提高表示 Y 分量图像的原子数,从而使重建出的彩色图像有更高的质量,RGB 空间则不具备这种灵活性。

图 3 为表示 U、V 分量图像的原子数为表示 Y 图像原子数一半及相同时的图像质量比较,(a)(b)的 PSNR 分别为 31.9488dB 与 31.4894dB。当减少表示 U、V 分量图像的原子数时,图像的信噪比下降并不大,人眼的主观感觉也并不太明显,因此当在 YUV 空间进行处理时,可以利用人眼对色度信息不如亮度信息敏感这一特性,减少表示 U、V 图像的原子数,从而达到更大的压缩比。



(a)Y=300,U=300,V=300 (b)Y=300,U=150,V=150

图 3 表示 U、V 分量图像的原子数为表示 Y 图像原子数一半时的图像质量比较

综上所述,在以下的实验中,本文采用对彩色图像的 YUV 分量进行处理,而为了不使图像质量下降太多,在压缩比与图像质量之间折中选取了表示 U、V 分量图像的原子数为表示 Y 分量图像原子数的一半。

2.2 基于 MP 的黑白图像稀疏分解原理及实现

对彩色图像的 Y、U、V 三个分量图像分

别直接采用黑白图像稀疏分解的方法进行处理。目前,针对黑白图像的稀疏分解已经发展了多种算法,其中以 MP (Matching Pursuit, 匹配追踪) 算法最为常用。

设研究的黑白图像为 f , f 大小为 $M_1 \times M_2$, M_1 和 M_2 为图像的长和宽。为了得到图像的稀疏表示,基的构造必须使得基在图像组成的空间中分布是足够密的。由此,基的正交性将不再被保证,所以此时的基也不再是真正意义上的基,而改称为原子。由这些原子组成的集合是过完备的,称之为过完备库。图像在过完备库上的分解结果一定是稀疏的。

MP 算法是一种贪婪算法,它通过不断的循环,每一步循环都从过完备原子库中寻找出与输入信号及信号的残余最为匹配的原子,由这些原子最终表示出原始信号(MP 算法的具体细节可参看文献[5][6])。设 $D = \{g_\gamma\}_{\gamma \in \Gamma}$ 为用于图像稀疏分解的过完备库, g_γ 为由参数组 γ 定义的原子, $R^k f$ 代表图像的残余,则利用 MP 算法对图像进行的稀疏分解为:

$$f = \sum_{k=0}^{n-1} (R^k f, g_{\gamma_k}) g_{\gamma_k} + R^n f \quad (1)$$

其中 g_{γ_k} 为各个循环中从过完备原子库中寻找的最佳原子,最佳原子为与图像或图像残余内积最大的原子,其满足:

$$|\langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle| = \sup_{\gamma \in \Gamma} |\langle R^k f, g_\gamma \rangle| \quad (2)$$

$R^k f$ 随着 n 的增大而指数衰减为 0。从而图像可分解为:

$$f = \sum_{k=0}^{\infty} \langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle g_{\gamma_k} \quad (3)$$

事实上,由于衰减特性,一般而论,用少数的原子就可以表示图像的主要成分,即:

$$f \approx \sum_{k=0}^{n-1} \langle R^k f, g_{\gamma_k} \rangle g_{\gamma_k} \quad (4)$$

公式(4)和条件 $n \ll M_1 \times M_2$ 集中体现了稀疏表示的思想。

直接应用 MP 算法进行图像的稀疏分解是不可行的,直接的搜索将是非常费时的。利用