

# MPEG-4 静态纹理 BQ 模式编码算法的改进\*

张亚妮<sup>1,2,3</sup> 苗润才<sup>1</sup>

(1 陕西师范大学物理学与信息技术学院, 西安 710062)

(2 宝鸡文理学院物理系, 宝鸡 721007)

(3 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学与光子学国家重点实验室, 西安 710068)

**摘要** 根据 MPEG-4 静态纹理编码工具中所定义的解码过程, 建立了与标准相容的静态纹理编解码框架, 然后从零树符号的信息含义及其与编码层目标图像的一致性出发, 研究 MPEG-4 VTC 工具中位平面模式编码的改进问题, 提出一种基于符号分解的预测性嵌入式小波零树编码方法, 并用 SP-PEZW 方法对彩色参考图像 Lena 进行了压缩和解码实验研究. 实验表明, SP-PEZW 方法在低比特率编码层上比 PEZW 有更好的压缩效率, 同时对高分辨率编码层压缩比并无大的影响, 甚至在高分辨率空间层以指定码率解码时图像质量略有提高.

**关键词** 图像处理; MPEG-4 静态纹理; 小波变换; 位平面模式; 可扩展图像编码

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## 0 引言

新一代视频标准 MPEG-4 不仅对运动视频有着很好的压缩效果, 而且突破了以往 MPEG-1<sup>[1]</sup> 和 MPEG-2<sup>[2]</sup> 只能利用帧内编码对静态图像有所限制, 在标准中融入直接对静态纹理物体进行编码的部分, 利用性能优越的小波变换代替视频编码的离散余弦变换(DCT), 进行小波零树嵌入式(EZW)编码, 使编码工程更接近人的思维模式. MPEG-4 标准中提供的解码可扩展性静态纹理编码工具(Visual Texture coding)是静态纹理和图像可扩展编码的核心算法.

VTC 工具的位平面(Bi-level Quant)模式编码采用其提供的最丰富的解码可扩展性编码方法——预测性嵌入式小波零树编码<sup>[3]</sup>(PEZW)方法. 通过引入一个新的零树符号(ZTRV), 以获得更好的压缩效率, 与 EZW<sup>[4]</sup> 和 SHIPT<sup>[5]</sup> 等经典小波零树编码不同, PEZW 除压缩效率高外, 具有编码流分辨率和质量的双重可扩展性, 随机读取以及容错等特点, 可实现局部编码、所需内存小等特点<sup>[6]</sup>. 为了提高低分辨率编码层的压缩比, 首先建立与标准相容的 VCT 编解码框架, 然后从零树符号信息含义及其与编码层目标图像的一致性出发, 提出一种基于符号分解的预测性嵌入式小波零树编码方法(SP-PEZW), 并用 SP-PEZW 方法对彩色参考图像 Lena 进行压缩和解码实验研究.

## 1 VTC 的编解码框架

VTC 编码采用性能优越的小波变换代替传统

的 DCT 变换, 整个算法以 EZW 和 ZTE<sup>[7]</sup> 为基础, 虽然单精度量化的 ZTE 算法不能提供嵌入式的特性, 但是利用多精度量化的方法, 对前次量化误差进行再编码, 就可以实现在应用中的嵌入式编码. 另外, MPEG-4 第 4 版对 VCT 算法加进了误差恢复处理方法, 使得 VCT 算法可以更加鲁棒地应用于各种环境中. 为了给用户提供一定程度的灵活性, MPEG-4 标准中没有规定具体的编码细节. 图 1 是

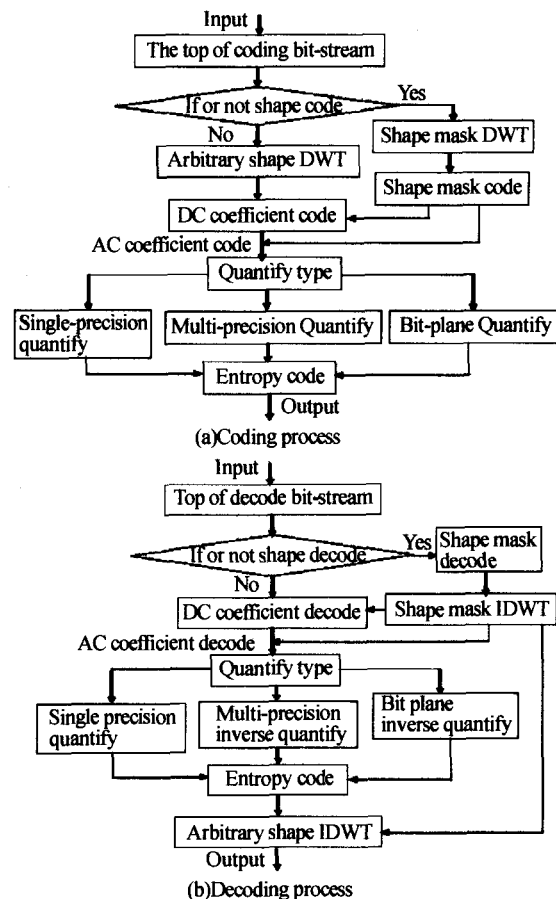


图 1 VCT 框图  
Fig. 1 The scheme of VCT

\* 国家中青年骨干教师基金(No. 200065)、陕西省科技厅科技计划项目(No. 2004K05-G47)  
Tel: 029-88484870 Email: zhangyn@opt.ac.cn  
收稿日期: 2005-03-10

结合标准的视频部分<sup>[8]</sup>和验证模型<sup>[9]</sup>建构的 VTC 编解码框图.

根据框图,编码算法的处理步骤如下:

1) 将必要的编码参数按照定义的语法编进比特流中;2) 根据要求选择是否需要形状编码,若需要,只有在形状掩膜内的系数才能进行编码;若不需要,则要求编码的图像是规则的矩形框;3) 进行形状自适应离散小波变换(DWT),变换系数分两部分处理,其中小波变换的最低系数称为直流(DC)系数,而其它系数称为交流(AC)系数;4) DC 系数进行预测编码和算术编码;AC 系数根据要求的量化类型,采用不同的压缩算法;5) 根据标准的语法形成比特流输出. 解码是编码的逆过程,只是在结果进行形状自适应的逆离散小波变换(IDWT).

## 2 BQ 模式编码算法及其改进

BQ 模式编码一般采用 PEZW 方法,其熵编码采用局域上下文的自适应算术编码,利用逐个位平面的方式对系数的量化值进行零树编码,用  $T$  表示位平面所对应的阈值,则使用的零树符号及含义如下:

1) ZTRZ 表示一个系数是零树的根,零树中的所有系数值都小于  $T$ ;2) ZTRV 表示一个系数的值大于  $T$ ,其后代系数值均小于  $T$ ;3) IZ 表示一个系数的值小于  $T$ ,且含有值大于  $T$  的后代;4) IVAL 表示一个系数的值大于  $T$ ,且含有值大于  $T$  的后代.

PEZW 方法最大的特点是编码按其对应系数所在分解层和输出时的位平面组织,构成一个可灵活解码的编码段二维矩阵<sup>[10]</sup>,其编码流有  $I$  个空间层,对应不同分辨率的图像,每个空间层可以制定码率  $r$  或位平面  $p$  解码,以获取不同质量的图像,且空间层  $i$  和位平面  $p$  对应的部分编码流称为一个编码层,记为  $BL(i, p)$ ,其相应码率为

$$R(i, p) = R_{DC} + \sum_{n=1}^{i-1} \sum_{m=1}^p R_{AC}(n, m) \quad (1)$$

式中,  $R_{DC}$  和  $R_{AC}(n, m)$  分别为相应编码段的码率. 编码段  $AC(i, p)$  由零树编码输出的三种符号编码构成,其码率表示为

$$R_{AC}(i, p) = R_r(i, p) + R_s(i, p) + R_z(i, p) \quad (2)$$

式中,  $R_r(i, p)$  表示修正符号的编码码率;  $R_s(i, p)$  表示系数正负符号的编码码率;  $R_z(i, p)$  表示零树符号的编码码率. 一般来说,零树符号的编码码率  $R_z(i, p)$  是编码层中比例较大的一部分,是零树算法改进的重要对象. 由于 PEZW 方法存在对低分辨率编码层压缩效率较低及低分辨率空间层以指定码率解码时图像质量不高的缺陷,本文从编码层符号信息与目标图像的一致性角度研究“可扩展”零树编码的

改进问题,提出基于符号分解的零树编码,提取编码层中“不一致”的符号信息,删除其相应的编码以提高编码层的压缩比.

基于符号分解的零树编码关键技术为:

1) 将节点  $k$  的零树符号  $Z$  分为两个独立编码的分解符号  $Z_c$  和  $Z_d$ ;2) 将符号  $Z_c$  的编码放在编码段  $AC(i, p)$ ,  $i$  为节点  $k$  所在分解层,而符号  $Z_d$  的编码放在编码段  $AC(i+1, p)$ . 如果把在 PEZW 方法编码中的零树符号替换为相应的分解符号,则可以提取编码层中的不一致符号. 由此,编码段  $AC(i, p)$  中零树符号编码码率  $R_z(i, p)$  可改写为

$$R_z(i, p) = R_c(i, p) + R_d(i, p) \quad (3)$$

式中,  $R_c(i, p)$  表示符号  $Z_c$  的编码码率,  $R_d(i, p)$  表示符号  $Z_d$  的编码码率. 将式(3)代入式(2),则编码段  $AC(i, p)$  的码率可表示为

$$R_{AC}(i, p) = R_r(i, p) + R_s(i, p) + R_c(i, p) + R_d(i, p) \quad (4)$$

式中,右端的前三项码率均对应节点系数信息,最后一项  $R_d(i, p)$  对应后代集合信息,这样式(1)改写为

$$R(i, p) = R_{DC} + \sum_{n=1}^{i-1} \sum_{m=1}^p R_{AC}(n, m) + \sum_{m=1}^p R_{AC}(i, m) \quad (5)$$

式中,等号右端的第 3 项是分解层  $i$  对应的各编码段码率,将式(4)代入式(5)并改写,则得到基于分解符号的编码层  $BL(i, p)$  码率构成

$$R(i, p) = R_{DC} + \sum_{n=1}^{i-1} \sum_{m=1}^p R_{AC}(n, m) + \sum_{m=1}^p (R_r(i, p) + R_s(i, p) + R_c(i, p)) + \sum_{m=1}^p R_d(i, p) \quad (6)$$

式中,等号右端的第 4 项是分解层  $i$  中符号  $Z_d$  的编码码率,是不一致码率项,需要从编码层  $BL(i, p)$  中删除. 图 2 为改进算法的编码流结构和符号  $Z_d$  编

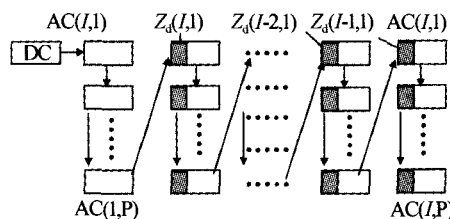


图 2 SP-PEZW 编码方法的编码流结构  
Fig. 2 The code stream frame of SP-PEZW

码分布情况. 改进方法实际上只是将编码段  $AC(i, p)$  中的  $Z_d(i, p)$  部分编码转移到编码段  $AC(i+1, p)$  中,以达到既从编码层  $BL(i, p)$  中删除不一致符号,又保证  $BL(i+1, p)$  层正确解码的目的. 这样, SP-REZW 编码方法中的编码层的码率为

$$R'(i, p) = R_{DC} + \sum_{n=1}^{i-1} \sum_{m=1}^p R_{AC}(n, m) + \sum_{m=1}^p (R_r(i, p) + R_s(i, p) + R_c(i, p)) \quad (7)$$

该方法可以有效地提高低分辨率编码层的压缩比,并对于高分辨率编码层的压缩比无影响.

### 3 实验及结果

采用 SP-PEZW 方法对彩色参考图像 Lena 进行了仿真实验,实验中使用 Daubechies(9,3)小波变换进行 5 级分解,阈值  $Q=1$ ,同时与 PEZW 算法作了对比. 图 3 为灰度分量的编码层码率相对曲线,其中, Y 轴为码率差  $D_{Rate}(\%)$ , X 轴为编码层索引 LayerIndex. 编码层  $BL(i, p)$  索引 LayerIndex 的计算方法为  $LayerIndex=(I-1) \times P+(p-1)$ . 式中,  $i$  为空间层索引,  $p$  为质量层索引,  $P$  为位平面总数;相应的码率相对差  $D_{Rate}(\%)$  计算方法为  $D_{Rate}(\%)=(R_{pezw}(i)-R_{sp-pezw}(i)) \times 100/R_{pezw}(i)$ . 式中,  $i$  指编码层索引,  $R_{pezw}(i)$  为 MPEG-4 中 PEZW 方法的编码层  $i$  的码率,  $R_{SP-PEZW}(i)$  为 SP-PEZW 方法编码层  $i$  的码率. 从图 3 可以看出,在低分辨率编码层上,

SP-PEZW 方法与 PEZW 方法的码率差为正,大部分编码层的码率差在 10%~20%,在高分辨率编码层上,码率差接近 0,两种方法的码率相近. 表 1 为空间层按指定码率解码时, SP-PEZW 方法与 PEZW 方法的解码图像质量比较.

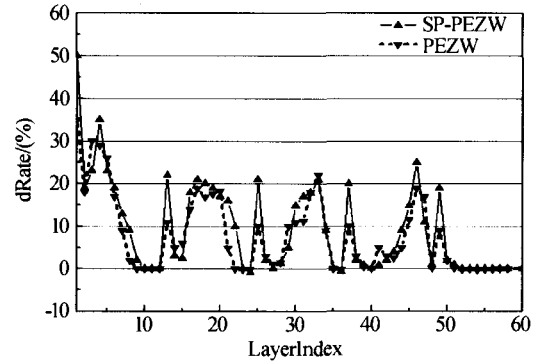


图 3 Lena 图像灰度的 SP-PEZW 与 PEZW 的编码层相对码率差

Fig. 3 The relatively coding rate different of SP-PEZW and PEZW coding layer of Lane grayer degree

表 1 PEZW 方法与 SP-PEZW 方法空间层指定码率解码图像质量 (dB) 比较

		PEZW				SP-PEZW				
		PSNR <sub>C</sub>	PSNR <sub>Y</sub>	PSNR <sub>U</sub>	PSNR <sub>V</sub>	PSNR <sub>C</sub>	PSNR <sub>Y</sub>	PSNR <sub>U</sub>	PSNR <sub>V</sub>	
Lena	128×128	4k	31.10	28.23	32.71	33.29	31.21	28.48	32.71	33.29
	8k	38.09	37.09	38.76	38.51	38.76	37.75	39.45	39.19	
	16k	47.87	47.68	48.05	47.88	50.66	52.04	52.21	43.31	

表中, PSNR<sub>C</sub>, PSNR<sub>Y</sub>, PSNR<sub>U</sub>, PSNR<sub>V</sub> 分别指整体质量、Y 分量质量、U 分量质量、V 分量质量.

$$PSNR_C = 10 \lg \frac{255^2}{(MSE_Y + MSE_U + MSE_V)/3} \quad (8)$$

式(8)中, MSE<sub>Y</sub>, MSE<sub>U</sub>, MSE<sub>V</sub> 分别为 Y, U, V 分量的信噪比.

在 128×128 低分辨率空间层上按同样的码率对 Lena 图像进行解码仿真. 解码图像如图 4, 从实验结果发现, SP-PEZW 方法的解码图像质量明显好于 PEZW 方法, 提高 0.1~2.79 dB 不等.

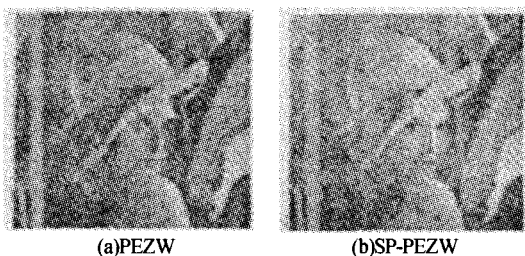


图 4 Lena 解码图

Fig. 4 The decode of Lena

### 4 结论

通过定义零树符号的分解表示方法, 将零树符号中包含的不同类型信息用分解符号分别表示, 删除编码层中与目标图像“不一致”的分解符号, 进而

提高编码层的压缩比. 实验表明, SP-PEZW 方法在低比特率编码层上比 PEZW 有更好的压缩效率, 同时对高分辨率编码层压缩比并无大的影响, 甚至在高分辨率空间层以指定码率解码时图像质量还略有提高. 整个改进算法只是在 PEZW 算法的原有框架中增加零树符号分解编码环节, 这就使得改进算法在提高编码层压缩比的同时, 完整保留了 PEZW 算法的随机读取、容错性、可以实现局部编码及内存需求小等特性, 从而使得 SP-PEZW 方法的性能更稳定, 软硬件成本更低.

#### 参考文献

- Liang Jie. Highly scalable image coding for multimedia applications. *In Proceedings of ACM Multimedia, Seattle, WA, 1997*, 35(11):11~19
- Shapiro J. Embedded image coding using zero-trees of wavelet coefficient. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1993, 41(12):3445~3426
- Said A, Pearlman W. A new, fast, and efficient image CODEC based on set partitioning in hierarchical trees. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, 6(3):243~250
- Martucci S A, Sodagar I, Chiang T, et al. A zero-tree wavelet video coder. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1997, 7(1):109~118
- 赵健, 杨川. 多重分形分析图像边缘提取算法. *光子学*

- 报, 2003, **32**(1): 61~64
- Zhao J, Yang C. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(1): 61~64
- 6 Zhao Jianwei, Wang Peng, Kiu Chongqing. Watershed image segmentation based on wavelet transform. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(5): 601~604
- 7 Yang Jing, Qiu Jiang, Wang Yanfei, *et al.* Feature based image registration algorithm using invariant line moment. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(9): 1114~1117
- 8 ISO/IEC 14496-2. final Draft International Standard, Information Technology-Generic Coding of Audio-Visual Objects, Part2: Visual. 1998, **12**(2): 1~15
- 9 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N3312. MPEG-4 Video Verification Model Version 16.0. 2000, **3**(1): 1~9
- 10 Li S, Li W. Shape adaptive discrete wavelet transform for arbitrarily shaped visual object coding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2000, **10**(8): 725~743

## Improved MPEG-4 VTC BQ Mode coding Algorithm

Zhang Yani<sup>1,2,3</sup>, Miao Runcai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062

<sup>2</sup> Dept. Phys., Baoji coll, Arts & Sci., Baoji 721007

<sup>3</sup> State key Laboratory of Transient Optics & Photonics, Xi'an Institute of optics and precision Mechanics of CAS, Xi'an 710068

Received date: 2005-03-10

**Abstract** According to the coding process of MPEG-4 VCT, coding-decoding frame of VTC consistent with standard of MPEG-4 is presented. The problem of scalable MPEG-4 VCT BQ image coding is investigated from the viewpoint of consistency of zerotree symbol with the objective image of bit-stream layer. An improved PEZW algorithm, SP-PEZW is presented. The experiment of the color Lena image is researched applying to SP-PEZW. Experiment results show that PEZW algorithm comparing with the bitrate of low resolution bitstream layers of SP-PEZW algorithm is lower, while bitrate of the highest resolution bitstream layer is the same, and image of the highest resolution spatial layer which is decoded at the special bitrate is better.

**Keywords** Image processing; MPEG-4 VTC; Wavelet transform; Bilevel-Quant; Scalable image coding



**Zhang Yani** was born in 1966, in Shaanxi Province. She received the M. S. degree in Institute of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University in 2003. Now she is an associate professor in the Dept. Phys., Baoji Coll. Arts & Sci., and pursuing her Ph. D. degree in Shaanxi Normal University. Her research interests include image processing and materials for optical communication. She has published more than ten academic papers in Chinese. At present, she is engaging in her Ph. D. in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS.