

码率可分级小波视频编码算法的研究*

刘红梅¹, 肖自美¹, 梁凡¹, 魏晓晖²

¹(中山大学 电子与通信工程系, 广东 广州 510275);

²(广东电信科学技术研究院, 广东 广州 510631)

E-mail: isslhm@zsu.edu.cn

摘要: 对于多种视频传输业务,传统的分层可分级性已不能很好地满足要求,编码器需要提供码率可分级性.采用改进的零树小波编码算法生成了高性能的嵌入式码流,实现了一个码率可分级视频编解码器.而在码率可分级编解码算法中,同一码流需要在较大的码率范围内保持编码效率.目前的解决方案在目标码率提高时,重建图像的质量得不到有效的改善.指出了码率可分级编码算法不仅要考虑误差扩散问题,还要考虑帧间依赖关系,并提出了一种新的算法.实验结果表明,该算法使同一码流能在多种码率下提供更好的重建图像的质量,而且所提算法可用于其他采用运动补偿算法降低时间冗余的码率可分级编解码器中.

关键词: 码率可分级;小波变换;视频编码;嵌入式编码;运动补偿

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

为了解决网络的可用带宽和用户的不同要求给视频编码和传输带来的新问题,目前的视频标准 H.263+, MPEG-4, MPEG-2 等都给出了分层可分级编码选项,但它仍然无法适应网络的复杂情况.码率可分级性由于能够在编码端生成一个可被任意截断的共同数据流,因而可以满足不同用户及网络的要求和限制,具有重要的意义,可以用于多种面向网络的数字传输业务.

Shapiro 在他的经典文章^[1]中提出了嵌入式零树小波编码方案,使基于小波的编码方案在实现码率可分级编码时具有很大的优势.文献[2~5]研究了基于小波的视频可分级编码算法.本文实现了一个码率可分级视频编码器,并在生成嵌入式码流时采用了我们提出的基于子集分割的零树小波编码算法 SDZW(subset-division-based zerotree wavelet)算法,该算法对 Shapiro 的传统的零树编码进行了改进,在提高编码速度的同时,编码效率也得到了有效的改善.

怎样使同一码流在较大的码率变化范围内保持编码效率,是码率可分级编解码器所面临的一个问题.文献[2]提出了一种自适应运动补偿算法 AMC(adaptive motion compensation),该算法旨在消除采用目前视频编码国际标准中的编解码结构时存在的误差扩散问题,在较低码率下可获得较好的重建图像质量.但是这种算法忽略了帧间依赖关系,当目标码率提高时,其重建图像的质量得不到有效的改善.因此,本文提出了一种兼顾误差扩散问题和帧间依赖关系的运动补偿算法 EAMC(enhanced adaptive motion compensation).实验结果表明了该算法的有效性.

* 收稿日期: 2000-07-10; 修改日期: 2000-10-16

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(963037;960033)

作者简介: 刘红梅(1969 -),女,内蒙古古丰镇人,博士,讲师,主要研究领域为视频编码;肖自美(1938 -),男,广西桂林人,教授,主要研究领域为图像、语音压缩与处理,多媒体技术与通信系统,数字传输与调制技术;梁凡(1972 -),男,山东蓬莱人,博士,讲师,主要研究领域为无线移动网络可视多媒体通信系统;魏晓晖(1974 -),女,广东揭阳人,工程师,主要研究领域为网络通信技术.

1 码率可分级视频编码算法中的关键问题

1.1 误差扩散

在目前的视频编码算法中,大多采用运动补偿算法 MC(motion compensation)来降低时间冗余.在采用 MC 的视频编码算法中,解码端的重建帧与原始图之间存在失真,失真来自预测帧部分和残差部分.当编码端和解码端所使用的参考帧相同时,则失真只来自残差部分,解码性能会比较好. MPEG 和 H.26x 采用的就是这样一种思路.

但是在码率可分级编码算法中,解码端的重建帧在不同的码率下有不同的失真,编码端不可能生成解码端在任一码率下实际所需要的参考帧.如果码率可分级编解码器采用 MPEG 和 H.26x 的编解码结构,通常将编码端锁定在最高的固定码率,而让解码端以其接收到的码率解码,由于不能保证编码端和解码端运动补偿所使用的参考帧是相同的,从而使预测帧部分和残差部分都成为失真的来源,导致较为严重的误差扩散.在图像组比较大的时候,位于图像组后部的重建图像的质量会很快衰减.这种算法被称为 NAMC(non-adaptive motion compensation).

文献[2]针对这一问题,提出了 AMC(adaptive motion compensation)算法.通过在解码端增加一个反馈回路,将编码端和解码端的参考帧锁定在同一码率下——一个最低的固定码率,从而消除了误差的扩散,在较低码率下的重建图像质量比 NAMC 要好.

1.2 帧间依赖关系

文献[5]中给出了采用 MC 算法时的帧间依赖关系:

$$\hat{\delta}^2 = \delta^2 + \alpha D_f, \quad (1)$$

$$D_f = D_{\max} 2^{-\beta R}, \quad (2)$$

其中 δ^2 表示实际编码时得到的残差帧的方差; $\hat{\delta}^2$ 表示由原始参考帧经过运动补偿后残差帧的方差;参数 α 描述了帧间的依赖关系; D_f 表示参考帧的编码失真; D_{\max} 是码率 $R=0$ 时的编码失真; β 是一个编码效率参数.

式(1)表明,运动补偿后残差帧的方差随参考帧的编码失真线性增长,如果参考帧编码失真很大时,无论运动补偿得多好,得到的预测帧的质量都会很差,从而影响到解码端重建图像的质量.

由于 AMC 算法中当解码端在较高的码率下解码时,使用的是最低码率下得到的参考帧,根据式(2)中编码失真与码率的关系可知,这时的参考帧失真最大,由式(1)可知,即使目标码率提高,重建图像的质量却不会得到有效的改善.文献[5]还通过实验指出,当发生运动的范围较小及运动不剧烈时,由于运动补偿得较好, α 较大,帧间依赖关系较强.而当发生运动的范围较大及运动剧烈时,由于运动补偿效果不易做得好, α 较小,帧间依赖关系较弱.由此可以推断,AMC 算法对帧间依赖关系较弱的视频序列的效果较好,而对于帧间依赖关系较强的视频序列的效果不是很理想.在第 3 节的实验部分,这一推断得到了验证.

2 码率可分级视频编码新算法

2.1 EAMC算法

在分析了误差扩散和帧间依赖关系的基础上,本文提出了一种兼顾这两个问题的 EAMC 算法.其基本思想是,在编码端进行运动补偿时使用的参考帧是一个中间码率 R_{ref} 下的重建帧.当解码端对截断后的较高码率的码流进行解码时,通过反馈环路,将解码端的参考帧锁定在 R_{ref} 下,从而不但消除了误差的扩散,使重建图像的质量优于 NAMC 算法,而且由于其参考帧的编码失真低于 AMC 算法,当码率提高时,其重建图像的质量提升速度远高于 AMC.当在较低码率下解码时,虽然无法消除误差的扩散,但由于编解码端使用的参考帧之间的差别低于 NAMC 算法,其误差扩散速度会较低,重建图像的质量界于 NAMC 算法和 AMC 算法之间.

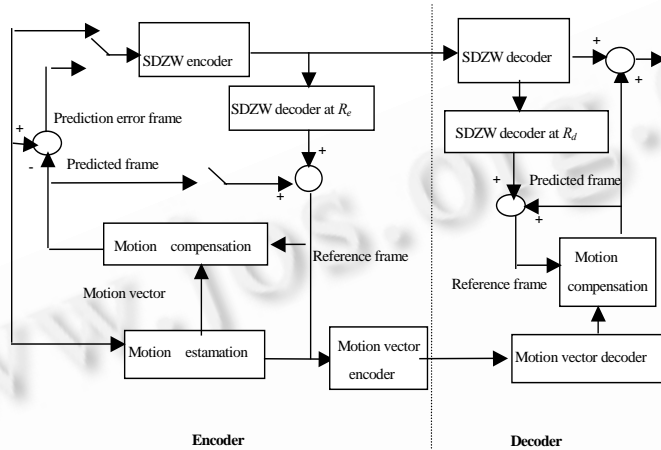
EAMC 算法的结构框图如图 1 所示.

设 $R_L < R_{ref} < R_H$, 而且 $R_{MV} < R_L$, 其中 R_{MV}, R_L, R_H 分别表示运动矢量所需要的码率、目标码率的动态变化范围.

在编码端, R_{MV} 已知, 嵌入式视频流总能以 $R_e = R_{ref} - R_{MV}$ 解码得到残差部分, 并将得到的残差部分与预测帧相加得到参考帧. 嵌入式码流的解码分两种情况:

(1) 当目标码率 $R > R_{ref}$ 时, 以两种码率解码, 分别是目标码率 $R - R_{MV}$ 和确定的码率 $R_d = R_{ref} - R_{MV}$. 以 R_d 解码得到的残差部分与预测帧相加就会得到和编码器端相同的参考帧, 以 $R - R_{MV}$ 解码得到的残差部分与预测帧相加得到最终的解码图像.

(2) 当目标码率 $R < R_{ref}$ 时, 以目标码率 $R_d = R - R_{MV}$ 解码. 以 R_d 解码得到的残差部分与预测帧相加得到参考帧, 也即重建帧.



SDZW 编码器, 在 R_e 码率下的 SDZW 解码器, 参考帧, 运动矢量编码器, 预测残差帧, 预测帧, 运动补偿, 运动矢量, 运动估值, 编码器端, SDZW 解码器, 在 R_d 码率下的 SDZW 解码器, 运动矢量解码器, 解码器端.

Fig.1 Block diagram of EMAC algorithm

图 1 EMAC 算法框图

2.2 嵌入式码流生成算法

实现可分级编码的基础是编码器能得到嵌入式码流. 在本文所实现的编码器中采用的算法是我们提出的改进的零树编码算法 SDZW. 相对于 Shapiro 的传统零树编码, SDZW 在小波系数的树形结构、扫描系数的方式等方面进行了改进, 并提出了幅值排序树以加快零树扫描判决速度^[6].

在零树编码中, 最重要的是找出重要的系数和大块的“零值”系数, 我们的重要性判断(significance test)准则如下: 给定 n, n 是大于 0 的整数, 对于系数 $C_{i,j}$, 如果 $|C_{i,j}| \geq 2^n$, 则称这个系数是重要的, 否则为不重要的系数; 对于系数子集 S_m , 如果 $\max(|C_{i,j}|) \geq 2^n, (i,j) \in S_m$, 则称这个系数子集是重要的, 否则是非重要的; 如果系数子集是重要的, 则可把 S_m 继续分成几个新子集, 并对这些新子集进行同样的判断, 一直重复下去, 就能找出所有的单个重要系数.

在 Shapiro 零树编码中, 大量的比特开销在定位信息上, 而我们提出将小波系数构成的树形结构与上面的判断子集分割算法结合起来, 使解码器可以根据判决的路径获得系数的位置, 从而减少用于定位信息的比特数, 在限定码率的条件下, 可以为高频中的大系数分配更多的比特, 使得恢复图像有更好的主观质量.

在 SDZW 的编解码过程中, 加入了目标参数(如编解码比特数)的监测机制, 当目标参数满足设定值时, 即停止编解码过程.

3 实验结果和分析

本节将本文提出的 EMAC 算法, 与文献[2]中提出的 AMC 算法和 NAMC 算法对视频序列的编码效果进行了比较. 我们只比较对亮度分量的编码效果(U, V 分量的原理相同). 图 2 给出了在不同目标码率下(图 2(a)为 20kbit/s, 图 2(b)为 48kbit/s, 图 2(c)为 64kbit/s, 图 2(d)为 128kbit/s)使用 EMAC 算法、AMC 算法和 NAMC 算法

对 QCIF 序列 Foreman 的实验结果.

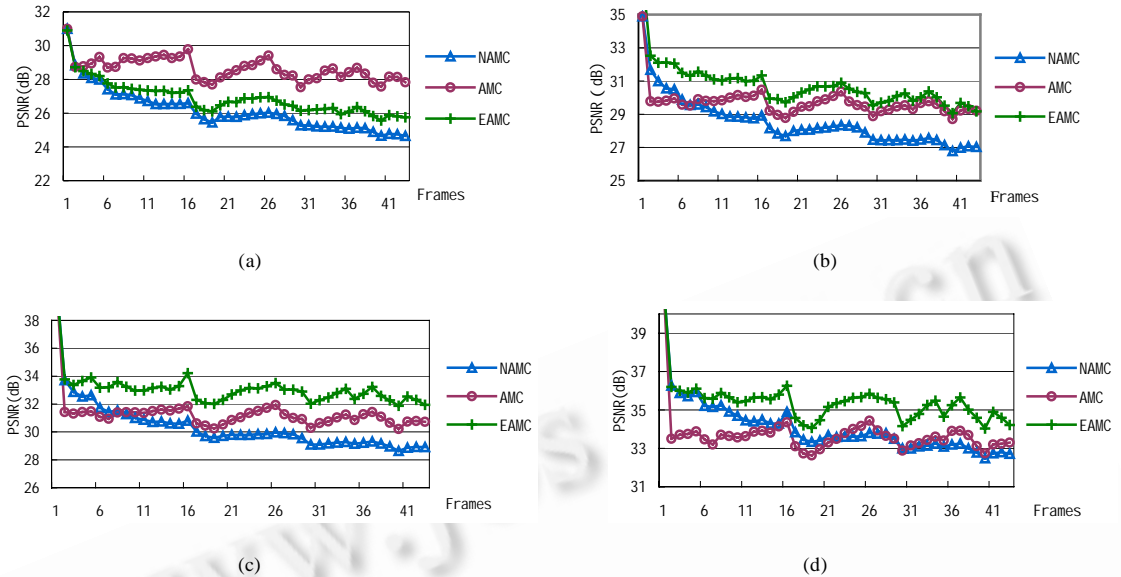


Fig.2 Experimental results of Foreman sequence

图 2 Foreman 序列的实验结果

可以看到,EAMC 算法在最低码率下,虽然无法消除误差扩散,但编解码端参考帧间差别比较小,误差扩散的速度和重建图像的质量位于 AMC 算法和 NAMC 算法之间.当码率比较高时,EAMC 算法的质量曲线随着码率的提高逐渐平稳,重建图像的质量高于 NAMC 算法和 AMC 算法.

表 1 给出了对不同序列采用 EAMC 算法、AMC 算法和 NAMC 算法进行编解码时,在不同码率下重建图像的平均质量的比较(共 43 帧,1 个 I 帧,42 个 P 帧),以 PSNR 表示.实验结果验证了第 2.2 节中的理论分析.对于运动部分占整幅图的比例较大的序列,如 Foreman,Carphone 等,AMC 算法可在多种码率下提供高于 NAMC 算法的重建图像质量,而对于运动部分比较少的序列,如 Paris,Salesman 等序列的适应性不是很好,而本文提出的 EAMC 算法对各种序列的实验结果表明了其有效性,而且该算法可用于其他采用运动补偿算法降低时间冗余的可分级编解码方案中.

Table 1 Comparison of performance of the algorithms

表 1 算法的性能比较

Sequence	Bit rate (Kbps)	NAMC	AMC	EAMC
		PSNR (dB)	PSNR (dB)	PSNR (dB)
Carphone (QCIF, 7.5fps)	20	27.80	30.84	28.30
	48	31.29	32.66	32.74
	64	32.74	33.53	34.99
	128	37.96	36.83	39.26
Paris (QCIF, 7.5fps)	20	21.78	23.22	22.07
	48	25.18	24.32	26.05
	64	26.75	24.93	28.30
	128	31.12	26.79	31.85
Salesman (QCIF, 7.5fps)	20	28.84	30.61	29.03
	48	33.08	31.69	33.73
	64	34.81	32.07	36.37
	128	39.30	34.15	39.81

序列, 码率.

References:

- [1] Shapiro, J.M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1993,41(12):3445~3462.
- [2] Shen, K, Delp, E.J. Wavelet based rate scalable video compression. *IEEE Transactions on Circuit and System for Video Technology*, 1999,9(1):109~122.
- [3] Jo, Y.T., Ranganath, S., Kassim, A.A. Highly scalable wavelet-based video codec for very low bit-rate enviromaent. *IEEE Journal of Select Areas Communication*, 1998,16(1):12~27.
- [4] Liangchi, Hsu, Rao, K.R. Wavelet and lapped orthogonal transform with overlapped motion compensation for multiresolution coding of HDTV. *IEEE Transactions on Circuit and System for Video Technology*, 1998,45(8):1002~1014.
- [5] Cheng, Po-Yuen, Li Jin, Kuo, C-C, Jay. Rate control for an embedded wavelet video coder . *IEEE Transactions on Circuit and System for Video Technology*, 1997,7(4):696~702.
- [6] Hong, Jian-lin. The study of compression techniques based on wavelet image coding for high resolution image [MS. Thesis]. Department of Electronic and Communication Engineering, Guangzhou: Zhongshan University, 1997 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [6] 洪建林.高分辨率图象小波压缩方法的研究[硕士学位论文].广州:中山大学电子与通信工程系,1997.

Research on Rate Scalable Wavelet Video Coding Algorithm*

LIU Hong-mei¹, XIAO Zi-mei¹, LIANG Fan¹, WEI Xiao-hui²

¹(Department of Electronic and Communication Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China);

²(Guangdong Telecommunication Academy of Science and Technology, Guangzhou 510631, China)

E-mail: isslhm@zsu.edu.cn

Abstract: The traditional layered scalabilities can not satisfy the requirements of various multimedia applications commendably. The codecs need to provide rate scalability. In this paper, a high performance embedded bit stream is produced by adopting an improved version of zerotree wavelet coding algorithm and a rate scalable video codec is implemented. However, in the rate scalable coding scheme, a single bit stream needs to keep coding effectiveness in a wider range of bit rates. The performance of the existing solutions can not improve the qualities of the reconstructed frames effectively when the target bit rate is increased. It is pointed out that besides error propagation, the rate scalable algorithm needs to give attention to the frame dependency, then a new algorithm is proposed. The experimental results show that the proposed algorithm can make the single bit stream produce better qualities at various data rates. This algorithm can also be used in other rate scalable coding schemes that adopt motion compensation to reduce the temporal redundancy.

Key words: rate scalable; wavelet transform; video encoding; embedded coding; motion compensation

* Received July 10, 2000; accepted October 16, 2000

Supported by the Natural Science Foundation of Guangdong Province of China under Grant Nos.960033, 963037