精细的可伸缩性视频编码中容错技术的研究

阎 蓉[1],陶 然[1],王 越[1],吴 枫[2],李世鹏[2]
(1. 北京理工大学电子工程系,北京 100081;2. 微软亚洲研究院,北京 100080)

摘 要: 精细的可伸缩性视频编码生成的增强层码流在有误码的信道中传输时,正确解码的比特数由信道误码率决定,而不是由信道带宽决定,这将严重影响图像质量. 本文提出了一种新的分级的增强层码流结构,在这种新的增强层码流中加入各种同步符,将码流分为许多不同的段. 当码流在传输过程中出现错误时,只有发生错误的那段码流不能解码,从而有效地减少了传输错误的影响. 在 MPEG-4 的 FGS 上的实验结果表明我们提出的增强层码流结构比原来的 FGS 增强层码流结构有更好的鲁棒性.

关键词: 精细的可伸缩性视频编码; 增强层码流; 容错技术
中图分类号: TP302.8 **文献标识码**: A **文章编号**: 0372-2112 (2002) 01-0102-03

Error Resilience Methods for FGS Coding Scheme

YAN Rong[1], TAO Ran[1], WANG Yue[1], WU Feng[2], LI Shi-Peng[2]
(1. *Dept. of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing* 100081, *China*;
2. *Microsoft Research China*, 49# *Zhichun RD, Haidian, Beijing* 100080, *China*)

Abstract: In the FGS (Fine Granularity Scalability) enhancement bitstream, the error resilient technique are not considered. when delivering video bitstream over error prone channel, the actual decoded bits are only a small part of received data due to the transmitted errors even if a great deal of enhancement bitstream is transmitted to the decoder. In this paper, a new architecture of enhancement layer bitstream with resynchronization markers and Header Extension Code (HEC) is proposed for efficient error localization and recovery. Experimental results show that, at the same channel conditions, the proposed enhancement bitstream is more robust than that of the original enhancement bitstream in MPEG-4 standard.

Key words: fine granularity scalable video coding; enhancement layer bitstream; error resilience

1 引言

第 3 代移动通讯标准的制定使得通过无线信道传输视频数据成为可能. MPEG-4 标准定义了一个新的编码技术叫精细的可伸缩性编码 FGS(Fine Granularity Scalability)[1],由于其码流有一些比较好的特性,如能适应网络传输带宽的变化,对传输误码有较强的恢复能力等,因而很适合视频信息网络传输的需要. 然而由于 MPEG-4 标准定义的 FGS 增强层码流没有考虑任何附加的容错技术,当这种简单结构的码流在无线信道中传输时会产生一个严重的问题,即信道误码较高时会有大量的增强层码流被解码器丢掉,实际解码的数据将不由传输带宽决定,而是由信道的误码率决定.

本文分析了 FGS 增强层码流在无线信道中传输时所存在的问题,并提出了一个新的分级的增强层码流结构. 这种结构也能用于其它的精细可伸缩性编码技术,如 PFGS(Progressive Fine Granularity Scalability)编码技术[2].

2 FGS 的编码框架及其增强层码流结构

FGS 视频编码系统生成两层码流. 其中基本层采用运动补偿 DCT 编码. 为了降低基本层的码率,编码所用的量化步长较大,基本层的量化误差通过位平面编码技术形成增强层码流. 通过解码基本层码流,可以得到低质量的视频图像,随着解码的增强层码流数量的增加,视频图像质量会逐步提高. 原有的 FGS 编码框架产生的增强层码流结构如图 1 所示,每帧的帧头由帧起始码 VOP SC(Video Object Plane Start Code)和帧信息(Frame Information)两部分组成. 所有的增强层码流按照宏块顺序排列组成该结构中的数据部分.

VOP SC	Frame Information	DATA	VOP SC	Frame Information	DATA	…

图 1 FGS 增强层码流结构

这种结构的增强层码流对错误的检测能力和恢复能力都很弱,原因之一是一帧中只有帧起始码作为同步工具. 如果发生误码,那么从当前帧检测到错误的地方起到下一个正确的帧起始码之前的所有码流都将被丢弃. 虽然这种编码结构能够防止错误向下一帧的传播,但是在发生传输错误后它又丢掉了大量的码流,因而在有误码的信道中传输时,仍旧得不到

收稿日期:2000-08-09;修回日期:2001-06-04

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高质量的视频图像.其二是增强层码流检测错误的能力也非常弱,检测到错误的位置往往延迟于错误真正发生的位置.从错误发生到错误被检测之间的码流被错误解码,也导致了视频质量的下降.更严重的是当增强层码流在有误码的信道中传输时,虽然可能有很多增强层码流被传到了解码端,但是由于传输错误的影响,大部分码流被解码器丢掉,实际有效解码的码流很少.这样就产生了一个非常错误的现象,即增强层码流的有效数据传输率不是由信道的带宽决定的,而是由信道的误码率决定的.

3　增强层码流在有误码的信道模型中传输的数学分析

这一节通过信道模型来分析增强层码流在无线信道中的传输情况,通常采用如图 2 所示的 Gilbert 模型来模拟有误码的信道[3],它实质上是一个两状态马尔可夫模型(好状态 G 和坏状态 B),此模型可以模拟随机的或突发的误码信道.

我们首先考虑突发性的误码信道.假设增强层码流通过上面的模拟信道,由于解码器在解码增强层码流时,一旦检测到了误码就丢掉这一帧后面的所有的增强层码流,开始解码下一帧.这样每一帧正确解码的增强层码流的长度就是从这一帧的起始码到错误发生的位置,不妨假设这个长度就等于连续不发生误码的码流的长度.对于图 2 所示的信道模型而言,即在好状态上持续的次数,其均值为 $1/(1-\alpha)$.对一个有误码信道,一个典型参数是信道的误码率为 0.01,参数 β 为 0.6,由误码率公式 $(1-\alpha)/(1-\alpha+1-\beta)$ 可以计算出参数 α 近似是 0.996,因此信道模型在好状态上持续的次数是 250.假设 8 个比特组成一个信道符号,因此增强层码流通过上述信道时,平均每帧不出错的码流长度为 2000 个比特.若帧率是 30Hz,增强层实际正确传输的码率仅为 60kbps,而信道的带宽可能是几百 Kbps 到几 Mbps.

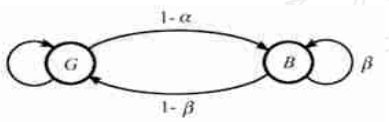

图 2　用来模拟信道的两状态马尔可夫模型

对随机性误码信道也可以得到类似的结果,因此现有的增强层码流在有误码的信道中传输时,尽管信道的带宽很宽,但是实际解码的增强层码流却是一个远远小于带宽的常数,这个常数由信道的误码率所决定.

4　新的分级的增强层码流结构

为了提高增强层码流的容错性,我们将 MPEG-4 中基本层的一些错误检测和错误恢复的方法[4]用到增强层码流中,由于增强层码流错误对解码图像的影响要比基本层小得多,码率也比基本层高得多,所以不能采用那些复杂的错误恢复方法,以免给增强层带来更多的附加信息和计算复杂性.结合视频包的方法和帧头的保护方法,我们提出了一种新的分级的增强层码流结构如图 3 所示,在这种结构中增强层码流被帧头、位平面头和视频包头分为三级.

最上面的一级由帧头(VOPH)和 VOP 数据组成,帧头包含 32 位的 VOP 起始码和帧信息.每帧的增强层数据是用位平面方法编码形成的,因而位平面 BP (Bit Plane) 就组成了增强层数据结构中的第二级.BP 也是由 BP 头和 BP 数据组成,BP 头由 27 位的 BP 起始码和 BP 头信息组成,BP 头信息里包括 5 位的层号表示该位平面在 VOP 中是第几层和 HEC 位.HEC (Header Extension Code) 位是一个标识位,当设为 1 时表示该 BP 头中有重复的 VOP 头信息.视频数据包 VP(Video Packet) 是增强层码流结构的第三级,在增强层码流中把在同一行的宏块或几行宏块作为一个视频包.视频数据包也是由视频数据包头和视频包数据组成,在视频数据包头中有视频数据包的起始码、这个包中的第一个宏块的序号和 HEC 标识位等信息,视频包内的所有数据按宏块的位置顺序排列.

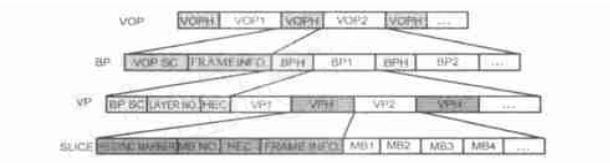

图 3　具有容错性的 FGS 增强层码流结构

需要强调的是 VOP、BP 和 VP 的起始码在码流中都是唯一的标识符,当码流发生传输误差时解码器可以通过搜索这些起始码找到新的同步点.每帧中只有少量 HEC 位被设为 1,这样是为了避免在码流中有太多的重复信息.

显然图 3 所示的多级增强层码流结构给解码器提供了更强的解码能力,解码器可以从以下几个方面来检测增强层码流发生了传输错误:(1) 有与 VLC 码表不匹配的码字;(2) DCT 系数的个数大于 64;(3) 宏块序号不连续;(4) 增强层序号不连续;(5) VOPH 与 VPH 解出的帧信息不一致;(6) 各头信息及标志位不符合逻辑顺序.

当检测到上面任何一种情况时,解码过程都将暂时中止,而转入错误处理阶段.解码器将搜索 VOP 或 BP 或 VP 的开始码来作为与编码端同步的标志位,并在搜索到一个正确的同步点后继续解码过程.如果错误发生在 VOPH 中,解码器会向后搜索到一个 HEC 为 1 的 BP 头或者 VP 头来恢复帧信息,如果搜索不到这样的头,那么由于丢失了帧信息,这一帧就不可解,解码器会找到下一个正确的 VOP 开始解码.由于两个正确的同步点之间的一个或几个发生错误的视频数据包被丢掉,因而可以保证被保留的数据是完全正确的.同时,发生在新结构的增强层码流的传输错误只能影响一个或者几个视频数据包,而不会把这一帧后面的码流都丢掉,从而使得增强层的有效数据传输率不再是仅由信道的传输误码率所决定.

5　实验结果与分析

实验采用了 CIF 格式的 Foreman 和 Coastguard 两个图像序列,每两个 I 帧之间编码 29 个 P 帧,每两个 P 帧之间编码 2 个 B 帧,帧率为 30Hz,基本层码率 128kbps,用 MPEG 的 TM5 来进行码率控制.增强层编码无码率控制,其码流可在解码端被截成任意长度,在本实验中增强层码流被截为 128kbps,256kbps,…,896kbps.实验用 Gilbert 模型来模拟无线信道,模型参数 β 是 0.6,信道的误码率为 10^{-2}.实验目的是验证这种新的分级

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的增强层码流结构的容错能力,所以在实验中假定基本层码流通过信道编码所提供的保护或者是重传,不出现任何误码,而增强层没有任何信道编码来提供保护.原有的增强层码流通过有误码的信道时每帧解码的比特数定义为从 VOP 的起始码到解码器检测到错误为止所解码得到的比特数,新的增强层码流通过有误码的信道时每帧解码的比特数定义为能正确解码的所有比特数之和.

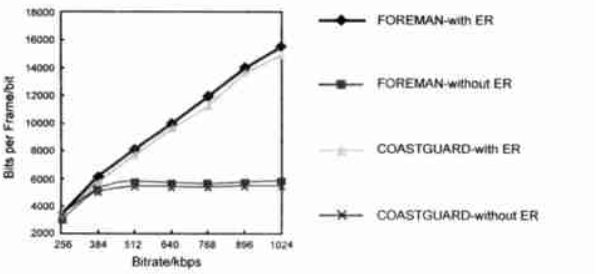

图 4 Foreman 和 Coastguard 序列的两种增强层结构码流在各个码率下实际解码的比特数

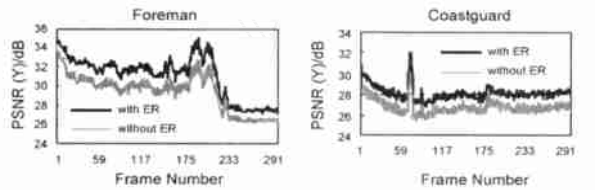

图 5 Foreman 和 Coastguard 序列的两种增强层结构码流在 1024kbps 码率下解码图像的信噪比

实验结果如图 4、图 5 所示,其中"with ER"指本文提出的新的增强层码流结构,它具有容错性(Error Resilience),"without ER"是指原来的增强层码流结构,图 4、图 5 中的曲线是 10 次实验平均的结果.从图 4 中可以看出,不管增强层的码率多高,原来增强层结构的码流实际解码的比特数总是接近一个常数,不会随着码率的增加而增加.这个常数大约是 5000 个比特左右,比本文在第三节中分析的理论结果要高,这是因为原有的增强层码流的检测错误的能力非常弱,平均在 2000 个比特处发生的错误大约在 5000 个比特处才检测出来,多解的这些比特数不仅不会提高解码图像的质量,相反会造成视频质量损失.而新的增强层码流在带宽从 256kbit/s 到 1024kbit/s 变化时实际解码的比特数随着码率的增加几乎是线性增加,这说明本文提出的增强层码流结构有更好的容错性,在通过有误码的信道传输时,其实际解码的比特数不再仅仅是由信道误码率来决定.

图 5 给出了 Foreman 和 Coastguard 在 1024kbps 下每一帧图像解码的信噪比,可以看出在相同的码率及信道条件下,本文提出的增强层结构的码流平均解码比特数远远大于原来结构的码流,信噪比也明显高于原来结构的码流.对 Foreman 而言,新的增强层结构码流的信噪比比原码流平均提高 1.61dB,最高可达 2.90dB.而对 Coastguard 序列信噪比平均提高 1.28dB,最高可达 1.92dB.最后,本文提出的增强层码流与原增强层码流相比所增加的额外比特数在表 1 中给出.

表 1 新的增强层码流结构增加的比特数

Bit rate (kbps)	Coastguard		Foreman	
	Bits	Percent	Bits	Percent
256	353	4.13	311	3.65
384	494	3.86	563	4.40
512	589	3.45	707	4.14
640	683	3.20	803	3.76
768	805	3.14	914	3.57
896	931	3.12	1010	3.38
1024	989	2.90	1096	3.21

6 结论与将来的研究

本文提出的新的分级的增强层码流结构,通过 VOP 头、BP 头和 VP 头将码流分为三级,从而将传输错误的影响减少为一个或者是几个视频数据包.首先这些视频数据包头的加入并不会使增强层码流增加许多比特数,但却能有效提高增强层码流在有误码的信道中传输时的容错能力,其次也不会太多增加解码器的计算复杂性.从实验的结果和分析可以看出,本文所提出的适用于精细可伸缩性编码框架的增强层码流结构,在同样的错误信道条件下,对不同序列加以测试,结果能提高信噪比平均在 1dB 以上,最高可达 2.90dB.本文所提出的增强层码流结构已经部分被 MPEG-4 标准所采纳.

为了进一步提高增强层码流容错性,还有许多工作需要深入研究.比如增强层码流的 VLC 表检测错误的能力依然很弱,如果能在增加少量的比特数或者不增加比特数的情况下,提高 VLC 的检错能力,就能进一步减少传输错误的影响,提高解码图像的信噪比.

参考文献:

[1] W P Li. Fine granularity scalability in MPEG-4 for streaming video [A]. ISCAS 2000 [C], Geneva, Switzerland, May 28 - 31, 2000.

[2] F Wu, S P Li, Y Q Zhang. DCT-Prediction Based Progressive Fine Granularity Scalability Coding [A], ICIP'2000 [C].

[3] J R Yee, E J Weldon. Evaluation of the performance of error correcting codes on a Gilbert channel [A], IEEE trans. Comm., 1995, 43(8): 2316 - 2323.

[4] Raj Ralluri. Error-Resilient Video Coding in the ISO MPEG-4 Standard [A]. IEEE Communications Magazine, Jun. 1998: 112 - 119.

作者简介:

阎 蓉 女.1975 年 2 月出生于甘肃兰州.北京理工大学电子工程系在读博士生.研究方向:视频编码.

陶 然 男.1964 年 11 月出生于安徽南陵,哈尔滨工业大学博士,北京理工大学博士后,现为北京理工大学电子工程系教授、博士生导师.中国电子学会高级会员,中国电子学会青年工作委员会副主任、中国电子学会雷达分会雷达系统专业委员会委员.中国兵工学会《兵工学报》常务编委.已在国内外学术刊物及会议上发表论文 70 余篇.感兴趣的研究领域:数字信号处理及其在雷达、通信、数字化测量中的应用.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net