

基于无线信道的 SVC 数据误码保护方案

高 鹏¹, 滕国伟², 沈礼权³, 谢锦辉¹

(1. 国家广播电影电视总局广播科学研究院, 北京 100045; 2. 上海广电集团中央研究院, 上海 200030;
3. 上海大学新型显示技术及系统应用教育部重点实验室, 上海 200072)

摘要: 提出一种基于无线传输信道的分级视频编码数据误码保护方案。该方案通过综合分析空间增强层数据、时间增强层数据、信噪比增强层数据的相对重要性, 按重要性的不同将各增强层的数据归为 3 类, 对不同级别数据采用不同冗余度的前向纠错保护方式。实验结果证明, 该方案可以取得较好的传输效果, 与传统的均匀误码保护及非均匀误码保护方案相比, 可获得 2 dB 和 0.5 dB 的 PSNR 增益。

关键词: 可分级视频编码; 传输; 误码保护方案

Error Protection Scheme for Scalable Video Coding Data Based on Wireless Channel

GAO Peng¹, TENG Guo-wei², SHEN Li-quan³, XIE Jin-hui¹

(1. Academy of Broadcasting Science, State Administration of Radio Film and Television, Beijing 100045;
2. Central Research Academy of SVA Group Co., Ltd, Shanghai 200030;
3. Key Lab of Advanced Display and System Application of Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072)

【Abstract】 This paper proposes a Unequal Error Protection(UEP) scheme for the scalable video with a combined spatial, temporal, and quality(SNR) scalability over wireless channels. The bit stream is divided into three types according to the importance to the reconstructed picture. Each sub-bit-stream is protected by unequal quantities of bits. Experimental results show the scheme can improve coding efficiency of PSNR by 2.0 dB and 0.5 dB compared with traditional Equal Error Protection(EEP) and UEP scheme.

【Key words】 Scalable Video Coding(SVC); transmission; error protection scheme

1 概述

在基于 IP 网络和 C/S 架构的视频流业务中, 网络带宽资源是随时变化的, 客户端也往往具有不同的终端处理与显示能力。可分级视频编码具有时域、空域和质量等多方面的灵活性, 因此, 适合各种网络传输, 并能满足客户端不同终端的特殊需求。目前市场对可分级能力的编码需求日益强烈, 国际标准组织 ISO/IEC 和 ITU-T 联合组建的 JVT 编码组由此开始了对可分级视频编码技术的研究。JVT 编码组在 H.264 工作草案^[1]中提出了一种新的 FGS(Fine Granularity Scalable)实现技术, 并把可分级视频编码(Scalable Video Coding, SVC)定义为 H.264 可分级扩展部分的延续, 使之不但可以很好地支持空域、时域以及质量上的 CGS(Coarse Grain Scalability)和 FGS 可分级, 还可支持不同类型可分级的混合分级^[1-2]。

随着无线网络技术的迅猛发展, 更多用户希望在无线网络实时传输视频流。SVC 可以很好地满足上述要求。无线信道具有时变、易受干扰的特点, 如何在无线环境下提高编码效率、保证 SVC 视频流的质量以及增强传输容错性能成为当前的研究热点。文献[3]针对链路层中 SVC 视频数据管理方面, 提出了根据不同用户需要自适应地删除视频数据。针对 SVC 前向纠错保护方面, 文献[4]根据时间优先级高低采用了不同的保护方式, 但没有考虑空间分级和信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)分级。文献[5]仅根据信噪比优先级的不同采用不同的传输方式, 没考虑空间和时间优先级。上述 SVC 非均匀误码保护(Unequal Error Protection, UEP)方案都是采用单一指标, 仅考虑时域优先级、空域优先级或 SNR 优先级,

没有综合考虑三者的关系。为此, 本文提出一种基于 SVC 算法的非均匀误码保护传输改进方法, 以提高传输效果及效率。

2 基于 H.264 的 SVC 可分级编码

传统基于波形或内容的编码方法通常是在单一固定的比特率下使编码效率达到最优, 但当不同用户试图通过不同的通信链路以不同的码率接入同一码流时, 用户就很难获取有意义的解码图像。可分级编码则可通过解码一部分压缩的比特流恢复有意义的图像或视频信息, 因此, 具有带宽适应性, 此外还具有对时变信道差错特征以及对接收终端计算能力的适应性。对于无线通信, 可分级编码允许调整信源码率, 应用 UEP 适应信道误码条件, 可实现从任何地方、由任何人、在任何时间、用任何设备和以任何形式访问丰富的多媒体。

2005 年 2 月, JVT 将可分级编码作为 H.264 标准的扩展, 并起草了 H.264 标准的可分级性扩展第一草案, 通过 SNR 可分级性、空间可分级性、时间可分级性或这些选项的组合实现。

(1)时间可分级。在 H.264 的基础上, 时间可分级可以通过 MCTF(Motion-Compensated Temporal Filtering)技术和分层 B 帧实现。图 1 为分层 B 帧结构示意图, 其中, 关键图片(IDR)序列的显示分辨率最低, 可以根据接收端不同的要求, 在此序列上增加时间域上更高级别的高分辨率图片, 并且传递出去, 从而在接收端显示不同分辨率、不同质量的视频流。因

作者简介: 高 鹏(1975 -), 男, 博士, 主研方向: 数字音频, 多媒体广播; 滕国伟、沈礼权, 博士; 谢锦辉, 教授、博士生导师
收稿日期: 2009-01-20 **E-mail:** gaopeng@abs.ac.cn

为 MCTF 技术相对不成熟,且存在解码端的重构帧和编码端不一致的问题,所以 SVC 标准定义采用 B 帧实现时域可分级, 仅将 MCTF 作为一个可选项。

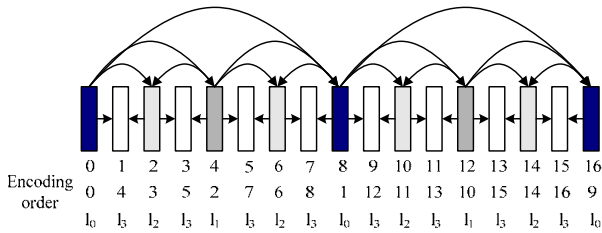


图 1 分层 B 帧结构示意图

(2)空间可分级。为了满足不同客户端的需求,在给定的基础上产生不同空间分辨率码流序列,它们在各自独立的层内编码。为了消除不同空间帧之间的冗余信息,高分辨率层的残差信息和运动矢量可通过其对应的低分辨率层预测。在预测过程中,低分辨率层首先进行编码,得到低分辨率层的残差信息和运动矢量。然后在低分辨率层之上产生高分辨率层。高分辨率层帧间编码宏块的划分方法可以由相关低分辨率层的对应宏块派生得到,其初始运动矢量也由低分辨率层宏块的运动矢量得到,其残差信息可以进一步由低分辨率层残差信息进行预测。

(3)质量/SNR 分级。在 SVC 中,有 2 种方法产生 SNR 可分级的增强层:1)CGS 编码方法,即粗粒度调节方法;2)FGS,基于位平面编码方法的细粒度调节方法。在 SNR 可伸缩技术中,基本层编码使用传统的混合编码技术,即经过整数变换和量化。在基本层和原始子带图片之间存在残差信息,这个差值使用与基本层同样的方法进行变换和量化,不同的是量化粒度更细腻一些,得到量化的系数构成 SNR 的增强层。最后基本层系数和增强层系数使用位平面编码和行程编码相结合的方式熵编码,分别形成基本层码流和增强层码流输出。

3 基于无线信道的 SVC 的 UEP 保护方法

H.264 SVC 混合采用了分层 B 帧和逐渐增强的编码方式,其各增强层的比特流对图像重建具有不同的重要性,具体有如下的关系:低时域层的增强层数据比高时域层的增强层数据更重要,因为低时域层数据要作为高时域层的参考;低分辨率层的增强层数据比高分辨率的增强层数据更重要,同样因为低分辨率层数据要作为高分辨率的参考。同时,低 SNR 增强层的数据比高 SNR 增强层的数据更重要。

本文将利用 NALU 单元的空域层、时域层、SNR 层级别的标志信息对视频流的增强层数据按重要性进行归类。每个编码的 NALU 单元结构如图 2 所示,其头部第 2 个字节提供了 SNR、空域和时域层级别标志信息,可根据三者关系,引入一个参数 p_r 来索引各增强层, p_r 定义如下:

$$p_r = \left(\sum_{i=0}^1 b_i \cdot 2^{(6+i)} + \sum_{i=2}^7 b_i \cdot 2^{(i-2)} \right) \Rightarrow 0 \leq p_r \leq 255 \quad (1)$$

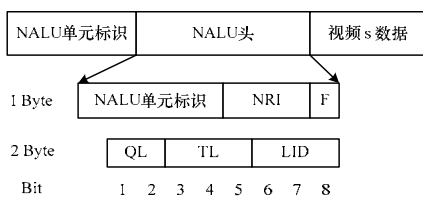
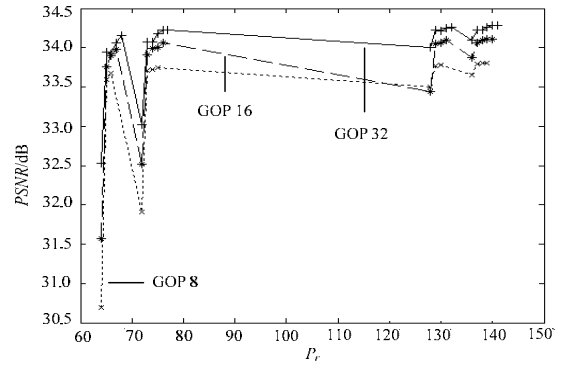


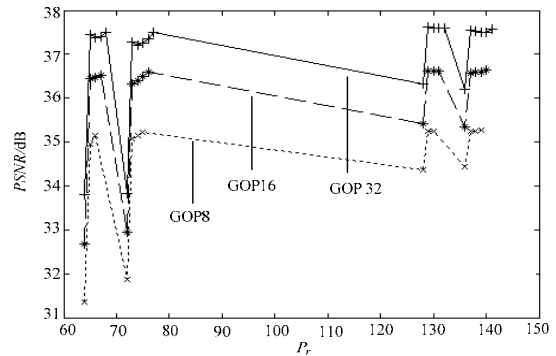
图 2 SVC NALU 单元的数据结构

其中, b_i 为 H.264 SVC 头部第 2 个字节的第 i 个比特。

图 3 给出了在直通信道下,不同增强层数据丢失后对重建图像的影响。



(a)Foreman 序列测试结果



(b)Hall 序列测试结果

图 3 不同增强层数据丢失后对重建图像的影响

测试中设置空域分级为 2,信噪比分级为 3,GOP 长度分别为 32,16 和 8,采用坐标 (s, l, t) 分别表示信噪比分级、空域分级和时域分级的级别,则 s, l 和 t 的范围如下:

$$\begin{aligned} & \{0 \leq s \leq 2, 0 \leq l \leq 1, 0 \leq t \leq 5 \mid \text{GOP Length} = 32\} \\ & \{0 \leq s \leq 2, 0 \leq l \leq 1, 0 \leq t \leq 4 \mid \text{GOP Length} = 16\} \\ & \{0 \leq s \leq 2, 0 \leq l \leq 1, 0 \leq t \leq 3 \mid \text{GOP Length} = 8\} \end{aligned} \quad (2)$$

此测试中没有考虑 $p_r < 64$, 因为 $p_r < 64$ 代表空域、时域的基本层,其数据具有最高的优先级。

从图 3 可以看到,最低时域层($t=0$)的各增强层数据对解码图像的影响最大。当这些增强层($p_r = 64, 72, 128, 136$)数据丢失后,解码图像信噪比大幅度下降,因为它会影响后继所有参考它的图像的重建工作。时域级别高低的影响比空域和信噪比级别的影响大。例如增强层($s=1, l=0, t=4$)数据丢失的影响比增强层($s=1, l=1, t=1$)小,虽然前者是空域最低层,但由于它不作为任何其他帧的参考帧,因此影响较小;增强层($s=2, l=0, t=1$)数据丢失的影响比增强层($s=1, l=1, t=5$)大,虽然前者为 SNR 增强层 2,但其重建时影响的帧数远大于后者。另外,在相同的 t, l 下,SNR 增强层 1($s=1$, 即 $64 \leq p_r < 127$)丢失的影响比 SNR 增强层 2($s=2$, 即 $128 \leq p_r < 141$)大;在相同的 s, t 下,空域层 $l=0$ (图中为 $64 \leq p_r < 68$)信息丢失的影响比空域层 $l=1$ (图中为 $72 \leq p_r < 77$)大。

由上述分析可知,不同的增强层数据对解码图像具有不同的重要性。因此,按照各增强层数据重要性的不同,可将增强层比特流划分为 3 类:A 类具有最高优先级,包括时域级别最低的增强层数据($t=0$, 如 $p_r = 64, 72, 128, 136$); B 类

次之,包括 SNR 增强层 1 的数据($s=1$,如 $65 p_r$ 67 , $73 p_r$ 76)和时域级别为 1 的增强层数据($t=1$,如 $p_r=129, 137$);C 类具有最低优先级,包括时域级别最高的增强层数据(如 $p_r=68,77, t=4$)、SNR 增强层 2 的数据($s=2$,如 $130 p_r$ 132 和 $138 p_r$ 141)。

针对这 3 种不同重要性的码流,在传输过程中采用不同冗余度的前向纠错(FEC)的保护方式,对 A 类比特流数据采用最高冗余度的前向纠错方法,对 B 类比特流数据采用中等冗余度的前向纠错方法,对 C 类比特流数据采用较低冗余度的前向纠错方法,具体采用 RS(Reed-Solomon)码,其适用于无线信道中所产生的突发性错误的纠错。

4 实验结果

仿真实验无线信道参数的设置如表 1 所示。采用 JSVM 6.0 完成分级编码,输入序列为 Foreman, Hall。GOP 长度分别为 32, 16, 8, 空间层层数为 2,分辨率分别为 QCIF(176×144), CIF(352×288),信噪比增强层层数为 2,Base QP 为 30。为了验证本文的 SVC UEP 方法,实验中分别采用均匀误码保护(Equal Error Protection, EEP)方法和现有的 UEP 方法^[5]与其对比,3 种方法的各层比特流保护方法如表 2 所示。表 3 为 3 种方法的整体信道编码冗余度 RR : $RR = (ratebit_{\text{信道}} + ratebit_{\text{信道}}) \div ratebit_{\text{信道}}$ 。从表 3 可知,3 种方法整体信道编码冗余度的关系为 $RR_{\text{EEP}} \approx RR_{\text{Proposed}} \approx RR_{\text{UEP}}$ 。

表 1 无线仿真条件

条件	参数值
包含比特误码图样的文件	wcdma_64kb_3kph,wcdma_128kb_3kph
3GPP/3GPP2 系统类型	UMTS
RTP/UDP/IP 头部大小/bit	3
包代理头部大小/bit	2
标称射频信道比特率/(Kb·s ⁻¹)	64 和 128
RLC/PDU 大小/bit	640
射频链路代理头部大小/bit	4
应答模式	无应答

表 2 仿真实验所用的前向纠错保护方法

保护方法	18%FEC(RS)	12%FEC(RS)	5%FEC(RS)
EEP	-	基本层与增强层数据	-
UEP	基本层数据	第一信噪比增强层数据($s=1$)	第二信噪比增强层数据($s=2$)
本文方法	A 类数据与基本层数据	B 类数据	C 类数据

表 3 3 种传输方式整体的冗余度比较 (%)

	EEP	UEP	本文方法
平均冗余度	112.0	112.9	113.0

输入的 Foreman, Hall 序列编码一次后对编码比特流进行前向纠错编码,编码后进行无线传输信道仿真试验。每次的比特-误码图样的起始位置如下 (1)Foreman :551 040, 251 840, 613 120, 609 920, 616 000, 57 600, 1 313 120, 1 248 640, 273 920, 1 366 400; (2)Hall : 1 143 200, 410 240, 2 480 000, 561 920, 2 135 840, 1 954 560, 283 520, 730 880, 698 720, 154 368。随后发生误码的位置是随机的。当比特-误码图样读到文件末,重新回滚到文件头开始读取。

从图 4~图 9 的仿真结果可以看出,在信道丢包率较低($l < 5\%$)时,使用这 3 种方法基本上都观察不到图像质量有明显劣化。当信道丢包率逐渐上升为 $5\% < l < 10\%$ 时,EEP 方法会由于部分数据丢失而造成视频质量严重下降,现有 UEP 方法图像质量也有一定程度的下降,但对整体视频质量的影响并不大,而本文方法基本上观察不到图像质量损失。

当信道丢包率较严重,即 $l > 10\%$ 以上时,由于有大量的数据丢失,EEP 方法的视频质量有大幅下降。现有 UEP 方法和本文方法的图像质量也有不同程度的下降,但由于本文误码保护方案对关键数据保护得较好,视频图像质量受损失较小,与现有 UEP 方法相比,有 0.5 dB~2 dB 的 PSNR 增益。在丢包率相等的情况下,GOP 长度越长,相应的视频质量越高。在 $l=12\%$ 处,GOP Length=32, 16, 8 分别比原始视频质量下降了 1.9 dB, 2.05 dB 和 2.3 dB,因此,GOP 越大,抗信道干扰能力越强。综上所述,现有 UEP 方法比 EEP 性能好(如对于 Foreman 序列,在 $l=10\%$ 时,现有 UEP 的 PSNR 平均高 0.5 dB,在 $l=15\%$ 时,现有 UEP 的 PSNR 平均高 3 dB),而本文方法优于现有 UEP 方法。与 EEP 和现有 UEP 方法相比,本文方法平均有 2 dB 和 0.5 dB 的 PSNR 增益。

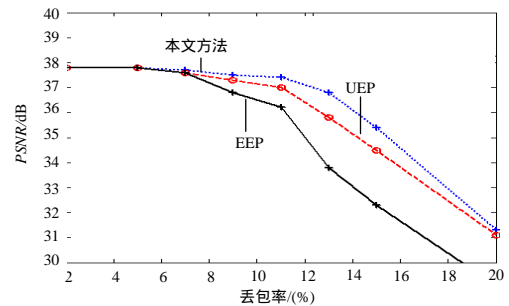


图 4 GOP Length=32 的 Hall 序列仿真结果

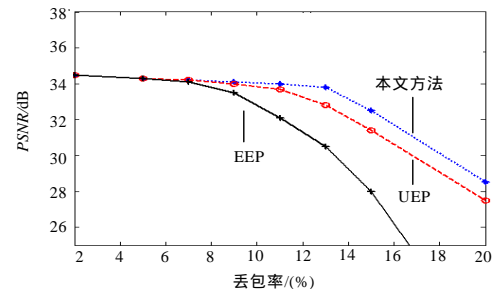


图 5 GOP Length=32 的 Foreman 序列仿真结果

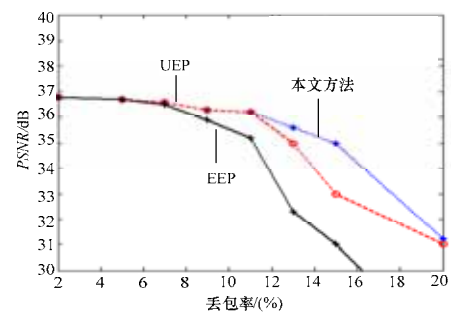


图 6 GOP Length=16 的 Hall 序列仿真结果

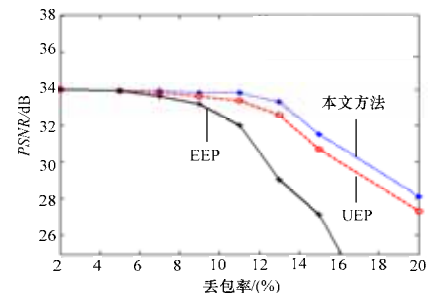


图 7 GOP Length=16 的 Foreman 序列仿真结果

(下转第 247 页)