

【本文献信息】许琮, 宋立锋. 可分级视频编码差错控制技术综述[J]. 电视技术 2014, 38(1).

# 可分级视频编码差错控制技术综述

许琮 宋立锋

(广东工业大学 信息工程学院 广东 广州 510006)

【摘要】H.264/AVC 视频压缩标准相比于 H.263 和 MPEG-4 H.264 其压缩性能提高了近一倍,但 H.264/AVC 局限于传统的单层编码模式,即便在编解码两端添加差错控制措施,仍不足以达到在高丢包率信道下流畅清晰观看视频的要求。分析了 SVC (可分级视频编码) 在高丢包率信道下的容错性,较为详细地介绍了目前 SVC 中提出的一些容错编码以及差错掩盖的方法,并介绍了 SVC 差错控制技术的发展。

【关键词】视频编解码; 容错编码; 差错掩盖; 高丢包率; 可分级视频编码

【中图分类号】TN911.73; TP391.4

【文献标志码】A

## Overview of Error Control for Scalable Video Coding

XU Cong, SONG Lifeng

(College of Information Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

【Abstract】H.264/AVC video compression standard compared to H.263 and MPEG-4 H.264 compression performance improves nearly doubled, but confines to the traditional single-layer coding mode. The error resilience of SVC in high packet loss rate channel is discussed, the technique of error resilience and error concealment in scalable video coding is introduced, and the development of the SVC error control technology is prospected.

【Key words】video codec; error resilience; error concealment; high packet loss rate; scalable video coding

## 1 可分级视频编码简述

2003 年 3 月,ITU-T/ISO 公布了<sup>[1]</sup>H.264/AVC 视频压缩标准,相比于 H.263 和 MPEG-4 H.264 的压缩性能提高了近一倍,在国际上受到了广泛的重视和欢迎。但 H.264/AVC 局限于传统的单层编码模式,即便在编解码两端添加差错控制措施,仍不足以达到在高丢包率信道下流畅清晰观看视频的要求。经过实验验证,单层编码码流一般只能在低于 1% 丢包率的信道下传输,而在加入差错控制控制后,对信道的要求或许可以放宽到 5% 的丢包率。

H.264 SVC (H.264 可分级视频编码) 是 H.264 标准的扩展,于 2007 年获得 ITU 批准<sup>[2]</sup>,并于当年作为 H.264 的附录 G 正式推出<sup>[3]</sup>。在该标准中, SVC 并没有给出具体的编解码器实现,而是给出了编解码过程中的句法定义。SVC 以 H.264/AVC 视频编解码器标准为基础,其分级编码的特性可细分为时间可分级、空间可分级、质量可分级,通过产生不同帧速率、分辨率或质量等级的解码视频来适应不同的网络传输环境,在不影响压缩比的前提下,保证视频画面的流畅清晰。

### 1) 时间可分级

SVC 提供分层 B 帧来支持时间的可分级。一个 GoP 由一个关键帧与前一关键帧之间的非关键帧组成。非关键帧由最近时间级的前向和后向的两帧做预测。时间级

是由语法元素 temporal\_id 来指定,从基本层(关键帧)的 0 顺序递增 1。

### 2) 空间可分级

空间可分级是通过分层编码来实现的,即高空间分辨率的层利用低空间分辨率的层的信息来编码。

### 3) 质量可分级

质量可分级有两种: CGS (Coarse Granularity Scalability) 和 MGS (Medium Granularity Scalability)。在 SVC 中,两个 CGS 层分属于不同的空间层,由语法元素 dependency\_id 决定。而两个 MGS 层则可以在同一个空间层中,由语法元素 quality\_id 决定。

SVC 码流在高丢包率信道下的传输有着 H.264 码流无法比拟的优势。那么, SVC 的高容错性体现在哪里呢? SVC 提供的是一个多层嵌套的码流,当高层数据流丢失时,不会影响到底层数据流的解码。例如 SVC 中的时间可分级如图 1 所示。

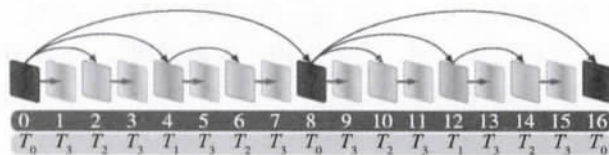


图1 SVC 时间可分级

通过图 1 可以看出,当偶数帧(如 1, 3, 5 帧)丢失时,整个码流的其他部分不会受到影响。如果帧 2 或帧 6 丢

失,也只会影响另外的一个帧。因此,多层码流在容错性上要比单层码流强得多。一个 SVC 码流,基于其多层结构,在没有添加编解码端差错控制措施的前提下,就可以比 H.264/AVC 码流在更高丢包率信道下进行更稳定的传输。在某些特殊情况下,对信道丢包率的要求甚至可以放宽到 40%。

## 2 可分级视频编码(SVC)中的差错控制技术

SVC 中的差错控制技术作用主要体现在帮助 SVC 码流在高丢包率信道下更稳定清晰的传输。首先, SVC 码流中基本层码流是整个 SVC 码流中最重要的部分,基本层码流的丢失将导致高层码流无法正常解码,因此基本层数据的保护对于 SVC 码流来说至关重要。其次,高层码流丢失虽然不会影响到底层码流的解码,但是却会造成视频观看质量的下降。因此,在高丢包率信道下,当高层数据丢失时,如果能通过差错控制技术部分或者全部恢复丢失的数据,对于视频观看者来说是最乐于见到的。

现有的主要差错控制方式包括:编码端的容错编码技术(Error Resilient Coding)、解码端的差错掩盖技术(Error Concealment)以及交互式的差错控制技术(Interactive Error Control)。

编码端的容错编码技术,通过牺牲编码效率,为编码得到的码流中加入适量的冗余信息,增加传输的鲁棒性,阻止误差扩散,或者指导解码端的误差掩盖。

解码端的差错掩盖技术,作为视频在传输中遇到信道误差最直接的解决方法,在解码端利用视频流在时间、空间和层间信息来恢复丢失的视频数据。

交互式的差错控制,利用编解码两端的反馈信道,解码端向编码端反馈丢包信息,编码端根据得到的信息进行相应的调整。

下文将对 SVC 中具体的差错控制措施进行概述。

### 2.1 容错编码

SVC 作为 H.264/AVC 的扩展,继承了 H.264/AVC 的容错工具有帧内刷新、参考帧辨别、数据分割、空余帧信令、条带编码、冗余编码、参考帧选择、参数集(Parameter Sets);场景信息信令(Scene Information Signaling);灵活的宏块排序(Flexible Macroblock Order, FMO);渐进解码刷新(Gradual Decoding Refresh, GDR);强制帧内预测(Constrained Intra Prediction);参考帧标记重复(Reference Picture Marking Repetition);SP/SI 帧(SP/SI picture)。此外, SVC 的分层结构决定了设计 SVC 编码需要充分的利用层间相关性。

下面介绍 SVC 标准采纳的若干容错编码方法。

**质量层完整性检查信令:**质量层完整性检查信令的 SEI 包含由同一个访问单元中有相同语法元素 dependency\_id 的所有质量增强 NAL 单元(语法元素 quality\_id 大于 0)所计算的循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)码。该 SEI 可以用来判断语法元素 dependency\_id 的质量增强 NAL 单元是否被解码端正确接收。如果没有正确接收,解码端会通知编码端,使编码端采用无错的基本质量层作为后续访问单元的参考帧。

**冗余帧所有权信令:**冗余帧所有权信令的 SEI 是用来表达冗余层表示和主要层表示之间的相关性。层表示是指语法元素 dependency\_id 和 quality\_id 相同的所有 NAL 单元。

该 SEI 的功能概括如下:

- 1) 对于帧间预测和层间预测,当主要帧丢失时,冗余层表示是否可以用来代替主要层表示。
- 2) 对于层间模式预测(层间运动预测的一部分),当主要帧丢失时,冗余层表示是否可以用来代替主要层表示。
- 3) 对于层间运动预测,当主要帧丢失时,冗余层表示是否可以用来代替主要层表示。
- 4) 对于层间残差预测,当主要帧丢失时,冗余层表示是否可以用来代替主要层表示。
- 5) 对于层间纹理预测,当主要帧丢失时,冗余层表示是否可以用来代替主要层表示。

**时间级零索引信令:**时间级零索引信令的 SEI 用来检查在差错信道下供解码当前访问单元的时间域最底层(具有相同 dependency\_id 且 temporal\_id 为 0)是否可用。解码端利用该 SEI 判断是否传输反馈信息或者最低层丢失的重传请求信息。

文献[4]提出了基于反馈信道的帧内宏块刷新 LA-RDO 算法。该算法首先根据反馈信道反馈回来的信息,统计信道传输的丢包率等信息,然后估计出端对端的信道失真,进行帧间/帧内模式的自适应切换。但该方法没有考虑 SVC 中层与层之间的相关性,算法中的拉格朗日系数对于每层值都是相同的,因此文献[5]结合了 SVC 编码过程中层与层之间的相关性,给出了每个层的拉格朗日系数的计算方法,使得率失真的模型更加准确。

**不等差错保护(UEP)**是一种很适合 SVC 的容错方法。因为 SVC 特有的分层编码结构,使得 SVC 中不同的层其重要程度也不同。这种方法可以对 SVC 的各层采用不同的容错工具来保证重要数据的可靠传输。如文献[6]提出的基于 FEC 的不等差错保护方法。首先建立了层加权期望误差扩散模型,通过计算最小的整体失真来为

各时间层和质量层分配最合理的前向纠错码。但这种方法没有考虑到两个 IDR 帧之间的各 GoP 间的关系以及解码端使用了差错掩盖方法后的影响。因此,文献[7]提出了改进的不等差错保护方法,将 GoP 之间的误差传递关系以及使用 FC(Frame Copy)的差错掩盖方法考虑进去,得到了更合理的 FEC 分配方法。

冗余编码(Redundant Coding)是 SVC 的一种重要的容错手段,是在编码端中将首编码图片(Primary Picture)的全部或者部分编码为冗余图片(Redundant Picture),在解码端当首编码图片正确传输时,冗余图片将不被解码并且丢弃。在 SVC 中通常为基本层帧进行冗余编码,以保证基本层数据的传输。传统的冗余图片编码方法虽然可以起到良好的差错恢复效果,但由于加入了过多的冗余信息,降低了压缩效率。因此,将冗余图片尽可能地压缩,减少其对压缩效率的影响,是冗余编码中非常重要的环节。

目前,很多学者已经提出了不少改进的冗余编码方法。例如,文献[8]是用类似于网络编码利用异或的方法将多幅图像码流回合成为冗余图像。文献[9-13]则是提取中帧中最重要的部分进行编码。文献[14-15]则与不等差错保护相结合,对重要性不同的帧编码不同数量的冗余帧。文献[16]则提出了基于多相下采样的冗余编码方法,减少了因插入冗余信息带来的编码效率的下降。

灵活宏块排序(FMO)是 H.264/AVC 中一种特殊的编码方式,同样可以作为 SVC 中的一种差错控制措施使用。文献[17]提出了一种新的 FMO 类型,即 Z-FMO。Z-FMO 使用了交织的 ZIG-ZAG 扫描顺序,更好地权衡了编码效率和差错恢复效果,同 FMO1(散乱)相比,通过几组测试序列的比较,可以得到更低的冗余度与更高的 PSNR 值,即更好的差错恢复效果。

差错扩散(Error Propagation)在视频传输中是一个非常重要的问题。在传输中,当某一帧丢失时,直接或者间接以该帧为参考帧的帧都会受到影响,严重地降低了视频的质量。特别是 SVC,因其在编码中不仅使用帧间预测,还使用了层间预测,使得当某一帧丢失时,影响的不仅是同层的帧,不同层的其他帧也有可能受到影响,因此,控制差错的扩散对于 SVC 来说非常重要。

文献[18-19]使用了多假设运动补偿预测(Multi-Hypothesis Motion-Compensated Prediction, MHMCP)的方法来抑制差错的扩散。以 two-hypothesis MCP(2HMCP)为例, B 帧使用两个前向的参考帧进行预测,即

$$\hat{\psi}(m) = h_1 \tilde{\psi}(m-1) + h_2 \tilde{\psi}(m-2), \\ m \in [2, \infty), h_1 + h_2 = 1 \quad (1)$$

由于采用了两个参考帧,因此当其中一个丢失时,差错只会部分影响到被预测的帧,减少了差错的扩散。但当遇到突发性的丢包时,2HMCP 中的两个参考帧有可能丢失,因此文献[19]提出了参考交织(Reference Interleaving)的方法。具体做法为对第  $m$  帧选择第  $m-1$  和第  $m-3$  帧为其参考帧。

SVC 编码端的容错编码技术,其作用是尽可能地减少丢包的发生。通过牺牲部分编码效率来提高视频的观看质量。同时,部分容错编码技术通过对基本层的保护减少了基本层出错的可能,防止了差错扩散的发生,保证了视频的正常观看。

## 2.2 差错掩盖

对于 SVC 解码器,当检测到关键帧的丢失时,会将其作为 P 帧进行差错掩盖,这需要参考帧列表重排(Reference Picture List Reordering, RPLR)命令和内存管理控制操作(Memory Management Control Operation, MMCO)命令<sup>[20]</sup>。RPLR 命令用来保证当前帧的参考帧为前一关键帧。MMCO 命令用来关键帧丢失时,标记前一个 GoP 里不需要保存在解码图像缓冲内的解码帧。对于非关键帧的丢失, RPLR 命令根据前一个 GoP 里的帧或者基本层没有丢失的帧获得。基于当前 SVC 的设计考虑,如果基本层帧丢失,相应的增强层帧也将不会被解码,除非基本层和增强层可以独立解码。因此,基本层帧的丢失往往会导致整帧的丢失。在 JSVM 中,差错掩盖方法可以分为两类,即同层差错掩盖和层间差错掩盖。同层差错掩盖方法被定义为使用同一空间层或者质量层的信息来恢复某一丢失帧的算法。常用的方法有以下两种:

1) 图像拷贝(Picture Copy, PC):当某一帧丢失时,丢失帧中的像素将拷贝前向参考帧的相同位置像素值。该方法适用于基本层与增强层。

2) B 帧的时间直接方法(Temporal Direct, TD):当某一帧丢失时,丢掉的运动矢量可以用其两个参考帧之间的运动矢量来推导。在计算出前向和后向运动矢量后,运动补偿将从两个参考帧得到当前宏块或者分割方式的隐藏值(残差信息被假设为零)。

SVC 中层间差错掩盖方法适用于增强层的差错进行掩盖,常用的方法有以下两种:

1) 基本层跳过方法(BLSkip):根据基本层宏块是帧间或帧内编码模式来确定增强层信息的重建。若基本层宏块是帧内预测宏块,直接使用基本层宏块的重建值来重建增强层;若基本层是帧间预测宏块,将基本层的运动矢量和残差信息进行上采样来作为增强层的运动矢量和残差信息来重建增强层。



2) 基本层重建并上采样(RU): 首先重建基本层帧, 然后根据基本层和增强层空间分辨率的比率来对重建值进行上采样, 用上采样得到的数据重建增强层帧。该方法针对增强层连续丢帧的情况比较有效, 并且在低运动的序列中比 BLSkip 更有优势。由于本方法需要完全解码基本层帧, 所以要解码器对多环解码的支持。

TD 方法可以对基本层中的 B 帧起到比较好的恢复效果, 但当 B 帧与其两个参考帧的距离较长时, 得到的恢复效果较差。另外, 传统的 TD 方法无法对关键帧进行差错掩盖。因此, 文献[21]对传统的 TD 方法进行改进, 针对 B 帧与参考帧距离过长的问题, 该方法用时间层下一层的两个 B 帧的运动矢量来反推出 B 帧丢掉的两个运动矢量。当关键帧的运动矢量丢失时, 可以用时间层下一层的 B 帧运动矢量反推出丢失关键帧的运动矢量。

针对 BLSkip 和 RU 这两种方法, 对于不同的序列得到的恢复效果也不同。因此, 在这两种方法中正确地选择其中一种进行差错掩盖可以得到最好的恢复效果。文献[22-23]给出了通过计算两种方法失真度来自适应地选择掩盖方法的算法。分别计算使用这两种方法后下降的失真度, 选择失真度下降程度大的方法进行差错掩盖。

此外, 当增强层丢失时, 使用 BLSkip 方法利用基本层信息进行差错掩盖会带来一定的块效应。基本层和增强层的量化参数差别越大, 带来的块效应越严重。因此, 文献[24]将 OBMC 的编码方法扩展到 BLSkip 的层间差错掩盖方法中, 减少了块效应。文献[25]则使用了幻觉技术(Technique of Hallucination), 针对使用 BLSkip 后增强层重建帧中亮度信息的丢失, 在最邻近的正确解码帧中使用 ANN 算法找到一组最合适的像素值, 对亮度信息进行增强。

基本层关键帧在 SVC 的高容错性中是非常重要的一个组成部分。在 SVC 码流传输中, 即便是再高的丢包率信道, 只要基本层不丢失, 就可以保证视频的顺畅观看。而关键帧又是基本层中最重要的部分。基本层中大多数帧都是直接或间接地以关键帧作为参考帧。关键帧的丢失引起的差错扩散会影响一大片区域。针对关键帧的差错掩盖, 使用 FC 对运动幅度较小的序列有很好地效果, 但当序列中运动比较剧烈时, FC 的差错掩盖效果会明显下降。而上文介绍的同层和层间差错掩盖算法并没有特意针对关键帧来进行差错掩盖的。因此, 通过为关键帧添加另外的帧间或帧内的差错掩盖方法, 可以提高掩盖的效果。如文献[26]中基于残差运动矢量编码算法, 文献[27-28]中基于丢失宏块邻域宏块边缘检测的算法, 文献[29]中基于模板的算法, 文献[30]线性内插、方向内插自适应选择的算法, 文献[31]中通过计算平均绝对差

(Mean Absolute Difference, MAD) 找出最相似的宏块作为替代宏块的算法。文献[32]中运动向量外插(Motion Vector Extrapolation, MVE)的差错隐藏方法, 文献[33-34]基于空域的相关性, 通过对邻域宏块的分割模式的分析来对丢失宏块内部的分割模式进行判断, 并对分割出的子块的运动矢量用不同的邻域运动矢量进行恢复。以上这些算法针对关键帧的丢失都可以起到不错的效果, 尤其是在高丢包率的传输环境下, 保证关键帧的解码质量将会使整个码流的解码质量得到提高。

## 2.3 交互式的差错控制技术

SVC 中的交互式差错控制技术在编解码两端建立一个反馈信道, 解码端可以通知编码端数据的损坏, 这样 SVC 的编码器可以使用相应的措施来消除错误造成的影响。SVC 中常用的交互式差错控制技术有自动重传请求(Automatic Repeat reQuest, ARQ), 参考帧选择(Reference Picture Selection, RPS)。在 ARQ 中, 接收端通过反馈信道告知发送端发生丢包事件, 请求发送端重新发送丢失数据。在 RPS 中, 解码端正确接收到的图像可用在编码端作为候选的参考帧, 从而阻止因使用错误参考帧引起的差错扩散。

## 3 结束语

本文对高丢包率传输环境下 SVC 的容错性以及 SVC 中的差错控制技术做了比较详细的介绍。针对高丢包率的传输环境, SVC 所提供的多层嵌套码流比 H.264/AVC 生成的码流更具有优势。

由于 SVC 正式成为 ITU-T 推荐的国际标准的时间不长, 因此针对 SVC 的差错控制方法还需要进一步完善。尤其是在高丢包率的传输环境下, 虽然现有的方法在不断地扩展和提升, 同时更多的方法也在不断地被提出, 但是 SVC 在高丢包率这个大的课题下, 仍然有着很广阔的发展前景。如何提高在丢包信道下视频的传输质量、减少误码的发生以及保证基本层数据更稳定的传输, 将是 SVC 在以后的发展中一项重要和富有挑战性的工作。

## 参考文献:

- [1] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准——H.264/AVC[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2009.
- [2] SCHWARZ H, MARPE D, WIEGAND T. Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard[J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(9): 1103-1120.
- [3] WIEGAND T, SULLIVAN G, REICHEL J, et al. Joint draft ITU-T REC. H.264-ISO/IEC14496-10/AMD. 3 scalable video coding[EB/OL]. [2012-12-15]. [http://ip.hhi.de/imagecom\\_G1/savce/downloads/H](http://ip.hhi.de/imagecom_G1/savce/downloads/H).

- 264-MPEG4-AVC-Version8-FinalDraft. pdf.
- [4] GUO Y ,WANG Y ,LI H. Error resilience mode decision in scalable video coding[EB/OL]. [2012-12-15]. [http://www.researchgate.net/publication/221123860\\_Error\\_Resilient\\_Mode\\_Decision\\_in\\_Scalable\\_Video\\_Coding](http://www.researchgate.net/publication/221123860_Error_Resilient_Mode_Decision_in_Scalable_Video_Coding).
  - [5] SHOAI B M ,CAI A. LA-RDO based error resilient coding using multi-layer lagrange multiplier selection in SVC [C]//Proc. ICACST 2010. [S. l. ]: IEEE Press 2010: 1600-1605.
  - [6] HA H ,YIM C. Layer-weighted unequal error protection for scalable video coding extension of H.264/AVC[J]. IEEE Trans. Consumer Electronics 2008 54( 2) : 736-744.
  - [7] CHI C ,ZHANG Y ,WANG L. Joint power control and FEC unequal error protection for scalable H.264 video transmission over wireless fading channels [C]//Proc. GLOBECOM 2009. Honolulu ,HI: IEEE Press , 2009: 1-6.
  - [8] CHANG C ,CHANG Y ,CHANG C ,et al. XOR-based frame loss recovery scheme for video streaming [J]. Computer Communications ,2011 ,34 ( 10) : 1195-1201.
  - [9] FERRE P ,AGRAFIOTIS D ,BULL D. A video error resilience redundant slices algorithm and its performance relative to other fixed redundancy schemes [J]. Signal Processing: Image Communication 2010( 25) : 163-178.
  - [10] DISSANAYAKE M ,HEWAGE C ,WORRALL S ,et al. Redundant motion vectors for improved error resilience in H.264/AVC coded video [C]//Proc. 2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Hannover: IEEE Press 2008: 25-28.
  - [11] Joint Video Team ( JVT ) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG [EB/OL]. [2012-12-15]. [http://ip.hhi.de/imagecom\\_G1/assets/pdfs/JVT-B118r2.pdf](http://ip.hhi.de/imagecom_G1/assets/pdfs/JVT-B118r2.pdf).
  - [12] ZHU C ,WANG Y ,LI H. Adaptive redundant picture for error resilient video coding [C]//Proc. ICIP 2007. San Antonio ,TX: IEEE Press , 2007: 253-256.
  - [13] XU J ,WU Z. A perceptual sensitivity based redundant slices coding scheme for error-resilient transmission H.264/AVC video [C]//Proc. ICCAS 2006. Guilin ,China: IEEE Press 2006: 139-142.
  - [14] ZHU C ,WANG Y ,HANNUKSELA M ,et al. Error resilient video coding using redundant pictures [J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology 2009 19( 1) : 3-14.
  - [15] NAM J ,KIM J ,DUONG D ,et al. A novel frame error resilient technique using adaptive redundant picture coding [C]//Proc. ICCE 2010. [S. l. ]: IEEE Press 2010: 393-394.
  - [16] JIA J ,KIM H ,CHOI H. Polyphase downsampling based redundant picture coding for SVC error resiliency [C]//Proc. CISP 2008. [S. l. ]: IEEE Press 2008: 90-94.
  - [17] HU H ,JIANG D ,LI B. An error resilient video coding and transmission solution over error-prone channels [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation 2009 20( 1) : 35-44.
  - [18] MA M ,AU O ,GUO L ,et al. Alternate motion-compensated prediction for error resilient video coding [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation 2008 19( 7) : 437-449.
  - [19] TSAI Y ,LIN C ,TSAI C. H.264 error resilience coding based on multi-hypothesis motion-compensated prediction [J]. Signal Processing: Image Communication 2007( 22) : 734-751.
  - [20] WIEGAND L ,SULLIVAN G ,REICHEL J ,et al. Joint draft 9 of SVC amendment JVT-X201 [C]//Proc. JVT 22nd Meeting. Marrakech ,Morocco: JVT 2007: 13-19.
  - [21] JI X ,ZHAO D ,GAO W. Concealment of whole-picture loss in hierarchical B-picture scalable video coding [J]. IEEE Trans. Multimedia , 2009 11( 1) : 11-12.
  - [22] PARK C ,YOON M ,KIM S ,et al. Error tracking based error concealment strategy for scalable video coding [C]//Proc. ICCE 2008. Las Vegas ,NV: IEEE Press 2008: 1-2.
  - [23] PARK C ,NAM H ,JUNG S ,et al. Practical error concealment strategy for video streaming adopting scalable video coding [J]. IEEE Trans. Consumer Electronics 2009 55( 3) : 1606-1613.
  - [24] 郭宜. 可伸缩视频编码的差错控制方法研究 [D]. 合肥: 中国科技大学 2009.
  - [25] MA Q ,WU F ,LOU J ,et al. Frame loss error concealment for spatial scalability using hallucination [C]//Proc. Packet Video Workshop 2009. Seattle ,WA: IEEE Press 2009: 1-10.
  - [26] SHOAI B M. Key picture error concealment using residual motion-copy in scalable video coding [C]//Proc. 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering. Los Angeles ,USA: IEEE Press ,2009: 591-595.
  - [27] QARATLU M ,GHANBARI M. Intra-frame loss concealment based on directional extrapolation [J]. Signal Processing: Image Communication , 2011( 26) : 304-309.
  - [28] 包宋建 杨守良 许艳英. 基于 H.264/AVC 的自适应视频错误隐藏技术算法 [J]. 电视技术 2012 36( 17) : 33-36.
  - [29] RANJBAR M ,KASAEI S. Spatial error concealment: a novel exemplar-based approach using segmentation [J]. Computers and Electrical Engineering 2009( 35) : 536-548.
  - [30] WANG C ,CHUANG C ,FU K ,et al. An integrated temporal error concealment for H.264/AVC based on spatial evaluation criteria [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation 2011 22( 6) : 522-528.
  - [31] PENG Q ,YANG T ,ZHU C. Block-based temporal error concealment for video packet using motion vector extrapolation [C]//Proc. IEEE 2002 International Conference on Communications , Circuits and Systems and West Sino Expositions. [S. l. ]: IEEE Press 2002: 10-14.
  - [32] ZHANG Y ,CUI H ,TANG K. Whole frame error concealment with refined motion extrapolation and prescription at encoder for H.264/AVC [J]. Tsinghua Science and Technology 2009 14( 6) : 691-697.
  - [33] CHONG Y ,JIANG S. A modified error concealment algorithm designed for p frame of H.264 [C]//Proc. WiCOM '08. Dalian ,China: IEEE Press 2008: 1-5.
  - [34] XU Y ,ZHOU Y. Adaptive temporal error concealment scheme for H.264/AVC video decoder [J]. IEEE Trans. Consumer Electronics 2008 , 54( 4) : 1846-1851.



责任编辑: 时 雯

收稿日期: 2013-01-09