

# AVS 视频解码的错误检测与掩盖方法

杨文勇<sup>1),2),3)</sup> 黄 晁<sup>1),2),3)</sup> 李锦涛<sup>1)</sup> 肖方明<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(中国科学院计算技术研究所前瞻研究中心,北京 100086)

<sup>2)</sup>(宁波中科集成电路设计中心,宁波 315040) <sup>3)</sup>(中国科学院研究生院,北京 100049)

**摘 要** 研究了视频误码的语法/语义检测、相关性检测方法和错误掩盖方法,分析了 AVS 的技术特性。在此基础上提出了一种基于 AVS 的错误两步检测法和基于图像编码帧类型(I,P,B)的自适应错误掩盖方法。实验结果表明,两步检测法能对 AVS 码流中的错误进行准确定位,自适应错误掩盖方法对图像的恢复效果显著。同时该方法不中断解码器,不影响解码器的实时解码速度。

**关键词** 语法/语义检测 相关性检测 AVS 自适应错误掩盖

中图法分类号:TN919.81 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)11-2106-06

## Detection and Concealment of Video Errors for AVS Decoder

YANG Wen-yong<sup>1),2),3)</sup>, HUANG Chao<sup>1),2),3)</sup>, LI Jin-tao<sup>1)</sup>, XIAO Fang-ming<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(Center for Advanced Computing Research, ICT, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

<sup>2)</sup>(Ningbo CAS IC Design Center, Ningbo 315040) <sup>3)</sup>(Graduate School of the Chinese Academy of Science, Beijing 100049)

**Abstract** Syntax/semantics, correlation detection of errors and concealment were studied in this paper, and AVS(audio video coding standard working group of china) technology characteristics was analyzed. An error-detection method with two-step based AVS and an adaptive error concealment(EC) based on the coded frame type(I,P,B) are presented. The experimental results indicate that errors in AVS stream can be located accurately by two-step detection method, and good results are gained by the adaptive EC. Meanwhile, these methods neither interrupt the decoder nor decrease the speed of decoder.

**Keywords** syntax/semantics detection, correlation detection, audio video coding standard working group of china (AVS), adaptive error concealment

## 1 引 言

AVS 视频标准<sup>[1]</sup>是我国自主制定的音视频编码标准,可以广泛应用于各种音视频场合,支持卫星广播、地面广播、有线电视、IP 网络等传输协议。在网络信道上(如 ATM, PSTN, Internet 等)传输 AVS 压缩码流过程中,往往存在低于 10% 的数据丢失或者误码。由于 AVS 使用了可变长码编码(VLC),当出现错误时,很可能导致接下来的数据出现一连串错误,导致

图像出现明显失真。因此,如何检测错误和减少由错误引起的图像失真成了一个迫切需要解决的问题。

现有的错误检测和掩盖方法主要针对的是 H.26X、MPEG-2、MPEG-4 等国际标准,在错误检测方法上,分为语法/语义检测<sup>[2-5]</sup>和相关性检测<sup>[2-6]</sup>两大类。根据在视频传输系统中位置的不同,错误掩盖算法<sup>[4]</sup>主要可分为基于编码器、解码器、反馈信道 3 种掩盖算法。在已有的这些相关性检测和基于解码器的错误掩盖算法中,大多数算法的复杂度较高,引起解码器的中断延迟较长,例如,文献[6]中采用了五

基金项目:国家 863 计划项目(2005DFA1160)

收稿日期:2006-12-31;改回日期:2007-05-31

第一作者简介:杨文勇(1982 ~ ),男。中国科学院计算技术研究所计算机应用技术专业硕士研究生。主要研究方向为视频编解码与图像处理。E-mail: enjoyworks@hotmail.com

步检测法对错误进行分析和检测,效果比较理想,但错误检测所占用的时间太长,不利于应用在实时解码器中。近几年来,在信源编码器中,从视频码流结构上研究其抗误码性能,已成为研究的一个热点<sup>[7]</sup>。

在 AVS 视频标准中,只有简单的条带划分机制用于错误掩盖和恢复,容错性能大大低于其他国际标准(如 MPEG4 AVC/H.264 中采用了数据分割、复杂的 FMO/ASO 等宏块、条带组织机制、强制 Intra 块刷新编码等容错方法)。因此,若不能很好地解决 AVS 在传输过程中的所产生的误码、丢失数据等错误,将大大影响国家标准 AVS 在实际环境中的应用。因此,根据 AVS 的技术特点,融合并改进现有的错误检测与掩盖方法,提出了一种用于 AVS 视频码流错误处理的两步检测法和自适应错误掩盖方法。在基于 Philips 公司的媒体实时处理器 PNX1500 DSP 的 AVS 解码器上实现了该算法。实验结果表明该算法能在不影响解码器实时解码的情况下,阻止错误的扩散,并将对错误图像恢复到人眼能容忍的范围之内。

## 2 错误两步检测方法

AVS 视频基本流(ES)共分为 5 层:如图 1 所示。前三层(序列层、图像层、条带层)都有再同步码,发生错误时可通过重定位至下一个同步码来避免错误的传递;而后两层(宏块层、块层)没有再同步码,因此一旦发生错误,当前条带数据将全部损

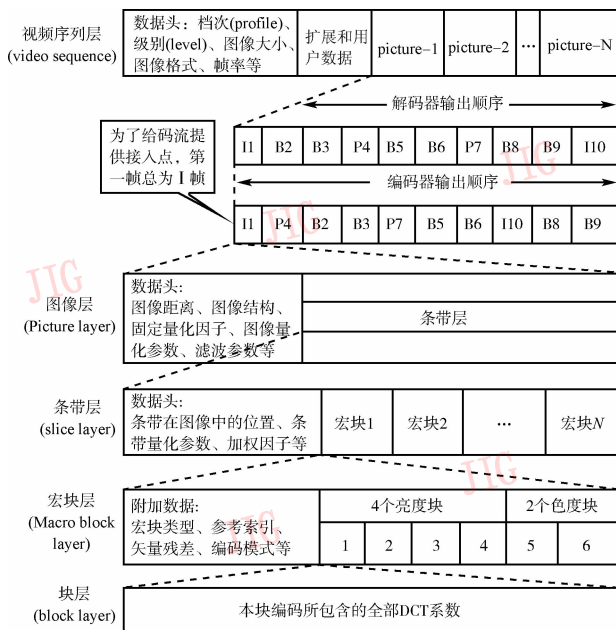


图 1 AVS 视频 ES 流层结构  
Fig. 1 AVS video ES structure

坏。由于 AVS 编码采用了 VLC,图像中某一处的错误将很可能扩散到整幅图像及其后续解码图像中。

因此,为了改善重建图像的质量,必须首先对错误图像进行错误检测和错误定位。

结合目前已有的语法错误检测和相关性检测方法,在 AVS ES 流中采用两步检测方法检测该 ES 流层的错误。

### 第 1 步 语法/语义错误检测

根据标准对码流语法元素的约束,首先根据以下条件来检测错误发生的位置:

- (1) 无效码值(如条带起始码等)<sup>[2-5]</sup>;
- (2) 无效 VLC 值(CBP(编码块标志),MVD(运动矢量残差),TCOEF(变换系数)等<sup>[2-5]</sup>;
- (3) 运动矢量超出图像外界<sup>[2-5]</sup>;
- (4) 量化信息越界<sup>[5]</sup>;
- (5) 无效的 DC 直流系数<sup>[2,5]</sup>;
- (6) DCT 系数越界<sup>[5]</sup>;
- (7) DCT 系数个数超出 64<sup>[2-5]</sup>;
- (8) 条带的第 1 个宏块不在某宏块行的首地址(图 2)。

AVS 视频标准中规定,一帧图像中的条带必须从宏块行第 1 个宏块开始<sup>[1]</sup>,如图 2 所示。

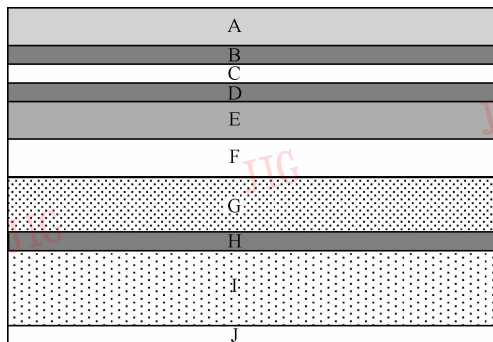


图 2 条带结构<sup>[1]</sup>  
Fig. 2 Slice structure<sup>[1]</sup>

通过以上 8 个条件检测出的错误只能提供一个大致的位置,这是由于 VLC 所引起的错误传递的结果,实际上错误可能早就发生,只是还没有超出解码器的承受范围。因此,要较好地恢复图像质量,必须准确定位实际错误发生的位置。接下来将通过相关性检测找到错误实际发生的位置。

### 第 2 步 相关性检测

这一步是在已经找到大致错误位置的情况下进行的,是第 1 步的继续。常用方法是利用宏块

(MB)内部和外部之间的连续性<sup>[2-6]</sup>来检测。首先定义  $M \times N$  块的内部相关性 AID 为<sup>[2]</sup>

$$AID(C) = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{M-1} |f(x, y) - f(x-1, y)| + \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f(x, y) - f(x, y-1)|}{N \times (M-1) + M \times (N-1)} \quad (1)$$

式中,  $f(x, y)$  是当前宏块中位置为  $(x, y)$  的像素值。

定义当前宏块  $M$  与相邻宏块  $X$  间的相关性为<sup>[5]</sup>

$$AIDB(M; X) = \frac{1}{K} \left[ \sum_{i=0}^{K-1} |p_i^{\text{in}} - p_i^{\text{out}}| \right] \quad (2)$$

式中,  $p_i^{\text{in}}$  是宏块内部边界第  $i$  个像素值,  $p_i^{\text{out}}$  是宏块外部边界第  $i$  个像素值(如图 3 所示)。

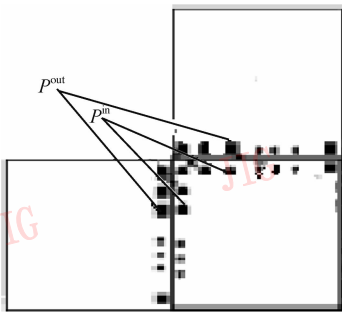


图 3 宏块边界像素

Fig. 3 Macro-block edge pixels

$K$  为宏块的边界长度,因此可以得到当前宏块  $C$  与其左边宏块  $A$  和上边宏块  $B$  的之间的相关性为

$$AIDB(C) = \frac{AIDB(C; A) + AIDB(C; B)}{2} \quad (3)$$

现有的数字视频中基本采用的是 YCbCr 颜色模型,在 3 个颜色分量中,由于 Cb 或 Cr(色度分量)对码流错误更加敏感,即在码流错误发生的前后,色度块之间的相关性变化更大,因此,对一个宏块进行检测等价于只对一个色度块  $B_{cb}$  ( $8 \times 8$  大小)进行相关性检测,相对于计算整个宏块而言,计算量大大减少。

根据式(1)、式(2)、式(3)可以得到:

若  $AID(C) > TH_1$ , 则当前检测的宏块是错误的宏块。

若  $AIDB(C) > TH_2$ , 则当前检测的宏块是错误的宏块。

选择的门限值  $TH_1$ 、 $TH_2$  可以是一个可变值,一般认为当  $TH_1 = 16$ ,  $TH_2 = 26$  时有较好的检测效果。

由此,所设计的相关性检测方法为当由第 1 步检测到码流错误后,根据上述判断条件由当前宏块向前检测,直到上述判断条件不满足或者到该条带首宏块为止,这样就可以准确地定位实际错误发生

地宏块位置,如图 4 所示。

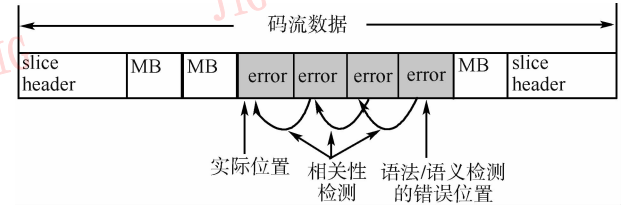


图 4 相关性检测

Fig. 4 Relativity detection

### 3 自适应错误掩盖方法

#### 3.1 错误掩盖技术

现有的错误掩盖技术主要是利用视频图像时间和空间上的相关性来恢复已损坏的图像,主要方法<sup>[4]</sup>有:

(1) 基于空域的错误掩盖 通常视频图像在空间域上存在很大的相关性,特别是纹理规则的图像,因此,当受损图像为帧内编码时,可以采用其周围已经正确解码的空域信息进行插值掩盖。

(2) 基于时域的错误掩盖 在时间上连续的视频帧之间,有较强的时间相关性,当损坏的图像为帧间编码时,通常采用时域插值方法掩盖,即利用其前一帧或后一帧图像来恢复受损图像,通常采用“运动矢量估算”<sup>[5]</sup>和“补偿替代”<sup>[5]</sup>方法。

(3) 基于变换域(DCT)的错误掩盖。DCT 变换是将  $8 \times 8$  块的空域信息转换为频域信息,其变换后的块与块之间的 DC 系数具有很强的相关性,因此,也可以采用频域方法<sup>[8]</sup>来恢复。

#### 3.2 自适应错误掩盖方法

上述的 3 种错误掩盖方法都有各自的适应环境和优缺点,在时域的掩盖方法上大部分算法没有考虑镜头边界的情况。因此,针对 AVS 视频解码必须寻求一种自适应掩盖方法,以保证在恢复图像质量的同时不影响解码器的速度。

由于 AVS 视频编码采用的是 VLC,并且条带层以下没有再同步码,如图 1 所示。当某一段码流发生错误时,从该错误点开始到下一个条带起始位置为止这一段数据将被全部损坏,此时,解码器没有必

要再解码这些错误的数 据,而应该进行错误恢复。

AVS 视频帧中共有帧内编码(I 帧),帧间编码(P 帧),帧间编码(B 帧)3 种编码模式,码流中所有帧的条带分布都相同,即码流中 I, P, B 中的条带数和条带位置相同,如图 2 所示。利用此特性,就可以利用前面某一正确解码帧的条带结构来控制当前出错图像在何处结束错误掩盖,避免错误继续向下一个条带传递,如图 5 所示。

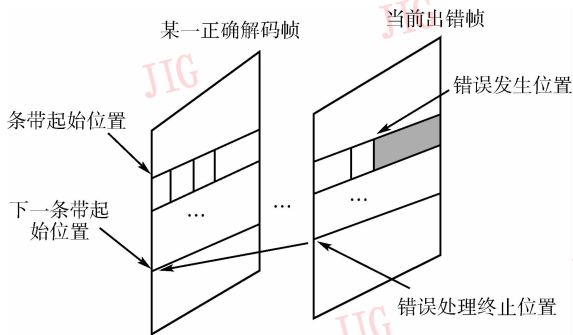


图 5 错误处理终止方法  
Fig. 5 Error correct end method

基于以上分析,根据帧的编码模式分以下几种情况来自适应掩盖错误。

(1) 当前出错帧为 I 帧

首先用当前块周围宏块的预测模式和本宏块中已解码的部分块的预测模式来计算当前  $8 \times 8$  块的预测模式,如图 6 所示。

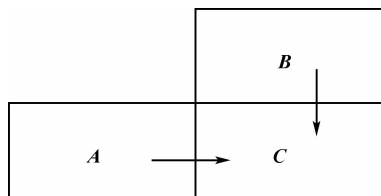


图 6 当前块与周围块预测模式关系

Fig. 6 Relations between current and neighbor blocks

设左边块 A 的预测模式为  $Pred A$ , 上边块 B 的帧内预测模式为  $Pred B$ , 则当前块 C 的预测模式  $Pred C$  为<sup>[1]</sup>

$$Pred C = \begin{cases} \text{Min}(Pred A, Pred B) & A \text{ 和 } B \text{ 都存在} \\ \text{Intra}_{8 \times 8\_DC} & A \text{ 或 } B \text{ 不存在} \end{cases} \quad (4)$$

为了增加预测的准确性,当块 B 属于上一个条带时,也认为它存在。

$8 \times 8$  块的帧内预测模式参见文献[1]。

另外,设某一宏块的运动矢量为  $(MV_x, MV_y)$ ,

则可以根据  $(MV_x, MV_y)$  判断该宏块是否为大运动宏块:

若  $MV_x > TH_{mv}$  或  $MV_y > TH_{mv}$ , 则该宏块为大运动宏块。

若  $MV_x < TH_{mv}$  且  $MV_y < TH_{mv}$ , 则该宏块为小运动宏块。

AVS 视频标准采用 1/4 精度预测,因此,一般认为当某宏块运动超过 2 个像素时,即  $TH_{mv} = 8$  时,则该宏块为大运动宏块。

根据式(4)、及上述判断条件可得 I 帧的错误掩盖方法:

①若当前 I 帧为第 1 帧,根据式(4)得到的预测模式进行空域插值。

②当前 I 帧不为第 1 帧,首先根据上述判断条件判断前一帧(显示顺序上)同一位置的宏块是否为大运动宏块。如果是,采用式(4)得到的预测模式进行空域插值,如果不是,则将前一图像中的相同位置的宏块直接复制到当前宏块。

(2) 当前出错帧为 P, B 帧

帧间编码的图像在解码时可以参考其他的图像,如果当前图像出错,可以用时域上的参考帧来掩盖。此时损坏宏块的编码模式和运动矢量对图像的恢复非常重要。

经过对 AVS 视频码流进行实验,得出以下两个结论:

①若视频流序列中图像帧之间变化比较平缓,则 P, B 帧中跳过模式(Skip)编码的宏块,即预测残差为 0 的宏块,其宏块数目在每一帧中所占的比例如表 1 所示。

表 1 跳过模式在 P, B 帧中所占的比例

Tab. 1 Skip-mode percent of P, B frame

帧编码模式	宏块编码模式	所占比例(%)
P 帧	P_Skip	约 45
B 帧	B_Skip	约 70

② P, B 帧为镜头边界时, P 帧中帧内编码(Intra)的宏块数明显增多,而 B 帧会根据 P 帧是否是镜头边界在编码时就自适应地选择预测模式。所以, P 帧对镜头边界敏感,而 B 帧不敏感。在出错处理时, P 帧需要考虑镜头边界,而 B 帧不需要。定义 P 帧已解码宏块中编码模式为 Intra 的宏块数为

$$\text{IntraCount} = \sum_{i=1}^N \text{Intra\_Cod}_i \quad (5)$$

$$Intra\_Cod_i = \begin{cases} 1 & \text{第 } i \text{ 个宏块是 Intra 编码} \\ 0 & \text{第 } i \text{ 个宏块不是 Intra 编码} \end{cases} \quad (6)$$

$N$  是一帧图像中已经解码的宏块数。

根据以上两个结论可以得到 P, B 帧的掩盖方法:

**P 帧:**

根据式(5)、式(6)统计当前损坏宏块之前已经解码宏块中编码模式为 Intra 的宏块数,若  $IntraCount > N/2$ ,表明当前 P 帧为镜头边缘,不易采用时域方法掩盖,此时,采用 I 帧中的空域掩盖方法来恢复。

若  $IntraCount < N/2$ ,则从该损坏宏块处开始到下一个条带开始处的宏块全部当作 P\_Skip 块的方法来掩盖。

**B 帧:**

从损坏宏块处开始到下一个条带的宏块直接当作 B\_Skip 块处理,因为 B\_Skip 编码模式采用的是双向预测模式,所以,不管当前 B 帧是否是镜头边界,损坏宏块都能参考前后两帧图像而得到较好的恢复。

综上所述,两步检测法及自适应错误掩盖算法流程如图 7 所示。

### 4 实验及讨论

采用经典序列 foreman、akiyo(352 × 288 大小)对本文方法进行测试,首先用 AVS 视频参考编码器 rm52f 对 foreman、akiyo 序列进行压缩。参数设置为每条带 4 个宏块行,参考帧数目为 2 帧,带 B 帧,其余为默认参数。然后对压缩后的码流模拟在 Internet 传输的情况,对码流按不同比率进行随机错误干扰,错误类型包括单比特、多比特误码和数据丢失。最后采用基于 PNX1500 DSP 的实时解码器对错误码流进行检测和掩盖。

对 foreman、akiyo 序列分别进行 10% 的随机加错后,主观质量的实验结果如图 8、图 9 所示。



图 8 Foreman 序列第 7 帧的掩盖效果比较  
Fig.8 Foreman sequence error resilience effect



图 9 Akiyo 序列第 7 帧的掩盖效果比较  
Fig.9 Akiyo sequence error resilience effect

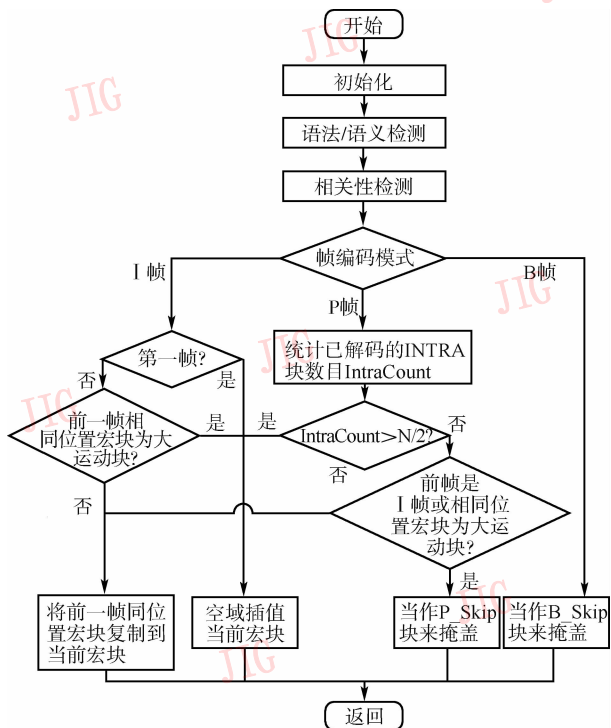


图 7 错误检测与掩盖流程  
Fig.7 Error detect and resilience flow

计算每一帧的平均峰值信噪比 (PSNR<sub>ravr</sub>),从前 10 帧图像 PSNR<sub>ravr</sub> 结果来看,掩盖后图像的 PSNR 均值明显好于未掩盖的图像。PSNR 均值如图 10、图 11 所示。

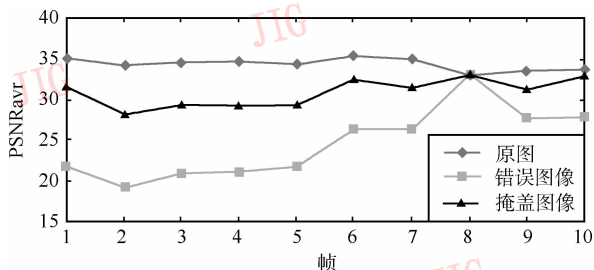


图 10 Foreman 在 10% 误码下前 10 帧的 PSNR 均值  
Fig.10 PSNR value in 10% percent error code of foreman

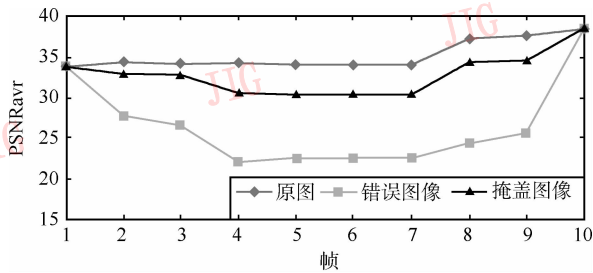


图 11 Akiyo 在 10% 误码下前 10 帧的 PSNR 均值

Fig. 11 PSNR value in 10% percent of error code akiyo

从上面结果来看,两步检测法和自适应掩盖方法对错误图像对变化比较平缓的图像具有较好的恢复效果,与未进行掩盖前相比,掩盖后平均每帧图像约提高 4~6dB。与目前已有的检测方法<sup>[4,6]</sup>相比,两步检测法能较准确地定位出错误发生的实际位置,并且检测速度较五步检测法<sup>[6]</sup>快 2~3 倍;与目前已有的掩盖方法<sup>[4]</sup>相比,在同等情况下,自适应掩盖算法与大部分掩盖方法的恢复效果相当,与其中复杂的算法相比,图像质量低 0.5~1dB,但在运算速度方面要快 1~1.5 倍。因此,该算法适合于大多数的实际视频处理应用场合。不过该算法在碰到纹理复杂、运动比较剧烈的视频序列时,恢复的效果有待进一步提高。

## 5 结论

以现有视频错误掩盖技术为基础,重点研究了 AVS 视频解码错误检测与掩盖技术,针对 AVS 的技术特性和解码器的实时性需要,提出了 AVS 码流错误两步检测法和基于解码器的自适应错误掩盖算法。该算法在解码器检测到错误时,不再解析该条带内的出错码流,而是进行出错处理。实验验证,正常解析这段码流所花的时间与进行出错处理所需时

间相当,因此,该算法基本上对解码器的速度没有影响。在不影响解码器正常工作的情况下,该算法能阻止错误的扩散,将出错图像恢复到较好的效果。下一步的工作是如何对运动剧烈的出错图像进行恢复,以及如何在编码器端进行容错处理。

## 参考文献 (References)

- GB/T 200090. 2-2006. Information technology Advanced coding of audio and video-Part 2:Video[S]. GB/T 200090. 2-2006. 信息技术先进音视频编码第 2 部分:视频[S].
- Wen J C, Jin J L. Detection and concealment of transmission errors in H. 261 Images[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1998, 8(1): 74~84.
- Shyu Han-chiang, Leou Jin-jang. Detection and concealment of transmission errors in MPEG-2 images—A genetic algorithm approach [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1999, 9(6): 937~948.
- Wang Y, Zhu Q F. Error control and concealment for video communication; a review[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5): 974~997.
- Ekram Khan, Stefan Lehmann, Hiroshi Gunji, et al. Iterative error detection and correction of H. 263 coded video for wireless networks [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 12(14): 1294~1306.
- Hao Lu-guo, Wang Zhao-hua, Su Han-song. Analyzing and detecting of MPEG-2 image errors[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2003, (2): 7~12. [郝禄国,王兆华,苏寒松. MPEG-2 视频图像错误分析与检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2003, (2): 7~12.]
- Feng Xiu-bo, Xie Jian-ying. Review of error resilience techniques for wireless video transmission [J]. Journal of China Institute of Communications, 2003, (11): 124~132. [冯秀波,谢剑英. 无线视频传输容错算法研究新进展[J]. 通信学报, 2003, (11): 124~132.]
- Jong W P, Jong W K, Sang U L. DCT coefficients recovery-based error concealment technique and its application to the MPEG-2 bit stream error [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7(6): 845~854.