

## ◎ 学术探讨 ◎

# 基于数据嵌入的 H.264/AVC 错误隐藏算法

蒋 洁, 郭宝龙

JIANG Jie, GUO Bao-long

西安电子科技大学 机电工程学院 ICIE 研究所, 西安 710071

Institute of ICIE, School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China

E-mail: jgirl2008@126.com

JIANG Jie, GUO Bao-long. Error concealment coding scheme based on data embedding for H.264/AVC. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(8): 37-39.

**Abstract:** In order to improve the error concealing performance of H.264/AVC, a new algorithm is presented. At the encoder, the proposed scheme first extracts the important data from each Macro Block (MB), which can be used for error concealment at the decoder. These data are embedded into the next frame using the odd-even data embedding scheme in an MB-interleaving slice-based manner. At the decoder, when the decoder cannot receive the right MB, it will extract the embedded data to conceal the corrupted MB. Experimental results show that the error concealing performance has improved greatly than that of the JM10 model, both subjectively and objectively.

**Key words:** H.264; error concealment; data embedding; Flexible Macroblock Ordering (FMO)

**摘 要:** 为了改进和完善 H.264/AVC 的错误隐藏性能, 提出了一种基于数据嵌入的错误隐藏算法。算法在编码端提取能用于错误隐藏的特征数据, 用奇偶嵌入法, 通过宏块交织的方式将数据嵌入到下一帧中。当解码器没有正确接收到宏块时, 在该宏块下一帧相应位置提取特征信息进行错误隐藏。实验结果表明, 在同等应用环境下, 与 JM10 自带的错误隐藏方法相比, 此方案错误隐藏的主观和客观效果均有显著提高。

**关键词:** H.264; 错误隐藏; 数据嵌入; 宏块交织

**文章编号:** 1002-8331(2008)08-0037-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TN919.8

## 1 前言

无线通信网络和互联网的传输信道并不可靠, 在视频比特流的传输过程中, 信道干扰、网络拥塞和路由迟疑等问题将会导致随机比特错误、突发性差错及分组丢失误码等现象, 造成所传输的视频数据信息丢失<sup>[1]</sup>。另一方面, 为降低对信道带宽的要求, 视频信息在传输前进行高效压缩编码, 也大大降低了原有视频信息中的时间空间冗余, 从而造成压缩码流对信道误码更加敏感。此外, 基于视频编码的语法特点, 误码也会在空域和时域上进一步扩展。以上情况都将直接或间接导致视频信息的错误解码, 使视频信号的重建质量急剧下降, 严重时甚至会导致整个视频通信完全失效。

为了解决上述问题, H.264 提供了很多新的差错控制的方法<sup>[2]</sup>: 参数集设置、数据分割、冗余片、灵活的宏块排序 (FMO)、SP/SI 片编码模式、多参考帧的选择模式等。

然而用以上几种方法, 仍然不能完全解决错误扩散的效应。针对该问题, 很多专家对差错控制技术进行了更深入的研究, 对容错工具加以改进和完善, 比如: 错误掩盖技术为 Intra 帧使用空域掩盖, 为 Inter 帧使用时域掩盖的做法不够灵活, 可以根据实际情况将时空域隐藏方法结合起来<sup>[3,4]</sup>, 自适应选择隐藏模式, 这样能收到更好的隐藏效果; 数据分割技术按照宏块编码模式划分 B、C 类数据的做法不能适应图像内容的变化和利用一些网络的分层保护机制, 可以基于运动估计进行数据分割<sup>[5]</sup>; 解码端特征提取没有编码端的有效, 则可以把此操作转移到编码器端, 这样还可以降低解码器计算复杂度。提取的特征是媒体数据的附带信息, 必须发送给解码器, 典型的方案是将其附加到一个单独的报头上, 但这将增加码率。其他方法是采用类似于数字水印的技术<sup>[6]</sup>, 将特征嵌入媒体中, 而不增加码率并且不会引入可觉察的视觉变化。

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划 (863) (the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA01Z127); 国家自然科学基金 (the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60572152); 陕西省自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Shaanxi Province of China under Grant No.2005F26)。

**作者简介:** 蒋洁 (1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究领域为视频图像编码, 图像处理等; 郭宝龙 (1962-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 图像处理、智能控制神经网络。

**收稿日期:** 2007-09-21 **修回日期:** 2007-11-30

本文基于数据嵌入技术,提出了一套完整的丢包误码解决方案。在编码端提取解码端进行错误隐藏所需的数据,用奇偶嵌入法,通过宏块交织的方式把数据隐藏到下一帧中。当发生丢包时,解码端在下一帧中提取有用信息,进行错误隐藏。

全文内容安排如下:在第2章中,提取进行错误隐藏所需的关键数据,并引入FMO及奇偶嵌入法进行数据嵌入,在第3章中进行实验分析;第4章对全文进行总结。

## 2 基于数据嵌入的错误隐藏方法

### 2.1 特征数据的提取

#### 2.1.1 I帧特征数据的提取——纹理方向法提取边界信息

对于I帧而言,利用纹理方向法来提取宏块内重要信息<sup>[6]</sup>。它主要是基于视觉的边界完整性,对宏块内一个较大领域内的纹理走向进行预测,利用图像的纹理走向进行空域的错误隐藏。文献[7]提出了一种并行的图像边缘检测方法,但是考虑到实现复杂度,这里采用以下方法:

$$|\nabla f(i,j)| = |G_x(i,j)| + |G_y(i,j)| \quad (1)$$

$$\theta(i,j) = \arctan(G_y(i,j)/G_x(i,j)) \quad (2)$$

其中,由索贝尔算子求得的 $G_x(i,j)$ , $G_y(i,j)$ 分别是宏块内像素点 $f(i,j)$ 水平和垂直方向的梯度成分, $\theta(i,j)$ 表示该点的方向信息。如果 $|\nabla f(i,j)|$ 大于某个预设阈值,点 $f(i,j)$ 就被定义为边界像素。如果一个宏块内有边界像素,就定义该宏块为含边界的宏块,否则为光滑宏块。如图1所示,对于一个含边界的宏块,把 $0^\circ \sim 180^\circ$ 均匀分成16等份,分别表示16个方向。为每个方向设置1个计数器,对每个邻域内的像素计算梯度和模值,对应梯度方向上的计数器加上相应的模值。将整个邻域遍历一遍后,最大的计数器值所对应的方向即为整个邻域内边界最强的方向。

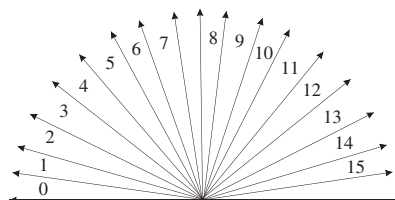


图1 纹理方向划分

用这种方法,1 bit用于确定该宏块是光滑的还是含边界的,如果该宏块含边界,则还需4 bit用于确定边界方向。

#### 2.1.2 P帧特征数据的提取——领域最佳运动矢量的选取

对于P帧而言,在解码端:只要能得到当前帧的编码模式,运动矢量以及补偿画面差异(Displaced Frame Differences, DFD),便可无失真地获得解码图像。如果错误只发生在DFD部分,则可以通过运动矢量来进行运动补偿。所以如果能得到编码模式和运动矢量,就能获得很好的效果。于是考虑在编码端把这两类数据嵌入到下一帧相应宏块中去,当该宏块丢失时,可以从相应宏块中取得重要信息恢复解码。但是如果直接嵌入运动矢量,需要相当大的比特数,本文提出了一种方法可以在大大减少比特数的前提下较为近似地表示要嵌入的运动矢量。

算法的基本思想如下:每一宏块最近的领域选择判定如图

2所示, $0 \sim 7$ 为1个宏块相对应的8个领域的索引号。每个宏块在周围8个领域中找到运动矢量最相近的领域,并提取该领域的索引号。为了简化计算,只考虑大于或等于 $8 \times 8$ 的模块。由于模式不同,每一宏块的运动矢量与参考块的数目是不同的。例如, $16 \times 16$ 的模式从邻近的8个领域里选出的运动矢量所在领域索引号需要用3 bit来表示,而 $16 \times 8$ 模式中,1个宏块有2个子块,每个子块从邻近的4个领域里选出的运动矢量所在的领域索引号需要用2 bit表示。使用Huffman编码的最近的领域详细的比特分配见表1。在这种编码模式和运动信息条件下,表示每一宏块的最近运动矢量的领域索引号最多只需要4 bit。

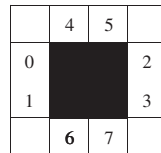


图2 一个MB及其相对应的8个领域的索引号

表1 Huffman编码的最近的领域详细的比特分配表  
(x)表示嵌入的比特值,x为0或1

模式	编码模式	MV	总比特数
Skip	2(00)	0	2
$16 \times 16$	2(01)	3(xxx)	5
$16 \times 8$	3(100)	4(xx xx)	7
$8 \times 16$	3(101)	4(xx xx)	7
$8 \times 8$	3(110)	4(x x x x)	7
其它	3(111)	0	3

### 2.2 基于FMO的宏块排列法

为了更好地获得辅助信息,减小片以及它的“掩饰”片同时丢失的概率,本文从分散连续发生的错误,使其不在相邻的宏块内同时发生的思路出发,引入了FMO的宏块排列法<sup>[2]</sup>。具体规则如下:

需要隐藏的数据必须嵌入到两个不同的“掩饰”片中,因为片和它的“掩饰”片可能同时丢失,所以重要数据最好分散嵌入到多个片中。

两个“掩饰”片不可以相邻,因为突发性视频丢包可能发生,一般情况下,两个宏块相距越远,它们同时丢失的可能性就越小,出错宏块周围的宏块不同时发生错误,此时便可以利用周围这些正确解码的宏块的信息,很好地进行错误隐藏。表2给出了满足以上两个条件的一种方案。

表2 QCIF H.264/AVC图像第n-1帧图像提取的重要信息存储于对应的第n帧中的“掩饰”片

第n帧中的“掩饰”片序号	第n-1帧中的所要嵌入的重要数据
0	片8的偶数MBs和片3的奇数MBs
1	片0的偶数MBs和片2的奇数MBs
2	片3的偶数MBs和片1的奇数MBs
3	片2的偶数MBs和片0的奇数MBs
4	片5的偶数MBs和片8的奇数MBs
5	片4的偶数MBs和片6的奇数MBs
6	片7的偶数MBs和片5的奇数MBs
7	片6的偶数MBs和片4的奇数MBs
8	片1的偶数MBs和片7的奇数MBs

### 2.3 奇偶嵌入法

随后需要将提取的信息嵌入到对应宏块中去。在视频图像

中隐藏信息或嵌入数据的方法有很多种,为了减小编解码器额外的处理负荷,采用基于视频图像块 DCT 系数奇偶嵌入法,即通过把选定掩藏块的非零 DCT 系数强制性置为奇数或偶数的方法<sup>[8]</sup>嵌入数据。为了避免视觉误差,DCT 的直流系数和前两位低频系数不作修改。

如果需要嵌入的数据是“0”,则把选择的 DCT 量化系数置为偶数;如果需要嵌入的数据是“1”,则把选择的 DCT 量化系数置为奇数。即如果要嵌入的数据是,被选量化 DCT 系数由式(3)决定:

$$C_i = \begin{cases} C_i + 1, & \text{if } |C_i| > T, C_i \bmod 2 \neq b_j, \text{ and } C_i > 0 \\ C_i - 1, & \text{if } |C_i| > T, C_i \bmod 2 \neq b_j, \text{ and } C_i < 0 \\ C_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

由上式可知,相应的被选 DCT 量化系数,只做了 $\pm 1$ 的改变,它对图像的改变几乎看不出来。

## 2.4 算法步骤小结

编码时,数据隐藏按照下面基本步骤进行:

- (1)在编码端对宏块进行特征提取,并进行编码;
- (2)根据表 2 在下一个帧中选择相应的嵌入对象块;
- (3)根据式(3)用奇偶嵌入法把重要信息嵌入到下一帧的相应码流中去;
- (4)重复上述步骤直至帧结束。

当解码端丢失正确宏块时,解码器可以提取嵌入到下一帧相应“掩饰”块中的重要信息,对于 I 帧可以采用多方向插值法进行错误隐藏,P 帧则采用最近似的 MV 来替代相应 MB 的 MV 继续进行错误隐藏。

## 3 实验结果与分析

为验证算法的性能,使用本文提出的算法与 H.264 自带的错误隐藏方法对标准序列 Claire、Carphone、Foreman 和 Salesman 进行实验。宏块出错采用随机模式,误码率为 5%、10% 和 15% 三种情况,分辨率为 QCIF 格式,序列大小为 120 帧。

表 3 中数据显示了两种方法对不同测试序列恢复后的 PSNR 值。由表中数据可以看到,传统算法对于 Claire 这种背景简单、边缘特征较少的图像恢复效果比较理想,而对内容稍微复杂的图像恢复效果明显不佳;而提出的算法由于充分利用了宏块的重要特征信息,解码端得到的数据是在编码端与原始数据直接比较得到的,而非估算得到,因此它更精确地恢复了当

表 3 PSNR 比较

测试序列	PSNR/dB	丢包率			
		0%	5%	10%	15%
Claire	PSNR <sub>JM</sub>	39.32	37.20	36.57	36.02
	PSNR <sub>PRO</sub>	38.75	38.04	37.49	37.01
Carphone	PSNR <sub>JM</sub>	38.47	31.98	30.45	29.53
	PSNR <sub>PRO</sub>	37.62	36.42	35.47	34.25
Foreman	PSNR <sub>JM</sub>	37.15	31.54	30.68	29.30
	PSNR <sub>PRO</sub>	36.42	35.22	34.86	34.03
Salesman	PSNR <sub>JM</sub>	37.22	32.22	31.75	30.20
	PSNR <sub>PRO</sub>	36.65	33.75	33.56	33.45

前出错宏块的特征信息,使错误宏块的隐藏更为准确,适用于各类图像的重建,实验数据显示它较之传统的错误隐藏算法具有明显的优势。

图 3 是 Foreman 第 111 帧隐藏效果的对照,错误率为 15%。从图可以看出,采用基于数据嵌入的错误隐藏图像(d)比 JM 自带的错误隐藏图像(c)在主观质量上要好多,尤其是在一些运动变化比较大的区域。如在 Foreman 的嘴巴处,图(c)发生了比较大的失真,而图(d)恢复的较好。

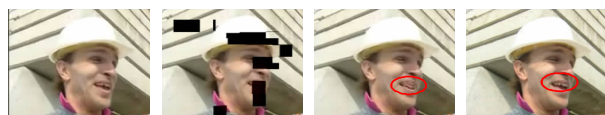


图 3 Foreman 第 111 帧隐藏效果对照

## 4 总结

本文提出了一种结合数据嵌入的错误隐藏改进算法。该算法把特征提取的估测过程从解码端移动到了编码端,优势在于编码端比解码端可以提供更多的有用信息,而且可以把解码端的计算量移到编码端,并引入了宏块交错算法,可以阻止错误迅速扩散。实验结果表明该算法在没有提升很大复杂度的情况下,错误隐藏的发主观和客观效果(PSNR)比 H.264/AVC 自带的算法有明显的提高。

## 参考文献:

- [1] Wang Y, Wenger S. Error resilient video coding techniques[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2000, 17(4): 61-82.
- [2] Wang Ye Kui, Hannuksela M M, Varsa V. The error concealment features in the H.26L test model[C]//Image Processing, 2002 Proceedings. New York: Rochester, 2002, 2: 729-732.
- [3] Kim M D, Choi S I, Ra S W. Hybrid error concealment method for H.264/AVC[C]//The 7th International Conference on Advanced Communication Technology, 2005, 1(2): 408-411.
- [4] Hadar O, Huber M, Huber R, et al. New hybrid error concealment for digital compressed video[C]//EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2005, 12: 1821-1833.
- [5] Du Jian-chao, Wu Cheng-ke. Data partitioning based on motion estimation for robust video communications[C]//Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering, VCIP 2005, Beijing, 2005, 5960(2): 1025-1032.
- [6] Yin P, Yu H, Liu B. Error concealment using data hiding[C]//Proc of ICASSP, 2001, 3(5): 1453-1456.
- [7] Xue Xiao-long, Zhao Rong-chun. A new method of parallel SAR image edge detection[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2005, 28: 58-61.
- [8] Wu M, Yu H, Gelman A. Multi-level data hiding for digital image and video[J]. SPIE, 1999.