

基于信息隐藏的视频重同步算法^{*}

苏育挺, 张春田

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

摘 要: 针对数字视频通信系统提出一种新型的重同步控制算法。利用信息隐藏技术传递压缩视频码流中的重同步信息, 可根据实际信息嵌入量实现变精度的误码重同步, 降低各种随机信道误码对视频解码的不良影响, 为受损图像的逼真重建提供有利条件。

关键词: 误码控制; 重同步; 信息隐藏

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S2-0209-04

随着数字化和网络化技术的发展, 作为多媒体通信技术中的一个重要分支——数字视频通信技术正朝着网络通信和无线通信两个方向发展, 数字视频通信也正由低误码率信道传输向高误码率信道传输发展, 因此解决在误码条件下数字视频高质量的传输已成为数字视频通信技术发展的关键问题^[1]。

在现有视频压缩编解码系统中, 大多引入了变字长熵编码算法, 这一技术在提高系统压缩编码效率的同时, 也降低了视频码流自身的抗误码能力。一些随机比特误码就可以使得系统解码失步, 从而严重影响其后码流的正常解码。为了解决这一问题, 现有的视频系统多采用重同步技术^[2], 即在视频码流中一些特定的编码位置插入同步起始码, 解码器可以在因误码导致不能正常解码时, 跳过误码区域从下一个同步起始码重新进行正常解码。重同步技术的关键问题之一是最小同步区域的大小选择, 如果同步区域选择较大, 就意味着误码产生的图像损失区域可能扩展较大, 这将增加其后图像误码掩错算法的难度; 而如果同步区域选择较小, 固然可以提高对误码影响的局限性, 但其必须要在码流中嵌入更多的同步起始码, 从而降低整个视频编码系统的数据压缩效率。因此多数视频编码系统是在编码效率和误码局限两个方面采用折衷方案, 如 MPEG-1、MPEG-2 系统中选择一个图像片 (slice) 作为最小同步区域。

为了实现误码条件下更小区域解码重同步技术, 本文引入视频信息隐藏技术来解决同步信息传输负担这一瓶颈问题, 可以在不影响视频压缩编码系统效率的前提下, 实现小区域重同步信息的传

递, 使得视频解码器在遇到误码时可以实现图像片内更小区域的重同步解码。

1 重同步定位信息构造

本文采用 MPEG-2 视频编解码系统^[3] 作为实验平台, 编码器原始最小同步单位——图像片 (slice) 长度固定选择为一宏块行。图像片之间的重同步依据 MPEG-2 语法采用 32 bit 同步标识码, 而一个图像片内的重同步则是通过信息隐藏算法传递重同步定位点在码流中的相对位置来实现的。解码器在图像片中遇到随机误码后, 可以根据提取的重同步位置信息跳过误码区域, 找到视频码流中相应重同步位置, 重新初始化解码器并开始正常解码。因此重同步信息的计算就成为实现该算法的首要问题。整个重同步定位信息的构造包括: 基准零点选择、分级定位点计算、分级定位点编码等几个步骤。

1.1 初级基准零点的选择

为了能够在码流中实现重同步点的定位, 首先应选择相应的定位基准零点。本文选择一个图像片的最后一个编码字节作为初级基准零点 D_0 。一方面是由于该位置后紧跟着下一个图像片的标识码, 标准解码器可以很方便的识别定位; 另一方面, 这样的选择可以解决比特删除或比特添加等直接影响整体编码长度的误码问题。如果选择图像片起始位置作为初级基准零点, 因误码导致的实际编码长度变化将使其后的定位点计算出现错误, 而本文的选择则可以通过反向计算跳过这些误码比特, 实现精确的重同步定位。

* 收稿日期: 2004-09-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60202009); 天津市自然科学基金资助项目 (033600611)

作者简介: 苏育挺 (1972 年生), 男, 副教授; E-mail: ytsu@tju.edu.cn

1.2 定位点分级计算

由于信息隐藏能够提供的传递信息容量有限, 因此本文采用分级定位的方法, 首先传递一个 $1/2$ 定位点, 然后依次为 2 个 $1/4$ 定位点, 4 个 $1/8$ 定位点, 依次类推。实验统计表明, 随着图像内容的复杂度增加, 图像编码长度也相应增加, 与此同时信息隐藏可嵌入点数量也随之增加。因此, 采用这样的分级定位方式可以根据信息隐藏算法能够提供的实际传输能力逐渐增加重同步定位的精度, 从而降低各种随机误码对图像的影响范围, 这将有利于其后误码掩错的实现。具体计算方式如下:

(1) 计算图像片总编码长度 L_0 。

$$L_0 = \sum_{i=0}^{N-1} MB_i, i = 0, 1, 2, \cdots, N-1 \quad (1)$$

其中, MB_i 表示每个宏块编码长度, N 为一个图像片宏块数。

(2) 计算 $1/2$ 定位位置 $D_{1/2}$ 。

$$D_{1/2} = \sum_{i=k}^{N-1} MB_i, i = k, k+1, \cdots, N-1$$

其中

$$\sum_{i=k}^{N-1} MB_i \leq \frac{L_0}{2} < \sum_{i=k+1}^{N-1} MB_i \quad (2)$$

选择按照实际编码长度进行定位点计算是由于考虑到在 MPEG-2 编码过程中 P、B 帧可能出现不编码宏块 (跳过宏块), 若按照宏块数进行定位则可能无法找到定位点。同时, 这样的选择可以使得定位点在编码复杂区域定位精度高于平坦区域, 有利于降低误码对图像内容复杂区域的影响。

(3) 计算 $1/4$ 定位位置 $D_{1/4}, D_{3/4}$ 。以初级基准零点 D_0 和 $1/2$ 定位点 $D_{1/2}$ 为二级基准零点, 按照步骤 (2) 的方法分别计算两个子区域内的 $1/2$ 定位位置 $D_{1/4}, D_{3/4}$ 。

(4) 依次类推逐级计算其他不同精度定位位置, 最小定位精度能够达到一个编码宏块。在实际应用中, 信息隐藏的嵌入量是有限的, 同时大容量信息的嵌入也会影响重建图像的质量, 因此可以根据具体图像尺寸确定最小定位精度, 从而减少整体定位信息嵌入量。例如对于 CIF 格式图像, 选择 $1/8$ 定位精度就基本满足重同步要求。

1.3 定位信息的编码

定位信息编码的目的是为了能够以较少的数据量传递各级定位信息。首先, 由于各级定位点位置信息并非是整字节长度, 因此必须对定位点信息的字节和比特分别进行编码, 其中比特信息可采用 3 bit 定字长编码, 而字节信息则需考虑视频图像尺寸、图像内容、图像编码类型等诸多因素。本文采

用了一种自适应可调节编码算法实现定位信息的编码。

具体编码算法首先计算当前图像片 $1/2$ 定位点字节信息所需编码比特数 $B(1/2)$, 并传递 4 bit 定长码表示 $1/2$ 定位点字节信息编码长度, 然后传递 $1/2$ 定位点字节信息和比特信息编码, 其后各级定位点字节信息编码比特数逐级减 1, 逐级完成定位点信息的编码。

2 用于抗误码技术的后置视频信息隐藏算法

信息隐藏可以利用数字内嵌算法将特定的信息隐藏于其他媒体信息之中。将其引入到数字视频通信抗误码应用中, 则可以在现有的视频信道资源条件下, 创造一条用于传递特定信息的附加信道。

后置视频信息隐藏算法是在视频图像信息经过视频压缩编码器之后, 利用相应的码流分析对压缩后的码流数据进行部分解码, 然后通过适当调整压缩码流中的编码数据, 实现信息嵌入的隐藏算法。其特点在于它不需要进行完全解码和再编码过程, 实现对已压缩编码的数字视频媒体的信息嵌入; 同时它可以与视频编码器分离构造, 几乎不影响现有视频压缩编码系统的正常运行, 因此利用这类算法实现码流重同步信息的传递, 可以最大限度利用现有视频硬件资源。

本文采用了一种不改变编码码字长度的后置视频信息隐藏算法, 它是文献 [4] 的改进算法, 其不改变编码码流长度的特点使它不会影响整体码流控制机制和同步机制。算法针对 DCT 的 AC 系数编码的 VLC 码表, 选择若干对特定的 VLC 码字分别表示 “0” 和 “1”, 通过在视频码流中对应修改这些码字对实现信息嵌入。

能够实现信息嵌入的 VLC 码字对应符合以下 2 类选码规则:

第 1 类规则:

- (1) 2 个 VLC 码字应具有相同的码字长度;
- (2) 2 个 VLC 码字所对应的游程相同;
- (3) 2 个 VLC 码字所对应的量化后 DCT 系数幅度相差 1;

第 2 类规则:

- (1) 2 个 VLC 码字应具有相同的码字长度;
- (2) 2 个 VLC 码字所对应的量化后 DCT 系数幅度相同;
- (3) 2 个 VLC 码字所对应的游程差 1;
- (4) 调整的 VLC 码字必须是该 DCT 块最后一个非零中高频小幅 AC 系数。

第1类规则主要用于帧内编码图像(I帧),其实际上是引入一种轻微的量化噪声来实现信息嵌入;第2类规则VLC码字的选择主要针对编码序列中的帧间编码图像(P帧、B帧)而设计,在这两种帧间编码图像中帧差信号经DCT和量化后数据能量较小,能够符合第1类规则的DCT系数也较少,引入第2类嵌入方法将能够在较小的主客观失真条件下,适当增加帧间编码码流的信息嵌入量。实验测试和主观质量比较表明,该算法基本满足视频信息隐藏系统所要求的主观视觉不易察觉性,并能提供一定的信息传递容量。以测试序列Football为例,I、P帧约80%的图像片均能够提供约1/8定位精度所需传递容量,而B帧约有65%左右的图像片能够满足。

3 视频重同步系统的实现

视频重同步信息嵌入系统构造如图1所示。已编码的视频压缩码流数据,首先经过重同步信息统计编码器完成对码流分析,获取相应重同步定位信息,然后进入视频信息嵌入器实现信息隐藏嵌入。由于嵌入算法采用不改变编码码流长度的设计思想,因此增加了定位信息嵌入的灵活性。本文采用一种异步超前嵌入策略,即将当前图像片 N_i 的重同步定位信息嵌入到上一个图像片 N_{i-1} 的压缩码流数据中。这种异步方式是为了避免重同步定位信息与图像压缩数据同时遭受误码的影响而无法进行重建;而超前嵌入虽然可能在嵌入器中引入一定的延时,但它将有利于解码端更为有效的建立重同步定位信息,实现误码条件下的快速重同步。

在视频解码端,解码器正常解码的同时,隐藏信息提取器也在提取相应的重同步信息,并构造下一个图像片的重同步定位体系,一旦视频误码检测系统检测到下一个图像片出现误码,并导致解码器无法正常解码时,解码器可以自动利用已构造的该图像片的重同步定位信息,寻找最近的重同步定位点,使视频解码器跳转到相应的码流位置,并完成相应的解码器初始化工作,开始重新进行正常解码。

4 实验模拟和分析

本文实验测试是建立在标准MPEG2测试模型(TM5)的基础上,利用多个标准视频序列进行信道误码模拟和误码控制测试。通过比较信息隐藏前后的重建图像峰值信噪比(如表1所示)可以看出,本文提出的信息隐藏算法不会对重建图像质量带来可感知的损失。图2(a)为标准重建视频图

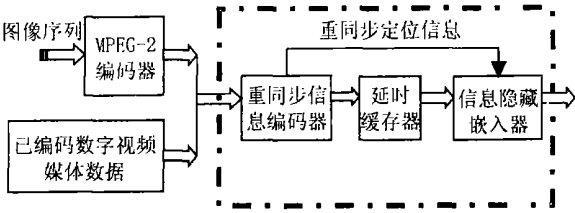


图1 视频重同步信息嵌入系统框图
Fig 1 The data embedding system of video resynchronization

像;图2(b)是因误码导致部分图像信息丢失的重建视频图像;图2(c)则是采用本文算法后进行误码控制后的结果;图2(d)是在本算法基础上引入误码掩错算法后的重建图像。

通过实验模拟分析可以看出,本文将信息隐藏技术引入到视频重同步算法中,构造了一种新的视频通信抗误码技术。视频解码系统可以利用信息隐藏信道传递的重同步信息,将随机比特误码等形式的误码对整体图像质量的损失限制在一个较小的范围之内,这将为其后系统引入的误码掩错算法^[3]提供便利条件。

表1 信息隐藏前后重建图像平均峰值信噪比

Tab 1 Average PSNR of reconstructed frames			
图像类型	测试序列	正常编码重建图像平均峰值信噪比/	信息隐藏后的重建图像平均峰值信噪比/
		dB	dB
I 帧	Football	34.873	34.844
	Tennis	35.351	35.291
P 帧	Football	34.674	34.622
	Tennis	36.545	36.486
B 帧	Football	32.961	32.892
	Tennis	35.515	35.445

参考文献:

[1] WANG Y, ZHU Q F. Error control and concealment for video communication: A review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5): 974-998.
[2] LEI S M, SUN M T. An entropy coding system for digital HDTV applications[J]. IEEE Trans CSVT, 1991, 1: 147-154.
[3] ISO/IEC CD 13818-2: Coding of moving pictures and associated audio-Part 2: video, 1994.
[4] LANGELAAR G C, LAGENDIJK R L, BIEMOND J. Real-time labeling methods for MPEG compressed video[C]. Proc 18th Symp Information Theory, 1997.
[5] ARNOLD J F, FRATER M R, ZHANG J. Error resilience in the MPEG-2 video coding standard for cell based networks—A review [J]. Signal Processing: Image Communication, 1999, 14: 607-633.



图 2 各种条件下视频重建图像比较

Fig 2 Comparison of reconstructed images in different condition

A Video Resynchronization Algorithm Based on Information Hiding

SU Yu ting, ZHANG Chun tian

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A new video resynchronization control algorithm in video communication is proposed. Some information about synchronization are transmitted by the information hiding techniques, according to the actual embedding capacity, decoder can be re-synchronized with the variable precision in a slice. It can reduce the influence caused by some kinds of random bit errors in the decoding process, and provide the favorable conditions for the error concealment.

Key words: error control; resynchronization; information Hiding