

自适应时域差错掩盖方法

马鑫 杨小康 宋利

(上海交通大学图像通信与信息处理研究所, 上海 200240)

(上海交通大学上海市数字媒体处理与传输重点实验室, 上海 200240)

摘要 差错掩盖作为视频传输中的重要技术之一,可以有效地弥补视频在传输过程中,因为传输环境等原因造成的数据丢失及数据错误,最大程度地保证视频在到达接收端后可以保持令人满意的质量。通过提出一种可应用于基于块编码系统的自适应时域差错掩盖方法,同时估计丢失宏块的运动及丢失宏块中的像素运动,并根据每个像素的不同情况,自适应地将两个估计的运动结合,获得最终的像素恢复值。实验结果表明,该方法相比原有方法,在主观和客观质量上都有较大的提高。

关键词 视频传输 差错掩盖

中图分类号: TN943 TN941 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)10-1782-04

An Adaptive Temporal Error Concealment Technique

MA Xin, YANG Xiao-kang, SONG Li

(Institute of Image Communication and Information Processing, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

(Shanghai Key Laboratory of Digital Media Processing and Transmissions, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

Abstract The error concealment technique can efficiently compensate the data loss and the data errors in the transmission process caused by the transmission environment, thus improve the quality of the video received. In this paper, we propose a novel adaptive temporal error concealment technique. To conceal a lost block, we estimate both the motion of the whole block and the motion of every pixel in the block, and then adaptively combine the two estimated motion to obtain the recovery value of the missing pixel according to the status of a missing pixel in this block. Experimental results show the proposed method is significantly better than the existing techniques in terms of both subjective and objective quality.

Keywords video transmission, error concealment

1 引言

随着视频编码技术的不断发展,视频编码的效率逐步提高,使得高质量的视频可以在各种不同的信道中进行传输。然而,由于传输环境的多变性及不稳定性,传输内容会在传输的过程中出错甚至丢失,这个问题随着编码效率的提高而变得越发严重,因为编码效率提高的同时进一步增加了码字间的相关度。

差错掩盖技术作为视频传输相关技术中比较重要的技术之一,可以很好地恢复由于传输环境的问题造成的视频数据丢失、错误而引起的视频内容质量的下降。通常差错掩盖技术可以分为两个方面,

空域差错掩盖和时域差错掩盖。这两种技术分别应用于视频丢失信息在空域上的周边信息及视频丢失信息在时域上的周边信息对丢失的信息进行恢复。其中,由于视频大量地使用了运动估计的技术,因此时域差错掩盖通常能够获得更好的效果。

时域差错掩盖的基本思路是通过恢复丢失块的运动信息,从而进一步地由运动信息来恢复出整个块的像素信息。其中边界匹配算法(BMA)^[1]和解码端运动估计(DMVE)^[2]是有代表性的两种恢复运动信息的匹配算法,Ai-mualla等人提出了基于用周边运动进行线性插值或多项式运算而恢复块内的运动信息的方法^[3],此外Chen等人引入了编码端的OBMC(overlapped block motion compensation)思想用

基金项目:国家自然科学基金项目(60332030,60502034);上海市青年科技启明星计划项目(05QMX1435)

收稿日期:2007-07-05;改回日期:2007-07-25

第一作者简介:马鑫(1983~),男,现为上海交通大学通信与信息系统专业硕士研究生。主要研究领域为视频编解码及传输与视频抗错性研究。E-mail: milanblood@yahoo.com.cn

于运动信息的恢复^[4]。

本文在已有的这些研究成果上,特别是 DMVE 的基础上,提出一种自适应时域差错掩盖新方法,充分利用每个像素点特性,自适应地将像素运动与宏块的整体运动相结合,从而获得更好的掩盖结果。

2 自适应时域差错掩盖算法描述

当前,在实际应用中最为广泛的、也相对比较有效的 BMA 和 DMVE,基本都是基于整个丢失宏块来恢复运动信息,但在运动复杂区域,不能取得很好的效果。本文利用宏块整体运动信息与宏块内部像素点运动的结合,从而更好地提高时域差错掩盖的效果。

2.1 宏块整体运动与像素点运动的估计

DMVE 作为一种有效的时域差错掩盖方法,可以很好地恢复出某一丢失宏块的运动信息。视频中丢失块的运动总会和周边的一个或几个宏块的运动有一致性,DMVE 就利用丢失宏块的周边可获得的像素去参考帧中进行搜索,得到与这些像素最匹配的结果,并记录下这个最佳匹配所对应的运动信息,包括运动矢量及参考帧索引(如图 1 所示)。这样,基于运动的一致性,可以认为此运动信息为丢失宏块运动信息的恢复,并利用恢复的运动信息恢复出整个宏块的像素值。其中最佳匹配是根据计算当前宏块的周围像素值与相应的替换宏块周围的像素值的平均绝对值误差(MAD)来确定,如式(1)所示:

$$MAD = \frac{1}{N} \sum_{(i,j) \in \Omega} |F_{i,j} - F'_{i+v_x, j+v_y}| \quad (1)$$

式中, Ω 为图 1 中给出的所有可获得的边界点集合, (i, j) 为像素在一帧视频中的位置, $F_{i,j}$ 为当前帧中丢失宏块周围可获得像素点的值, (v_x, v_y) 为当前考虑的可能运动矢量, $F'_{i+v_x, j+v_y}$ 为参考帧中的像素值, N 为总的可获得的边界点的个数。在可能的运动集合中进行匹配,最小的 MAD 被认为是最佳的匹配。其中,

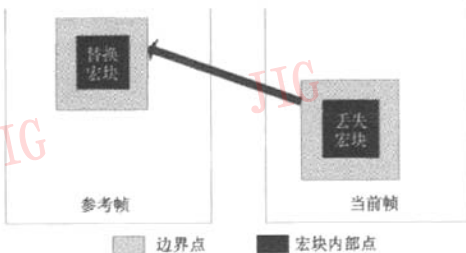


图 1 DMVE 示意图

Fig. 1 Illustration of the DMVE method

对于可能的运动集合的选择,根据实际需要,可以进行适当的调整,比如定义一个运动的搜索范围,或者只考虑宏块周围的相邻块的运动为可能的运动集合。

由于宏块周围的像素本身并不能保证处于一致的运动,因此以这些像素进行匹配得到的运动估计,很可能对于宏块中的某些像素是不准确的。同样,鉴于新的视频标准如 H. 264 的发展,宏块已经可以最小划分到 4×4 大小进行运动估计,可以保证当宏块内部像素存在多个不同运动时,更好地提高编码效率,因此在利用运动信息对宏块在时间域进行差错掩盖时,如果对宏块内的所有像素都使用同一种运动信息进行恢复,如同 DMVE,那么在很多时候,运动复杂区域就不能获得比较好的结果。

本文以 DMVE 为基础,提出一种自适应的基于像素的时域差错掩盖方法。

首先,将利用 DMVE 估计获得的运动信息作为整个宏块的运动;然后在此基础上再根据估计获得的每个像素点的具体运动情况,分别进行自适应的差错掩盖。

为估计获得一个丢失宏块中一个具体像素点的可能运动,给出了一种解码端像素运动估计(DPMVE)方法,利用丢失宏块周边像素去可能的区域找寻最佳的匹配,但与 DMVE 使用 MAD 作为匹配准则不同的地方在于,其匹配准则是针对像素的,对于丢失宏块中的一个像素而言,离它越近的周边像素点的匹配情况对估计其运动的影响也就越大,简而言之,即像素距离越近,那么运动一致性的可能性越大。因此在估计像素的运动时,使用一种基于距离的平均像素绝对误差(DMAD),将每个周边像素与当前被预测的像素点的距离考虑到平均像素绝对误差的计算中。如式(2)所示:

$$DMAD = \frac{\sum_{(i,j) \in \Omega} \frac{1}{d_{[(i,j),(m,n)]}} |F_{i,j} - F'_{i+v_x, j+v_y}|}{\sum_{(i,j) \in \Omega} \frac{1}{d_{[(i,j),(m,n)]}}} \quad (2)$$

式中, (m, n) 为当前被估计的丢失宏块中的像素点的坐标, $d_{[(i,j),(m,n)]}$ 表示边界点 (i, j) 到当前点 (m, n) 的距离。所有可能的运动中对应最小的 DMAD 值的运动被认为是此像素点运动的估计。由于充分考虑了不同位置的点之间运动的相关性,DPMVE 保证了每一个像素通过估计得到的运动的准确性。DMAD 计算的示意图如图 2 所示。

2.2 像素点的自适应差错掩盖

丢失宏块中的每个像素点 (m, n) 都可以通过

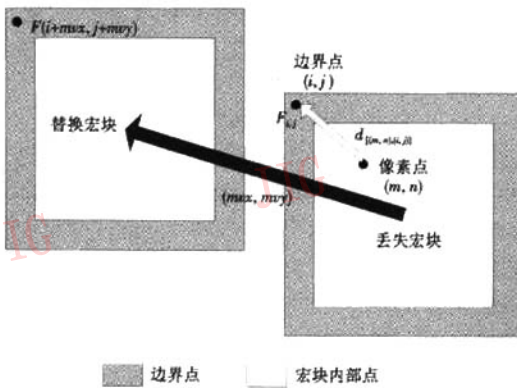


图 2 DMAD 计算示意图

Fig. 2 Illustration of the DMAD counting

DPMVE 得到一个估计获得的最优运动信息,由此运动信息计算得到 DMAD 值,记为 $\hat{D}_{m,n}$ 。为将每个像素的运动与宏块的整体运动结合获得最优的掩盖效果,使用这两个运动所对应的 DMAD 值作为判断这两个估计运动的准确性的依据,其中,每个像素点用 DMVE 所获得的整体运动信息,计算相应的 DMAD 值,记为 $\tilde{D}_{m,n}$ 。这样,对于宏块中的每一个像素而言,都有一个基于像素的估计获得的运动所计算得到的 $\hat{D}_{m,n}$,及一个基于估计获得的整体运动所计算得到的 $\tilde{D}_{m,n}$,利用这两个 DMAD 值将每个像素所分别对应的两个运动所指向的两个预测像素值进行加权平均,获得最终每个像素的预测值,即 DMAD 值越小的运动,在掩盖中的贡献越大,如式(3)所示:

$$F_{m,n} = \frac{\frac{1}{\tilde{D}_{m,n}} \hat{F}_{m+\hat{v}_x, n+\hat{v}_y} + \frac{1}{\hat{D}_{m,n}} \tilde{F}_{m+\tilde{v}_x, n+\tilde{v}_y}}{\frac{1}{\tilde{D}_{m,n}} + \frac{1}{\hat{D}_{m,n}}} \quad (3)$$

式中, $F_{m,n}$ 为像素点 (m, n) 的恢复值, (\hat{v}_x, \hat{v}_y) 及 $\hat{F}_{m+\hat{v}_x, n+\hat{v}_y}$ 为 DMVE 获得的宏块整体的运动矢量及其指向的对应的预测像素, $(\tilde{v}_x, \tilde{v}_y)$ 及 $\tilde{F}_{m+\tilde{v}_x, n+\tilde{v}_y}$ 为用 DPMVE 获得的当前丢失像素点的运动矢量及其指向的对应预测像素。

此外,为进一步提高 DMVE 及本文的算法,可以对丢失宏块周边的像素根据不同的情况在计算 MAD 和 DMAD 时,给予不同的权重,即周边的点是原始正常解码的,还是经过差错掩盖的,其对差错掩盖的贡献应该有所区别,经过反复的测试,当正常解码周边像素给予权重 1,而差错掩盖后的周边像素

点给予权重 1/3,可以获得比较好的掩盖效果。

这样, MAD 和 DMAD 的计算公式可修正为

$$MAD = \frac{1}{\sum w_{i,j}} \left(\sum_{(i,j) \in \Omega} w_{i,j} |F_{i,j} - F'_{i+\hat{v}_x, j+\hat{v}_y}| \right) \quad (4)$$

$$DMAD = \frac{\sum_{(i,j) \in \Omega} \frac{1}{d_{[(i,j),(m,n)]}} w_{i,j} |F_{i,j} - F'_{i+\hat{v}_x, j+\hat{v}_y}|}{\sum_{(i,j) \in \Omega} \frac{1}{d_{[(i,j),(m,n)]}} w_{i,j}} \quad (5)$$

式中, $w_{i,j}$ 代表像素点 (i, j) 的权重:

$$w_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{if } (i, j) \text{ is good} \\ 1/3 & \text{if } (i, j) \text{ is concealed} \end{cases} \quad (6)$$

3 实验结果及分析

为验证本文算法的效果,测试了多个 CIF 格式 (352×288) , 帧率为 25fps/s 的序列,其中包括 Foreman, Bus, Football, Mobile, Children 等序列。对每个序列,使用 H. 264 的参考软件 JM10.2 进行编码,其中每 16 帧设为一个 GOP (group of pictures), 编码结构为 IPPP 结构。序列中,每隔 5 帧加错,使其出现连续宏块丢失,其中,每隔 3 行宏块,即有连续的 18 个宏块丢失,如图 4(a) 所示。为测试算法在时域差错掩盖中的效果,不在 I 帧中加错。作为比较,同时测试了在相同出错情况下, BMA 与 DMVE 的掩盖结果,作为与本文算法相比较的参考,其中为了测试掩盖的效果,序列掩盖后的平均峰值信噪比 (PSNR) 只在本身出错及受到其他帧错误影响的帧上进行计算,并且在进行 DMVE 和 DPMVE 时,考虑到实际应用中解码所需要的实时性,只选取宏块周围一像素宽的边界作匹配之用,并在可能的运动集合选取上,根据前文所提的运动一致性,只取与丢失宏块所相邻的 4×4 块的运动为可能的运动集合,然后在这个集合中进行运动估计。所有算法都在 JM10.2 上进行实现。表 1 给出了 3 种方法对各参考序列掩盖后的 PSNR 值,由表 1 可以看出,本文算法相比 BMA 和 DMVE 有更好的掩盖效果。同时当序列中出现比较大或者比较复杂的运动时,如 Football, Bus, Children 等序列,本文的方法相对其他方法有相当大的优势,这也验证了本文方法针对像素点进行掩盖在运动复杂区域所具备的精确性。图 3 给出了 Bus 序列在各种掩盖方法下的 PSNR 曲线,可以看出,本文方法在所有加了错的帧及受到错误影响帧的峰值信噪比 (PSNR) 值均大于其他的方

法,而非只在某些帧上表现突出,体现出了整体上的优势。图 4 和图 5 给出了各种方法在主观质量上的比较,可以看出,在主观质量上,本文方法有较好的

表 1 不同差错掩盖方法的 PSNR 比较

Tab.1 The comparison of the PSNR results from different error concealment methods

序列	Bus	Foreman	Football	Mobile	Tempete	Chiledren
无掩盖	14.71	9.69	13.09	10.41	16.54	12.60
BMA	27.58	33.09	26.39	27.04	30.72	28.59
DMVE	29.74	34.74	25.98	30.33	31.97	29.46
本文算法	30.40	34.88	27.34	30.58	32.18	30.12

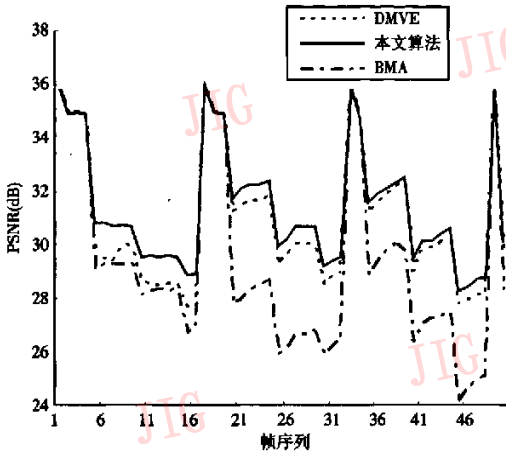


图 3 BUS 序列掩盖结果比较

Fig.3 The comparison of different error concealment results in BUS sequence

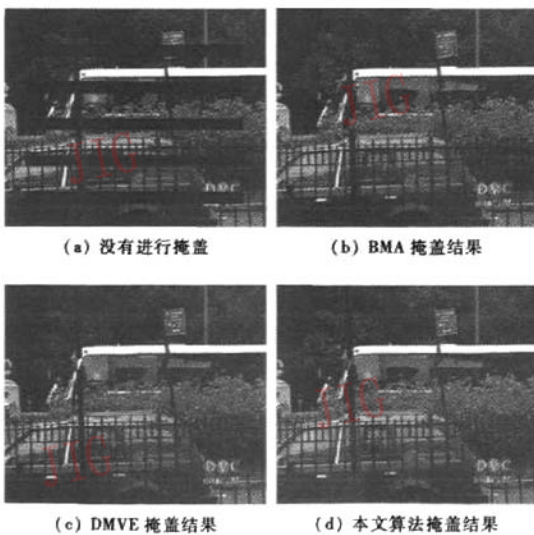


图 4 BUS 序列第 4 帧

Fig.4 The 4th frame in BUS sequence



(a) BMA 掩盖结果 (b) DMVE 掩盖结果 (c) 本文算法掩盖结果

图 5 BUS 序列第 4 帧局部区域掩盖比较

Fig.5 The comparison of the results from different methods in the 4th frame in BUS

提高。为降低算法的复杂度,在实际应用中,可以将算法中基于像素的运动估计调整为基于 2×2 小块,甚至 4×4 小块的运动估计。

4 结 论

差错掩盖的结果直接影响到视频接收端最终获得的视频质量,本文针对现有常用的有效时域差错掩盖方法进行了分析,指出其主要思想基于宏块而非像素,限制了差错掩盖结果的精确性,并进一步地提出了一种全新的基于像素的自适应时域差错掩盖技术,实验结果表明,这种技术获得了比较好的结果,可以在某种程度上弥补现有技术的一些不足之处。

参考文献 (References)

- 1 Wang Y K, Hannuksela M M, Varas V. The error concealment feature in the H. 26L test model [A]. In: Proceeding of the International Conference on Image Processing [C], Rochester, NY, USA, 2002; 729 ~ 732.
- 2 Zhang J, Arnold J F, Frater M R. A cell-loss concealment technique for MPEG-2 coded video [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(7): 659 ~ 665.
- 3 Al-Mualla M E, Canagarajah N, Bull D R. Error concealment using motion field interpolation [A]. In: Proceeding of the International Conference on Image Processing [C], Chicago, Illinois, USA, 1998: 512 ~ 516.
- 4 Chen M J, Chen L C, Weng R M. Error concealment of lost motion vectors with overlapped motion compensation [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1997, 7(3): 560 ~ 563.