

视频差错掩盖的两步多权值边框匹配算法

杨天武 彭强 诸昌钤

(西南交通大学计算机与通信工程学院, 成都 610031)

摘要 为了克服视频传输中因视频传输差错引起的视频质量下降, 提出了一种视频差错掩盖的两步多权值边框匹配算法。该算法充分利用了受损宏块周围的宏块信息来估算受损宏块的运动向量, 并首先通过预掩盖受损宏块, 使视频图像质量初步改善; 然后在此基础上利用两步多权值边框匹配算法评估受损宏块的候选运动向量; 最后用产生最小边界匹配差值的候选运动向量的运动补偿块来替代受损宏块, 以进一步改善图像质量。这样就基本上克服了边界匹配算法在物体边界对运动向量估算不准确以及大量连续 GOB 或整帧丢失时, 掩盖效果较差甚至无法掩盖等不足。通过基于 H. 263+ 和 Internet 的仿真实验表明: 该算法不仅能有效地抑制视频差错扩散, 并能取得满意的差错掩盖效果。

关键词 视频传输 差错掩盖 运动向量恢复 H. 263+

中图分类号: TN941.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2004)05-0636-05

A Two-Step Multi-Weighted Boundary-Matching Algorithm for Video Error Concealment

YANG Tian-wu, PENG Qiang, ZHU Chang-qian

(School of Computer & Communication Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031)

Abstract Compressed video is vulnerable to transmission errors when transmitted over unreliable channels. In this paper, a two-step multi-weighted boundary-matching algorithm (TMBMA) for video error concealment is proposed to combat the transmission errors. With this algorithm, the motion vector (MV) of damaged block can be estimated by making full use of information of blocks around the damaged one. A pre-concealment is implemented to improve video frame quality to some degree and then the multi-weighted boundary-matching algorithm is used to evaluate every MV candidate of the damaged block. The MV candidate giving the minimum boundary-matching differences is selected to conceal the damaged block and video frame quality can be improved further. The disadvantages of side matching algorithm (SMA), such as incorrect MB displacement at object border and poor performance when one entire frame or plenty of consecutive GOBs are lost, are overcome with this algorithm. It is proved by H. 263+ simulation results that satisfactory concealment performance can be achieved by effectively controlling the propagation of video errors.

Keywords video transmission, error concealment, motion vector recovery, H. 263+

1 引言

视频流在易受干扰的网络中传输时, 可能会导致数据传输出错或丢失, 由于大多数视频编码标准采用了运动补偿技术, 使得视频差错在时间和空间上迅速扩散, 因而导致视频质量恶化。差错掩盖不但能有效地改善这种视频恶化^[1], 而且与其他差错恢

复技术相比, 由于具有不增加视频传输负担、无需改变视频编码器以及不会带来时间延迟等特点, 因此特别适合视频的实时传输。

差错掩盖可从时域和空域进行。当受损区域为帧间编码时, 主要采用时域替代算法 (temporal replacement algorithm, TRA), 即通过恢复受损宏块的运动信息来实现掩盖。这种时域替代算法由“运动向量 (motion vector, MV) 估算”和“补偿替代”两

基金项目: 铁道部科技研究开发项目 (2003X040-A); 西南交通大学科学基金项目 (2002A04)

收稿日期: 2003-06-09; 改回日期: 2003-12-16

步组成。运动向量估算的经典算法——边界匹配算法(side matching algorithm, SMA)^[2],虽能较好地恢复受损宏块的运动向量,但在物体边界上会产生不正确的运动向量替代问题;同时,当整帧或大量连续 GOB(group of blocks)丢失时,则无法掩盖或效果较差。目前,基于 IP 的视频传输已广泛应用^[3],由于通常采用 IP/UDP/RTP 传输视频流,其 IP 包丢失率可达 20%,甚至更高^[4],因此对整帧或大量连续 GOB 丢失的掩盖就很重要,而本文提出的两步多权值边界匹配算法,则较好地解决了这些问题。

2 边界匹配算法

基于宏块运动补偿的差错掩盖是首先确定受损宏块的候选运动向量集;再依据边界平滑的原则,选取该集合中产生最小边界匹配差值(side matching differences, SMDs)的运动向量作为受损宏块的运动向量进行“补偿替代”。

假设第 n 帧的某宏块受损, f_n 表示第 n 帧, $m_n(x, y)$ 表示受损宏块, (x, y) 表示该宏块左上角坐标, $C_{m_n(x, y)}$ 表示 $m_n(x, y)$ 的候选运动向量集, $d_{m_n(x, y)}$ 表示 $C_{m_n(x, y)}$ 中的运动向量, 则 $m_n(x, y)$ 的边界匹配最佳运动向量, 即产生边界匹配差值最小的运动向量定义为

$$d_{m_n(x, y)} = \arg \min_{d_{m_n(x, y)} \in C_{m_n(x, y)}} (D_U + D_L + D_D + D_R) \quad (1)$$

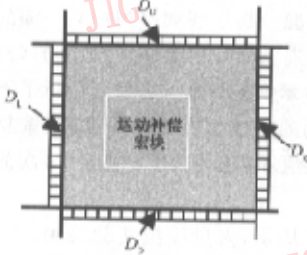


图 1 边界匹配算法示意图

其中,下角 U 代表上, D 代表下, L 代表左, R 代表右, D_U, D_D, D_L, D_R 为各边的边界匹配差值,其定义如下:

$$D_U = \sum_{i=0}^{15} [\hat{f}_n(x+i, y) + f_n(x+i, y-1)]^2$$

$$D_L = \sum_{i=0}^{15} [\hat{f}_n(x, y+i) - f_n(x-1, y+i)]^2$$

$$D_D = \sum_{i=0}^{15} [\hat{f}_n(x+i, y+15) - f_n(x+i, y+16)]^2$$

$$D_R = \sum_{i=0}^{15} [\hat{f}_n(x+15, y+i) - f_n(x+16, y+i)]^2$$

其中, $\hat{f}_n(x, y) = f_{n-1}(x+d_{m_n(x, y)}^{(x)}, y+d_{m_n(x, y)}^{(y)})$, 即像素 $f_n(x, y)$ 的运动补偿值。

SMA 虽能较好地恢复受损宏块的运动向量,但在宏块边界处的系数剧烈变化时,例如在物体边界,却会导致边界匹配掩盖效果不佳。如图 2 所示,由于白色背景下的灰色三角形边界像素点的亮度值,在宏块边界上系数值差异很大,因此使得正确的运动向量产生很大的边界匹配差值。

218	219	188	98	67	168
219	179	103	68	66	86

图 2 宏块边界亮度值在物体边界的巨变

当一个 GOB 出错时(图 3), SMA 算法是按从左向右顺序掩盖受损宏块,当估算受损宏块 E 的运动向量时,由于 B, I 为正确解码的宏块, D 为正确掩盖的宏块, F 为尚未掩盖的宏块,因此用式(1)计算边界匹配差值时,只能计算 D_U, D_D 和 D_L , 而 D_R 则无法利用,同时 SMA 算法未考虑各宏块正确性的不同。



图 3 一个 GOD 和 5 个连续 GOB 丢失情况示意图

当 5 个连续 GOB 出错时(图 3),边界匹配按从左向右和从上到下顺序掩盖受损宏块,当估算宏块 E 的运动向量时,宏块 B, D 的运动向量是经多次估算才得到的,已不很准确,而宏块 F, I 尚未掩盖。此时计算 SMA 算法的边界匹配差值,由于只能利用 D_U 和 D_L , 而 D_D 和 D_R 则无法利用,从而导致 E 的运动向量估算值不太准确;同时在整帧受损时,差错也无法用边界匹配算法来掩盖,通常只能采取简单的时域替代算法,即用前一帧数据来替代当前丢失的数据。

3 两步多权值边框匹配算法

为解决边界匹配算法的不足,本文提出了两步多权值边框匹配算法(two step multi-weighted

boundary-matching algorithm, TMBMA), 即首先对受损帧进行预掩盖, 以初步改善受损帧的图像效果; 然后, 在此基础上, 充分考虑受损宏块周围宏块的准确程度, 再进行多权值边框匹配, 并在多个连续 GOB 丢失时, 改变掩盖顺序, 用预掩盖效果较好的宏块进一步掩盖预掩盖效果较差的宏块, 这样就可取得很好的掩盖效果。算法步骤如下:

第 1 步, 预掩盖。对每一个受损宏块先进行一次简单地“运动向量估算”和“补偿替代”。如图 3 所示, 受损宏块 E 基本上保持了前一帧上与其位置相同的宏块 E_{ref} 的运动趋势, 并与其上方和下方的宏块 B 和 I 相关。考虑到 E_{ref} 可能运动到 E 的边缘, 而 B 、 I 可能是图像边界或物体边界, 因此需进行预掩盖, 预掩盖“运动向量估算”方法如下:

- (1) 如果 E_{ref} 的运动向量在 x 和 y 方向的运动均不超过 8 个像素, 则 E 的运动向量估计值为 E_{ref} 的运动向量值;
- (2) 否则, 如果 B 正确, 且不为图像边界宏块, 则 E 的运动向量估计值为 B 的运动向量值;
- (3) 否则, 如果 I 正确, 且不为图像边界宏块, 则 E 的运动向量估计值即为 I 的运动向量值;
- (4) 否则, E 的运动向量的估计值为 E_{ref} 的运动向量值。

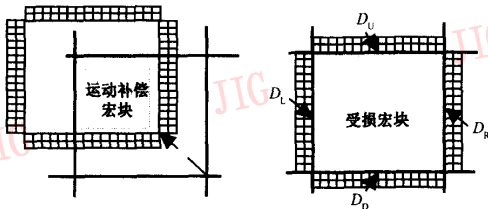


图 4 边框匹配算法

第 2 步, 多权值边框匹配, 即将运动补偿宏块外围扩大 1 到 N 个像素, 然后判断边框与受损块边框是否一致(称为: 边框匹配)。另外, 若充分考虑受损宏块周围的宏块的正确性, 则产生边界匹配差值最小的运动向量定义如下:

$$\hat{d}_{m_n(x,y)} = \arg \min_{d_{m_n(x,y)} \in C_{m_n(x,y)}} (W_U D_U + W_L D_L + W_D D_D + W_R D_R) \quad (2)$$

这里 W_U 、 W_L 、 W_D 、 W_R 为各边的边界匹配差值的权值, 对正确的宏块、正确估算得到的宏块和预掩盖后的宏块分别给予不同的权值, 并记为 W_c 、 W_e 和 W_p 。其中 D_U 定义如下:

$$D_U = \sum_{j=1}^N \sum_{i=0}^{15} [\hat{f}_n(x+i, y-j) - f_n(x+i, y-j)]^2$$

D_L 、 D_D 、 D_R 按与 D_U 相似的计算方法得出。

当有两个以上连续 GOB 出错时, 则对出错区域内的宏块按如下顺序进行掩盖: 首先计算各受损宏块的边界匹配差值 $SMDs$, 然后排序, 最后按边界匹配差值 $SMDs$ 递增顺序对受损宏块进行掩盖。其目的是尽量利用预处理中的运动向量估算比较正确的宏块来重新估算预处理中运动向量估算误差较大的宏块。

4 模拟实验及讨论分析

模拟实验采用 ITU-T 视频编码标准 H. 263+^[5] 的测试模型 TMN8^[6], 通过对帧频为 30 帧/s 的 QCIF 视频测试序列, 其他参数缺省编码来模拟视频在 Internet 环境中的传输情况, 同时采用 GOB 交织(interleaved)封装策略^[4], 即对每帧视频流的奇数、偶数 GOB 分开打包, 并且在数据包外层再封装 RFC2429 RTP (real-time transport protocol) 协议^[7]。这样, 由于在丢失一个包的情况下, 仍然有可能根据上下 GOB 数据对丢失的 GOB 进行掩盖恢复, 因此有较高的传输效率和健壮性。受损宏块的候选运动向量集取当前帧中受损宏块周围的宏块及其参考帧中与受损宏块位置相同的宏块和它周围的宏块, 共计 15 个宏块的运动向量。

模拟实验分析了视频序列中某一帧的奇数或偶数 GOB 丢失情况, 并用亮度分量的峰值信噪比 $PSNR$ 来表示恢复性能。另外还分析了不同丢包率对视频序列的峰值信噪比影响, 实验重复 30 次, 然后去掉最大值和最小值, 计算其余 28 次的峰值信噪比平均值。

如表 1 所示, 大量模拟实验表明, 当 W_c 、 W_e 和 W_p 分别取 1、1/4 和 1/8 时, 效果比较理想; 当 W_c 、 W_e 和 W_p 分别取 1、1 和 0 时, 峰值信噪比值最低。

从表 2 分析可见, 随着边框匹配边框像素点宽度增加, 即边框加宽时, 一般会使峰值信噪比值增加, 图像质量虽有所改善, 但是计算复杂度也成倍增加。同时, 经大量实验证实, 由于外扩像素点超过 3 时, 随外扩像素点增加, 峰值信噪比值改善不明显, 甚至有所下降, 因此, 在实时视频传输中, 可根据资源情况, 外扩 1 到 3 个像素就足够。本文其他实验采用外扩 1 个像素。

表 1 W_c, W_s 和 W_p 的不同取值对 PSNR 的影响

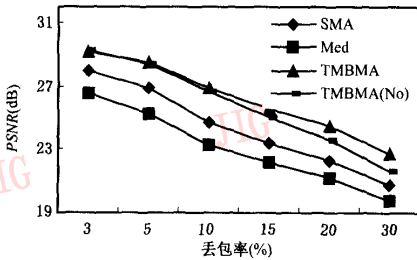
(W_c, W_s, W_p)	Foreman 视频序列	Suzie 视频序列
(1, 1, 1)	24.748	27.101
(1, 1, 1/4)	24.586	26.783
(1, 1/2, 1/4)	24.914	27.192
(1, 1/2, 1/8)	24.895	27.096
(1, 1/4, 1/8)	25.061	27.428
(1, 1, 0)	24.466	26.436

注:表中数据是 15%丢包率下的未进行整帧掩盖的两步多权值边框匹配算法的 PSNR

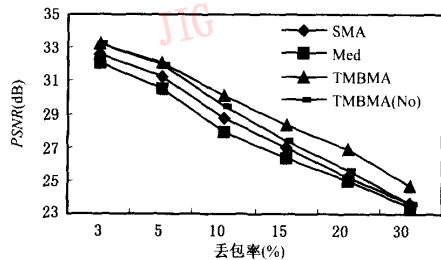
表 2 两步多权值边框匹配算法边框像素点宽度 N 值对 PSNR 的影响

N	1	2	3	4
Foreman 视频序列	25.586	25.639	25.649	25.671
Suzie 视频序列	28.318	28.335	28.404	28.399

注:表中数据是 15%丢包率下的多权值边框匹配算法的 PSNR

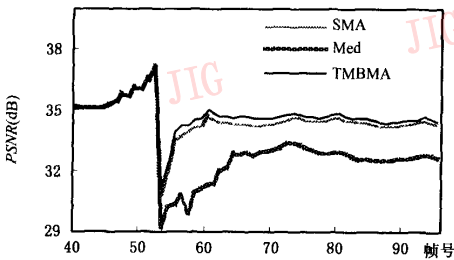


(a) Foreman 视频序列

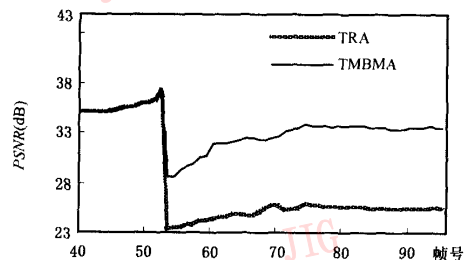


(b) Suzie 视频序列

图 5 不同丢包率情况下各种掩盖算法性能比较



(a) 奇数帧丢失

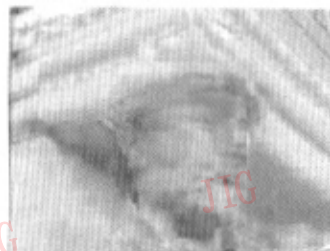


(b) 整帧丢失

图 6 “Suzie”在 53 帧奇数 GOB、整帧丢失时各种掩盖算法性能比较



(a) 两步多权值边框匹配算法掩盖效果



(b) 边界匹配算法掩盖效果

图 7 Foreman 在 30% 的丢包率时,扩散到第 56 帧时不同差错掩盖的掩盖效果

从图 5 和图 6 分析可见,在不同丢包率下,对 Foreman 视频序列,SMA 算法比 Med 算法(H. 263 标准中取中值的算法)有明显的改善,峰值信噪比高出 1dB 以上。本文提出的 TMBMA 算法相对 SMA 算法又有明显的改善,在不进行整帧处理时(TMBMA(No)算法)比 SMA 算法的 PSNR 高出 1~2dB,而在进行整帧处理后,则平均高出了 2dB 多。对 Suzie 视频序列,其处理结果一致。

如图 7 所示,“Foreman”视频序列在 30%的丢包率时,TMBMA 算法具有相对较好的掩盖效果,如图中背景图案线条、脸部轮廓、安全帽等都较清晰;而用 SMA 算法掩盖的图像,则色彩混杂严重、线条模糊、图像质量较差。



(a) 时域替代掩盖算法掩盖效果



(b) 两步多权值边框匹配算法掩盖效果

图8 “Suzie”在第53帧整帧丢失时,扩散到第58帧时不同差错掩盖的掩盖效果

在整帧丢失时,边界匹配算法只能用时域替代算法取代。如图8所示,当“Suzie”在第53帧整帧丢失扩散到第58帧时,时域替代算法对图像上的电话、嘴唇、头发等部位掩盖很差,而两步多权值边框匹配算法则掩盖比较好。

5 结论

尽管边界匹配算法在大多数情况下对运动向量的估算是有效的,但在物体边界上却可能导致运动向量估算不理想。在大量连续GOB或整帧丢失时,由于掩盖效果不好或无法掩盖,而使得视频质量迅速下降。本文提出的两步多权值边框匹配算法,因充分利用了各类宏块的运动信息,从而克服了边界匹配在物体边界运动向量估算不准的缺点,又因改进了边界匹配的估算过程,即采用了两步处理办法,从而较好地解决了大量连续GOB或整帧丢失时的运动估计问题,也使得图像质量有了大幅度的提高。

参考文献

- 1 WANG Yao, Zhu Q F. Error control and concealment for video communication: A review[J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5):974~997.
- 2 Lam W M, Reibman A R, Liu B. Recovery of lost or erroneously received motion vectors [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1993 (ICASSP'93) [C]. Minneapolis, Minnesota, USA 1993, 4:417~420.
- 3 Atzori L, De Natale F G B, Perra C. A spatio-temporal concealment technique using boundary matching algorithm and mesh-based warping (BMA-MBW)[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2001, 3(9):326~338.

- 4 WANG Yao, Ostemann Jorn, ZHANG Ya-Qin 著, 侯正信, 杨喜, 王文全等译. 视频处理与通信[M]. 北京:电子工业出版社, 2003:363~397.
- 5 ITU-T. Video coding for low bit rate communications[S]. ITU-T Recommendation H.263, Version 2. January 1998.
- 6 ITU-T. Video codec test mode. Near-term, Version 8 (TMN8) [CP]. Release 0. June 1997.
- 7 Bormann C, Cline L, Deisher G, et al. RTP payload format for the 1998 version of ITU-T Rec. H.263 video (H.263+) [S]. RFC2429. October 1998.

杨天武 1971年生,1993年获甘肃农业大学农学学士学位,现为西南交通大学交通信息控制专业博士研究生。研究方向为视频图像压缩编码及传输控制技术、图像处理等。近两年,在国内外学术刊物和会议上发表论文多篇。



彭强 1962年生,副教授,在职博士研究生,1987年获西南交通大学计算机系工学硕士学位。主要研究方向为多媒体技术、视频图像压缩编码与传输技术。



诸昌铃 1938年生,教授,博士生导师,四川省铁道学会理事,计算机应用委员会主任,中国铁道学会自动化委员会委员。主要研究方向为计算机在交通信息工程及控制中的应用。主持完成过“高速实验列车旅客信息系统”等国家科技攻关项目。著有专著。

