

基于 AVS-P2 的自适应时空域错误隐藏方法

阮若林^{1,2*}, 胡瑞敏², 陈皓², 尹黎明¹

(1. 咸宁学院 电子与信息工程学院, 湖北 咸宁 437100;

2. 武汉大学 国家多媒体软件工程技术研究中心, 武汉 430072)

(* 通信作者电子邮箱 rruan@foxmail.com)

摘要: 错误隐藏技术是视频传输中保证重建质量的重要技术, 可以有效恢复传输过程中因传输环境恶劣等原因造成的信息丢失和错误, 为了增强 AVS-P2 的抗传输差错能力, 提出了一种基于冗余运动矢量的自适应时空域错误隐藏算法。对 I 帧中的受损宏块采用空域错误隐藏方法, 利用受损宏块周围已正确解码像素值进行加权插值来恢复; 而非 I 帧中的受损宏块则采用时域错误隐藏方法, 根据宏块的运动剧烈程度分别选择 AVS-P2 中通用的错误隐藏方法和基于冗余运动矢量的错误隐藏方法。最后, 在 AVS-P2 RM52_20080721 平台上实现了该算法, 大量仿真实验结果表明, 所提方法相比原有方法, 解码视频图像的客观质量和主观效果均得到了一定提升。因此, 所提方法可以有效保证 AVS-P2 解码端接收视频的主观质量, 增强了其抗传输差错能力。

关键词: 视频编码; 冗余运动矢量; AVS-P2; 错误隐藏

中图分类号: TN911.73 **文献标志码:** A

Adaptive temporal-spatial error concealment method based on AVS-P2

RUAN Ruo-lin^{1,2*}, HU Rui-min², CHEN Hao², YIN Li-ming¹

(1. School of Electronic and Information Engineering, Xianning University, Xianning Hubei 437100, China;

2. National Engineering Research Center for Multimedia Software, Wuhan University, Wuhan Hubei 430072, China)

Abstract: The error concealment is an important technique in the video transmission, and it can ensure the reconstruction video quality and efficiently recover the data loss and the data errors in the transmission process caused by severe transmission environments. In order to enhance the error resilience of AVS-P2, the paper proposed a new adaptive temporal-spatial error concealment method based on the redundancy motion vectors. To conceal a lost block, the paper used the spatial error concealment for the I-frame macroblocks, and used the temporal error concealment for the non-I-frame macroblocks. At the same time, according to the motion intensity of the macroblocks, it used the default error concealment of AVS-P2 and error concealment method based on redundancy motion vectors, respectively. Lastly, the proposed algorithm was realized based on the platform of the AVS-P2 RM52_20080721. The simulation results show that the proposed method is significantly better than the existing techniques in terms of both objective and subjective quality of reconstruction video.

Key words: video coding; redundancy motion vector; AVS-P2; error concealment

0 引言

随着移动通信技术的飞速发展, 3G 已将走入寻常百姓家, 4G 标准也于 2010 年 11 月正式确定, 在不久的将来也会大规模应用。但是, 移动通信业务的成败已经成为未来先进移动通信标准成果应用的关键。大量研究表明, 以视频为核心的增值业务会占到移动增值业务收入的 50% 以上, 因此, 无线视频容错编码技术的发展关系到未来移动通信业务的发展, 而作为新一代移动无线视频编码标准, 必须满足编解码率低、稳定性好、容错能力强等要求。由于移动无线通信网络带宽相对较窄、传输环境恶劣, 高度压缩的视频码流在传输过程中容易产生数据丢失和错误。错误隐藏技术作为视频传输中保证重建质量的重要技术, 是解决上述问题的较好途径之一, 可以有效恢复传输过程中因传输环境恶劣等原因而造成的信息丢失和错误, 最大限度地保证解码端接收视频的主观质量^[1]。

错误隐藏技术主要是利用视频图像序列间的时间冗余和空间冗余信息在解码端恢复出丢失块的相关信息。通常来说, 错误隐藏技术可分为空域错误隐藏和时域错误隐藏。空域错误隐藏是根据视频图像在空域上变化平稳的性质, 利用受损宏块周围已知的像素值进行加权插值来恢复。时域错误隐藏是根据视频图像在时域上变化平稳的性质, 利用相邻宏块的运动矢量预测当前受损宏块的运动矢量或直接拷贝前一帧对应位置的宏块。由于当前先进视频编码标准都是采用基于块的编码技术框架, 编码过程大量使用了时域运动估计技术, 因此, 时域错误隐藏通常能够获得更好的掩盖效果, 也是错误隐藏技术研究的热点。

时域错误隐藏是基于运动补偿的时间预测, 它通过恢复受损块的运动信息来进一步恢复出整个块的像素信息, 因此其关键是运动矢量的恢复, 而运动矢量的恢复主要是利用运动矢量空间和时间上的相关性。近年来, 很多学者都展开了相关研究工作, 如 Wang 等^[2]提出的时域替换 (Temporal

收稿日期: 2011-09-28; 修回日期: 2011-11-10。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61070080); 国家 973 计划项目 (2009CB320906); 湖北省自然科学基金资助项目 (2010CDB05103); 湖北省教育厅优秀中青年人才项目 (Q20112805); 咸宁学院博士启动基金资助项目 (BK1105)。

作者简介: 阮若林 (1974 -), 男, 湖北红安人, 副教授, 博士, CCF 会员, 主要研究方向: 视频编解码、网络通信; 胡瑞敏 (1964 -), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士, 主要研究方向: 多媒体信号处理、智能监控、安防应急; 陈皓 (1982 -), 男, 湖北武汉人, 博士研究生, 主要研究方向: 视频容错编码、网络通信; 尹黎明 (1974 -), 男, 湖北嘉鱼人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 视频编解码、DSP 优化处理。

Replacement, TR)算法是时域错误隐藏最常见的方法,但该方法在视频图像帧内运动非常剧烈的区域有很明显的掩盖痕迹;而 Wang 等^[3]提出的边界匹配算法(Boundary Matching Algorithm, BMA)利用宏块边界的平滑过渡特性来恢复丢失的运动矢量,有效地改善了视频差错掩盖质量,是 H. 264 标准参考模型 JM 所采用的时域错误隐藏技术,但是该算法对于处在物体边界处或灰度急剧变化的受损宏块会出现补偿替代块选择出错的现象;针对这一问题, Kuo 等^[4]提出了重叠运动补偿(Overlapped Motion Compensation, OMC)技术,该技术能较好解决丢失块掩盖所产生的块效应现象。上述这些算法都是对丢失块固定采用一种差错掩盖算法,所以,使得到的运动矢量普遍都会出现一定的偏差,掩盖后的视频效果也不是很理想。同时,对运动矢量的恢复需要一定的计算,具有一定的复杂度,并不适合无线移动视频通信过程中解码端的错误隐藏。

AVS-P2(Audio Video coding Standard Part2)是我国具有自主知识产权的新一代视频编码技术标准,具有国际竞争力,它同样适用于移动无线视频的编码传输,因此,为了增强 AVS-P2 的抗传输差错能力,有效保证无线视频传输解码的主客观质量,本文提出了一种基于冗余运动矢量的自适应时空域错误隐藏算法。

1 时空域自适应错误隐藏算法

现有的经典时域错误隐藏方法对于图像中物体运动剧烈区域的错误恢复效果不佳,容易造成图像错位。目前国际上最先进的视频编码标准 H. 264/AVC(Advanced Video Coding, AVC)参考代码根据整帧图像的运动剧烈程度大小将时域错误隐藏分为两种方式:如果程度比较小,直接把前一帧的相同位置的块拷贝到当前受损块;否则通过预测运动矢量把参考帧中相应位置的块拷贝到当前受损块。

AVS-P2 参考代码简单地采用了时域错误隐藏技术,直接拷贝前一帧对应位置的宏块来恢复丢失宏块。为了有效提高压缩码流的抗差错能力,在 AVS-P2 的错误隐藏模块中,本文针对不同情况采取不同的错误隐藏方法:对 I 帧采用空域错误隐藏,而非 I 帧采用时域错误隐藏。

1.1 空域错误隐藏算法

空域错误隐藏是根据视频图像在空域上变化平稳的性质,利用受损宏块周围已正确解码像素值进行加权插值来恢复,具体插值算法如下:

$$Y = (Y_1 \times D_2 + Y_2 \times D_1) / (D_1 + D_2) \quad (1)$$

其中:Y 表示当前丢失宏块中的像素, Y_1 表示 Y 正上方最近的正确解码像素, Y_2 表示 Y 正下方最近的正确解码像素, D_1 表示 Y_1 和 Y 之间距离, D_2 表示 Y_2 和 Y 之间距离。具体原理如图 1 所示。

1.2 时域错误隐藏算法

时域错误隐藏是根据视频图像在时域上变化平稳的性质,利用相邻宏块的运动矢量预测当前受损块的运动矢量或直接拷贝前一帧对应位置的宏块。本文默认使用 AVS-P2 中采用的简单的时域错误隐藏算法,直接拷贝丢失宏块前一帧对应位置的宏块进行替补;同时,针对视频图像中运动较剧烈的宏块,本文选择利用冗余运动矢量的时域错误隐藏方法进行恢复,即对帧间编码宏块(主要是 P 帧和 B 帧宏块)的运动矢量绝对值进行判断,如果小于阈值 T,那么就认为该宏块运动平滑,将采用系统缺省的错误隐藏方法进行处理;否则,就认为该宏块运动较为剧烈(即容易出错的宏块),那么在编码时还将该宏块的运动矢量作为冗余信息写入码流中,以供解码端该宏块解码出错时利用其冗余信息对该宏块内容进行

恢复。

对 AVS-P2 参考模型 RM52 具体修改如下。

在编解码端(本文将冗余信息写入 User_Data 包中):

1) 由于 User_Data 包解码时后到先解,读取 User_Data 包时解码端还无法判断当前帧类型,所以在 User_Data 中加入 1 b 标记位(ec_mv_flag)来判断该帧类型:ec_mv_flag = 0 表示是 I 帧;否则是 P/B 帧。

2) 对 P 和 B 帧中运动矢量绝对值大于设定阈值 T(本实验中 T 为 7) 的宏块号和运动矢量在 User_Data 中进行冗余编码,记为 mb_no, mv_x, mv_y, 并记录冗余宏块的总个数 No_ec_mv。

解码端:

1) 解码 User_Data 包时,首先得到 ec_mv_flag。如果 ec_mv_flag = 0 则为 I 帧,无冗余运动矢量,自动退出;如果 ec_mv_flag = 1 则解码冗余信息得到运动矢量大于阈值 T 的宏块运动向量和宏块号 mv_x, mv_y, mb_no, 并得到记录了冗余信息的宏块总个数 No_ec_mv。

2) 解码时记录连续出错区域的起始和终止宏块位置,解完一帧图像后,根据记录的起始和终止宏块位置和当前帧类型对丢失部分进行错误隐藏。

3) 如果当前帧是第一帧(I 帧),则采取空域错误隐藏;如果当前帧不是第一帧,则采取时域错误隐藏。

4) 采用时域错误隐藏时,首先判断丢失块中有哪些宏块是有冗余运动矢量信息的,对于这些宏块利用得到的冗余运动矢量对其进行恢复;其他的宏块采用直接拷贝前一帧对应位置的宏块进行恢复。

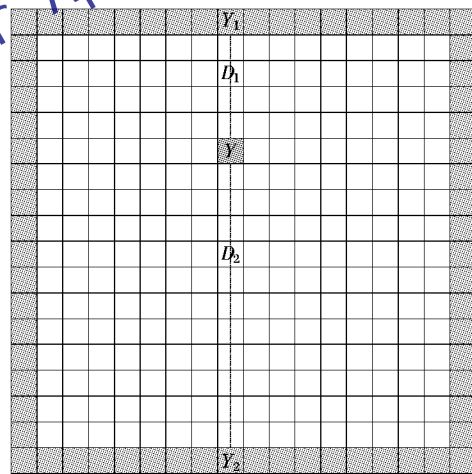


图 1 空域错误隐藏示意图

2 实验结果与分析

2.1 实验仿真测试环境

现有 AVS-P2 参考模型中只有简单的时域错误隐藏方法,即利用前一帧对应位置的宏块掩盖当前出错宏块,并且该方法是集成在解码 slice 的函数模块中,没有单独的错误隐藏模块,本文将其作为改进算法的 Anchor 算法。软件平台基于 AVS-P2 RM52_20080721^[5],测试条件采用 AVS 面向移动视频应用的通用测试条件 N1573^[6],丢包率为 5%, slice 打包模式为一行宏块为一个 slice,测试了 6 个 CIF 序列,3 个 QCIF 序列,共计 9 个标准视频测试序列。对比 Anchor 算法为在解码端加入了拷贝前一帧容错方法的 AVS RM52_20080721。

在编解码端加入丢包模型模拟代码以便模拟丢包测试丢包模型函数 itu_channel_model(), 模拟实现网络丢包。在解码端,用错误控制模块记录出错区域的宏块起始和终止位置;丢包时,将错误的片主动丢弃,不尝试解码,在当前帧所有宏块

都解码后,对出错的区域进行错误隐藏。

2.2 主观性性能

实验测试结果表明:编码数据经过丢包后的码流经解码端错误隐藏后,得到的视频图像的客观和主观效果均得到了一定提升。对于 IIII 编码结构的解码图像平均峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR) 增益降低 0.006 dB, 平均比特率节省 0.094%; IPPP 编码结构的解码图像平均 PSNR

增益提高 0.505 dB, 平均比特率增加 20.526%; IBBP 编码结构的解码图像平均 PSNR 增益提高 0.698 dB, 平均比特率增加 23.574%。表 1 给出了 Anchor 算法和本文算法各序列 IIII、IPPP、IBBP 编码结构解码性能测试数据。表 2 对表 1 中数据进行了总结分析。图 2~3 给出了 foreman_qcif 和 news_qcif 序列采用不同方法的 PSNR 对比, 从图可知本文方法客观质量有明显提升。

表 1 Anchor 算法和本文算法各序列 IIII、IPPP、IBBP 编码结构解码性能测试数据表

序列	IIII		IPPP		IBBP	
	PSNR 增益/dB	比特率节省率/%	PSNR 增益/dB	比特率节省率/%	PSNR 增益/dB	比特率节省率/%
paris_cif	-0.006	0.073	0.538	-15.935	1.069	-38.115
foreman_cif	-0.002	0.054	0.862	-53.854	0.549	35.743
mobile_cif	-0.002	0.038	0.009	-0.635	0.799	-44.224
tempe_cif	-0.003	0.054	0.208	-10.498	0.441	-24.095
news_cif	-0.003	0.038	0.506	-24.372	1.539	-60.210
football_cif	-0.005	0.122	1.656	-58.971	0.198	-26.943
container_qcif	-0.010	0.120	-0.069	1.315	-0.076	1.591
foreman_qcif	-0.011	0.196	0.323	-10.727	1.019	-31.041
silent_qcif	-0.010	0.153	0.509	-11.053	0.740	-24.871
平均	-0.006	0.094	0.505	-20.526	0.698	-23.574

注:表中数据为本文算法相对 Anchor 算法的 PSNR 增益和比特率节省率情况。

增加冗余运动矢量后,解码重建图像的主观性能有提高。图 4 是 foreman_qcif 序列采用不同方法进行错误隐藏后的主观效果 ($qp = 31$, IPPP, 丢包率 = 5%), 特别是对于变化剧烈的宏块, 如文字、人脸轮廓, 图像清晰度增强。图 5 是人脸局部放大效果图, 可看出人眼部分掩盖效果本文方法更好。

AVS-P2 的抗传输差错能力, 可以有效恢复传输过程中因传输环境恶劣等原因而造成的信息丢失和错误, 在提高了解码图像客观质量的同时也一定程度改善了解码图像的主观效果。

表 2 解码性能数据总结表

序列	PSNR 增益/dB			>0.1 dB 的序列个数
	平均	最大	最小	
IIII	-0.006	-0.002	-0.011	无
IPPP	0.505	1.656	-0.069	8
IBBP	0.698	1.539	0.076	8

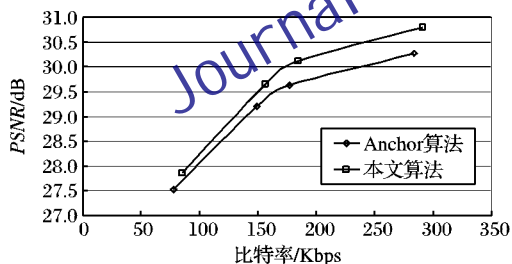


图 2 foreman_qcif 序列不同方法的 PSNR 对比

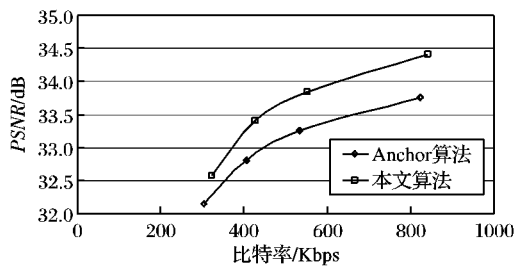


图 3 news_cif 序列不同方法的 PSNR 对比

3 结语

本文提出的基于冗余运动矢量的自适应时空域错误隐藏算法, 对 I 帧丢失块采用空域错误隐藏方法, 而非 I 帧则根据宏块的运动剧烈程度分别选择通用的错误隐藏方法和基于冗余运动矢量的时域错误隐藏方法, 增强了码流的容错能力及



(a) Anchor 算法错误隐藏效果

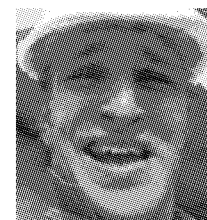


(b) 本文算法错误隐藏效果

图 4 foreman_qcif 序列第 20 帧错误隐藏效果



(a) 图 4(a) 的局部放大效果



(b) 图 4(b) 的局部放大效果

图 5 图 4 局部放大效果

参考文献:

- [1] 彭强, 张蕾, CHEN J X. 视频传输差错掩盖技术研究现状与发展趋势[J]. 西南交通大学学报, 2009, 44(4): 473-483.
- [2] WANG YAO, ZHU QINFAN. Error control and concealment for video communication: a review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(5): 974-997.
- [3] WANG YEKUI, HANNUKSELA M M, VARSA V, et al. The error concealment feature in the H.26L test model[C]// ICIP 2002: Proceedings of International Conference on Image Processing. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2002: 729-732.
- [4] KUO T Y, TSAO S C. Error concealment based on overlapping [C]// Visual Communications and Image Processing 2002. Bellingham, WA: SPIE Press, 2002, 4671: 146-153.
- [5] AVS-P2 参考软件模型代码 RM52_20080721[EB/OL]. [2011-06-08]. <http://www.avs.org.cn/fruits/softList.asp>.
- [6] 面向移动视频应用的通用测试条件: AVS N1542[EB/OL]. [2008-09-25]. ftp://124.207.250.92/public/avs_doc/0809_Tianjin/avs/N1542.doc.