

文章编号:1001-9081(2010)01-0041-03

## H. 264 帧间错误隐藏的运动矢量恢复

夏定元<sup>1,2</sup>, 杨辉<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学 信息工程学院, 武汉 430070; 2. 桂林电子科技大学 信息与通信学院, 广西 桂林 541004)

(labxiady@263.net)

**摘要:**针对视频传输中宏块受损引起的视频质量下降问题, 兼顾隐藏效果和计算复杂度, 采用交错的加权二次隐藏方案对边界匹配算法进行改进, 有选择性地引入运动估计过程, 并通过设定阈值, 在预测块的边界匹配误差过大时采用  $8 \times 8$  子块相关性隐藏模式。实验结果表明, 采用改进算法, 峰值信噪比平均提高 1 dB 左右, 解码的视频质量得到明显改善。

**关键词:** H. 264 标准; 运动矢量恢复; 帧间; 错误隐藏

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A

## Motion vector recovery for inter-frame error concealment in H. 264

XIA Ding-yuan<sup>1,2</sup>, YANG Hui<sup>1</sup>

(1. School of Information Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei 430070, China;

2. School of Information and Communication, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

**Abstract:** Concerning the video quality decline caused by damaged macroblocks in video transmission, this paper modified the boundary matching algorithm by adopting the interlaced weighted double error concealment scheme, inducted the motion vector estimation selectively, and used  $8 \times 8$  subblocks correlation error concealment mode when the boundary matching error of the predictive block was higher than a given threshold. Experimental results show that the proposed algorithm could averagely raise the PSNR about 1 dB and correspondingly improve the decoded video quality effectively.

**Key words:** H. 264 standard; motion vector recovery; inter-frame; error concealment

### 0 引言

视频传输差错会引起视频质量的严重下滑。H. 264 相对于以往的视频编码标准, 具有更高的压缩率, 对传输错误更加敏感。作为一种修复传输错误的有效措施, 错误隐藏技术 (Error Concealment, EC)<sup>[1]</sup> 具有零冗余、适应性强的特点, 能有效地改善视频质量。其中, 帧间错误隐藏方法利用了视频图像相邻帧之间的冗余, 简便高效, 其关键是运动矢量 (MV) 的恢复。

基于直接替换 (Direct Replacement, DR) 和基于边界匹配 (Boundary Matching Algorithm, BMA) 的隐藏方法是运动矢量恢复<sup>[2]</sup> 的经典方法。DR 算法用零运动矢量 (Zero Motion Vector, ZMV)、运动矢量的平均值以及参考帧中相同位置的运动矢量来替换原有的运动矢量, 算法简单, 易实现, 但对于运动较剧烈的视频序列, 有明显的块移动效应。相对于此, BMA 算法错误隐藏效果更好。H. 264 的 JM 测试模型中就采用了 BMA 算法, 并将 ZMV 加入参与匹配的候选运动矢量集。然而, 受损宏块 (Damaged MacroBlock, DMB) 边界上通常有边缘, 运动极剧烈的情况下 BMA 算法会匹配失效。文献[3]对 BMA 算法存在的固有误差进行了改进, 引入了运动估计, 使得峰值信噪比得到一定程度的提高, 但改善效果有限。文献[4]考虑到一个宏块 (Macro Block, MB) 中可能存在运动不一致的现象, 根据四周 MB 的编码模式来预测当前 DMB, 采取可变块大小的隐藏方式, 使 MV 恢复得更加精准, 但计算复杂度明显增大。

为克服以上方法的不足, 本文在平衡隐藏效果和计算复杂度的基础上, 以提高 PSNR 值为目的, 在如下三方面进行了优化: 改进 BMA 算法; 有选择性地引入运动估计; 块匹配失效时采用  $8 \times 8$  子块相关性隐藏模式。

### 1 改进算法的主要思想

改进算法的流程如图 1 所示。

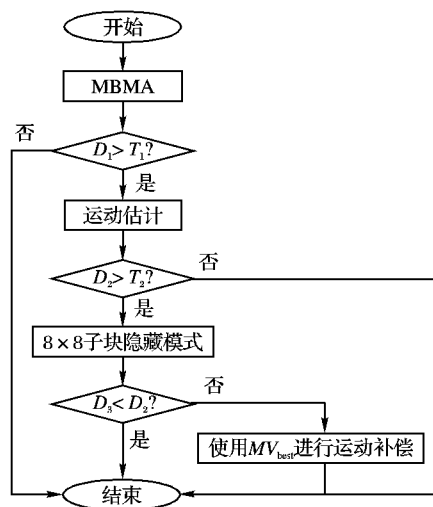


图1 算法流程

步骤 1 改进 BMA 算法, 得到的预测 MV 为  $MV_{pred}$ , 边界匹配误差为  $D_1$ 。

以改进的 BMA 算法以外边界匹配法 (EBMA) 为基础, 提

收稿日期: 2009-07-24; 修回日期: 2009-09-07。 基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目 (05112001-7A2)。

作者简介: 夏定元 (1963-), 男, 湖北鄂州人, 教授, 博士, 主要研究方向: 多媒体通信、多媒体信息处理、图像处理与机器视觉; 杨辉 (1985-), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要研究方向: 流媒体通信与模式识别。

出交错式的二次隐藏方案,旨在改善大量丢包情况下DMB周围邻块的状况。针对两次隐藏的特点,采用不同权值的EBMA,以找到更加合适的MV。为了叙述方便,下面将改进的BMA算法称为MBMA(Modified-BMA)。

步骤2 设定阈值 $T_1$ ,如果 $D_1 > T_1$ ,进行运动估计过程,得到的最佳MV为 $MV_{best}$ 。采用 $MV_{best}$ 进行运动补偿时的边界匹配误差为 $D_2$ 。当步骤1得到的匹配误差 $D_1$ 不是足够小时,在参考帧的一定范围内进行MV搜索,得到能够使边界匹配误差更小的 $MV_{best}$ 。

步骤3 设定阈值 $T_2$ ,如果 $D_2 > T_2$ ,使用 $8 \times 8$ 的子块相关性隐藏模式,得到的MB边界匹配误差为 $D_3$ 。

为了平衡隐藏效果和计算复杂度,通过设定阈值,只在匹配失效的情况下采取 $8 \times 8$ 的子块隐藏策略。为了减少一个MB内的块效应,采用具有相关性的匹配方式,为每个 $8 \times 8$ 块搜寻更加匹配的MV。

步骤4 若 $D_3 < D_2$ ,表示子块匹配隐藏取得了更好的效果。否则,仍使用 $MV_{best}$ 进行运动补偿得到的结果。

## 2 改进算法的具体描述

### 2.1 MBMA算法

定义一个扩大的运动矢量集 $S = \{\text{DMB四周的8个MB的MV}, ZMV, MV \text{的平均值}, \text{前一帧与DMB相同位置的MV}\}$ ,将DMB按照正确接收,受损后隐藏,初次隐藏分别标记为 $MB_{OK}, MB_C, MB_F$ 。

首先,将图2中标记为灰色的MB进行交错扫描,对其中含有的DMB采用DR算法进行初次隐藏。替换MV时,可以根据视频序列的特点,选择ZMV, MV的平均值以及前一帧相同位置MB的MV。

其次,经过以上处理,余下的标记为白色。MB四周的邻块就只存在 $MB_{OK}$ 和 $MB_F$ 两种情况。在运动矢量集 $S$ 中,采用加权EBMA,找到最佳预测运动矢量 $MV_{pred}$ 。

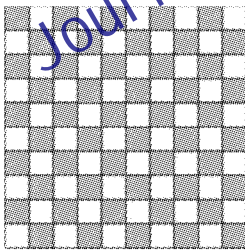


图2 初次扫描和隐藏的顺序示意图

在信道噪声大的情况下,为保证匹配质量,可以将边框外扩 $N$ 列(或行)。具体公式如式(1)所示:

$$\begin{cases} D_U = \sum_{n=1}^N \sum_{i=0}^{15} |\hat{f}_n(x+i, y-n) - f_n(x+i, y-n)| \\ D_L = \sum_{n=1}^N \sum_{i=0}^{15} |\hat{f}_n(x-n, y+i) - f_n(x-n, y+i)| \\ D_D = \sum_{n=1}^N \sum_{i=0}^{15} |\hat{f}_n(x+i, y+15+n) - f_n(x+i, y+15+n)| \\ D_R = \sum_{n=1}^N \sum_{i=0}^{15} |\hat{f}_n(x+15+n, y+i) - f_n(x+15+n, y+i)| \\ D = \omega_U D_U + \omega_L D_L + \omega_D D_D + \omega_R D_R \end{cases} \quad (1)$$

其中, $D_U, D_L, D_D, D_R$ 为DMB上、左、下、右各边的边界匹配误差; $\hat{f}_n$ 表示第 $n$ 帧, $(x, y)$ 为DMB在 $f_n$ 帧中左上角的位置, $\hat{f}_n(x, y) = f_{n-1}(x + m_{e_n(x,y)}^{(x)}, y + m_{e_n(x,y)}^{(y)})$ 为DMB的运动补偿值; $m_{e_n(x,y)}^{(x)}, m_{e_n(x,y)}^{(y)}$ 分别为预测的MV的垂直分量和水平分量; $\omega_U, \omega_L, \omega_D, \omega_R$ 分别为上、左、下、右各边边界匹配误差的权值,如式(2)所示:

$$\begin{cases} \omega_U = \frac{\text{cov}[\hat{f}_n(x+i, y-n), f_n(x+i, y-n)]}{\sqrt{D[\hat{f}_n(x+i, y-n)]} \sqrt{D[f_n(x+i, y-n)]}} \\ \omega_L = \frac{\text{cov}[\hat{f}_n(x-n, y+i), f_n(x-n, y+i)]}{\sqrt{D[\hat{f}_n(x-n, y+i)]} \sqrt{D[f_n(x-n, y+i)]}} \\ \omega_D = \frac{\text{cov}[\hat{f}_n(x+i, y+15+n), f_n(x+i, y+15+n)]}{\sqrt{D[\hat{f}_n(x+i, y+15+n)]} \sqrt{D[f_n(x+i, y+15+n)]}} \\ \omega_R = \frac{\text{cov}[\hat{f}_n(x+15+n, y+i), f_n(x+15+n, y+i)]}{\sqrt{D[\hat{f}_n(x+15+n, y+i)]} \sqrt{D[f_n(x+15+n, y+i)]}} \end{cases} \quad (2)$$

为了计算方便,按照 $MB_{OK}, MB_C, MB_F$ 分别将权值归类为

$\omega_{OK}, \omega_C, \omega_F$ 。

由于在这一步中,只存在 $MB_{OK}, MB_F$ ,对应的权值组合为 $(\omega_{OK}, \omega_F)$ 。仿真实验显示, $(\omega_{OK}, \omega_F)$ 取值为 $(1, 1/8)$ 时,隐藏效果最佳。

最后,对初次隐藏的MB再次采用加权的EBMA进行隐藏,这时DMB四周会有 $MB_{OK}$ 和 $MB_C$ 两种情况,对应的权值组合为 $(\omega_{OK}, \omega_C)$ 。仿真实验显示,将 $(\omega_{OK}, \omega_C)$ 取为 $(1, 1/4)$ 时,隐藏效果最佳。

### 2.2 选择性的运动估计过程

设定阈值 $T_1$ ,终止不必要的搜索过程。如果经过MBMA算法得到的匹配误差 $D_1$ 大于 $T_1$ ,在前一帧中用钻石搜索(Diamond Search, DS)算法进行搜索。否则,不必要进行MV搜索。 $T_1$ 可以根据视频序列的特点选取,选取过小会增加计算复杂度。

### 2.3 $8 \times 8$ 子块相关性隐藏模式

首先,通过运动估计,将得到的 $MV_{best}$ 进行运动补偿,匹配误差为 $D_2$ 。设定阈值 $T_2$ ,若 $D_2 > T_2$ ,说明匹配失效。这时,采用 $8 \times 8$ 子块相关性隐藏模式。不同的视频序列, $T_2$ 取值不同,隐藏效果不同。对于运动剧烈的视频序列, $T_2$ 取值越大,视频质量越差;而运动平缓的序列, $T_2$ 的取值对隐藏后的视频质量影响不大。但 $T_2$ 取值过小,也会增加计算复杂度。

其次,将当前的MB分为4个 $8 \times 8$ 子块。按照图3所示的0、1、2、3的顺序进行子块隐藏。

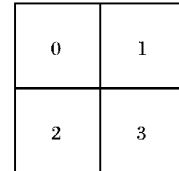


图3  $8 \times 8$ 子块隐藏顺序示意图

接着,将 $MV_{best}$ 加入运动矢量集 $S$ 。Block0在运动矢量集 $S$ 中运用相关性匹配模型找到最佳预测运动矢量 $MV_{pred0}$ 。以 $MV_{pred0}$ 为初始搜索点,采用DS算法进行搜索,得到更精确的运动矢量 $MV_{best0}$ 。同样,采用相关性匹配模型,对于Block1、2、3进行相同处理,得到 $MV_{best1}, MV_{best2}, MV_{best3}$ 。

相关性匹配模型具体描述如下:

$$\begin{cases} D_0 = D_{0U} + D_{0L} \\ D_1 = D_{1U} + \hat{D}_{1L} + D_{1R} \\ D_2 = \hat{D}_{2U} + D_{2L} + D_{2D} \\ D_3 = \hat{D}_{3U} + \hat{D}_{3L} + D_{3D} + D_{3R} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $D_{iU}$ 、 $D_{iL}$ 、 $D_{iD}$ 、 $D_{iR}$  分别为 Block  $i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ), 上、左、下、右的边界匹配误差;  $\hat{D}_{iU}$ 、 $\hat{D}_{iL}$ 、 $\hat{D}_{iD}$ 、 $\hat{D}_{iR}$  分别为 Block  $i$  内部相关的上、左、下、右的边界匹配误差, 它们是在按照 0, 1, 2, 3 顺序进行隐藏过程中利用已经隐藏过的  $8 \times 8$  子块得到的边界匹配误差。

最后, 对  $8 \times 8$  子块隐藏的效果进行判断。若进行子块隐藏后得到的 MB 的匹配误差  $D_3 < D_2$ , 表示子块匹配隐藏取得了更好效果。否则, 仍使用  $MV_{best}$  进行运动补偿得到的结果。

### 3 实验结果及分析

采用 H. 264 测试平台 JM8.6<sup>[5]</sup>, 对几种典型算法与本文提出的改进算法进行对比实验。为了不失一般性, 现选取三种具有代表性的序列 *suzie*、*foreman*、*football* 进行测试。其中, *suzie* 序列运动较平缓, *football* 序列运动剧烈, *foreman* 序列运动剧烈程度居中。每个序列编码 100 帧, 帧率 30 fps, 序列结构 IPPP, 每帧 4 个片组, FMO 交错类型。采用 ITU 推荐的典型丢包率为 3%、5%、10%、20% 的 Error Patterns 文件模拟实现丢包。在折中考虑隐藏效果和计算复杂度情况下, 针对三种具有不同运动特点的视频序列,  $T_1$  选取为 30,  $T_2$  选取为 300。替换 MV 时, 选择前一帧中与 DMB 相同位置的 MV。测试结果如图 4、5 所示。

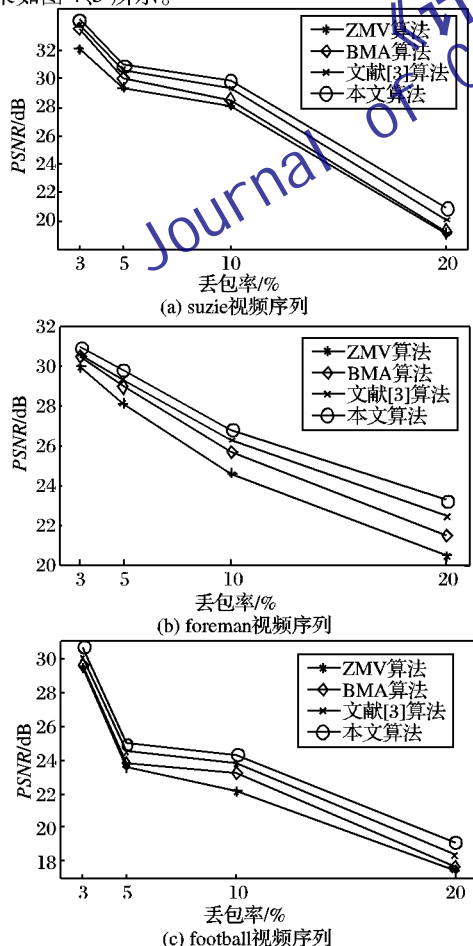


图4 几种不同算法在不同丢包率时的 PSNR 性能比较

图4为丢包率分别在3%、5%、10%、20%时ZMV算法、JM中采用的BMA算法、文献[3]中的算法以及本文改进算法的峰值信噪比(Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)性能对比图。图5为经过以上几种算法修复后, *foreman* 视频序列第51帧在丢包率为10%时的主观效果图。



图5 几种不同算法帧间错误隐藏的主观效果比较

由图4可以看出, 相对于其他算法, 针对不同运动特点的序列, 在不同的丢包率情况下, 本文算法的 PSNR 值平均提高 1 dB 左右, 有利于提高解码视频的质量。

由图5可以看出, 相对于其他算法, 经过本文提出的错误隐藏算法修复后, 解码视频的主观效果最佳。

### 4 结语

视频传输过程中不可避免地会出现错误, 在解码端需要尽量隐藏这些错误, 以提高解码视频的质量, 而运动矢量的恢复是帧间错误隐藏的关键。本文提出的改进算法能够在传输出现帧间错误时更精确地恢复受损宏块的运动矢量, 有效地修复错误。该算法运用二次隐藏方案、阈值设定及划分子块的方式对已有算法进行了优化, PSNR 值显著提高, 解码视频的主观效果明显改善, 有利于在视频传输不佳的环境中应用。

#### 参考文献:

- [1] VARSA V, HANNUKSELA M M, WANG YEKUI. VCEG-N62. Non-normative error concealment algorithms[EB/OL]. [2007-03-25]. [http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0109\\_San/VCEG-N62.doc](http://wftp3.itu.int/av-arch/video-site/0109_San/VCEG-N62.doc).
- [2] WU JUN, LIU XINGANG, YOO K Y. A temporal error concealment method for H. 264/AVC using motion vector recovery[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2008, 54(4): 1880-1885.
- [3] WANG J, WANG LEI, SHEN LI, et al. An improved inter frame error concealment in H. 264/AVC[C]// 2007 7th International Conference on ASIC. New York: IEEE, 2007: 794-797.
- [4] LIU CHENGHAO, CHEN HEXIN, ZHAO YAN. Temporal error concealment based on variable MB mode in H. 264 video transmission over error-prone channels[C]// 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. New York: IEEE, 2006: 9655-9659.
- [5] JVT Reference Software, Version JM 8.6[EB/OL]. [2009-04-05]. [http://iphone.hhi.de/suehring/tml/download/old\\_jm/](http://iphone.hhi.de/suehring/tml/download/old_jm/).