

面向 HBP 编码格式的立体视频 B 帧整帧丢失分层错误隐藏算法

周洋^{*①②} 蒋刚毅^{②③} 郁梅^{②③} 胡方宁^① 王海泉^①

^①(杭州电子科技大学通信工程学院 杭州 310018)

^②(宁波大学信息科学与工程学院 宁波 315211)

^③(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室 南京 210093)

摘要: 针对分层 B 帧(HBP)编码格式的立体视频 B 帧整帧丢失的问题, 该文分析了双视点视频中存在的视点间运动矢量相关性, 提出一种分层错误隐藏算法。该算法与当前主流的方法有两大不同: 一是该算法采用分级隐藏, 根据 B 帧的重要性等级不同采用不同的错误隐藏方法; 二是该算法考虑了相邻视点序列之间的宏块运动矢量相关性。实验表明, 该算法的性能优于当前常用的 H.264 多视点视频整帧丢失错误隐藏方法。

关键词: 立体视频编码; 错误隐藏; 分层 B 帧; 视点间相关性

中图分类号: TN919.82

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2014)02-0377-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2013.00528

A Hierarchical Error Concealment Algorithm for Entire B-frame Loss in Stereoscopic Video Coding with Hierarchical B Pictures

Zhou Yang^{①②} Jiang Gang-yi^{②③} Yu Mei^{②③} Hu Fang-ning^① Wang Hai-quan^①

^①(Institute of Telecommunication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

^②(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

^③(National Key Laboratory of Software New Technology, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: To deal with the problem of entire B-frame loss in stereoscopic video coding with Hierarchical B Pictures (HBP) predict structure, this paper analyzes the motion vector correlations in the frames of adjacent views in a double-view sequence, and proposes a hierarchical Error Concealment (EC) algorithm. This algorithm possesses two features distinct from the popular methods. First, the algorithm applies hierarchical concealment technique, which uses different error concealment methods according to the important level of the B frames. Second, the macroblock's motion vector correlations in adjacent-view sequence are taken into account. Experiments show that the proposed method outperforms state-of-the-art EC algorithms used in the H.264/MVC for entire frame loss.

Key words: Stereoscopic video coding; Error concealment; Hierarchical B Pictures (HBP); Inter-view correlation

1 引言

多视点视频能够提供灵活的场景描述形式, 可用于立体视频、自由视点视频等新兴视频服务中。立体视频仅需两个视点即可实现, 能让用户对观测到的视频场景具有一种 3 维深度感。但是, 当立体视频流通过无线网络等易错信道传输时, 由于网络阻塞和信道扰动, 会不可避免地出现数据包丢失或部分比特出错的问题。对基于分层 B 帧(Hierarchical B Pictures, HBP)预测结构的多视点视频编码, 由于 B 帧采用双向预测和视点间预测, 能比单视点 P 帧图像达到更高的压缩率, 即可以将中/低分辨率的

B 帧图像压缩后封装到一个数据包中进行传输, 但该方法造成丢失一个数据包将导致整帧图像丢失的问题。此外, 基于网络的视频流传输通常采用 RTP/UDP/IP, 其丢包率可能高达 20%^[1], 会发生多个 RTP 数据包同时丢失的现象, 从而导致整帧图像丢失。因此, 有必要设计专门针对整帧丢失的错误隐藏方法。

错误隐藏技术是在解码端利用压缩视频流中残留的冗余信息掩盖丢失区域, 按冗余信息获取区域的不同可将其分为 3 类^[2]: 空域错误隐藏法, 时域错误隐藏法和联合空时域的混合错误隐藏法。然而, 由于立体/多视点视频编码采用了视点间视差估计和视差补偿, 仅利用单视点内的相关性进行错误隐藏往往不能取得良好的效果^[3]。根据应用场合的需求不同, 立体视频编码采用不同的编码格式^[4], 其相应

2013-04-19 收到, 2013-10-08 改回

国家自然科学基金(61271270)和浙江省自然科学基金(Y111019)资助课题

*通信作者: 周洋 zhouyang_hz@126.com

的错误隐藏法可分为面向 IPPP 结构的立体视频错误隐藏法^[5-7], 面向彩色视频加深度图格式的立体视频错误隐藏法^[8-10]和面向 HBP 预测结构的立体视频错误隐藏法^[3,11]。目前, 由于 HBP 预测结构具有良好的压缩性能, 已被国际标准化组织(ISO)采纳, 并推出了以 HBP 预测结构为基础的 H.264/MVC 多视点视频编码标准^[4]。在面向 HBP 结构的立体视频编码中, 文献[3]提出的基于模式选择的多视点视频混合错误隐藏法只针对部分宏块丢失的问题, 文献[11]提出的整帧丢失错误隐藏法虽考虑了视点间相关性, 但未考虑 HBP 预测结构的时域可分级性。

由于 HBP 预测结构采用分层预测, 不同时刻的丢失 B 帧与该视点内参考帧存在不同的时域相关性。另一方面, 从错误图像的差错传递角度来看, 不同时刻的 B 帧丢失对后续帧的影响也不同, 对不同时刻的丢失 B 帧采用相同的错误隐藏方法并不能取得满意的效果。因此, 本文提出了一种面向 HBP 结构的分层 B 帧整帧丢失错误隐藏算法。该算法的主要贡献在于: (1) 鉴于 HBP 预测结构的分层特征, 对不同层的 B 帧丢失采用不同的错误隐藏方法; (2) 分析多视点视频序列间的视点间运动相关性和视差相关性, 并依据相关性大小等信息对出错图像进行分区, 对不同区域采用不同的隐藏策略。

2 立体视频 B 帧整帧丢失分层错误隐藏算法

基于 HBP 的立体视频编码结构如图 1 所示。本文在运动/视差矢量估计中, 联合不同视点间对象的运动矢量和视差矢量相关性, 设计了一种结合相关性分析的分层错误隐藏算法, 如表 1 所示。

表 1 B 帧整帧丢失分层错误隐藏算法步骤

B 帧整帧丢失分层错误隐藏算法步骤

- 1 对 B 帧进行分层, 将 B 帧划分成核心帧、次核心帧和普通帧。
- 2 分析双视点视频序列视点间的运动矢量及视差矢量相关性。
- 3 基于图像特征和相关性大小对丢失帧进行区域划分。
- 4 对不同层的 B 帧丢失采用不同的错误隐藏算法:
 - (1) 核心帧丢失: 对于左视点图像丢失, 采用基于 Skip 编码模式的错误隐藏法; 对于右视点图像, 采用结合视点间相关性的分区错误隐藏方法;
 - (2) 次核心帧丢失: 对于左视点图像丢失, 采用基于时域运动矢量相关性分析的分层错误隐藏法; 对于右视点图像丢失, 采用结合视点间运动矢量相关性分析的分层错误隐藏法;
 - (3) 普通帧丢失: 低复杂度的分区错误隐藏法。
- 5 对恢复后的丢失图像进行环路滤波。

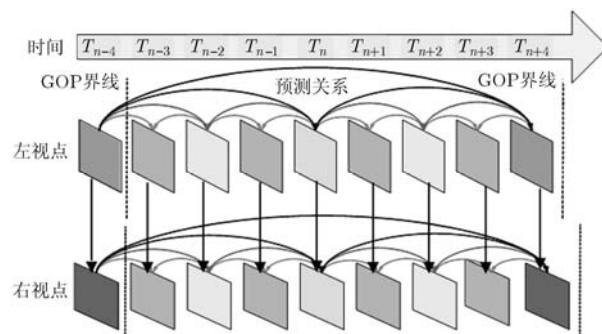


图 1 基于 HBP 结构的立体视频编码预测结构

在步骤 1 中, 根据接收到的视点编号和帧号对 B 帧进行分层划分, 分别划分成核心帧(在图 1 中位于 \$T_n\$ 时刻), 次核心帧(位于 \$T_{n-2}\$ 和 \$T_{n+2}\$ 时刻)和普通帧(位于 \$T_{n-1}, T_{n-3}, T_{n+1}\$ 和 \$T_{n+3}\$ 时刻)。

在步骤 3 中, 根据立体视频解码时各宏块的参考关系, 以及同一视点时域帧差值大小, 对立体视频序列进行分类并对丢失帧区域进行分割, 将丢失帧分割成强视点间相关性的背景区域和前景区域, 以及强时域相关性的背景区域和前景区域; 然后, 依据左右视点的运动矢量相关性大小, 将前景区域进一步划分为强运动相关性的前景区域和弱运动相关性的前景区域。

2.1 视点间运动矢量相关性分析

由于双/多视点视频序列是由间隔相近的双/多个摄像机对同一场景拍摄得到的, 一般来说, 左右相邻的两台摄像机拍摄到的运动物体之间存在一定的运动相似性。下文取多视点视频序列中的“0”和“1”两个视点的各帧图像进行分析, 具体步骤如下:

(1) 在解码端获取各帧图像的运动矢量和视差矢量;

(2) 取左视点某一帧的运动矢量 \$(mv_x^L, mv_y^L)\$ 与右视点相同时刻帧的运动矢量 \$(mv_x^R, mv_y^R)\$ 作相关性分析。在运动矢量相关性分析中, 以 \$8 \times 8\$ 块大小为单位进行分析, 对于 \$4 \times 4\$ 块, 把 4 个 \$4 \times 4\$ 块的运动矢量取均值作为 \$8 \times 8\$ 块的运动矢量。运动矢量相关性直接采用两者的差异性来计算, 左右视点间对应块之间的运动矢量相关性定义如下:

$$mvd_x(m, n, T_n) = |mv_x^L(m, n, T_n) - mv_x^R(k, l, T_n)| \quad (1)$$

$$mvd_y(m, n, T_n) = |mv_y^L(m, n, T_n) - mv_y^R(k, l, T_n)| \quad (2)$$

式中 \$mvd_x\$ 和 \$mvd_y\$ 分别表示运动矢量在 \$x\$ 轴方向和 \$y\$ 轴方向的相关性, 其值越小, 运动矢量相关性就越高, \$m\$ 和 \$n\$ 表示当前块位置, \$T_n\$ 为帧号。不进行视差补偿时, \$k=m, l=n\$; 进行视差补偿时, \$k=\text{round}((8 \times m + dv_x)/8), l=\text{round}((8 \times n + dv_y)/8)\$,

$\text{round}(\bullet)$ 为四舍五入取整运算; $d\mathbf{v} = (dv_x, dv_y)$ 为当前块视差补偿时使用的矢量值, 计算式为

$$d\mathbf{v} = d\mathbf{v}^f + \left[\frac{\text{POC} - \text{POC}^f}{\text{POC}^b - \text{POC}^f} \times (d\mathbf{v}^b - d\mathbf{v}^f) \right] \quad (3)$$

式中, POC^f, POC 和 POC^b 分别表示前向帧, 当前帧和后向帧的图片排列序号(时刻号), $d\mathbf{v}^f$ 和 $d\mathbf{v}^b$ 分别为右视点前后基本帧(anchor picture)解码时得到的视差矢量。此外, 部分帧内编码宏块的视差矢量采用周边帧间编码宏块视差矢量的均值。图 2 给出了经过视差补偿后的“Exit”序列 0(左)视点和 1(右)视点图像在 T_{n+4} 和 T_n 时刻的运动矢量相关性分布图, 其中图 2(a)和图 2(b)分别为 x 和 y 方向的相关性分布, 可发现经过视差补偿后左右视点存在较高的运动矢量相关性。

2.2 丢失帧区域划分

丢失帧划分主要有两个步骤: 步骤 1, 根据立体视频解码时各宏块的参考关系和同一视点各帧图像的时域帧差值大小, 先对立体视频序列进行分类, 然后对丢失帧进行区域划分, 将丢失帧分割成强视点间相关性的背景区和前景区, 或强时域相关性的背景区和前景区; 步骤 2, 依据左右视点的运动矢量相关性大小, 将前景区域进一步划分为强运动相关性的前景区域和弱运动相关性的前景区域。

步骤 1 的具体过程如下:

(1)依据右视点 B 帧解码时, 时域参考宏块数目和视点间参考宏块数目的大小, 将立体视频序列各帧图像划分成强时域相关性图像和强视点间相关性图像。一般来说, 立体视频序列各帧图像的时域相关性强于视点间相关性, 但当场景发生大规模改变的情况下除外。

(2)当遇到 B 帧图像丢失时, 选取前后两幅已正确解码的时域参考帧, 即前向参考帧 F_{t-n} 和后向参考帧 F_{t+n} , 求两帧帧差 $D(i, j) = |F_{t-n}(i, j) - F_{t+n}(i, j)|$, (i, j) 为像素点的坐标位置。对于图 1 编码结构下, 某个 GOP 中的核心帧丢失, n 值取为 4;

对于次核心帧和普通帧, n 取值分别为 2 和 1。

(3)把计算得到的帧差图以 8×8 块为单位进行划分, 并对 8×8 块的帧差值求累加, 取均值 $\bar{D} = \frac{1}{64} \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 D(i, j)$ 。当均值 \bar{D} 小于阈值 Th 时, 认为该 8×8 块属于强时域相关性的背景区域, 反之位于前景区域。通过实验测试, 对于核心帧、次核心帧和普通帧, 划分时的阈值分别取 5, 5, 7。其中核心帧阈值取 5 是因为核心帧与前后已解码帧的相关性较低, 丢失帧恢复比较困难, 分割时阈值取值较大。此外, 若遇到强视点间相关性的丢失 B 帧, 划分方法与上述方法类似。

步骤 2 的过程为: 依据 2.1 节分析得到的运动矢量相关性大小, 将次核心帧和普通帧的前景区域进一步划分为两部分: 强运动相关性的前景区域和弱运动相关性的前景区域。当经视差补偿后的 8×8 块的运动矢量差异值 $mdv_x < 2$ 时, 该块属于 x 方向强运动相关性区域, 反之属于弱运动相关性区域。同理, 当 $mdv_y < 2$ 时, 该块属 y 方向强运动相关性区域, 否则属于弱运动相关性区域。

需要指出的是, 在解码过程中, 当核心帧发生丢失时, 其运动矢量也发生丢失, 则对核心帧丢失无法进行运动矢量相关性分析, 只能对其进行背景区域和前景区域划分。

2.3 分级错误隐藏

由于在 HBP 编码结构下, 同一时刻的左视点图像先于右视点图像解码, 位于核心帧位置(T_n 时刻)的左视点图像解码时尚无相应的右视点图像信息可以利用, 因此, 在错误隐藏算法设计中, 先根据解码时获得的帧号将左右视点图像分开进行处理。

2.3.1 核心帧重建 对于左视点图像的核心帧丢失, 将其划分成背景区域和前景区域, 对背景区域采用从参考帧直接拷贝的方法; 对前景区域, 由于右视点图像尚未解码, 在错误隐藏时采用基于 Skip 模式的错误隐藏法。

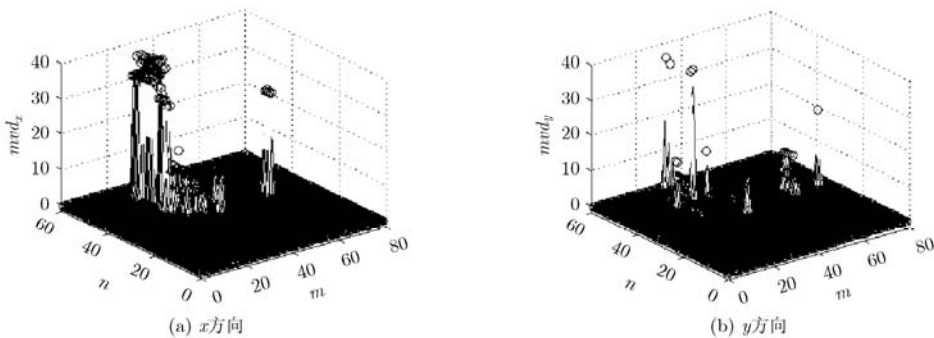


图 2 运动矢量相关性分布图(Exit 序列)

对于右视点图像的核心帧丢失,对划分后的背景区域也采用直接拷贝法进行修复。但对于前景区域,以宏块为单位,利用左右视点的运动矢量相关性分成4个8×8的块逐个进行隐藏。修复块定义如下:

$$\widehat{B}_t^{Rf}(i, j) = B_{t-n}^R(i - \widehat{mv}_x^f, j - \widehat{mv}_y^f) \quad (4)$$

$$\widehat{B}_t^{Rb}(i, j) = B_{t-n}^R(i - \widehat{mv}_x^b, j - \widehat{mv}_y^b) \quad (5)$$

式中 $(i, j) \in B$, \widehat{B}_t^{Rf} 和 \widehat{B}_t^{Rb} 分别是丢失块 B_t^R 的前向修复块和后向修复块; B_{t-n}^R 和 B_{t+n}^R 分别是 B_t^R 的前向参考块和后向参考块, $n=4$; $\widehat{mv}^f = (\widehat{mv}_x^f, \widehat{mv}_y^f)$ 和 $\widehat{mv}^b = (\widehat{mv}_x^b, \widehat{mv}_y^b)$ 分别是前向和后向运动矢量估计值。

由2.1节分析可知,左右视点图像之间存在一定的运动相关性,可将视差补偿后的左视点图像块的运动矢量作为右视点图像块的运动矢量,但对于部分宏块,左右视点运动矢量存在一定差异。受文献[12]启发,我们在解码器中增加一个指针数组,将该视点上一个核心帧解码时的后向运动矢量保存下来,用来提高丢失块运动矢量估计的精度。丢失块的前向运动矢量估计步骤如下:

(1)将视差补偿后的左视点图像块的前向运动矢量作为右视点对应丢失块的前向运动矢量初始估计值 $\widehat{mv}^f = (\widehat{mv}_x^f, \widehat{mv}_y^f)$; 对于位于遮挡区域(某3维点只在一个视点图像上有成像点)的图像块,令 $\widehat{mv}^f = (0, 0)$ 。

(2)利用 \widehat{mv}^f 进行运动补偿,在前向参考帧 F_{t-n}^R 中找到对应块的位置。

(3)将 \widehat{mv}^f 与上一个核心帧解码时的后向运动矢量进行比较,其中比较时的匹配块位置取为 F_{t-n}^R 中的对应块 B_1, B_2, B_3 和 B_4 。为便于比较,我们将运动矢量表示成极坐标形式, $\widehat{mv}^f = (\tilde{r}^f, \tilde{\theta}^f)$ 。比较过程的伪代码如表2所示。

表2 比较过程伪代码

```

for (k = 1, ..., 4)
    if (| $\tilde{\theta}^f - \theta_k - \pi$ |  $\geq \frac{\pi}{6}$  or | $\tilde{r}^f - r_k$ |  $> 2r_k$ ) 不成立
         $\widehat{mv}^f$  作为当前丢失块的运动矢量估计值, 即
         $\widehat{mv}^f = \tilde{mv}^f$ ;
    else
        利用四周丢失块运动矢量估计值的中值作为该丢失块的运动矢量;
end

```

获得 \widehat{mv}^f 后,将其代入式(4),采用基于1/4像素等级的运动补偿法完成4个8×8块的错误隐藏,获得当前丢失宏块的前向修复宏块 \widehat{MB}_t^{Rf} ; 同理,进行后向错误隐藏,得到当前丢失宏块的后向修复块 \widehat{MB}_t^{Rb} 。然后,利用周边可用的宏块(如背景块或已修复块)进行边界匹配,边界匹配误差最小的修复宏块作为最终的错误掩盖宏块。最后,完成核心帧前景区域中所有丢失宏块的错误掩盖。

2.3.2 次核心帧重建 对于左视点图像的次核心帧丢失,首先将丢失帧划分成背景区域和前景区域。对背景区域采用直接拷贝的方法进行错误隐藏。对于前景区域,采用基于时域运动矢量相关性的错误隐藏法,计算公式定义为

$$\widehat{F}_t^L(i, j) = \alpha \times F_{t-n}^L(i - \widehat{mv}_x^f, j - \widehat{mv}_y^f) + \beta \times F_{t+n}^L(i - \widehat{mv}_x^b, j - \widehat{mv}_y^b) \quad (6)$$

其中 \widehat{F}_t^L 是丢失帧 F_t^L 的重建值; F_{t-n}^L 和 F_{t+n}^L 分别是 F_t^L 的前向参考帧和后向参考帧, $n=2$; α 和 β 是加权系数,取值均为0.5。

当 T_{n-2} 时刻的帧 F_t^L 发生丢失时,其前向参考帧 $F_{t_0}^L$ 和后向参考帧 $F_{t_1}^L$ 已正确解码,由于丢失帧 F_t^L 位于帧 $F_{t_0}^L$ 和 $F_{t_1}^L$ 之间,可以由运动矢量 mv_B^f 估计出丢失块的前向运动矢量 \widehat{mv}^f 和后向运动矢量 \widehat{mv}^b 。令丢失块在 $F_{t_1}^L$ 中的对应块相对于 $F_{t_0}^L$ 的运动矢量为 mv_B^f , 可得 $\widehat{mv}^f = (D_0 / D_B) \times mv_B^f$, $\widehat{mv}^b (D_1 / D_B) = \times mv_B^f$, 其中, D_0 和 D_1 分别是丢失帧 F_t^L 到前向参考帧和后向参考帧的距离, D_B 是前后向参考帧的距离,其值为各自帧号(POC)值之间的差值。在图1的编码预测结构下, $D_0 = D_1 = 2$, $D_B = 4$ 。得到丢失宏块的运动矢量估计值后,根据式(6)采用基于1/4像素等级的运动补偿法重建出丢失帧的前景区域。

对于右视点图像的次核心帧发生丢失,首先采用2.2节的方法将其划分成背景区域,强运动相关性的前景区域和弱运动相关性的前景区域,对背景区域同样采用直接拷贝的方法进行错误隐藏。对于强运动相关性的前景区域,利用左右视点图像的运动矢量相关性,先对右视点图像中的待恢复宏块进行视差补偿,在左视点图像中找到相应宏块;然后取该宏块中每个8×8块的运动矢量作为丢失宏块的运动矢量估计值;最后,利用式(7)进行基于四分之一像素等级的运动补偿恢复出强运动相关性的前景区域。

$$\widehat{F}_t^R(i, j) = \alpha \times F_{t-n}^R(i - \widehat{mv}_x^f, j - \widehat{mv}_y^f) + \beta \times F_{t+n}^R(i - \widehat{mv}_x^b, j - \widehat{mv}_y^b) \quad (7)$$

式(7)中 \widehat{F}_t^R 是右视点丢失帧 F_t^R 的重建值,其参

数定义类似式(6)。对于弱运动相关性的前景区域,其错误隐藏方法采用与左视点图像次核心帧错误隐藏相同的方法。

2.3.3 普通帧重建 对于普通帧,其出错不会产生帧间差错传递,也不会影响后续帧的解码(除了左视点图像中占极小部分的用作视点间预测的宏块)。对于普通帧的重建,可以在略微降低修复质量的基础上降低其错误隐藏算法的复杂度。因此,普通帧重建的具体过程类同于 2.3.2 节中描述的次核心帧重建过程,但在采用式(6)或(7)进行运动补偿时,采用 1/2 像素等级进行补偿计算来降低算法复杂度,其计算公式参见文献[13]。

3 实验结果

3.1 实验参数设置

本文选用典型的多视点视频序列“Exit”和“Ballroom”^[14]来评估所提出算法的性能,其中“Exit”序列背景区域较大,“Ballroom”序列运动信息较丰富,图像分辨率为 640 × 480,帧率为 25 fps,测试序列选用视点 0 和 1。实验中的立体视频编码结构如图 1 所示,具体编码参数设置如表 3 所示。在进行算法性能比较时,由于针对面向 HBP 结构的 B 帧整帧丢失错误隐藏算法的相关研究尚处于起步阶段,本文选用多视点编码校验平台 JMVC 中提供的两种整帧丢失错误隐藏算法:直接拷贝法和基于 SKIP 模式的错误隐藏法。此外,还与文献[11]中提出的运动预测法进行了性能比较。对比算法有 4 种:(1)直接拷贝法 1(DC1),该算法采用同一视点中,相邻的前向参考帧来填补丢失帧;(2)直接拷贝法 2(DC2),该算法采用同一时刻,相邻视点的参考帧来填补丢失帧;(3)基于 Skip 模式的错误隐藏法(SKIP),它是多视点视频编码标准 H.264/MVC 的校验平台 JMVC 中自带的一种错误隐藏方法。

“SKIP”法在算法实现中先将丢失宏块的编码模式设为 Skip 模式,利用 Skip 编码模式下宏块运动矢量为零的特征在前后参考帧中找到匹配块,然后对匹配块进行残差补偿,最后将补偿后的前后匹配块像素值相加取平均来完成丢失块的错误掩盖;(4)运动预测法(Motion Prediction, MP)^[11]。

在进行错误隐藏仿真时,设定图像的 Y 分量发生丢失, U, V 分量能正常解码。为了精确比较并显示 HBP 结构下出错帧的错误传递情况,采用逐帧比

较的方法,通过 3 组实验分别对核心帧、次核心帧和普通帧丢失进行比较。在各组实验中,设每个 GOP 中的该类帧发生整帧丢失,先前解码帧正确解码。

3.2 实验结果与分析

表 4 给出了核心帧、次核心帧和普通帧经不同算法隐藏后的 Y 分量平均 PSNR 值,从表中可以看出,对于“Exit”序列核心帧,本文提出的方法相比 MP, SKIP, DC1 和 DC2 法,能提高平均 PSNR 值 0.51 dB 到 14.58 dB;对次核心帧,能提高 0.56 dB 到 13.29 dB;对普通帧,能提高 0.17 dB 到 9.94 dB。对于“Ballroom”序列的核心帧,次核心帧和普通帧,本文方法比上述 4 种方法能分别提高 0.63 dB 到 12.15 dB, 0.95 dB 到 11.72 dB 和 0.4 dB 到 8.31 dB。从表 4 的实验结果可发现,利用同一视点内各帧图像时域相关性的“DC1”法优于利用视点间相关性的“DC2”法,这说明同一视点内的时域相关性明显强于同一时刻的视点间相关性。

图 3(a)和图 3(b)分别给出了“Exit”右视点序列码流传输中发生核心帧和次核心帧丢失后,经不同算法错误隐藏后的各帧图像客观质量性能曲线(PSNR 曲线),帧数为前 57 帧。图中,“Free”表示正确解码后的图像 PSNR 值,“No_EC”表示未经错误隐藏的出错图像。从图中可以看出,本文方法和 MP 法明显优于 DC1, DC2 和 SKIP 法,但由于本文方法在视点间运动相关性利用中考虑了物体在时域方向的运动连续性,以及在次核心帧隐藏中根据视点间运动相关性的强弱对不同区域采用不同的方法,比 MP 法进一步提高了错误隐藏性能。SKIP 法由于进行了残差补偿,并对前后向参考帧求均值,其性能优于 DC1 法和 DC2 法。

图 4 分别给出了“Exit”序列某个次核心帧(第 30 帧)丢失后经 MP 法, SKIP 法和本文方法修复后的主观质量图。MP 法先根据全局视差运动对当前宏块作视差补偿,接着利用相邻视点中对应块的运动信息进行运动补偿,但全局视差矢量不能准确描述各个宏块的视差矢量,且各图像块的视点间相关性存在差异,错误隐藏后的图像有较大区域存在块模糊现象,如图 4(a)中的白框区域;SKIP 法由于采用前后向拷贝而导致重影(图 4(b)白框区域),并会导致后续帧解码时出现严重的错误传递;而本文方法取得了良好的主观质量。

表 3 编码参数设置

编码参数	预测结构	GOP	QP	帧率	搜索范围	搜索模式	参考帧数
参数值	HBP	8	32	25 fps	32×32	快速	3

表 4 各类帧发生整帧丢失后经不同算法隐藏后的平均 PSNR 值(dB)

视频序列	帧类		正确解码	未隐藏	DC1	DC2	SKIP	MP	本文方法	
Exit	核心帧	PSNR	37.55	16.51	31.50	22.04	32.77	36.11	36.62	
		增量		20.19	5.12	14.58	3.85	0.51		
	次核心帧	PSNR	37.55	19.05	32.85	23.68	34.20	36.41	36.97	
		增量		17.92	4.12	13.29	2.57	0.56		
	普通帧	PSNR	37.55	23.57	34.76	26.76	35.94	36.53	36.70	
		增量		13.13	1.94	9.94	0.76	0.17		
	Ballroom	核心帧	PSNR	35.69	15.34	24.28	21.36	25.51	32.88	33.51
			增量		17.98	9.13	12.15	8.00	0.63	
次核心帧		PSNR	35.69	17.69	25.98	22.61	27.41	33.38	34.33	
		增量		16.64	8.35	11.72	6.92	0.95		
普通帧		PSNR	35.69	22.20	29.16	25.58	30.64	33.49	33.89	
		增量		11.69	4.73	8.31	3.25	0.40		

3.3 算法复杂度分析

从算法复杂度分析来看，本文方法算法复杂度的增加部分主要来自图像分区与丢失运动矢量估计方面。本文对核心帧、次核心帧和普通帧分别进行了不同隐藏算法的运行时间统计，实验硬件环境采用 2.53 GHz Intel Core2 Duo 处理器，3 G 内存的笔记本电脑，统计结果如表 5 所示。DC1 法由于直接采用缓冲区里的先前解码帧替换丢失帧，执行时间最短；SKIP 法将丢失帧的各宏块直接设定为 Skip 模式，比宏块正常解码的执行时间更低。本文方法由于对图像进行了分区，对平滑的背景区采用了直接拷贝的方法，对运动区采用基于运动\视差补偿的方法，因此核心帧、次核心帧的修复时间比正常解码的执行时间略长，对解码一帧来说大概有 2% 左右的增加，可满足实际应用的需要。对于普通帧，由于采用 1/2 像素等级的运动\视差补偿，执行时间降低。

4 结束语

鉴于此前的错误隐藏算法主要面向 IPPP 编码格式下的 I 帧或 P 帧解码出错，为此本文提出了针对 HBP 编码结构的双视点视频 B 帧整帧丢失分层错误隐藏方法。该方法的主要特点是：(1)根据解码中 B 帧的位置不同，将 B 帧划分成核心帧、次核心帧和普通帧，并采用不同的错误隐藏方法对不同类型的丢失帧进行分层错误隐藏，避免了先前 B 帧错误隐藏法对重要性等级不同的 B 帧仅采用单一方法的缺点；(2)分析了双视点视频中，左右视点各编码块间存在的运动矢量相关性，并将其应用到错误隐藏算法中，提高了差错掩盖的性能。实验表明，本文算法相对于 H.264/JMVC 校验软件中自带的 SKIP 法最多能提高平均 PSNR 值 8.0 dB。下阶段工作中，我们将继续挖掘多视点视频编码中存在的视点间相关性，将本文算法扩展到两个视点以上的多视点视频编码中。

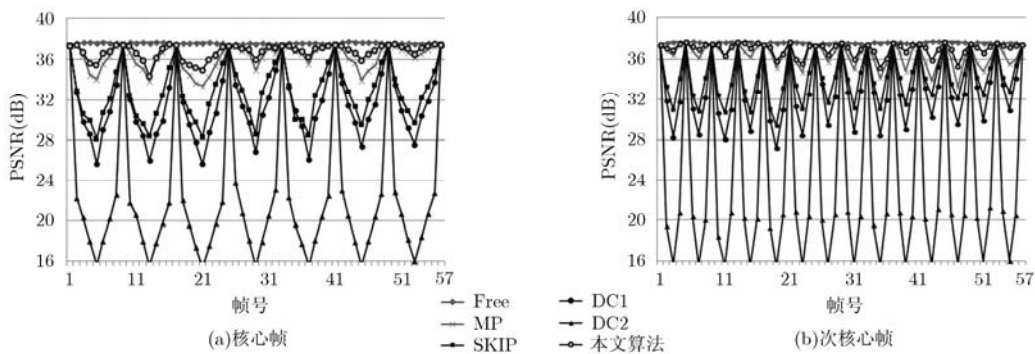


图 3 “Exit” 序列右视点帧丢失经不同算法恢复后各帧 PSNR 曲线



图4 “Exit”序列次核心帧(第30帧)丢失后经不同算法修复后的主观质量图

表5 不同算法下各出错帧的平均修复耗时(ms)

测试序列	出错帧类型	正常解码	DC2	SKIP	MP	本文方法
Exit	核心帧	63.25	24.65	60.87	63.67	64.31
	次核心帧	63.27	24.31	60.52	63.89	64.89
	普通帧	63.15	24.37	60.35	63.53	62.77
Ballroom	核心帧	66.71	26.24	65.25	67.16	67.79
	次核心帧	66.33	26.16	64.96	66.83	67.83
	普通帧	65.89	25.42	63.53	66.36	65.26

参 考 文 献

- [1] Wan Shuai and Ebroul I. Rate-distortion optimized motion-compensated prediction for packet loss resilient video coding[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2007, 16(5): 1327-1338.
- [2] Zhang Yong-bing, Xiang Xin-guang, Zhao De-bin, et al. Packet video error concealment with auto regressive model[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(1): 12-27.
- [3] Song K, Chung T, and Kim C S. Error concealment of multi-view video sequences using inter-view and intra-view correlations[J]. *Journal of Visual Communication and Image Represent*, 2009, 20(4): 281-292.
- [4] Vetro A, Wiegand T, and Sullivan G J. Overview of the stereo and multiview video coding extensions of the H.264/MPEG-4 AVC standard[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2011, 99(4): 626-642.
- [5] Xiang Xin-guang, Zhao De-bin, Wang Qiang, et al. A joint encoder-decoder error control framework for stereoscopic video coding[J]. *Journal of Visual Communication and Image Represent*, 2010, 21(8): 975-985.
- [6] 郭继昌, 赵俊杰. 基于运动特性分析的立体视频差错掩盖[J]. *电子与信息学报*, 2012, 34(12): 2809-2815.
Guo Ji-chang and Zhao Jun-jie. Stereoscopic error concealment based on motion characteristic analysis[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2012, 34(12): 2809-2815.
- [7] Zhou Yang, Jiang Gang-yi, Yu Mei, et al. Region-based error concealment of right-view for stereoscopic video transmission[J]. *Computers and Electrical Engineering*, 2012, 38(1): 217-230.
- [8] Liu Yun-qiang, Wang Jin, and Zhang Huan-huan. Depth image-based temporal error concealment for 3-D video transmission[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2010, 20(4): 600-604.
- [9] Hewage C T E R, Worrall S, Dogan S, et al. Frame concealment algorithm for stereoscopic video using motion vector sharing[C]. *Proceedings of 2008 IEEE International Conference on Multimedia and Exposition, Hannover, Germany*, 2008: 485-488.
- [10] Liu Xiang-kai, Peng Qiang, and Fan Xiao-jiu. Frame loss concealment for multi-view video plus depth[C]. *Proceedings of 2011 15th IEEE International Symposium on Consumer Electronics, Singapore*, 2011: 208-211.
- [11] Liu Shu-jie, Chen Ying, Wang Ye-kui, et al. Frame loss error concealment for multiview video coding[C]. *Proceedings of 2008 IEEE International Symposium on Circuits and System, Berlin*, 2008: 3470-3473.
- [12] Tsai Wen-jin and Liu Wan-han. Error resilient video coding using hybrid hierarchical B pictures[C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Florida, USA*, 2012: 1641-1644.
- [13] Lu L, McCanny J V, and Sezer S. Multi-standard sub-pixel interpolation architecture for video motion estimation[C]. *Proceedings of 2008 IEEE International System on Chip Conference, California, USA*, 2008: 229-232.
- [14] ftp [OL]. <ftp://merl.com/pub/avetro/mvc-testseq>, 2009.

周 洋： 男，1979年生，博士，讲师，研究方向为3D视频编解码、视频传输差错控制。

蒋刚毅： 男，1964年生，教授，主要研究方向为多媒体信息通信、图像处理。

郁 梅： 女，1968年生，教授，主要研究方向为多媒体信号处理、视频编码。