

一种基于双域拉格朗日插值的视频错误隐藏方法

张建龙^{1,2}, 吴成柯², 高新波¹

(11 西安电子科技大学电子工程学院, 陕西西安 710071; 21 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘 要: 本文提出了一种基于双域拉格朗日插值的错误隐藏方法, 编码采用 H.264 标准, 分别在时域和空域进行插值获得两个运动矢量, 通过建立插值系数表构造混合的插值模型, 经过边缘匹配算法判断后获得最优的运动矢量作为丢失宏块的运动矢量. 为了减小网络突发错误对插值效果的影响, 本文在编码端提出了一种类交织的 slice 划分方法, 实验证明本文方法由于充分利用了时域和空域的信息冗余, 取得了较好效果, 在 15% 网络丢包率的环境下平均 PSNR 比空域拉格朗日插值方法高 0.15dB~1dB 左右.

关键词: 拉格朗日插值; 双域插值; 运动矢量; 类交织

中图分类号: TN94 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2007) 04-0652-06

A Novel Error Concealment Algorithm Based on Lagrange Interpolation in Two Fields

ZHANG Jianlong^{1,2}, WU Chengke², GAO Xinbo¹

(1. School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China;

2. ISN National Key Laboratory, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract: An error concealment algorithm based on Lagrange interpolation in spatial field and temporal field for H.264 video was presented. Two motion vectors were obtained by interpolating in spatial and temporal field respectively. A hybrid interpolation model was constructed to get the optimal motion vector of lost motion vector by setting up a table for interpolation coefficients and judging with boundary match algorithm. Furthermore, a novel like-interlace method for slices was presented in order to reduce the bad effect of burst error in channel to the interpolation. Simulation results show that this scheme can highly improve the quality of reconstructed video and obtain a gain of about 0.15dB~1dB in PSNR, compared with Lagrange interpolation in spatial field in the condition of packet loss rate with 15%.

Key words: Lagrange interpolation; interpolation in two fields; motion vector; like-interlace

1 引言

视频通信系统中, 差错控制是非常重要的一个环节. 由于实时系统对时延非常敏感, 因此不宜采用重传方法纠正错误, 而当前的视频编码中广泛使用预测编码和变长编码, 致使压缩的视频码流极易受到传输错误的损害. 为此人们对差错控制进行了深入研究, 在编码端可以采用 FEC (前向纠错)^[1], UEP (不等重保护)^[2], MDC (多描述编码)^[3], 信源信道联合编码^[4]等方法, 而在解码端主要采用错误隐藏的方法. 错误隐藏包括时域、频域和空域等方法, 其中时域隐藏是基于视频信号的时间相关性, 以前一帧中相同位置块或通过估计运动矢量来找到合适块代替当前帧中的错误块, 这种方法只

适合于运动不太复杂的视频信号, 但对于场景切换等情况, 往往很难从前一帧中找到合适的替代块. 为此就需要利用帧内信息对错误块进行掩盖处理, 频域错误掩盖是利用视频信号在频域能量比较集中, 以相邻块的 DCT 低频系数估算错误块的相应系数, 这种方法只适合周围块是帧内编码, 而且所得到的图像比较模糊.

和前两种方法相比, 空域掩盖既可以实现帧内掩盖, 又可以重建部分边界信息. 文献[5]利用相邻的宏块 MV 值构造拉格朗日插值函数, 实质上是采用空域插值的方法, 平均 PSNR 提高 0.15dB 左右, 取得了较好的效果, 但前提条件是假设该区域平滑运动. 由于压缩视频流在时域和空域都有冗余, 加上视频内容不尽相同, 传输信道差异较大, 因此只利用时域信息或只利用空域信

息进行错误隐藏,显然不够全面合理,综合利用双域的冗余信息将更大程度地提高错误隐藏效果,文献[6]采用混合域错误隐藏,通过与阈值比较从而决定采用时域错误掩盖还是空域错误掩盖,然而这种方法只是简单的选择和丢弃,并没有充分利用时域和空域的冗余信息,因此本文提出了一种新的基于双域插值恢复丢失宏块 Motion Vector 的错误隐藏方法,通过建立系数表构造双域插值函数,并通过最优 MV 选择获得最佳的错误隐藏 MV,试验证明本文方法能够充分利用双域信息,进一步提高解码端视频质量.

2 基于双域插值的数学模型

由于拉格朗日插值的计算量小于大部分的插值函数,因此它是应用最广泛的一种插值函数.本文提出了一种基于拉格朗日插值的错误隐藏方法,通过双域插值获得的混合 MV 来替代丢失宏块的 MV,分为三部分介绍数学插值模型.

2.1.1 拉格朗日插值模型

对于 $n+1$ 个互异节点 (x_i, y_i) , 假设 $y_i = I(x_i)$, 构造不超过 n 次插值多项式

$$I(x) = y_0 L_0^{(n)}(x) + y_1 L_1^{(n)}(x) + \dots + y_n L_n^{(n)}(x) \quad (1)$$

其中, $L_0^{(n)}, \dots, L_n^{(n)}$ 为插值系数, 该系数由以下式(2a), (2b)得到:

$$L_i^{(n)} = \frac{(x - x_0) \dots (x - x_{i-1})(x - x_{i+1}) \dots (x - x_n)}{(x_i - x_0) \dots (x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1}) \dots (x_i - x_n)} \quad (2a)$$

$$L_i^{(n)}(x_k) = \begin{cases} 1 & \text{若 } i = k \\ 0 & \text{若 } i \neq k \end{cases} \quad (2b)$$

2.1.2 本文的空域插值模型

本文的空域插值方法采用文献[5]的空域拉格朗

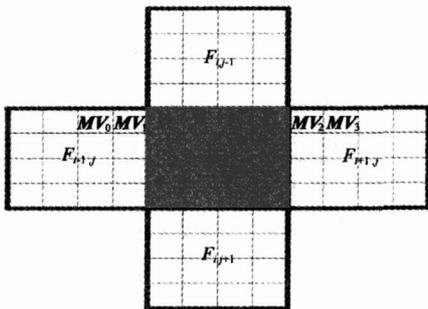


图 1 空域插值示意图

日插值方法,如图 1 所示: $F_{i,j}$ 为丢失宏块, i, j 为宏块的空间坐标,假定相邻的四个宏块都已被正确接收,由于 H1264 支持 4×4 块运动估计,设 MV_0, MV_1 为相邻左宏块的两个 4×4 块运动矢量, MV_2, MV_3 为相邻右宏块的两个 4×4 块运动矢量, V_0, V_1, V_2, V_3 为丢失宏块的四个 4×4 块运动矢量.各 4×4 块的坐标值如表 1

所示,构造三次拉格朗日插值多项式如式(3).根据模型可以得到 V_0, V_1, V_2, V_3 的插值运动矢量,类似的方法得到丢失宏块的所有 4×4 块的运动矢量.

表 1 空域插值各运动矢量坐标

y_i	MV_0	MV_1	V_0	V_1	V_2	V_3	MV_2	MV_3
x_i	-3.5	-2.5	-1.5	-0.5	0.5	1.5	2.5	3.5

$$MV(x) = MV_0 \left[- \frac{(x+2.5)(x-2.5)(x-3.5)}{42} \right] + MV_1 \left[\frac{(x+3.5)(x-2.5)(x-3.5)}{30} \right] + MV_2 \left[- \frac{(x+3.5)(x+2.5)(x-3.5)}{30} \right] + MV_3 \left[\frac{(x+2.5)(x+2.5)(x-2.5)}{42} \right] \quad (3)$$

2.1.3 本文的时域插值模型

由于空域上采用的是三次插值多项式,而且 H1264 标准支持多帧参考,为了与空域对应,时域上也采用三次插值多项式,因此需要四个插值节点,也就是需要四帧参考帧的对应宏块的运动矢量信息.本文的时域插值示意图如图 2 所示,图中 $F_{n-2}, F_{n-1}, F_n, F_{n+1}, F_{n+2}$ 为图像帧包括错误隐藏帧和参考帧, $MV_{n-2}, MV_{n-1}, MV_n, MV_{n+1}, MV_{n+2}$ 为对应宏块的运动矢量.时域插值的前提是在时域的运动是平滑的,所以场景转换帧不能作为参考帧,除此之外非同一 GOP 的 I 帧也不能作为参考帧,否则将大大降低插值效果,因此在选择参考帧的时候,需要排除场景转换帧和非同一 GOP 的 I 帧.另外,如果错误隐藏帧为 P 帧,由于 P 帧的参考帧只能是当前帧的前 4 帧,也就是当前帧只能是 F_{n+2} , 参考帧为 $F_{n-2}, F_{n-1}, F_n, F_{n+1}$, 当参考帧存在场景转换帧则移入 F_{n-3} 帧作为替代参考帧,若 F_{n-3} 仍不满足条件,则移入 F_{n-4} 帧,由于 H1264 最大支持 16 帧参考,考虑到节省存储成本,本文选取 8 帧帧存容量,因此若移入的 F_{n-6} 帧仍为场景转换帧则置参考帧相应宏块的 MV 为 0, 若参考帧存在非同一 GOP 的 I 帧时置该帧 MV 为 0. 如果错误隐藏帧为 B 帧时,错误隐藏帧可能为 $F_{n-2}, F_{n-1}, F_n, F_{n+1}, F_{n+2}$ 帧中的任何一帧,则其余帧为参考帧,当参考帧存在场景转换帧,用该帧的前一帧或后一帧替换该帧,原则是替换帧必须是同一 GOP 的非场景转换帧,若没有替换帧存在则置该参考帧相应宏块的 MV 为 0, 若参考帧存在非同一 GOP 的 I 帧时置该帧 MV 为 0.

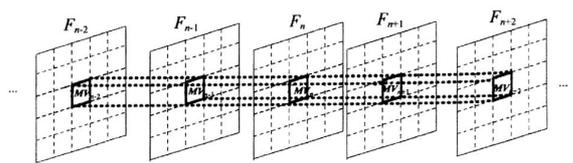


图 2 时域插值示意图

因此错误隐藏帧的位置将由错误隐藏帧和选择的参考帧的特性决定. 设错误隐藏宏块的运动矢量为 V , 以时间为坐标, 可以得到各宏块的坐标值如表 2 所示, 由拉格朗日模型可以得到最后的时域插值模型如式 (4), 式 (5), 式 (6), 式 (7), 式 (8), 其中 P 帧的模型只能为式 (8), B 帧的模型为式 (4), 式 (5), 式 (6), 式 (7), 式 (8). 由于同一帧的宏块在时域的坐标相同, 因此在时域上 16@16 的宏块和 4@4 块的插值模型是相同的. 另外假设时域上视频的运动是平滑的, 因此时域的坐标选择是等间隔的, 如果运动不平滑, 可以重新定义各帧的时间坐标, 从而建立新的插值模型.

表 2 时域插值各运动矢量坐标

1	y_i	V	MV_{n-1}	MV_n	MV_{n+1}	MV_{n+2}
	x_i	- 2	- 1	0	1	2
2	y_i	MV_{n-2}	V	MV_n	MV_{n+1}	MV_{n+2}
	x_i	- 2	- 1	0	1	2
3	y_i	MV_{n-2}	MV_{n-1}	V	MV_{n+1}	MV_{n+2}
	x_i	- 2	- 1	0	1	2
4	y_i	MV_{n-2}	MV_{n-1}	MV_n	V	MV_{n+2}
	x_i	- 2	- 1	0	1	2
5	y_i	MV_{n-2}	MV_{n-1}	MV_n	MV_{n+1}	V
	x_i	- 2	- 1	0	1	2

$$MV_T(x) = MV_{n-1} \left[-\frac{x(x-1)(x-2)}{6} \right] + MV_n \left[\frac{(x+1)(x-1)(x-2)}{2} \right] + MV_{n+1} \left[-\frac{x(x+1)(x-2)}{2} \right] + MV_{n+2} \left[\frac{x(x+1)(x-1)}{6} \right] \quad (4)$$

$$MV_T(x) = MV_{n-2} \left[-\frac{x(x-1)(x-2)}{24} \right] + MV_n \left[\frac{(x+2)(x-1)(x-2)}{4} \right] + MV_{n+1} \left[-\frac{x(x+2)(x-2)}{3} \right] + MV_{n+2} \left[\frac{x(x+2)(x-1)}{8} \right] \quad (5)$$

$$MV_T(x) = MV_{n-2} \left[-\frac{(x+1)(x-1)(x-2)}{12} \right] + MV_{n-1} \left[\frac{(x+2)(x-1)(x-2)}{6} \right] + MV_{n+1} \left[-\frac{(x+2)(x+1)(x-2)}{6} \right] + MV_{n+2} \left[\frac{(x+2)(x+1)(x-1)}{12} \right] \quad (6)$$

$$MV_T(x) = MV_{n-2} \left[-\frac{(x+1)x(x-2)}{8} \right] + MV_{n-1} \left[\frac{(x+2)x(x-2)}{3} \right] + MV_n \left[-\frac{(x+2)(x+1)(x-2)}{4} \right]$$

$$+ MV_{n+2} \left[\frac{(x+2)(x+1)x}{24} \right] \quad (7)$$

$$MV_T(x) = MV_{n-2} \left[-\frac{(x+1)x(x-1)}{6} \right] + MV_{n-1} \left[\frac{(x+2)x(x-1)}{2} \right] + MV_n \left[-\frac{(x+2)(x+1)(x-1)}{2} \right] + MV_{n+1} \left[\frac{(x+2)(x+1)x}{6} \right] \quad (8)$$

214 双域插值数学模型

由于压缩码流中不仅存在空域冗余, 而且存在时域冗余, 因此只利用时域信息插值, 或只利用空域信息插值都是不合理的, 为了充分利用码流中存在的冗余信息, 进一步提高插值精度, 本文提出了双域插值的方法, 具体做法是根据式 (3) 得到空域插值运动矢量 MV_S , 再根据式 (4)~ (8) 得到时域插值运动矢量 MV_T , 在得到的时域运动矢量和空域运动矢量前分别乘以系数 A B A B 分别代表最后的插值运动矢量中时域信息和空域信息所占比重, 最终的双域插值模型如式 (9), (10) 所示.

$$MV_D = AMV_T + BMV_S \quad (9)$$

$$A + B = 1 \quad (10)$$

其中, $A = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m B_j}$, $B = \frac{\sum_{j=1}^m B_j}{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m B_j}$, A_i, B_j

分别为时域和空域插值中所使用的参考宏块运动矢量的系数, 系数定义如图 3 所示: CMB 为当前处理的错误隐藏宏块, 定义正确收到的参考宏块系数为 3, 经过错误隐藏的参考宏块系数为 1, 信息丢失且未插值的参考宏块系数为 0.

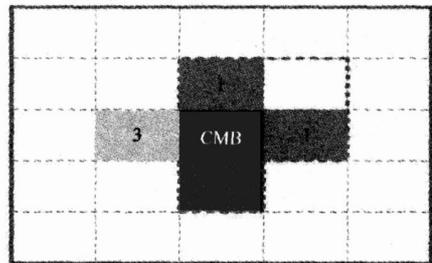


图 3 系数确立示意图

215 最优 MV 值选择

从以上可以得到三个可选的 MV 值 (MV_T, MV_S, MV_D), 最优的 MV 值一定能够使得当前 MB 的运动最为平滑, 因此本文选用 H1264 附录 IV (非常态错误掩盖) 的判断原则. 具体方法如图 4 所示, 首先, 使用每一个候选运动矢量

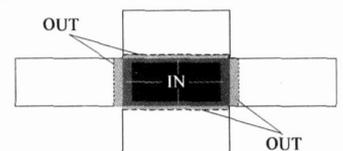


图 4 判断最优运动矢量示意图

进行补偿, 然后检查掩盖的 MB 的内外边界的变化, 使变化最小的候选运动矢量将被确定为最终的预测. 选择的预测运动矢量最小化边界匹配误差 d_{sm} , 这里 d_{sm} 定义为当前块内外边界 Y 像素差值的绝对和

$$\min_{dir \in \{T, S, D\}} \arg \min_{d_{sm}} \left[\sum_{j=1}^N |Y(nv^{dir}) - Y_j^{OUT}| / N4 \right] \quad (11)$$

本文方法的具体算法:

11 确定进行错误隐藏的宏块位置信息和空域相邻的宏块运动矢量信息.

21 根据式(3)计算空域插值的运动矢量 MV_S

31 根据 2.3 节的原则确定参考宏块的系数 B_j 及系数之和 $\sum_{j=1}^m B_j$

41 确定作为插值节点的参考帧及对应宏块的运动矢量信息

51 根据式(4)~(8)计算时域插值的运动矢量 MV_T

61 根据 2.13 节的原则确定参考宏块的系数 A_i 及系数之和 $\sum_{i=1}^n A_i$

71 根据式(9), 式(10)求得双域插值的错误隐藏失

量 MV_D .

81 根据式(11)确定最优的 MV 值.

3 类交织的 slice 划分方法

由于 H1264 标准的网络打包是按照 slice 划分方向进行的, 当传输信道中发生突发错误时, 固定的 slice 划分将可能导致同一个 slice 甚至多个 slice 中连续数据错误, 此时时域插值的参考帧宏块同时丢失的概率较高, 一旦发生这样的突发错误将对时域插值结果造成致命影响, 也将大大降低双域插值的效果. 为了减小突发错误对插值结果的影响, 降低参考宏块同时丢失的概率, 提高时域插值的精度, 联想到交织分散突发错误的做法, 本文提出了一种类交织的 slice 划分方法. 具体方法如图 5 所示: 每两帧为一个单位, 图中 F_n 和 F_{n-1} 为一个单位, F_{n+1} 和 F_{n+2} 为一个单位, 每个单位的 slice 划分规则相同, 相邻两个单位的 slice 划分分别为水平和垂直两种, 这样当发生突发错误时, 宏块的丢失将按照单位划分沿垂直和水平两种方向丢失, 从时域的角度来看, 视频参考帧对应宏块同时丢失的概率将大为降低.

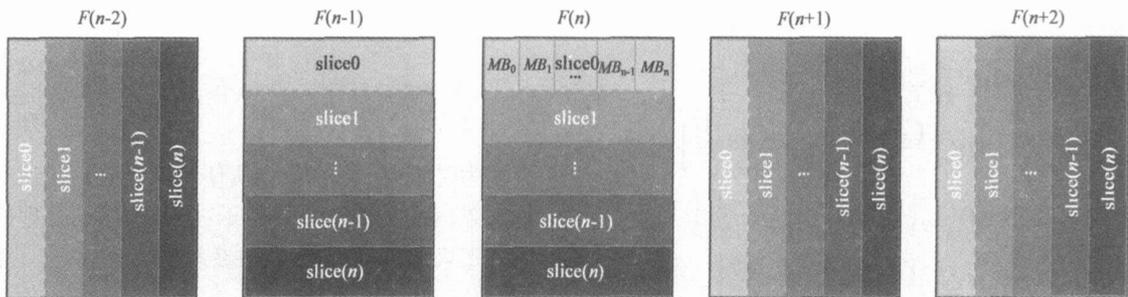


图 5 类交织的 slice 划分方法示意图

假设突发错误导致每帧的 slice0 数据丢失, 如果视频帧的 slice 划分相同, 则对于时域插值而言, 所有 slice0 宏块的时域信息全部丢失, 时域插值失去意义. 如果按本文的类交织的划分方法, 在解码端对第 F_n 帧的 slice0 宏块进行时域插值时, 由于第 F_{n-2} 帧, 第 F_{n+1} 帧和第 F_{n+2} 帧的 slice 沿垂直方向划分, 而错误隐藏帧 F_n 和参考帧 F_{n-1} 沿水平方向划分, 则除了错误隐藏第 F_n 帧 slice0 的第一个宏块 MB_0 外, 其他宏块的参考帧第 F_{n-2} 帧, 第 F_{n+1} 帧和第 F_{n+2} 帧对应宏块并没有丢失, 也就是将原来的四个插值节点全部丢失, 改进为只丢失一个, 因此本文类交织的 slice 划分方法可以有效的降低突发错误对时域插值的不利影响, 提高时域信息的利用率和时域插值的鲁棒性.

4 仿真试验

本文的仿真试验选取 FOREMAN, MOIHER 及 FOOTBALL 作为视频序列, 图像格式为 QCIF, 帧频为

30fps, 每个序列试验 50 帧. 编解码程序选用标准的 H1264 提供的 JM8, 仿真帧序列格式为 IPBBPBBP. 为了充分验证本文方法的先进性, 选取同边缘匹配方法及空域拉格朗日插值方法比较, 模拟丢包率分别为 5%, 10% 及 15% 的网络仿真环境, 另外为了验证类交织 slice 划分方法的性能, 增加了采用类交织 slice 划分方法和普通 slice 划分方法性能比较. 计算四种方法的错误隐藏后 PSNR 值, 仿真结果如表 3, 表 4 及图 6.

表 3 为发生错误隐藏的宏块中选取双域插值运动矢量, 时域插值运动矢量及空域插值运动矢量, 作为最优错误隐藏运动矢量次数的百分数比较. 从表中可以看出, 选取双域插值运动矢量的次数超过错误隐藏次数的一半以上, 这是因为双域插值较好的利用了码流中时域和空域的冗余, 因而更好的替代了丢失宏块的运动矢量. 另外, 随着网络丢包率的增加, 也就是网络传输环境的恶劣, 双域插值的运动矢量作为最优运动矢量的百分比增加, 这是因为丢包率的增加意味着信

息丢失增加, 双域插值利用时域和空域的冗余信息, 因而最大程度地减小了信息丢失对图像质量的影响, 从另一个角度来说, 信息丢失对单域插值精度地影响显然比双域插值精度的影响大。

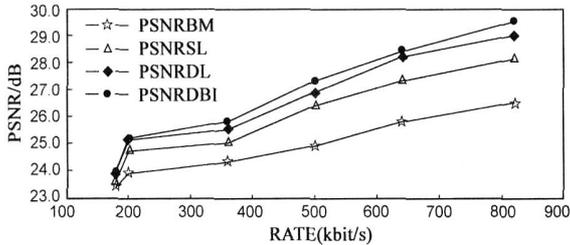


图 6 不同码率下四种方法的 PSNR 值比较

表 3 三种运动矢量被选为最优运动矢量的百分值比较

图像序列	网络丢包率	被选为最优 MV 的次数百分比		
		MV _S	MV _T	MV _D
FOREMAN	5%	24%	27%	49%
	10%	22%	25%	53%
	15%	20%	22%	58%
MOTHER	5%	26%	32%	42%
	10%	25%	29%	46%
	15%	22%	26%	52%
FOOTBALL	5%	28%	22%	50%
	10%	25%	20%	55%
	15%	20%	16%	64%

表 4 为三种视频序列、四种方法在三种网络丢包率环境下的 PSNR 值比较, 其中 PSNR_{BM} 为边缘匹配方法^[7]的 PSNR, PSNR_{SLA} 为空域拉格朗日插值方法的 PSNR, PSNR_{DLA} 为本文采用普通 slice 划分方法的 PSNR, PSNR_{DLA_I} 为本文采用类交织 slice 划分方法的 PSNR. 从表中可以看出, 随着网络丢包率的增加, 本文方法和空域拉格朗日方法比边缘匹配方法的 PSNR 提高的更多, 达到 1dB~ 2dB 左右, 因而具有更好的网络传输鲁棒性, 这是因为插值方法更好的利用了压缩码流中的信息冗余, 因而提高了错误隐藏的效果. 而空域拉格朗日插值和双域拉格朗日插值相比较而言, 在低丢包率环境下, 性能差别不大, 随着网络丢包率的增加, 双域插值 PSNR 的衰减明显小于空域插值, 15% 丢包率环境下, 平均 PSNR 比空域拉格朗日插值高 0.5dB~ 1dB 左右, 进一步证明了双域插值的优越性. 另外对于运动较缓慢的 MOTHER 和 FOREMAN 序列, 图像运动较为平滑, 比较符合插值运用的条件, 因而取得了更好的效果, 运动剧烈的 FOOTBALL 序列, 图像相关性较小, 使用插值方法的效果相对差一些. 但总体而言, 插值方法还是显示了其良好的性能. 尤其是本文的双域插值方法, 由于还使

用了类交织的 slice 划分方法, 进一步减小突发错误对时域插值的影响, 因而取得更好的效果, 使用类交织的插值比未使用类交织的插值效果平均 PSNR 高 0.12dB~ 0.14dB 左右, 特别是在高丢包率环境下, 效果更为明显.

图 6 为不同码率下四种方法 PSNR 曲线比较, 从中可以看出随着码率的提高, 本文方法的图像质量明显提高, 进一步证明了本文方法的优越性.

表 4 视频序列在四种方法三种网络环境下的 PSNR 值比较

图像序列	原始 PSNR (dB)	三种方法的 PSNR (dB)	网络丢包率		
			5%	10%	15%
FOREMAN	36.28	PSNR _{BM}	33.23	30.33	28.22
		PSNR _{SLA}	33.45	31.49	29.47
		PSNR _{DLA}	33.82	32.36	31.03
		PSNR _{DLA_I}	33.84	32.45	31.41
MOTHER	37.26	PSNR _{BM}	34.52	32.35	29.92
		PSNR _{SLA}	34.70	33.62	31.75
		PSNR _{DLA}	34.76	34.38	32.64
		PSNR _{DLA_I}	34.79	34.60	33.03
FOOTBALL	34.42	PSNR _{BM}	30.34	27.21	25.72
		PSNR _{SLA}	30.63	27.72	26.84
		PSNR _{DLA}	30.83	28.22	27.25
		PSNR _{DLA_I}	30.87	28.47	27.53

5 小结

本文提出了一种基于双域拉格朗日插值的错误隐藏方法, 分别在时域和空域插值得到备选的错误隐藏运动矢量, 再建立比例系数将二者结合得到双域插值运动矢量, 最后通过边缘匹配原则得到最优的运动矢量. 另外本文还提出了一种类交织的 slice 划分方法, 有效地减小网络突发错误对系统的影响. 试验证明在 15% 网络丢包率的环境下本文方法的平均 PSNR 比空域拉格朗日插值方法高 0.5dB~ 1dB 左右, 显示了良好的性能. 进一步结合 I 帧的特点^[8]进行错误隐藏可以得到更好的效果, 需要在以后的工作继续深入研究. 可以预见, 将本文方法进一步应用于无线视频系统中将会取得更好的效果.

参考文献:

[1] C K. The grand alliance system for US HDTV[J]. Proceedings of the IEEE. 1995. 1, 83(2): 74- 158.
 [2] Blake, S. An architecture for differentiated services[S]. IETF RFC2475, Dec. 1998. (Available at <http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt>)
 [3] Wang, Y M, O V, V. Multiple description coding using pairwise

correlating [J]. Transform IEEE Trans Image Process, 2001-5, 10(3): 351- 366.

- [4] 肖嵩, 张方, 吴成柯. 基于小波 SPIHT 的联合信源信道编码新方法 [J]. 计算机学报. 2003, 26 (3): 281- 286.
Xiao Song, Zhang Fang, Wu Chengke. A new method of joint source channel coding based on SPIHT [J]. Chinese Journal Of Computers. 2003, 26(3): 281- 286. (in Chinese)
- [5] Jinghong Zheng; Lap Pui Chau. A motion vector recovery algorithm for digital video using lagrange interpolation [J]. IEEE Transactions Broadcasting. 2003, 49(4): 383- 389.
- [6] 张二虎, 卞正中. 一种基于 H.263 的混合错误掩盖方法 [J]. 计算机工程, 2003, 29(22): 16- 17, 134.
Zhang Erhu, Bian Zhengzhong. A new hybrid error concealment method based on H. 263 [J]. Computer Engineering. 2003, 29 (22): 16- 17, 134. (in Chinese)
- [7] Y Wang, M M Hannuksela, V V. The error concealment feature in the H. 26L test model [J]. International Conference on Image Processing, 2002, 9(2): 729- 732.
- [8] Wei Ying Kung, Chang Su Kim, C C Jay Kuo. Spatial and

temporal error concealment techniques for video transmission over noisy channels [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(7): 789- 802.

作者简介:



张建龙 男, 1976 年生于陕西, 现任教于西安电子科技大学电子工程学院, 主要研究方向包括: 图像和视频压缩编码、Internet 和无线网络视频传输. Email: zjianl@yahoo.com.cn

吴成柯 男, 1938 年生于安徽, 教授、博士生导师, 国家自然科学基金委员会信息科学部评审组成员, 中国图像图形学会理事. 主要从事图像处理、图像通信、计算机视觉等方面的研究工作.

高新波 男, 1972 年生于山东莱芜, 教授、博士生导师、学科带头人. 目前主要从事影像处理、分析和理解、模式识别和机器学习等领域的研究.