

基于运动特性分析的立体视频差错掩盖

郭继昌* 赵俊杰

(天津大学电子信息工程学院 天津 300072)

摘要:传统的视频差错掩盖技术在处理含有剧烈或复杂运动的丢失宏块时效果不理想,该文在对立体视频编码预测方式统计分析的基础上,利用丢失宏块周围正确接收块和已掩盖块的运动和视差信息,将当前丢失宏块进行判别分类,根据不同类别做不同的处理,这就对丢失宏块的恢复更具有针对性,进而提高差错掩盖的质量和效率。实验结果表明,所提方法能够改善视频剧烈或复杂运动区域的掩盖质量。

关键词:立体视频; 差错掩盖; 运动补偿; 视差补偿; 子块掩盖

中图分类号: TN919.82

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2012)12-2809-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2012.00727

Stereoscopic Error Concealment Based on Motion Characteristic Analysis

Guo Ji-chang Zhao Jun-jie

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Traditional video error concealment techniques perform poorly in handling loss MacroBlocks(MBs) with intense or complicated motion. Based on the statistic analysis of stereoscopic video coding prediction mode, this paper classifies the loss MBs into different categories according to the motion and disparity information of their neighboring correctly received or concealed MBs, and uses different methods to conceal different kinds of MBs. Therefor the recovery of loss MBs is more purposeful and efficient. Simulation results show that the proposed method can improve the concealment quality of intense or complicated motion region.

Key words: Stereoscopic video; Error concealment; Motion compensation; Disparity compensation; Subblock concealment

1 引言

基于 H.264 标准编码的视频流对信道错误比较敏感,一旦出现丢包或误码,差错就极易在空域、时域迅速传播。差错掩盖是一种有效的解码端差错控制技术,在视频数据的恢复中有广泛的应用。

单视点差错掩盖技术^[1]已比较成熟,可应用于立体视频,如运动估计与运动补偿方法^[2,3]、自适应的掩盖方法^[4]、子块划分机制^[5]等,文献^[6]就充分利用了已有单视点技术来进行多视点视频的差错掩盖。

目前立体视频差错掩盖算法还较少,近几年,一些学者在立体视频右视点整帧丢失的掩盖方面进行了研究,利用视频序列预测方式的时域相关性^[7]、视点间的运动矢量和残差相似性^[8,9]来进行右视点整帧丢失的差错掩盖,相比拷贝前一帧的方法,这些方法不同程度地改进了视频质量,降低了差错传播的影响。文献^[10]提出了一种交叠块运动视差补偿方

法,在经典边界匹配算法候选补偿宏块的基础上增加了加权运动视差补偿块,效果较好。文献^[11]提出了将自回归模型应用于立体视频宏块级的差错掩盖,取得了较好的视频质量,但算法效率较低。文献^[12]提出了一种用于立体图像块丢失的差错掩盖算法,找出丢失块周围与另一视点匹配的特征点,基于这些匹配对建立投影变换模型来恢复丢失块,但特征点的正确选取和可靠性难以保证。文献^[13]使用基于图像内容的模式选择方法来进行立体图像的差错掩盖,根据丢失宏块的局域特性,自适应地采用单目掩盖模式或双目掩盖模式,对立体视频的差错掩盖具有借鉴意义。

本文对立体视频右视点非整帧丢失情形进行研究,在对立体视频编码预测方式统计分析的基础上,从丢失宏块周围正确接收块和掩盖块的编码预测方式、运动和视差矢量等信息中较准确地判断丢失宏块运动特性,进而实施相应掩盖策略。实验结果表明,所提方法能够改善视频剧烈或复杂运动区域的掩盖质量。

2012-06-11 收到, 2012-08-17 改回

国家 863 计划项目(2009AA01A336)资助课题

*通信作者: 郭继昌 jcguo@tju.edu.cn

2 立体视频编码与运动相关性分析

经典立体视频编码机制^[14]在每个图像组内,对左视点图像进行单通道编码;对右视点每一宏块分别进行运动补偿预测(MCP)和视差补偿预测(DCP),选择使率失真最小的预测形式作为宏块最终编码方式,如图1。

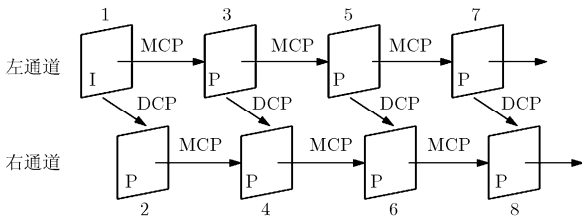


图1 立体视频编码结构

本文以单视点编解码参考模型 JM10.2 为测试平台,修改 JM 中的参考帧机制和矢量预测机制,添加视差估计模块,实现了立体视频编解码,为立体视频差错掩盖研究搭建了一个合适的平台。

下文中,宏块为 16×16 像素大小,若无特别说明,块为 8×8 像素大小。

通过统计右视点帧各块的预测方式并与原视频序列对应块进行比对,可以发现,对于一般自然图像,大部分背景区域使用的是时域补偿(运动补偿 mc 或帧间拷贝 copy),需要说明的是,帧间拷贝块的运动矢量为 0 且无预测残差,可以将其看做一种特殊的运动补偿块,但这里将两者区分开来,互不包含;帧间拷贝块主要出现在没有运动或极度平滑的区域;视差补偿块主要集中在具有剧烈或复杂运动的区域;帧内预测块则表现出下面 3 特性之一:(1)极度平滑;(2)使用某种帧内预测模式就可以较好恢复(如竖直方向预测);(3)使用运动预测和视差预测都有较大失真。

表 1 中给出了对立体视频序列 ballroom 右视点前 100 帧进行编码预测方式相关性统计的结果(每个图像组右视点第 1 帧不参与统计),以第 1 行第 1 列的数据为例,指的是当某一宏块 A 周围块中不含视差补偿块时(no dc),宏块 A 采用运动补偿(mc)的概率为 0.2481,需要说明的是,特定行中结果的前 4 项组成了特定条件下结果的全集,其概率和为 1,最后一项是从分块角度对宏块编码方式的分析,以第 1 行最后一列数据为例,指的是当某一宏块 A 周围块中不含视差补偿块时,宏块 A 采用分块模式编码的概率为 0.0947,分块模式指编码时对宏块 A 划分子块,各子块使用不同的预测模式或预测矢量。

下面举例来说明所实施的统计方法,如表 1 第

表 1 立体视频编码预测方式相关性统计结果

条件	运动补偿	视差补偿	拷贝补偿	帧内补偿	分块模式
不含视差补偿块	0.2481	0.0064	0.7092	0.0363	0.0947
仅含视差补偿块与帧内补偿块	0.0590	0.7319	0.0087	0.2004	0.3420
既含运动补偿块又含视差补偿块	0.3952	0.2831	0.1507	0.1710	0.4328
仅含拷贝补偿块	0.0847	0.0006	0.9097	0.0050	0.0162
仅含拷贝补偿块与帧内补偿块	0.0714	0.0115	0.7071	0.2100	0.0178
仅含帧内补偿块	0.0357	0.0215	0.0571	0.8857	0.2571

1 行的第 1 列和第 3 列,当某宏块 A 周围不存在视差补偿块时(设为条件 1, nodc),此宏块采用时域补偿(mc+copy)的概率 p ,如式(1)。

$$p = \frac{N_{mc} + N_{copy}}{N_{total}} \quad (1)$$

N_{total} 为右视点帧中满足条件 1 的宏块个数乘以 4, $N_{mc} + N_{copy}$ 为右视点帧中满足条件 1 的宏块中时域补偿块的个数之和,统计结果表明,此概率高达 80% 及以上,平均值为 0.9573(0.2481+0.7092)。

分析可知,如果当前丢失宏块周围不含视差补偿块,则认为当前宏块不含剧烈运动,选用运动补偿或帧间拷贝效果会较好,如表 1,时域补偿(mc+copy)的概率为 0.9573;如果丢失宏块周围只含有视差补偿块和帧内编码块,则认为丢失宏块存在剧烈复杂运动或发生了场景变换,应该优先选用视差补偿来掩盖,如表 1,视差补偿的概率为 0.7319;若丢失宏块周围既有运动补偿块又有视差补偿块,此类宏块通常位于运动物体边缘位置,宏块内部运动不一致,从表 1 的第 3 行可以看到,相比其他情形,4 种结果的概率较为平均,此时不确定性最大,划分子块的概率相比其他情形也有明显的提升,因此若整块恢复时匹配失真较大,则需要将宏块进一步划分成较小的子块再分别处理;若丢失宏块周围只含帧间拷贝块与帧内编码块(可无),说明丢失宏块周围较平滑无剧烈运动,则应优先选用帧间拷贝的方法,如表 1 第 4, 5 行所示;若丢失宏块周围只含帧内编码块,则应采用帧内补偿方法,如表 1 第 6 行所示。

在解码端,正确接收宏块的 cbp 参数的低 4 比特位分别用来标识其 4 个 8×8 块在进行预测补偿之

后是否有残差，若标志位为 0，则无残差，表明预测矢量非常可靠。本文统计了对于宏块内某一块 a ，当与它紧邻的外部块 b 或 c 残差标志位为 0 时， a 块与 b 或 c 块预测矢量差异在半个像素之内的概率能达到 70% 左右，因此，恢复丢失的 8×8 块时，可以利用周围正确接收的残差标志位为 0 的块的预测矢量。

3 基于运动特性分析的掩盖算法

本文所提算法主要分为两大部分，第 1 部分为丢失宏块邻域信息获取及宏块类别判定；第 2 部分为针对不同类别丢失宏块的恢复，图 2 为算法整体流程图。

3.1 丢失宏块邻域信息获取及宏块类别判定

- (1) 获取丢失宏块周围 12 个块的信息，包括有效性、参考帧、预测矢量、编码模式、残差有无。
- (2) 统计有效块的个数 N_{vali} 及有效块中帧内编码块、帧间拷贝块、运动补偿块、视差补偿块的个数 N_{intra} , N_{copy} , N_{MOC} , N_{DC} 。
- (3) 若有效块内只含帧内编码块，则将丢失宏块判为帧内宏块；若有效块内只含帧内编码块和帧间拷贝块且帧间拷贝块个数不为零，则将丢失宏块判

为帧间拷贝宏块；若有效块内含视差补偿块，则判定为动态前景宏块；否则，将丢失宏块判为静态背景宏块。

3.2 不同类别宏块的恢复

3.2.1 帧内编码宏块的恢复 此时丢失宏块周围有效块中只含帧内编码块。将丢失宏块分为两种类别，一是极度平滑宏块；二是采用运动补偿或视差补偿都有较大率失真的宏块，宏块纹理相对复杂。为进一步确定丢失宏块类型，需计算周围块亮度均值的最大差异 ΔL_{max} ，若 ΔL_{max} 小于 10 个亮度单位，则认为丢失宏块较平滑，采用双线性插值方法恢复，否则，较复杂，采用边缘方向检测^[15]和最小像素跨度准则^[16]相结合的方法，后者是一种较有效的空域掩盖方法，先利用 sobel 算子检测出可能通过丢失宏块的若干边缘方向，然后利用像素最小跨度准则对丢失宏块的每个像素沿着所选出的若干边缘方向进行微量搜索，找出最匹配的像素对，对丢失像素进行插值恢复。此算法保留了方向插值算法中方向检测的可靠性，同时克服了方向插值算法方向有限的局限性和多方向插值导致图像模糊的现象。

3.2.2 帧间拷贝宏块的恢复 此时丢失宏块周围只

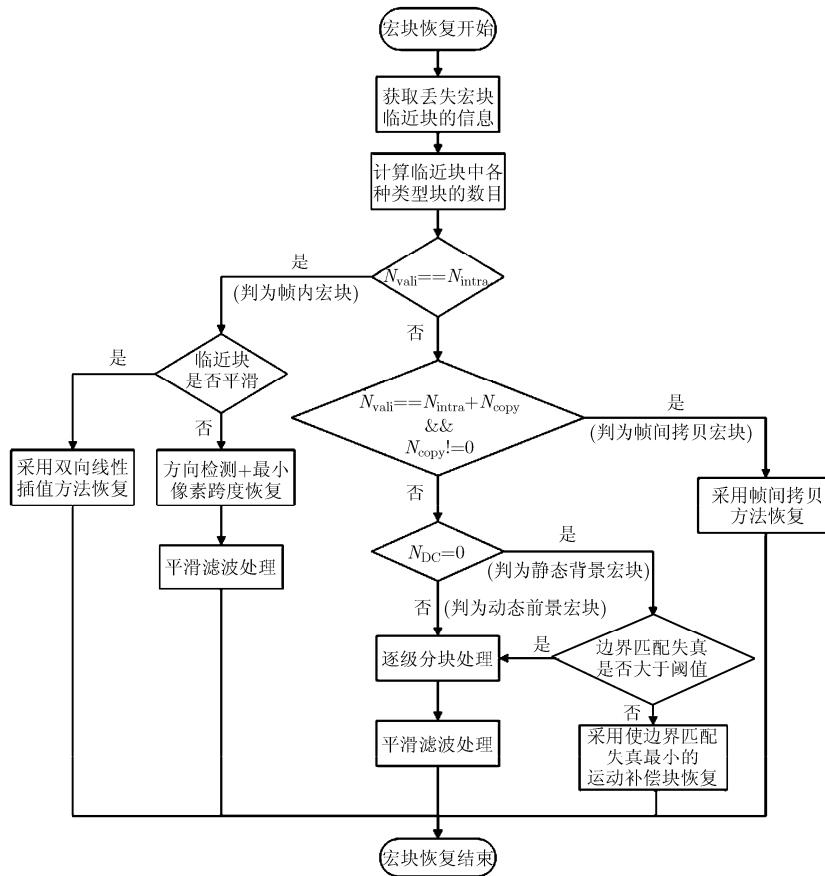


图 2 所提算法整体流程

含帧内编码块(可无)和帧间拷贝块,说明丢失宏块较平滑或相对本通道前一视点帧没有运动,采用帧间拷贝的方法来掩盖。

3.2.3 静态背景宏块的恢复 此时周围有效块中不含视差补偿块,丢失宏块不含剧烈复杂运动或者位于右视点帧的右边界附近。

按照下面步骤恢复:

(1)获取当前丢失宏块周围正确块和已掩盖块的有效运动矢量,组成候选运动矢量集。

(2)去除候选矢量集内重复的运动矢量,降低掩盖时间。

(3)利用边界匹配失真 SAD 评价候选矢量集中的每一个运动矢量,若最小边界匹配失真小于阈值 250,则采用相应的补偿宏块来恢复丢失宏块,否则,采用后面动态前景宏块中逐级划分子块的方法来处理,最后对每一子块保存相应的最优运动矢量,在连续宏块丢失情形下可以用于后续差错宏块的恢复。

3.2.4 动态前景宏块的恢复 当丢失宏块周围含视差补偿块时,认为丢失宏块附近存在复杂剧烈运动或发生了场景变换。

场景变换宏块的特点:周围有效块不含有运动补偿块和帧间拷贝块,处理方法与静态背景宏块类似,唯一不同是使用视差补偿。

对于复杂剧烈运动宏块,其周围块预测矢量差异较大,丢失宏块内部预测矢量一致的可能性较小,在整块恢复匹配失真较大的情况下,应将宏块划分成分块来恢复,为尽量保证分块之间的连续性及提高掩盖效率,首先尝试使用较大的一级分块(16×8, 8×16)来恢复,在不适用较大分块的情况下,再考虑使用较小的二级分块(8×8)来恢复。

分块掩盖按如下步骤执行:

(1)一级分块恢复 先将丢失宏块划分成上下两个16×8块*a*和*b*,如图3(b)所示,以*a*块的处理为例,若4,5块有效且均为视差补偿块(仅以视差补偿为例,运动补偿与其类似),设两块的视差矢量分别为(*dvx*₄,*dvy*₄)和(*dvx*₅,*dvy*₅),且两块的视差矢量满足式(2)(条件2):

$$\begin{cases} |dvx_4 - dvx_5| \leq 4 \\ |dvy_4 - dvy_5| \leq 4 \end{cases} \quad (2)$$

则利用4,5块的视差矢量构建一个矩形矢量窗,矩形矢量窗的4角分别为(*dvx*₄,*dvy*₄),(*dvx*₄,*dvy*₅),(*dvx*₅,*dvy*₄),(*dvx*₅,*dvy*₅),评价矩形矢量窗上及窗内的所有视差矢量,选取与4,5,6,11块边界匹配失真最小的视差补偿块来恢复*a*块,保存*a*块所包含的两个块的最优视差矢量,并把两个块的状态置为已掩盖。

如果条件2不能成立,则无法利用4,5块来恢复*a*块,尝试利用6,11块对*a*块进行恢复,操作方法与4,5块相同。

使用同样的方法对*b*块进行恢复。

经过上面的操作之后,如果由于周边块不满足条件导致*a*,*b*块均未恢复,则将宏块重新划分为左右两个8×16块*c*和*d*,如图3(c)所示,对*c*,*d*块的处理方法与*a*,*b*块相同。

(2)二级分块恢复 检查宏块内4个块的掩盖状态,对于未掩盖块,执行下面的掩盖操作,以图3(d)中的*e*块为例。

获取与*e*块紧邻的5,6两块的信息,有下面几种情形:

(a)两块均为有效块,并且使用的均为视差补偿(或运动补偿),则使用5,6块的视差矢量(或运动矢量)构建矢量窗,恢复*e*块。

(b)只有一个块为有效预测矢量,比如,仅5块存在有效视差矢量(或运动矢量),如果5块为正确接收块并且残差标志位为0,则使用5块的视差矢量(或运动矢量)来恢复*e*块,否则,构建以5块的视差矢量(或运动矢量)为中心,半径为2的视差矢量窗,恢复*e*块。

(c)两块均为有效块,但一个采用运动预测,另一个采用视差预测,则采用(b)中的方法来得到候选的运动补偿块和视差补偿块,然后在两者中选出使边界匹配失真最小的作为*e*块的最终补偿块。

(d)前面3个条件都不能满足时,则在视差参考帧和运动参考帧中进行搜索得到最优的恢复块。

4 实验结果与分析

本文使用了 exit, vassar, ballroom, race(均为640×480)4个标准多视点视频测试序列,取出前两个视点的前100帧,对所提算法进行了测试分析。编码量化参数为28,图像组(GOP)大小为16,使用基本档次 Baseline。修改了 JM10.2 中的丢包工程 Rtp_Loss, 通过从外部文件读入丢包模板,结合编码时像条组和映射方式的设置,既可随机丢包也能

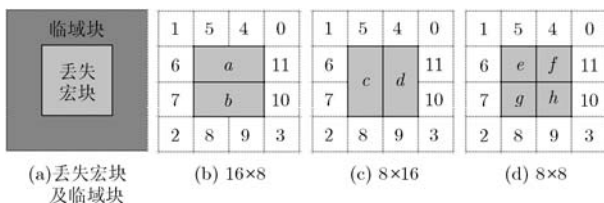


图3 不同子块划分形式

够实现任意宏块的丢弃。

将本文算法与时域替代方法(TR)、视差补偿方法(DC)、适用于立体视频的经典边界匹配方法(Stereo_JM)进行比较。立体边界匹配算法首先获取周围块的运动矢量和视差矢量，进而得到相应的运动补偿宏块和视差补偿宏块，最后选择使边界匹配失真最小的补偿宏块来进行掩盖。

实验中，仅对右视点帧在不同丢包率下进行随机丢包，使用 4 种掩盖方法对各立体视频序列右视点前 100 帧进行处理，计算平均的亮度峰值信噪比(PSNR)，统计结果如表 2。

表 2 右视点前 100 帧平均 PSNR(dB)

丢包率 (%)	标准测试序列	时域替代	视差补偿	Stereo_JM	本文算法
10	exit	35.91	31.26	36.94	36.79
	vassar	33.71	32.09	34.28	34.68
	ballroom	29.54	30.54	32.97	33.34
	race	24.71	31.14	31.74	32.95
15	exit	34.10	31.39	36.11	35.89
	vassar	33.82	31.19	34.29	34.50
	ballroom	27.50	28.88	31.35	31.84
	race	22.97	29.99	30.91	31.77
20	exit	33.20	29.40	35.43	35.24
	vassar	33.68	30.38	34.22	33.96
	ballroom	26.14	28.03	30.48	31.08
	race	22.46	29.61	30.13	31.61

可以看到，TR 较适用于运动缓慢的 exit 和 vassar 视频序列，而对运动强度较大的 ballroom 和 race 则效果较差；与 TR 相比，DC 则正好相反；Stereo_JM 比前两种方法效果都要好；本文所提算法的效果，以 15%丢包率为例，对于运动较为缓慢的 exit 视频序列，所提方法相比 Stereo_JM 没有优势；vassar 视频序列右视点前 50 帧运动较缓慢，所提算法没有优势，后 50 帧中通过了一辆快速行驶的汽车，本文算法改善较大，使得前 100 帧相比 Stereo_JM 总体提高 0.2 dB；对于中速复杂运动的 ballroom，平均提高 0.47 dB，对于复杂剧烈运动的 race，平均提高 0.86 dB。随着丢包率增加，所提算法相比 Stereo_JM 改善更加明显。

图 4 为 race 视频序列在 15%丢包率时，4 种算法右视点前 100 帧的 PSNR 比较。可以看到，本文算法相比其他算法总体上是有改善的。

在算法耗时方面，不同掩盖方法条件下，计算

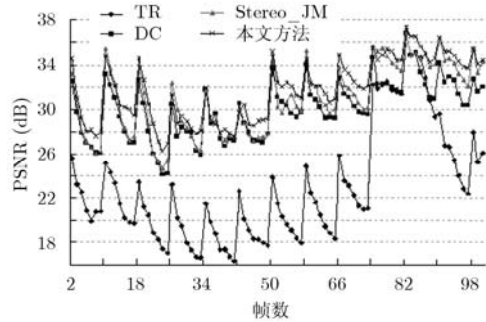


图 4 race 序列 4 种掩盖算法比较

各视频序列右视点解码一帧的平均时间，TR 方法最简单，耗时最少；DC 方法中，在对大部分丢失宏块恢复时，需进行视差搜索，因此最耗时；本文算法相比 Stereo_JM 耗时略有增加。表 3 中，给出了不同掩盖方法的相对平均解码时间，以 Stereo_JM 的平均解码时间作为参考。在 15%丢包率时，所提算法解码一帧时间相比 Stereo_JM 增加 2.4%至 5.9%，复杂度不算太高。随着丢包率的增加，所提算法的耗时会有所提高。

表 3 不同算法条件下解码一帧的平均耗时

丢包率 (%)	标准测试序列	时域替代	视差补偿	Stereo_JM	本文算法
10	exit	1.066	4.214	1.000	1.009
	vassar	0.840	4.137	1.000	0.995
	ballroom	1.033	3.943	1.000	1.049
	race	0.856	3.711	1.000	1.035
15	exit	0.931	6.713	1.000	1.024
	vassar	1.110	7.744	1.000	1.031
	ballroom	0.879	6.581	1.000	1.059
	race	1.070	6.409	1.000	1.051
20	exit	1.027	7.569	1.000	1.027
	vassar	0.944	7.428	1.000	1.049
	ballroom	0.938	7.723	1.000	1.119
	race	0.924	6.897	1.000	1.125

篇幅所限，仅以 vassar 为例观察算法主观效果，图 5 是其右视点第 90 帧使用 4 种算法的主观效果。可以看出，本文算法同样可以改善视频主观质量。

5 结束语

本文提出了一种应用于立体视频右视点帧的差错掩盖算法，算法通过判断当前丢失宏块的运动特性，采取适当的掩盖策略，对剧烈复杂运动的视频序列有较好的效果，对运动缓慢的视频序列则没有

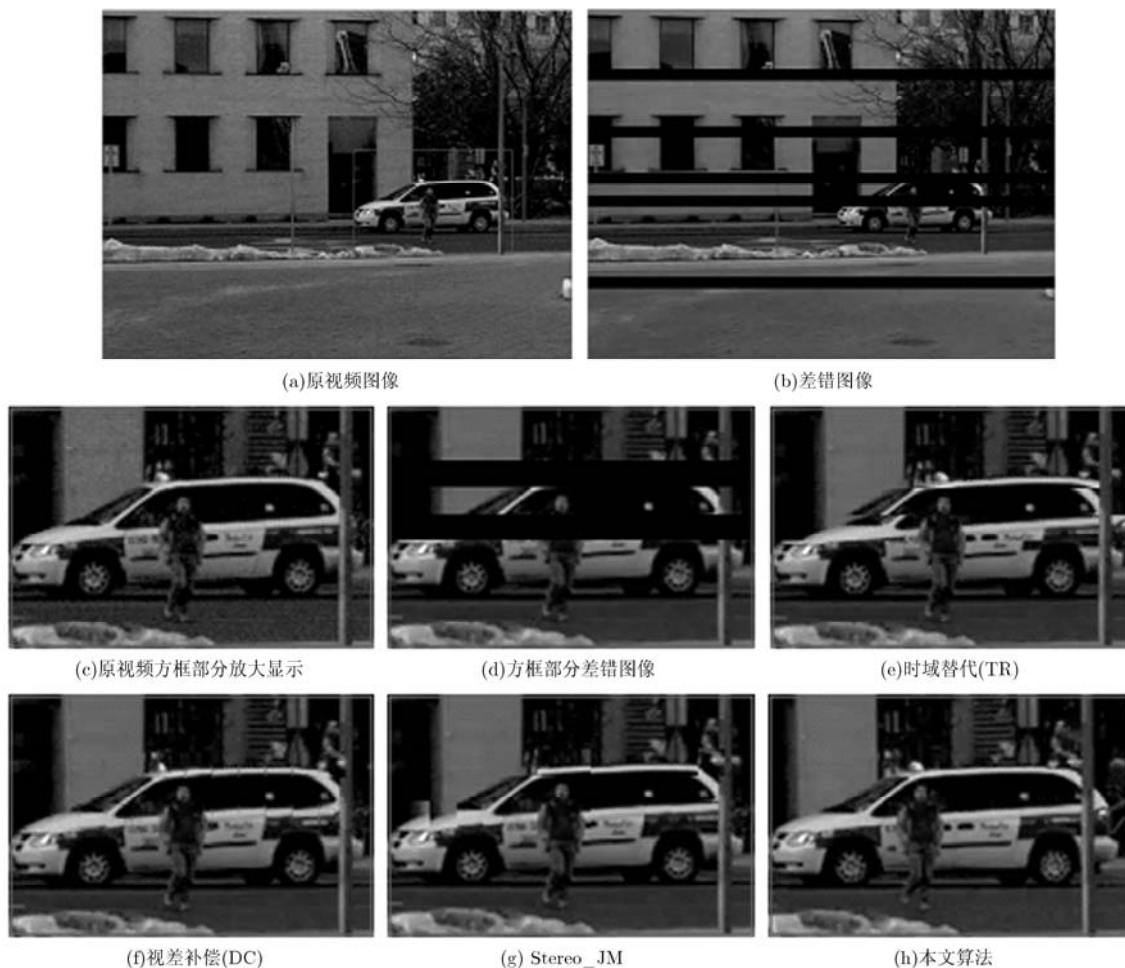


图5 vassar 右视点第90帧算法主观效果

优势,分析主要原因为:对某些纹理较复杂的宏块,边界匹配失真偏大,算法易产生误判。因此,算法在不同纹理宏块判定阈值的自适应设定方面还有待改进。考虑到传统滤波易造成图像模糊的问题,对恢复可信度较高的静态背景宏块和帧间拷贝宏块不进行边界滤波,对复杂帧内编码宏块和动态前景宏块进行边界滤波,相比无条件的滤波,本文的滤波方法能够改善视频的主客观质量。

参考文献

- [1] 彭强,张蕾,Jim X C. 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.
Peng Qiang, Zhang Lei, and Jim X C. Overview of error concealment for video transmission[J]. *Journal of Southwest JiaoTong University*, 2009, 44(4): 473-483.
- [2] Zhou Jie, Yan Bo, and Gharavi H. Efficient motion vector interpolation for error concealment of H.264/AVC[J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2011, 57(1): 75-80.
- [3] Asheri H, Bayati A, Rabiee H R, *et al.* Motion vector recovery with gaussian process regression[C]. Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Prague, 2011: 953-956.
- [4] Wang Chih-cheng, Chuang Chih-yao, Fu Kuan-ru, *et al.* An integrated temporal error concealment for H.264/AVC based on spatial evaluation criteria[J]. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2011, 22(6): 522-528.
- [5] 朱冰莲,刘建东. 基于宏块模式预测的时域错误隐藏方法[J]. 计算机工程, 2009, 35(21): 228-230.
Zhu Bing-lian and Liu Jian-dong. Temporal error concealment algorithm based on macroblock mode prediction [J]. *Computer Engineering*, 2009, 35(21): 228-230.
- [6] Micallef B W, Debono C J, and Farrugia R A. Performance of enhanced error concealment techniques in multi-view video coding systems[C]. Proceedings of International Conference on Systems, Signals and Image Processing, Sarajevo, 2011: 1-4.
- [7] 庞林娟,郁梅,蒋刚毅,等. 基于 H.264 的立体视频右视点整帧丢失的差错掩盖算法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(11): 1584-1587.
Pang Lin-juan, Yu Mei, Jiang Gang-yi, *et al.* An error

- concealment algorithm based on H.264 for entire right frame loss in stereoscopic video sequence[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(11): 1584-1587.
- [8] Chen Yi-bin, Cai Can-hui, and Ma Kai-kuang. Stereoscopic video error concealment for missing frame recovery using disparity-based frame difference projection[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Cairo, Egypt, 2009: 4289-4292.
- [9] Chung Tae-young, Sull Sang-hoon, and Kim Chang-su. Frame loss concealment for stereoscopic video based on inter-view similarity of motion and intensity difference[C]. Proceedings of 2010 IEEE 17th International Conference on Image Processing, Hong Kong, 2010: 441-444.
- [10] Xiang Xin-guang, Zhao De-bin, Wang Qiang, *et al.* A novel error concealment method for stereoscopic video coding[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, San Antonio, TX, 2007, 5: 101-104.
- [11] Xiang Xin-guang, Zhao De-bin, Ma Si-wei, *et al.* Auto-regressive model based error concealment scheme for stereoscopic video coding[C]. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Prague, Czech, 2011: 849-852.
- [12] Knorr S, Clements C, Kunter M, *et al.* Robust concealment for erroneous block bursts in stereoscopic images[C]. Proceedings of International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, Thessaloniki, Greece, 2004: 820-827.
- [13] Song Li-juan and Zhu Xiu-chang. Error concealment for stereoscopic images using mode selection[C]. Proceedings of IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, Chengdu, 2010: 1-4.
- [14] Smolic A, Mueller K, Stefanoski N, *et al.* Coding algorithms for 3DTV - a survey[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 17(11): 1606-1621.
- [15] Agrafiotis D, Bull D R, and Canagarajah C N. Enhanced error concealment with mode selection[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2006, 16(8): 960-973.
- [16] 马宇峰, 蔡安妮. 基于最小像素跨度准则的空域错误隐藏方法[J]. *通信学报*, 2005, 26(1): 1-5.
- Ma Yu-feng and Cai An-ni. A new spatial error concealment method based on minimum pixel span criteria[J]. *Journal on Communication*, 2005, 26(1): 1-5.

郭继昌：男，1966年生，教授，博士生导师，研究方向为数字图像处理、滤波器理论及设计等。

赵俊杰：女，1986年生，硕士生，研究方向为视频编解码。