

利用视觉特征进行 Motion JPEG2000 低频子带重构

侯俊¹⁾ 程燕²⁾

¹⁾(上海理工大学光学与电子信息工程学院,上海 200093) ²⁾(华东政法大学信息科学技术学院,上海 200042)

摘要 提出了一种针对 Motion JPEG2000 低频子带完全受损情况下的错误掩盖算法,该算法对高频图像应用 Sobel 算子进行图像锐化;随后利用视频序列的时间域相关性,运动估计判断参考帧与受损帧之间物体运动剧烈程度,利用参考帧的低频信息,对受损帧依据其运动剧烈程度分别进行运动补偿处理或低频子带代替处理。该算法计算量小,适合实时应用,且充分考虑视觉特点,对部分运动估计结果进行变换尺度后的验证,实验结果表明其恢复的图像符合人眼主观感受。

关键词 Motion JPEG2000 编码 低频子带 重构 运动估计

中图法分类号: TP919.81 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)11-2262-07

Reconstruct the Low-Frequency Sub-band in Motion JPEG2000 Coding Based On the Visual Characteristic

HOU Jun¹⁾, CHENG Yan²⁾

¹⁾(Optical and Electronic Information Engineering College of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

²⁾(College of Information Science and Technology, East China University of Political and Law, Shanghai 200042)

Abstract An error concealment algorithm for a totally destroyed low-frequency sub-band in Motion JPEG2000 coding is proposed in this paper. Firstly, it applies the sobel operator to a high-frequency image to outline the objects. According to the correlation between those video frames, it then utilizes the temporal information to judge the motion vector between the reference frame and the destroyed one. Under the consideration of motion vector, motion compensation or replacement is used to reconstruct the damaged low-frequency sub-band with the aid of the reference frame's data. The proposal method is low complexity and thus suitable for real time application. It takes the human visual characteristics into consideration and verifies parts of the result of motion estimation by changing the block size. Simulations indicate that the reconstructed frames have high subjective visual performance.

Keywords Motion JPEG2000 coding, low-frequency sub-band, reconstruction, motion estimation

1 引言

视频数据在信道中传送。在编解码端为了提高编码序列抗干扰能力,需要采取差错控制技术,差错控制的目的是在多变环境条件下保护编码信息不受

破坏或确保其能被正确修复,差错控制根据其在编解码系统中的应用位置,大致可分为基于编码端的差错复原技术和基于解码端的差错掩盖技术。解码端差错掩盖技术仅根据接收到的信息恢复受损数据,解码端任何 JPEG2000 的差错掩盖方法均适合 Motion JPEG2000 编码序列。单纯在单帧内(空间域)进行

基金项目:上海市优秀青年教师科研专项基金(HZF-07008)

收稿日期:2008-07-08;改回日期:2008-10-16

第一作者简介:侯俊(1971~),女,讲师。2007年于上海交通大学获信息处理专业博士学位。主要研究方向为 Motion JPEG2000、3D scalable 小波视频编码。E-mail:disney777@yahoo.cn

的错误掩盖算法主要利用 JPEG2000 的空间相关性,如文献[1]、文献[2]利用各分解级上同类型子带内感兴趣方向集合估计被破坏的位平面有效节点(significant node)位置,将位平面有效节点分为 8 种基本类型,对不同种类子带选择不同类型进行扩展。文献[3]对不同子带错误采用不同处理方法,HH 子带数据错误对视觉影响较小,可以直接清零。对采用 SNR 分级方式编码的 HL、LH 子带数据,错误只局限在当前位平面,则首先根据前一分解级的数据判断发生错误的系数是否位于边界点,若被破坏的点不位于边缘则直接清零,否则根据不同分解级中同类型子带的相关性重构数据。文献[4]~[6]利用边缘判决和凸集投影 POCs(project on convex set)技术消除 JPEG2000 高频子带错误。文献[7]对高频子带内的码块直接在帧内按照相关法寻找代替者。文献[8]提出了一种低频子带曲线拟合差错掩盖方法,由于同一物体内部数据变化缓慢,可以用立方拟合曲线根据相邻码块的数据拟合出受损码块的数据。但当 LL 子带仅含一个码块或被破坏的码块与其相邻码块分属于不同物体时该方法失效。

Motion JPEG2000 的视频序列特点决定了其在差错掩盖时不仅可以利用空间域信息还可以利用时间域信息,即不仅可以利用当前帧正确接收的数据,还可以用相同场景的其他帧的数据做参考,这点在空间域信息不可得时尤为重要。由于 HL、LH 子带一般都有位于不同分解级上的同类型子带做参考,而 LL 子带没有相应的父、子子带做参考,因此利用时间域信息的 Motion JPEG2000 差错掩盖算法对 LL 子带有重要意义,特别是当 LL 子带仅含一个码块时,当该码块受损时由于整个 LL 子带数据被破坏,此时前/后参考帧信息成为了唯一的参考数据。Motion JPEG2000 LL 子带差错掩盖最常用的方法是代替法,用参考帧的 LL 子带数据代替当前帧的错误数据。当视频序列中物体运动缓慢时代替法效果很好,但对高速运动序列这种方法会产生严重的重影、拖影现象。为了克服上述缺点,文献[9]对相邻高频帧运动估计,根据得到的运动矢量进行 LL 子带运动补偿,重构低频信息。文献[10]与文献[9]具有类似思路,其将时间域参考信息应用于所有子带。文献[11]利用时间域信息进行错误检测并从参考帧中选一块数据直接代替。以上方法具有共同的隐含假设:若参考帧与重构帧的高频图像中块匹配,则这两块一定属于同一物体。此假设在大多数

情况下是成立的,但仍有少部分情况下是不成立的,下文将会详细分析。当该假设不成立时,以上方法重构图像的误差较大。

本文介绍了一种基于视觉特性的 Motion JPEG2000 LL 子带错误掩盖算法,该算法计算量小,适合实时应用,其重构图像主观质量高。

2 基于视觉特性的错误掩盖算法描述

2.1 算法分析

一幅图像通常由多个物体组成,在小波分解的图像编码中物体的边缘通常由高频子带信息描述,LL 子带含有物体的内部信息,即包含如物体内部的颜色、灰度等信息,可以认为是图像的低分辨率表示,而高频子带反映了图像中物体的边缘信息。通常对同一物体而言,在相邻帧间其内部信息(如灰度、颜色)与其形状、位置信息(指物体在序列各帧中形状、位置变动)相比,前者通常变化较缓慢,因此可以借助相邻帧的物体内部信息重构受损帧。

根据以上分析,可以描绘出理想的 Motion JPEG2000 LL 子带差错掩盖算法的操作步骤:首先勾勒出受损帧中各物体边缘轮廓,然后在参考帧中根据轮廓确定对应的物体(运动跟踪),最后根据参考帧中对应物体的内部信息重构受损帧。遗憾的是在实际 Motion JPEG2000 解码系统应用中上述操作并不可行,相邻帧间物体追踪算法复杂、计算量大,通常还需要大量训练样本方能实现特定类物体追踪,对一个视频内容丰富、物体种类千变万化、高帧率的 Motion JPEG2000 实时解码系统,无法再额外负担追踪所要求的计算量。为了简化计算,需要在帧间物体匹配准确度与计算量之间折中,为此本算法用块匹配代替复杂的轮廓匹配,块匹配处理的计算量小,有利于满足实时处理的要求,此外这种方法还可以回避视频追踪中的镜头变化问题,即不考虑镜头是平移还是变焦。然而,帧间块匹配作为减少计算量的权宜之计,在实际运动追踪中存在一个天然的缺陷:块分割人为地割裂了连续的边缘曲线,例如当同一块内有多个物体,这些物体在帧间运动方向不一致时,匹配结果与实际物体运动差别很大。

需要强调的是,尽管本文算法与文献[9]~文献[11]一样用的是帧间块运动估计、匹配,但其因果关系与上述三者相反。文献[9]~[11]认为由于帧间块匹配,故说明匹配块属于同一物体,即匹配为

因,同一物体为果。本文算法出发点则认为同一物体为因,块匹配为果。由于本文算法并不认为帧间块匹配一定说明二者属于同一物体,因此还需要在算法中对块运动估计匹配结果进一步处理。

由于块匹配结果与实际帧间物体匹配结果并不完全一致,为了减少错误块匹配对物体追踪的影响,算法采取了下列措施。根据视觉系统特性,人眼并非对所有运动都能感受到,只有当物体在帧间位置变化超过一定范围时人眼才可感知到其运动,这种可以感觉到的运动称为显著运动(noticeable movement)。根据帧间运动特征可以将帧分为3类:高运动帧、部分高运动帧和完全低运动帧,高运动帧指大部分物体帧间发生了显著运动;部分高运动帧指大部分物体帧间无显著运动,仅小部分物体位置明显变化;完全低运动帧中物体帧间无显著运动。如果物体运动很小而不能被觉察(完全低运动帧),此时用基于块的运动估计、补偿不仅毫无必要,甚至可能画蛇添足,连续的曲线被分割成多个互不相关的单元反而增加了匹配错误的风险、降低了图像质量,而此时用代替法重构受损帧既简单又可靠。相反,若物体帧间位置变化较大(完全高运动帧和部分高运动帧),需要用运动估计、补偿的方法恢复信息才能防止重影、拖影等问题的出现。因此在本文基于视觉特征的算法中,需要用简单的方式区分视频帧的运动类型,可以认为那些平均运动矢量超过某个门限的帧为高运动帧;对于平均运动矢量在阈值之下的帧则需进一步分析。

以下两种情况可能导致平均运动矢量很小:(1)待修复帧、参考帧中所有块在帧间位置变化小,可以认为图像在帧间基本不动;(2)大部分运动矢量很小,只有少部分运动矢量值较大,二者平均的结果使得平均矢量小于门限。对于情况1,可以认为待修复帧属于完全低运动帧,参考帧与错误帧之间无显著运动,作为原始图像低分辨率表示的LL子带变化不大,此时用参考帧的LL子带直接代替待修复帧的LL子带即可。针对上述情况2还需要做进一步判断。

少量的高运动矢量可能有以下两种情况:

(1)边缘图像块分割时,由于在某些块内边缘曲线的细节发生了变化或者块内多个物体运动方向不一致,使得块匹配结果与事实物体轮廓匹配结果不同。

(2)待修复帧、参考帧中大部分物体边缘在帧间位置变化小,即图像中大部分物体无显著位置变

化,仅小部分边缘曲线位置在帧间有显著变化,块匹配结果正确反映了物体边缘曲线运动,则待修复帧属于部分高运动帧,为了确保能准确恢复高运动物体的内部信息,需要采用运动补偿法重构图像。

将那些高运动矢量的块(不妨设每个块尺寸 $N \times N$)分解成4个尺寸为 $N/2 \times N/2$ 的互不重叠的子块,然后再对子块做运动估计。子块分割减少了将不同运动方向物体绑定在同一块内的概率。若分割后各子块运动矢量均与母块明显不同,则表明母块高运动矢量产生的原因很可能如情况1分析。若是上述情况2,即母块运动估计结果真实有效,有物体其帧间位置显著变化,则4个子块中至少有一个子块运动方向、运动矢量与母块相似。

我们知道参加运动估计的块的尺寸对匹配结果有影响,上述对高运动匹配块的二次分解,通过匹配块尺寸的变化,对母块匹配结果进行验证,可以减少由于固定尺寸块分割引发的边缘曲线匹配错误。

2.2 算法步骤

提取参考帧、待重构帧中与LL子带位于同一分解级的高频(HL、LH、HH)子带信息,经过JPEG2000解码得到高频图像,然后对高频图像进行边缘提取。以Soble算子作为边缘提取算子,Sobel算子可以锐化图像并且使得边缘加粗, S^h 、 S^v 分别代表Soble算子的水平、垂直算子,有

$$S^h = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad S^v = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

对于任一图像 f ,其边缘图像 sf 由 f 与Soble算子的卷积得到:

$$sf = \sqrt{(S^h \otimes f)^2 + (S^v \otimes f)^2} \quad (2)$$

尽管高频子带解码得到的高频图像本身已表示了边缘信息,经过边缘提取算子后,相当于对边缘进行了加权、加粗,增强了边缘与内部信息区的对比度,进一步强调了物体的轮廓曲线。

基于视觉特征的Motion JPEG2000 LL子带错误掩盖算法具体步骤描述如下:

(1)提取参考帧边缘轮廓 将参考帧 f^r 中与LL子带位于同一分解级上的高频子带数据进行解码获得高频图像 f_{H}^r 。对 f_{H}^r 应用Soble算子获得其锐化的边缘图像 sf_{H}^r 。

(2)提取待修复帧边缘轮廓 将受损帧 f^d 中与LL子带位于同一分解级上的高频子带数据进行解

码获得高频图像 f_H^i 。对 f_H^i 应用 Sobel 算子获得其锐化的边缘图像 sf_H^i 。

(3) 对锐化的边缘图像进行运动估计 将 sf_H^i 中各块在 sf_H^i 中寻找绝对误差和(SAD)最小的匹配块,并记录对应的运动矢量。

(4) 对所有运动矢量求平均值,若平均矢量 $aveMV$ 超过了门限则认为该帧属于高运动帧,转至步骤 5;否则跳转至步骤 6。

(5) 运动补偿 根据运动估计结果对 f^i 运动补偿,获得补偿帧 f_{MC}^i 。对 f_{MC}^i 进行小波变换,将变换后得到的 LL 子带系数作为 f^i 帧的 LL 子带数据,错误掩盖算法完毕。

(6) 对于平均运动矢量低于门限的情况,需进一步判断其中高运动码块匹配结果的有效性。高运动码块是指其运动矢量 MV_i 满足 $|MV_i| > |6 \times aveMV|$ 并且 $|MV_i| > \text{门限}$ 的码块。分别将这些高运动块分解成 4 个尺寸减半的子块,在原搜索范围内分别找这 4 个子块的匹配块并记录它们的运动矢量。此时可能有下列两种情况:

第 1 种情况是所有高运动块中至少有一个块,其 4 个子块中至少有一个的运动方向、运动矢量与母块相似,则表明母块运动匹配结果真实有效,的确有物体的轮廓位置发生了显著变化,此时用运动补偿法重构数据。根据运动估计结果对 f^i 运动补偿,获得补偿帧 f_{MC}^i 。对 f_{MC}^i 进行小波变换,将变换后得到的 LL 子带系数作为 f^i 帧的 LL 子带数据,错误掩盖算法完毕。

第 2 种情况是若所有高运动块 4 个子块与母块运动无相似性,则母块匹配结果未被子块匹配结果验证,母块匹配结果无效。此时认为帧为完全低运动帧,用代替法重构受损 LL 子带即可。

这里根据视觉实验结果将运动矢量门限定为图像分辨率的 1.3%,设图像分辨率为 $H \times V$,则在水平方向运动门限为 $0.013 \times H$,在垂直方向运动门限为 $0.013 \times W$ 。

2.3 算法说明

算法中采用的高频图像由与 LL 子带位于同一分解级(level)上的高频子带数据小波反变换得到,其他分解级上的高频子带数据不参与重构,这样做的主要原因在于 Motion JPEG2000 数据在发送过程中,编码端通常会采用非对称(unequal)保护技术^[12-13],根据各子带数据重要性分别采取不同保护等级,本算法所用子带数据比其他分解级高频子带

所采取的保护等级更高,因此鲁棒性(Robustness)更强,可利用性更高。

算法用块运动估计算法代替物体运动估计,其先天缺点如 2.1 节分析,加之受损帧没有任何低频信息可以参考,算法可能产生错误的重构图像。例如在复杂度较低的图像中高频信息较简单,当搜索范围内存在两个物体,其高频纹理特征相似而低频色彩纹理特征相差明显时,高频图像块运动估计的最优结果可能与实际情况不符,这将导致被修补的区域色彩纹理严重出错。该算法对此类现象缺乏准确有效的手段。

通常各帧进行 JPEG2000 编码后能量大部分集中于低频端,当编码码率较低时其高频部分失真较大,此时若用锐化的高频图像进行运动估计,则由于匹配图像本身失真较大,匹配结果不准确,因此得到的重构图像质量较差。通过大量实验表明,本文算法在压缩率大于 0.1 时效果好。需要指出的是 Motion JPEG2000 通常应用于高码率的视频编码,因此在实际应用中该算法压缩率的限制条件不会影响其应用领域。

3 实验结果

在自主开发的基于 ADI ADV202 + TI TMS320DM642 的多格式视频解码系统中,对上述算法进行了测试,其中 ADV202 为 JPEG2000 编解码芯片,负责 JPEG2000 图像的编解码工作,而错误掩盖所需的运动估计、运动补偿由 DM642 完成。在该系统上本文算法可对 CIF 格式每秒 25 帧的视频序列进行实时错误掩盖处理。

图 1 为 SIF 格式“tennis”视频序列的错误掩盖结果比较,为展现本文算法对高运动帧的有效性,特地增加运动剧烈程度,以第 1 帧(图 1(a))为参考帧恢复受损的第 5 帧,其中块大小为 32×32 ,搜索范围为 128×128 。通过对经 Sobel 算子锐化过的高频图像进行运动估计,判断当前图像为部分运动帧,因此采用运动补偿的方法恢复 LL 子带数据。可以看出,与直接对高频图像运动估计的算法^[9](图 1(d))相比,本文算法得到的结果(图 1(e))主观质量评价更高,其运动估计的结果更准确,二者的结果对比展示了用 Sobel 对高频图像边缘提取、加粗的必要性。而直接用参考帧 LL 子带数据代替受损帧数据(图 1(c))会造成严重的拖影现象。本文算法得到重

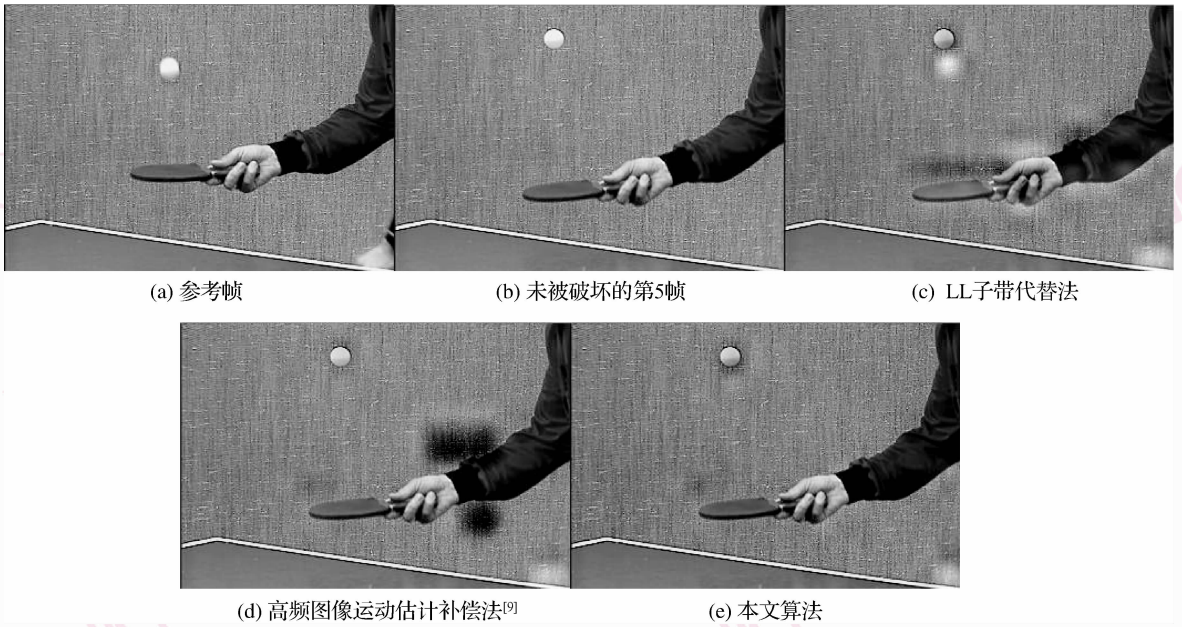


图 1 Tennis 序列错误掩盖结果比较
 Fig. 1 Error concealment result of "tennis"

构图像的 PSNR (peak signal noise ratio) 比代替法高 1.3 dB, 比文献[9]的算法高 2.5 dB。

图 2 以“football”第 100 帧为参考帧, 重构受损的第 110 帧 LL 子带, 块大小 32×32 , 块运动估计的搜索范围 128×128 。本文算法根据运动估计结果

判断此帧类型为高运动帧, 采取运动补偿的方式恢复 LL 子带数据, 其效果 (图 2(d)) 优于直接对高频图像进行运动估计^[9]的结果 (图 2(c)), 本文算法重构的图像 PSNR 值比文献[9]的算法重构图像高 1 dB。

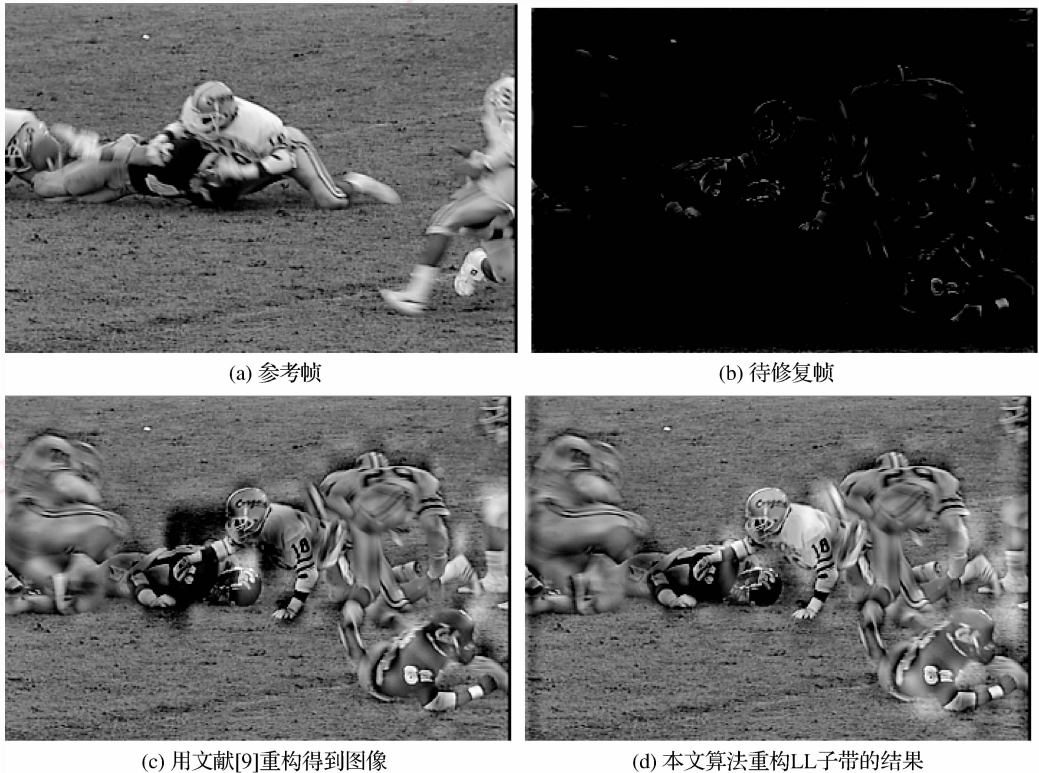
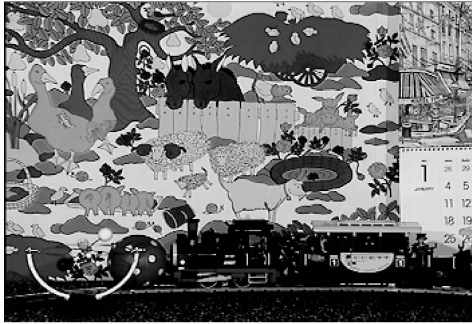


图 2 “football”差错掩盖结果比较

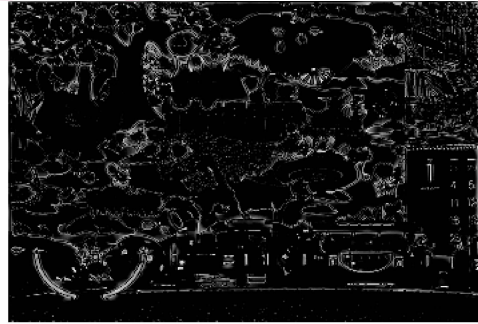
Fig. 2 Error concealment result of "football"

图 3 测试序列为“Calendar”,以第 100 帧为参考帧重构第 104 帧的 LL 子带数据。本文算法判断当前帧为完全低运动帧,因此用代替法重构 LL 子

带,图 3(d)为本文算法重构结果,其得到图像视觉感受好于文献[9]的结果(图 3(c))。



(a) 参考帧



(b) 被破坏的帧



(c) 高频图像运动估计补偿法[9]结果



(d) LL子带代替法, 本文算法结果

图 3 Calendar 序列错误掩盖结果比较

Fig. 3 Error concealment result for “calendar”

图 4 为“garden”序列用文献[9]算法和本文算法进行重构得到 PSNR 比较,参考帧与待修复帧间隔为 2,即用正确的第 1 帧为参考恢复受损的第 3 帧,用正确的第 2 帧为参考恢复受损的第 4 帧,……以此类推。本文算法性能优于文献[9]算法。

4 结 论

提出了一种 Motion JPEG2000 低频子带重构算法。算法对位于 LL 子带同一分解级的高频子带数据得到的图像进行锐化,利用视频序列的时间域相关性,进行帧间运动估计并根据运动估计结果将帧分为 3 种类型。对不同类型帧分别采取代替法或运动补偿法重构受损图像。该算法不受视频运动剧烈程度的限制,计算量小,算法对部分块运动估计结果进行尺寸变化后再验证,其运动匹配的准确率更高、得到的图像主观评价更高。

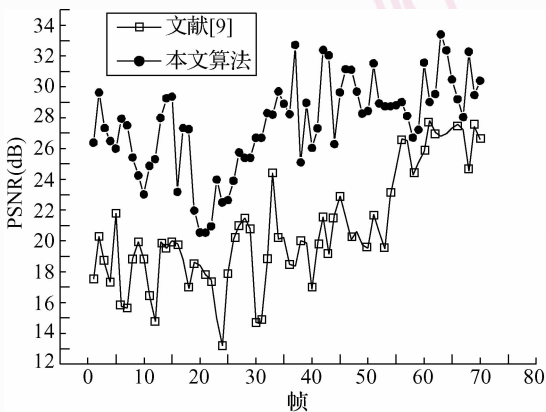


图 4 序列“garden”复原图 PSNR

Fig. 4 PSNR of recovered “garden”

参考文献 (References)

- 1 Lee Pei-jun, Chen Liang-gee. Bit-plane error recovery via cross sub-band for image transmission in JPEG2000 [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo 2002 [C], Lausanne, Swiss, 2002: 149-152.
- 2 Masayuki Kurosaki, Hitoshi Kiya. Error concealment using layer structure for JPEG2000 images [J]. IEICE Transactions on

- Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2003, **E86-A**(4): 772-778.
- 3 Liu Jie-yu, Liu Gui-zhong, Liu Long, *et al.* An efficient error concealment method for JPEG2000 image transmission [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal 2004 [C], Montreal, Canada, 2004; III661-III664.
 - 4 Luigi Atzori, Daniele Giusto, Raccis Alessio. High-frequency error concealment in JPEG2000 [A]. In: Proceedings of 22nd Picture Coding Symposium [C], Seoul Korea, 2001; 291-294.
 - 5 Luigi Atzori, Ginesu Giaime, Raccis Alessio. JPEG2000-coded image error concealment exploiting convex sets projections [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, **14**(4): 487-498.
 - 6 Luigi Atzori, Ginesu Giaime, Raccis Alessio, *et al.* A novel iterative approach for JPEG2000 error concealment [A]. In: Proceedings of IEEE 6th Workshop on Multimedia Signal Processing [C], Loen Norway, 2004; 283-286.
 - 7 Khairul Munadi, Masaaki Fujiyoshi, Kiyoshi Nishikawa, *et al.* Codeblock-based error concealment for JPEG2000 coded image transmission over RTP [J]. IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2007, **E90-A**(2): 429-438.
 - 8 Hemami Sheila S, Gray Robert M. Subband coded image reconstruction for lossy packet networks [J]. IEEE Transactions on Image Process, 1997, **6**(4): 523-539.
 - 9 Zargari Farzad, Fatemi O. Recovery of lost LL sub-band in motion JPEG2000 [J]. Electronics Letters 2004, **40**(10): 1407-1408.
 - 10 Luigi Atzori, Bilgin Ali, Marcellin Micheal M. Error concealment for motion JPEG2000 [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing 2005 [C], Genova, Italy, 2005: 781-784.
 - 11 Zargaril Farzad, Hashemi Mahmoud Reza. An improved motion JPEG2000 decoder for error concealment of segmentation symbol faults [J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2008, **8**(2): 192859. 1-192859. 7.
 - 12 Tong Gan, Ma Kai-kuang. Weighted unequal error protection for transmitting scalable object-oriented images over packet-erasure networks [J]. IEEE Transactions on image processing, 2005, **14**(2): 189-199.
 - 13 Chung Pau-choo, Wu Chin-wen, Huang Yen-lang. A JPEG2000 error resilience method using uneven block-sized information included markers [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2005, **15**(3): 420-424.