

中图法分类号: TN911.673 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2010)11-1578-05

检索信息: 张荣福, 马玲官, 张军. 基于帧间匹配均值与方差的视频图像隐藏算法[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(11): 1578-1582

基于帧间匹配均值与方差的视频图像隐藏算法

张荣福, 马玲官, 张军

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 由于视频图像的信息量巨大, 只有通过压缩才能存储和传输, 而传输过程中发生的误码又往往导致压缩后的图像数据或同步信息的丢失, 为此提出了一种基于帧间匹配均值与方差的时域错误隐藏算法, 该算法首先以与错误块上、下、左、右相邻的若干行或列像素进行帧间匹配, 然后根据匹配结果的均值和方差判别错误块内图像的运动状况, 最后针对不同的运动状况选择合适的隐藏方法对错误块进行隐藏处理。大量的模拟实验结果表明, 利用该算法隐藏的图像在视觉效果和峰值信噪比 (PSNR) 两方面均优于同类算法。

关键词: 帧间匹配; 错误隐藏; 均值; 方差

Images concealment based on interframe matching mean and variance

ZHANG Rongfu, MA Lingguan, ZHANG Jun

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093)

Abstract: Because of vast amounts of information, compression of video signals before saving and transmission is necessary. Communication channels are not error free and, consequently, the encoded bit streams are vulnerable to transmission errors-usually causing loss of data and/or loss of synchronization. Therefore, a temporal error concealment algorithm based on interframe matching mean and variance is presented. The algorithm searches the best match block by matching the pixels adjacent to the error block, and then calculates the matching mean and variance of difference between different neighborhoods. From the result, the motion characteristics are estimated and different candidate blocks are chosen for different motion characteristics. Experimental results show that both the visual quality and PSNR of the image processed using the proposed error concealment method are better than other temporal algorithms.

Keywords: interframe matching; error concealment; mean; variance

0 引言

由于视频图像的信息量巨大, 只有对其进行压缩才能存储和传输。而图像压缩标准大多又是基于图像块进行编码, 压缩后的视频图像往往由于传输过程中发生的数据丢失而导致局部信息无法重建, 为此人们提出了空域、频域和时域等多种处理方法, 用来对错误进行隐藏^[1-3], 其中空域和频域的隐藏

算法是利用图像信息的空间相关性对错误块进行帧内内插。如果图像细节较多, 那么空域和频域隐藏处理后的图像会出现模糊和纹理不协调等问题。因为序列图像的时域相邻帧之间的相关性比较强, 所以可以通过估计该错误块的运动情况, 在相邻帧中寻找合适的替代块。时域错误隐藏算法可分为运动估计和边缘匹配两大类^[4-5]。其中前者是先以与错误块空域相邻的正确解码图像块以及前一帧中同位置块的运动矢量作为参考来估计错误块的运动矢

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2005CB724304); 国家自然科学基金项目 (60777045); 上海市重点实验室建设项目 (08DZ2272800); 上海市第三期重点学科项目 (S30502)。

收稿日期: 2009-01-05; **改回日期:** 2009-09-11

第一作者简介: 张荣福 (1971—), 男, 副教授。2005 年上海交通大学获通信与信息系统专业博士学位。主要研究方向为光学信息与图像处理技术。E-mail: zhangrongfu@usst.edu.cn。

量;然后用时域相邻帧中相应位置的图像块替代错误块。边缘匹配隐藏算法是以错误块的外边缘像素在帧间进行匹配来估计错误块的运动矢量,进而在相邻帧中寻找最合适的块来代替错误块。这些算法都假设整个错误块内的像素运动状况相同。但如果错误块处于运动对象的边缘,那么错误块内各部分的运动状况可能不同。为此,文献[6]将错误块分成上下两半,并以其上、下边缘相邻像素分别进行帧间匹配来得到相应的替代块。文献[7]考虑了错误块内像素可能做不同的运动,但该算法对各候选替代块进行了加权平均,隐藏图像比较模糊。针对这些问题,本文提出了一种基于帧间匹配均值与方差的错误隐藏算法。该算法的基本思想是先以错误块上、下、左、右相邻的若干行(列)像素分别进行匹配,然后基于匹配结果的均值和方差判别错误块内图像的运动状况,再根据判别结果选择合适的方法对错误块进行隐藏处理。本文首先简单介绍帧间匹配,然后详细阐述基于均值与方差的错误块运动状况估计方法与与运动状况相适应的错误隐藏算法,最后进行了实验,并给出实验结果。

1 帧间匹配

帧间匹配示意图如图 1(b) 所示,黑色方块代表左上角像素位置为 (i, j) 、大小为 $N \times N$ 的错误块,标记为 B_t, B_b, B_l 和 B_r (下角 t 代表 top, b 代表 bottom, l 代表 left, r 代表 right) 的灰色区域分别是错误块上、下、左和右方相邻的包含 M 行(列)像素的邻域块。在此以 B_t 为例介绍帧间匹配算法。在如图 1(a) 所示的参考帧中,某一候选匹配块左上角坐标为 (k, l) ,该块与 B_t 之间的匹配差值 $D(B_t; k, l)$ 可表示为

$$D(B_t; k, l) = \frac{\sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [p(i+m, j+n) - \tilde{p}(k+m, l+n)]^2}{M \times N} \quad (1)$$

式中, m, n 为距离左上角像素的行数和列数; $p(x, y)$ 和 $\tilde{p}(x, y)$ 分别表示当前帧和参考帧中像素 (x, y) 的灰度值。

在所有候选匹配块集 S 中,如果某一候选匹配块与 B_t 的差值最小,则称该块为“最佳匹配块”,如

图 1(b) 所示,记该块为 $B_{t, match}$, 并令 $D_{min, t} = \min_{(k, l) \in S} \{D(B_t; k, l)\}$ 。记 $B_{t, match}$ 下方大小为 $N \times N$ 的图像块 \tilde{B}_t 为该邻域匹配的“最佳替代块”。

与此类似,对错误块的下、左和右方的邻域分别进行帧间匹配,即得到相应的最佳匹配块 $B_{b, match}, B_{l, match}, B_{r, match}$ 和匹配差值 $D_{min, b}, D_{min, l}, D_{min, r}$, 并分别记其上、右和左方大小为 $N \times N$ 的图像块为 \tilde{B}_b, \tilde{B}_l 和 \tilde{B}_r 。另外,由 B_t, B_b, B_l 和 B_r 等组合构成的邻域(简称为“联合邻域 B_c ”,下角 c 代表 combination)进行帧间匹配,得到的最佳匹配块为 $B_{c, match}$, 其差值为 $D_{min, c}$, 记中部大小为 $N \times N$ 的图像块为 \tilde{B}_c 。

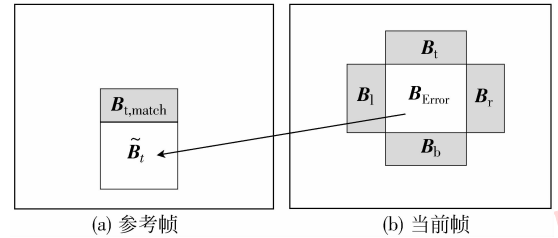


图 1 错误块及其邻域帧间匹配

Fig. 1 Error block and its neighborhoods interframe matching

2 错误块局部图像运动状况估计

如果错误块局部图像只有平移,并且该局部区域内的所有像素的平移运动矢量相同,那么错误块各邻域帧间匹配的差值应等于零,但由于噪声、量化误差等因素可能导致帧间匹配结果不为零,所以不能简单地以联合匹配的差值是否为零来判断错误块局部图像的运动是否一致。为此本文提出了一种基于均值与方差的错误块图像运动状况估计方法,均值 M 及方差 σ 分别为

$$M = (D_{min, c} + D_{min, v}) / 2 \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{[(D_{min, v} - M)^2 + (D_{min, c} - M)^2] / 2} \quad (3)$$

式中 $D_{min, v} = (D_{min, b} + D_{min, t} + D_{min, r} + D_{min, l}) / 4$, 由 M 和 σ 的关系可划分为以下 3 种情形(α 为系数):

1) $M \gg \alpha\sigma$, 即 M 相对较大,而 σ 相对较小。这说明联合匹配的差值 $D_{min, c}$ 和各邻域单独匹配所得到的差值 $D_{min, v}$ (下角 v 代表单独匹配)都较大,而且差值大小差不多,即都很难找到合适的匹配块。这种情形意味着错误块所在的局部图像很可能发生诸如缩放、旋转等非规则运动。

2) $M \approx \alpha\sigma$, 即 M 与 σ 都相对较大或 M 与 σ 都相对较小。其中前者意味着联合匹配和单独匹配的差值 $D_{\min,c}$ 和 $D_{\min,v}$ 都较大, 即参考帧中没有合适的匹配块, 所以错误块局部图像的运动情况类似于情形 1。相对而言, 后者是指联合匹配或单独匹配都能找到很好的匹配块, 这说明错误块局部图像的运动是一致平移或前(或背)景灰度变化不大。

3) $M \ll \alpha\sigma$, 即 M 相对较小而 σ 相对较大。由于联合匹配的差值 $D_{\min,c}$ 一定大于单独匹配所得的差值 $D_{\min,v}$ 。所以这种情形说明联合匹配所得的 $D_{\min,c}$ 相对较大, 而单独匹配得到的 $D_{\min,v}$ 较小。由此可以得出结论: 单独匹配能搜索到合适的匹配块, 但联合匹配却不能, 因此错误块很可能处于具有不同运动对象的边缘, 即错误块内的像素是做非一致平移运动。

3 错误块图像的隐藏

估计了错误块局部图像运动状况之后, 就可针对运动情形选择相对合适的错误块隐藏算法。

3.1 局部一致平移运动错误块图像的隐藏

如果错误块局部图像的运动近似是一致平移, 则以与任一个邻域的最佳匹配块对应的替代块填补错误块, 可得到较好的效果。在此优先选择以联合匹配所得的最佳替代块填补当前错误块。

3.2 局部非一致平移运动错误块图像隐藏

对局部非一致平移运动图像, 若用其中一个邻域的最佳替代块来代替当前错误块, 那么处理后的图像在边缘处将不能与邻域平滑连接或因边界错位而产生明显的块效应。对此可引入替代块重叠加权补偿的方法来重建错误块。以错误块各邻域单独匹配所得的最佳替代块作参考, 按加权平均的方法计算错误块内的像素值, 则处理后像素距离左上角位置 m 行 n 列的像素值 $p(i+m, j+n)$ 为

$$\begin{aligned} \bar{p}(i+m, j+n) = & \left[\bar{B}_t(m, n) \times W_t(m, n) + \right. \\ & \bar{B}_b(m, n) \times W_b(m, n) + \bar{B}_l(m, n) \times \\ & \left. W_l(m, n) + \bar{B}_r(m, n) \times W_r(m, n) \right] / 8 \quad (4) \end{aligned}$$

式中, $0 \leq m, n \leq N-1$, W_t, W_b, W_r, W_l 分别为上、下、左、右替代块的加权系数矩阵。对于 $N=16$ 的加权系数为

$$W_t = \begin{bmatrix} 4 & 4 & 6 & 6 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 6 & 6 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 4 & 6 & 6 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 6 & 6 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 4 & 4 & 4 & 6 & 6 & 8 & 8 & 8 & 6 & 6 & 4 & 4 & 4 & 2 \\ 2 & 2 & 4 & 4 & 4 & 6 & 6 & 8 & 8 & 6 & 6 & 4 & 4 & 4 & 2 & 2 \\ 0 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 & 6 & 6 & 6 & 4 & 4 & 4 & 2 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 & 6 & 4 & 4 & 4 & 2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W_b(m, n) = W_t(N-1-m, n)$$

$$W_l(m, n) = W_t(n, m)$$

$$W_r(m, n) = W_t(m, N-1-n)$$

3.3 局部非规则运动错误块的隐藏

对局部发生旋转、缩放等非规则运动图像中的错误块, 上述两种方法处理后的图像都会出现替代块与邻域在边缘连接处不连续的现象。由于两种方法处理后的图像质量都较差, 所以本文优先选择计算量较小的算法, 即直接以联合匹配最佳匹配块代替错误块。

综上所述, 对第 2 节中的 3 种情形, 前两种(即 $M \geq \alpha\sigma$) 都是以联合匹配的最佳替代块隐藏错误块, 而对于情形 3 则是由各个邻域匹配所得的最佳替代块的加权平均对错误块进行隐藏。

4 模拟实验与结果

模拟实验以标准图像序列 Flower(100 帧, 大小为 288×352 像素, 运动特征: 小幅度的旋转但总体上运动较一致)、Football(50 帧, 大小为 288×352 像素, 运动特征: 运动复杂)和 Foreman(12 帧, 大小为 144×176 像素, 运动特征: 背景运动平缓但前景有旋转、缩放等较为复杂的运动)为测试对象。由于系数 α 的选择为将直接影响分类结果, 进而影响本算法的性能。通过设置不同的 α , 并目测分类准确率的大量实验的结果表明, 当 α 取值约为 10 时, 可预测约 80% 的非一致平移块。因此, 在本文模拟实

验中 $\alpha = 10$ 。对当前帧中出现的错误,分别以零运动矢量、运动矢量平均、边缘匹配、上下半分步匹配、重叠运动补偿和本文算法进行隐藏处理实验,并比

较实验结果。

图 2 为几种时域错误隐藏方法效果图。相对于参考帧(序列图像的第 1 帧),树和背景运动状况不

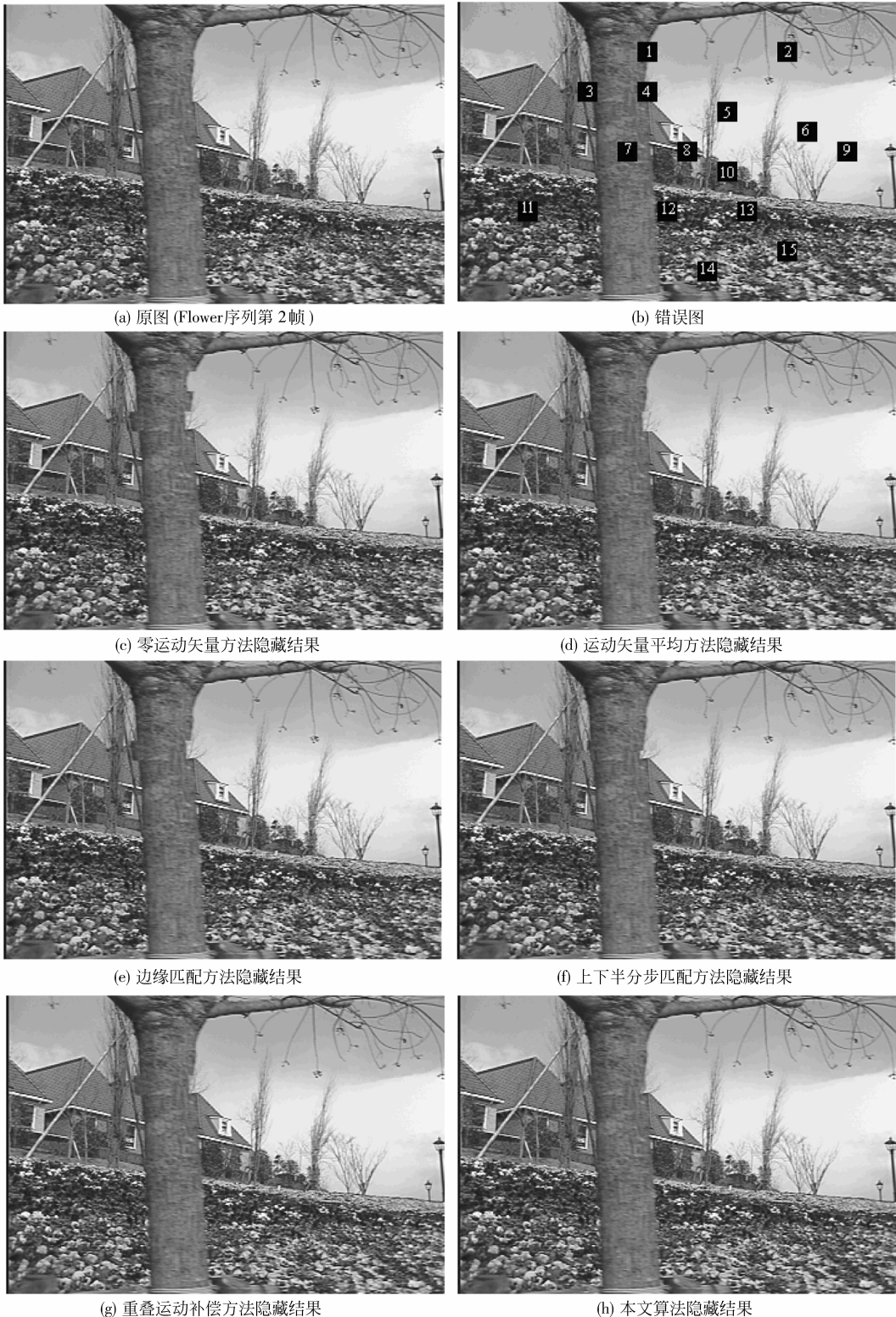


图 2 几种时域错误隐藏方法效果图

Fig. 2 Several temporal error concealment results

同,树相对背景做近似向右平移运动。从隐藏图像的视觉效果来看:

1) 图 2(b)中标记为 1 和 2 的错误块都包含树和背景,但由于其所处局部背景图像灰度变化不大(即情形 2),可看做局部图像是一致平移运动,所以几种处理结果都完好地重建了该错误块;

2) 图 2(b)中标记为 3 和 4 的两个错误块恰好处于树的边缘,因此该错误块内的像素的运动不一致(即情形 3),通过比较可见,图 2(c)中树的左边缘出现凸起,而右边出现凹陷,图 2(d)(e)情况与图 2(c)类似,只是变化程度稍轻,而上下半分步掩盖后则出现掩盖块内的上下两部分在树干的边缘处未能连接的现象;重叠补偿结果和图 2(c)类似,只是在突出或凹陷处,由于加权平均而使得灰度偏中性,相比较而言,本文算法的隐藏效果(如图 2(h)所示)较好,纹理得到很好地重建;

3) 图 2(b)中做其他标记的错误块都处于背(或前)景之中,由于各个错误块所在的局部图像都是近似做一致平移运动(即情形 2),所以几种方法的处理效果相当。

从峰值信噪比角度看,6 种方法处理后图像的 PSNR 值分别为 28.96 dB、34.22 dB、36.70 dB、38.28 dB、37.46 dB 和 39.33 dB。可见,本文方法隐藏的图像质量最高。另外,表 1 给出了随机产生 5%、大小为 16×16 pixels 的错误块的标准图像序列 Flower, Forman 和 Football 图像处理后的 PSNR 的平均值。可见,本文算法隐藏后图像的 PSNR 值高于零运动矢量、运动矢量平均、边缘匹配、上下半分步匹配、重叠运动补偿等方法。

表 1 不同隐藏方法的 PSNR 值/dB 比较

Tab.1 The comparison of the PSNR results from different error concealment methods

图像序列	Flower	Forman	Football
零运动矢量	27.64	41.62	33.94
运动矢量平均	36.03	40.98	34.44
边缘匹配	35.58	45.94	36.6
上下半分步匹配	36.75	44.46	35.39
重叠运动补偿	38.11	45.85	37.2
本文算法	38.4	46.76	37.6

5 结 论

本文提出了一种基于帧间匹配均值与方差的时域错误隐藏算法,该算法首先根据匹配差值的均值和方差判别错误块内图像的运动状况,然后针对不同的运动状况选择合适的隐藏方法对错误块进行隐藏处理。模拟实验结果表明,本文算法隐藏图像的视觉效果明显优于其他算法,峰值信噪比也有 0.3 ~ 1dB 的提高。但对于局部图像运动不规则的错误块,隐藏算法还有待进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] Zhang Rongfu. Research on Concealment for Image Trasmission Errors[D]. Shanghai:Shanghai Jiaotong University,2004. [张荣福. 图像传输错误掩盖技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2004.]
- [2] Ma Xin, Yang Xiaokang, Song Li. An adaptive temporal error concealment technique [J]. Journal of Image and Graphics, 2007,12(10): 1782-1785. [马鑫,杨小康,宋利. 自适应时域差错掩盖方法[J]. 中国图象图形学报,2007,12(10): 1782-1785.]
- [3] Chen Zhen, He Jianjun. Temporal error concealment algorithm for H.264 based on variable size block motion vector recovery[J]. Journal of Image and Graphics, 2008,13(7), 1244-1249. [陈振,贺建军. 基于可变尺寸块运动矢量恢复的 H.264 时域差错掩盖算法[J]. 中国图象图形学报,2008,13(7), 1244-1249.]
- [4] Mualla M A, Canagarajah N, Bull D R. Motion field interpolation for temporal error concealment[J]. IEEE Processings of Visual Image Signal Processing, 2000,147(5), 445-453.
- [5] Kim E T, Choi S J, Kim H M. Weighted boundary matching algorithm for error concealment in the MPEG-2 video bit stream [J]. Signal Processing, 1999, 73, 291-295.
- [6] Chen M J, Chen C S, Chi M C. Temporal error concealment algorithm by recursive block- matching principle [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems, 2005,15(11)1385-1393.
- [7] Orchard M T, Sullivan G J. Overlapped block motion compensation: an estimaiton-theoretic approach [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994,3(5), 693-699.