

基于 MRF-MAP 的运动矢量恢复差错掩盖算法

许志良¹, 王建华¹, 谢胜利²

(1. 深圳信息职业技术学院, 深圳 518029; 2. 华南理工大学电子与信息学院, 广州 510641)

摘要: 针对帧间编码模式下出现图像块丢失的情况, 提出一种有效的时域运动矢量恢复差错掩盖算法。把运动矢量场建模为高斯马尔科夫随机场, 对丢失图像块的运动矢量采用最大后验概率方法恢复, 其权值能够根据空间和时间信息而自适应选择。仿真结果表明, 该算法在客观和主观上都能获得高质量的图像。

关键词: 运动矢量; 马尔科夫随机场; 最大后验概率; 差错掩盖

Error Concealment Algorithm for Motion Vector Recovery Based on MRF-MAP

XU Zhi-liang¹, WANG Jian-hua¹, XIE Sheng-li²

(1. Shenzhen Institute of Information Technology, Shenzhen 518029;

2. College of Electronic & Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

【Abstract】 Error concealment is an attractive approach to combat channel errors for video transmission. Aiming at recovering the damaged macroblocks which belong to inter-coded model, an effective error concealment algorithm for motion vector recovery based on MRF-MAP is proposed in this paper. The motion vectors field is modeled as Gauss-Markov Random Field(GMRF). The motion vectors of the damaged image macroblocks can be recovered adaptively by Maximum A Posteriori(MAP), and the weight is selected adaptively based on the spatial information and temporal information. Simulation results show that the proposed method offers significant improvement on both objective PSNR measurement and subjective visual quality of restored video sequence.

【Key words】 motion vector; Markov Random Field(MRF); Maximum A Posteriori(MAP); error concealment

1 概述

H.263, H.264 和 MPEG-4 等视频编码标准都使用基于块的 DCT 变换、可变长熵编码及运动补偿来消除空间和时间冗余。空间域差错掩盖算法^[1]既适用于帧内编码模式, 也适用于帧间编码模式, 只需要运用当前帧已经正确接收到的信息来恢复丢失的信息。时间域差错掩盖仅适用于帧间编码, 主要运用前后帧的运动信息或结构信息来恢复丢失的信息。本文将研究帧间编码模式下的差错掩盖后处理技术。

时间域差错掩盖是利用当前帧和前后帧的时间关联, 对丢失的块进行运动补偿。这种处理要求丢失块的运动矢量完好, 然而实际上运动矢量也同样会丢失, 所以需要先对丢失的运动矢量进行估计。经典的运动矢量估计算法有 BMA^[2], AVMV^[3] 以及 MMV^[4] 等。这些算法计算相对简单, 但是常常因为运动矢量估计不准确, 造成恢复图像的块效应。运动补偿是需要运动矢量和残差的。在采用运动补偿的视频编解码中, 编码端的图像块运动矢量匹配不准确只会影响编码的效率, 因为解码端可以利用运动矢量和残差恢复图像块。但是对于时间域差掩盖来说, 图像块的运动矢量和残差都不可用, 如果丢失图像块的运动矢量估计不准确, 将会导致严重的块效应, 大大降低解码图像的质量。

2 几种经典的运动矢量估计算法

2.1 BMA 算法

文献[2]提出的边界匹配算法(BMA)是比较常用的运动矢量估计方法。这种算法利用视频图像中邻接像素之间存在

高度相关性的事实, 取当前帧丢失宏块的上、下和左像素线, 围绕前面已解码帧的候选宏块, 计算这 3 条线与已解码帧中相应块的边界上 3 条线之间的像素平方差。BMA 的缺点在于忽略了边缘的影响。若边界上刚好存在边缘, 则像素差值的平方和就会很大。BMA 很有可能把正确的运动矢量舍弃, 而采用能使像素差值平方和变小的不正确的运动矢量。在很多情况下只使用 3 条边界线去匹配整个块是不充分的, 另外当整行宏块都丢失或者上面和下面宏块也丢失的时候, 算法的性能会很差。

2.2 AVMV 和 MMV

如图 1 所示, 图中阴影块是丢失块, 运动矢量为 V 。 V^T, V^B 分别是与丢失块相邻的上下块的运动矢量; V^L, V^R 分别是与丢失块相邻的左右块的运动矢量; $V^{TL}, V^{TR}, V^{BL}, V^{BR}$ 分别是与丢失块相邻的左上、右上、左下、右下相邻块的运动矢量。为了恢复丢失的图像块, 必须估计出丢失块的运动矢量 \hat{V} 。

文献[3]提出平均运动矢量(AVMV)算法:

基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目(U0635001); 深圳市科技计划基金资助项目(szkj0604, szkj0502); 深圳信息职业技术学院博士创新基金资助项目(BC-0720)

作者简介: 许志良(1974 -), 男, 讲师、博士, 主研方向: 图像处理, 图像无线传输; 王建华, 讲师、硕士; 谢胜利, 教授、博士生导师

收稿日期: 2008-01-30 **E-mail:** xuzl@sziit.com.cn

$$\hat{V} = \text{aver}(V^L, V^R, V^T, V^{TL}, V^{TR}, V^B, V^{BL}, V^{BR}) \quad (1)$$

文献[4]提出一种中值运动矢量(MMV)恢复算法：

$$\hat{V} = \text{median}(V^L, V^R, V^T, V^{TL}, V^{TR}, V^B, V^{BL}, V^{BR}) \quad (2)$$

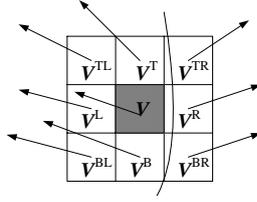


图1 丢失块及其相邻块的运动矢量图

由图1可知,如果用AVMV算法, \hat{V} 可能会很小或接近于0,导致丢失块的估计运动矢量 \hat{V} 和真正的运动矢量 V 偏差太大。所以在这种情况下采用AVMV差错掩盖算法恢复的图像质量很差。如采用MMV算法,则估计的运动矢量 \hat{V} 是 $V^T, V^{TL}, V^L, V^{BL}, V^B$ 中的一个,恢复图像的质量比AVMV算法要好。在大多数情况下,MMV算法恢复的图像质量比采用BMA,AVMV算法要好。

3 基于MFR的运动矢量恢复算法

3.1 运动矢量的MRF-MAP建模

文献[5]把运动矢量场建模成马尔可夫随机场,类似于像素域的MRF建模,有下式成立:

$$\sum_{c \in C} V_c(\mathbf{v}) = \sum_{i=0}^{N_1-1} \sum_{j=0}^{N_2-1} \sum_{m=0}^3 b_{i,j}^m \left(\frac{\rho(D_m(v_{i,j}))}{\sigma} \right) \quad (3)$$

其中, N_1 和 N_2 分别是垂直和水平方向图像的分块数; $v_{i,j}$ 是第 (i,j) 块的运动矢量; ρ 是势函数; $b_{i,j}^m$ 是权值; σ 为一常数; c 是一个局部运动矢量组(又称为子团);而 C 表示整幅图像中所有可能的子团集合。

Salama应用MAP的方法求解出丢失图像块的运动矢量。对于丢失块 (i,j) ,在给定它的邻域块的情况下,其运动矢量估计表达式为

$$\hat{v}_{i,j} = \arg \min_{\mathbf{v}_{i,j}} \sum_{l=i}^{i+1} \sum_{k=j}^{j+1} \sum_{m=0}^3 b_{l,k}^m \left(\frac{\rho(D_m(v_{l,k}))}{\sigma} \right) \quad (4)$$

其中, $b_{l,k}^m, \sigma$ 是1; ρ 为Huber函数:

$$\rho(x) = \begin{cases} x^2 & |x| \leq T \\ T^2 + 2T|x-T| & |x| > T \end{cases} \quad (5)$$

然而这种算法中没有考虑局部图像块之间的相关性较强这个特性,为了进一步提高MRF-MAP估计丢失块运动矢量的精确性,提出一种自适应加权的MRF-MAP算法(即AMRF-MAP),其势函数为高斯型,其 ρ 如下:

$$\rho(x) = x^2 \quad (6)$$

由式(4)和式(6)可得:

$$\hat{v}_{i,j} = \sum_{(k,l) \in U} b_{i,j \rightarrow k,l} \cdot v_{k,l} / \sum_{(k,l) \in U} b_{i,j \rightarrow k,l} \quad (7)$$

其中, $b_{i,j \rightarrow k,l}$ 是权值; U 是所有与 (i,j) 块相邻的图像块集合,见图2中的浅颜色块。

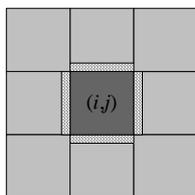


图2 丢失块与周围的相邻块

3.2 权值的自适应选择

由式(7)可知,当丢失块 (i,j) 的运动矢量与某个相邻块 (k,l) 的运动矢量相近时,所对应的权值必须大,估计出来的运动矢量 $\hat{v}_{i,j}$ 才会比较接近真正的运动矢量 $v_{i,j}$ 。因此,要根据空间信息(像素间的平滑性)和时间信息(相邻运动矢量的相关性)来自适应选择权值。设图像块的大小为 $N \times N$,图2中的深颜色块为丢失块。浅颜色块是与丢失块相邻的图像块。在运动补偿时,把丢失块的大小扩充为 $(N+1) \times (N+1)$,则丢失块与直接相邻的周围块之间有单像素宽的重叠,见图2中的花格区。对于重叠区,定义一个平滑度函数 S^v :

$$\begin{aligned} S_L^v &= \sum_{i=0}^{N-1} |f(x_0+i, y_0-1, n) - f(x_0+v_x+i, y_0-1+v_y, n-1)| \\ S_R^v &= \sum_{i=0}^{N-1} |f(x_0+i, y_0+N, n) - f(x_0+i+v_x, y_0+N+v_y, n-1)| \\ S_T^v &= \sum_{i=0}^{N-1} |f(x_0-1, y_0+i, n) - f(x_0-1+v_x, y_0+v_y+i, n-1)| \\ S_B^v &= \sum_{i=0}^{N-1} |f(x_0+N, y_0+i, n) - f(x_0+N+v_x, y_0+v_y+i, n-1)| \\ S^v &= S_L^v + S_R^v + S_T^v + S_B^v \end{aligned} \quad (8)$$

其中, (x_0, y_0) 是丢失块左上角那个起始像素的坐标值; v_x 和 v_y 是丢失块的运动矢量 \mathbf{v} 的分量; L, R, T, B代表左、右、上、下4个方向。假设与丢失块相邻的图像块的运动矢量是 $\mathbf{v}_{k,l}$, 其中, $(k,l) \in U$ 。当 $\mathbf{v} = \mathbf{v}_{k,l}$ 时,根据式(8)可以得到相应的 $S^{\mathbf{v}_{k,l}}$ 。 $S^{\mathbf{v}_{k,l}}$ 越小,说明丢失块的运动矢量 \mathbf{v} 取 $\mathbf{v}_{k,l}$ 的可能性越大。

另外,由于相邻的图像块具有运动方向经常相似这个特性,把运动矢量方向相似的图像块归为同一类。根据图像块运动矢量的方向和大小,把图像块的运动矢量分成9类,见图3。把与丢失块相邻的图像块的运动矢量按图3进行分类, C_1, C_2, \dots, C_9 是与 G_1, G_2, \dots, G_9 一一对应的计数器,用来存储与丢失块相邻的图像块经过分类后每类的运动矢量个数。 C_i 越大,丢失块的运动矢量属于 G_i 的可能性也就越大。

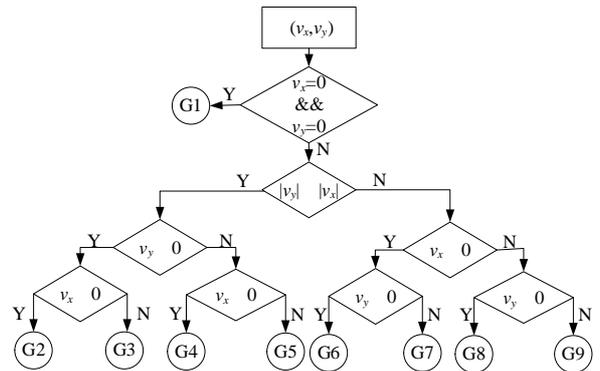


图3 运动矢量分类图

由上面分析,选择 $b_{i,j \rightarrow k,l}$ 如下式:

$$b_{i,j \rightarrow k,l} = C_{k,l} \cdot \frac{\min(S^{\mathbf{v}_{m,n}})}{S^{\mathbf{v}_{k,l}}} \quad (9)$$

其中, $(m,n) \in U$; $C_{k,l} \in C_i$ ($i=1,2,\dots,9$)。由式(7)和式(9)可得

$$\hat{v}_{i,j} = \sum_{\substack{(k,l) \in U \\ (m,n) \in U}} C_{k,l} \cdot \frac{\min(S^{\mathbf{v}_{m,n}})}{S^{\mathbf{v}_{k,l}}} \cdot \mathbf{v}_{k,l} / \sum_{\substack{(k,l) \in U \\ (m,n) \in U}} C_{k,l} \cdot \frac{\min(S^{\mathbf{v}_{m,n}})}{S^{\mathbf{v}_{k,l}}} \quad (10)$$

4 各种算法的仿真结果

为了验证本文提出的基于MRF-MAP的自适应运动矢量

恢复算法的有效性,用大小为 144×176 的 Foreman, Carphon, Claire 和 Coastguard 4 个灰度视频图像序列进行仿真,编码块的大小为 8×8 ,模拟丢失块分离散块丢失和连续块丢失 2 种情况。具体视觉质量比较如图 4、图 5 所示。

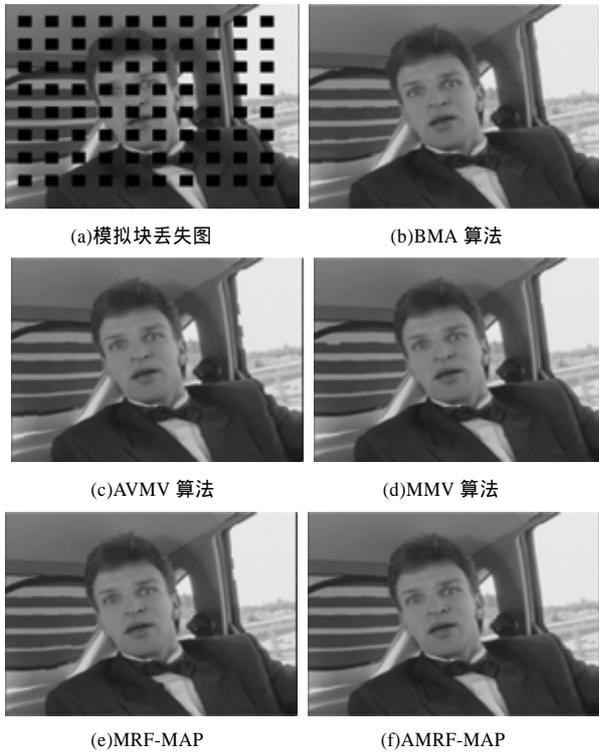


图 4 Carphone 视频序列不同差错掩盖方法的视觉质量比较



图 5 Foreman 视频序列不同差错掩盖方法的视觉质量比较

图 4(a)是Carphone序列的第 52 帧,丢失率为 20.2%的离散 8×8 丢失图,参考帧为第 51 帧。图 5(a)是Foreman序列的第 92 帧,丢失率为 22.2%连续块 8×8 丢失图,参考帧为第 91 帧。图 4(b)~图 4(f)和图 5(b)~图 5(f)均是分别采用BMA^[2],

AVMV^[3], MMV^[4], MRF-MAP^[5]以及本文提出的AMRF-MAP算法处理后的恢复图像。

图 4(b)、图 4(c)、图 4(e)三图对应的 BMA, AVMV 和 MRF-MAP 算法恢复图像质量较差,存在严重的图像块残缺现象。比较图 4(d)和图 4(f)两图,可以发现本文提出的 AMRF-MAP 算法比 MMV 算法对汽车玻璃窗边的恢复效果要好。由图 5(b)可以发现,在连续块丢失的情况下,BMA 算法的恢复效果最差。由图 5(e)可以发现, MRF-MAP 算法对图像中的帽子顶部恢复效果不好,像被刀切割了一样。图 5(c)中的 AVMV 算法对图像中帽子的右上角主边缘处的恢复效果不太好,图 5(d)中的 MMV 算法对图像中衣领的丢失块恢复图像比图 5(f)要差。由以上主观质量分析可以看出,本文提出的 AMRF-MAP 运动矢量恢复差错掩盖算法比已有的一些算法要优越。

表 1 是 Carphone, Foreman, Claire, Coastguard 4 个视频序列的第 82-96 帧共 15 帧在 20.2%离散 8×8 大小块丢失下的平均 PSNR。由表 1 可看出本文提出的 AMRF-MAP 算法在离散块情况下能获得最高的 PSNR 值。综上主观质量评价和客观质量评价可知,本文提出的自适应 MAR-MAP 算法在帧间编码模式下对丢失的图像块有优越的恢复性能。

表 1 多帧不同视频序列的平均 PSNR 比较 dB

运动图像序列	BMA	AVMV	MMV	MRF-MAP	AMRF-MAP
Carphone	26.8	28.0	30.2	30.7	32.2
Foreman	27.2	28.7	30.3	28.9	30.9
Claire	31.1	35.3	37.5	39.1	39.4
Coastguard	21.8	28.5	29.1	28.6	29.8

5 结束语

针对帧间编码模式下的数字视频序列经过受噪声影响的信道传输后出现图像信息丢失的情况,本文首先介绍了已有的几种基于运动补偿的差错掩盖后处理算法,然后在对运动矢量 MRF 随机场建模的基础上,提出一种自适应加权的 AMRF-MAP 运动矢量恢复差错掩盖算法。该算法中的权值能根据与丢失块相邻的图像块的运动信息和空间信息来自适应调整。仿真结果表明,本文提出的方法对不同的块丢失率,不同类型的视频序列,都能比已有的 BMA, AVMV, MMV 以及非自适应的 MRF-MAP 算法恢复出更高质量的图像。

参考文献

- [1] Wang Yao, Zhu Qinfan. Error Control and Concealment for Video Communication: A Review[J]. IEEE Multimedia Signal Processing, 1998, 86(5): 974-997.
- [2] Lam W M, Reilbman A R, Liu B. Recovery of Lost or Erroneously Received Motion Vectors[C]//Proc. of IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing. Minneapolis, USA: [s. n.], 1993: 417-420.
- [3] Sun H, Challapali K, Zdepski J. Error Concealment in Digital Simulcast AD-HDTV Decoder[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1992, 38(3): 108-116.
- [4] Haskell P, Messerschmitt D. Resynchronization of Motion Compensated Video Affected by ATM Cell Loss[C]//Proc. of IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing. San Francisco, USA: [s. n.], 1992: 545-548.
- [5] Salama P, Shroff N B, Delp E J. Error Concealment in MPEG Video Streams over ATM Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(6): 1129-1144.