

基于最小二乘支持向量机误差校正的 多方向插值算法

李云海 马立勇 沈毅

(哈尔滨工业大学(威海)信息科学与工程学院,威海 264209)

摘要 视频在易出错的信道中传输会发生数据丢包和误码等现象,严重影响视频图像质量。为了改善出错图像的质量,首先使用错误隐藏技术中的空域多方向插值方法进行插值,然后利用最小二乘支持向量机学习插值像素点之间的误差相关性来预测插值误差,进而对使用多方向插值方法得到的宏块进行误差校正。实验结果表明,与目前采用的最近像素线性插值法和多方向插值法相比较,基于误差校正的多方向插值算法在错误隐藏视觉效果和峰值信噪比性能指标上都具有一定的优越性。

关键词 多方向插值 错误隐藏 最小二乘支持向量机 误差校正

中图法分类号:TN919.3 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)08-1424-05

Least Squares Support Vector Machines Error Correction Scheme Based Multi-directional Interpolation

LI Yun-hai, MA Li-yong, SHEN Yi

(School of Information Science and Engineering, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209)

Abstract Compressed video streams are very vulnerable to transmission errors. Channel errors, including bit errors and packet loss, not only corrupt the current frame, but also propagate to subsequent frames. A novel multi-directional interpolation scheme based on least squares support vector machines (LSSVM) error correction is proposed to get more satisfying error concealment results. At first, a multi-directional interpolation for spatial error concealment is used to restore the missing block. Then LSSVM is trained with the interpolation error distribution of missing block is obtained from large local neighborhood of surrounding pixels of the source image. At last, the more accurate result frame is obtained by adding the estimated error distribution to the restored frame. Experimental results show that the visual quality and performance of the proposed method is improved compared to both nearest pixel linear interpolation and multi-directional interpolation.

Keywords multi-directional interpolation (MDI), error concealment, least squares support vector machine (LSSVM), error correction

1 引言

错误隐藏作为视频通讯、传输技术中的一种重要方法,其用于消除由传输错误引起的图像质量退化,一直被国内外学者关注。

错误隐藏是解码器端用来恢复丢失信息的一种有效方法,而且它不需要消耗额外带宽,也不会产生重传延迟,而是利用收到的视频数据的空域或时域的信息冗余来恢复丢失的信息。假定图像本身具有平滑性,则将利用相邻像素点插值来恢复图像丢失部分的错误隐藏称为空域错误隐藏。时域错误隐藏

基金项目:山东省自然科学基金项目(Y2007G45)

收稿日期:2007-01-10;改回日期:2007-03-13

第一作者简介:李云海(1983~),男。哈尔滨工业大学(威海)信息科学与工程学院检测技术与自动化装置专业硕士研究生。研究方向为图像处理、信息隐藏。E-mail:jiawenxin@163.com

假定视频内容是按时间连续变化的,它是利用时间相近的前向或后向帧的信息来恢复当前帧丢失的信息^[1]。

常见的空域插值方法主要有最近像素线性插值法(NPLI)^[2]、多方向插值法(MDI)^[3]等。

支持向量机(support vector machines, SVM)是一种新兴的基于统计学习理论的机器学习方法,其可通过寻求结构化风险最小来提高学习机泛化能力,以实现经验风险和置信范围的最小化,从而达到在统计样本量较少的情况下,亦能获得良好统计规律的目的^[4]。

最近,SVM 在图像插值问题中开始得到应用,如文献[5]中采用邻近像素进行支持向量机学习,分别实施的行扩展和行列同时扩展的插值结果表明,支持向量机方法优于其他方法。文献[6]提出了一种利用图像局部像素值和图像局部空间特性信息相结合来进行 SVM 训练和估计的图像插值策略。文献[7]则提出了利用 SVM 学习误差分布状态来对插值图像进行修正的思想。

本文在视频的错误隐藏技术中引入了最小二乘支持向量机(least squares SVM, LSSVM),用于误差预测,并对插值图像进行误差校正,取得了很好的实验效果。

2 最小二乘支持向量机

标准支持向量机主要是基于如下思想:首先选择一个非线性映射 $\psi(\cdot)$ 把 n 维样本向量 $(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l) \in \mathbf{R}^N \times \mathbf{R}$ 从原空间 \mathbf{R}^N 映射到特征空间

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots \\ 1 & K(x_1, x_1) + \frac{1}{\gamma} & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ 1 & K(x_l, x_1) & \dots \end{bmatrix}$$

最终得到的 LSSVM 模型为

$$f(x) = \sum_{i=1}^l \alpha_i K(x, x_i) + b \quad (6)$$

尽管 SVM 求解一个凸二次规划时,所得的解是唯一的最优解,但当数据量较大时,求解过程所需计算资源很大。而用 LSSVM 求解一个线性方程,虽然不能保证其解为所求问题的全局最优解,但线性方

$\psi(x) = (\varphi(x_1), \varphi(x_2), \dots, \varphi(x_l))$, 然后在此高维特征空间中构造最优线性函数。由于在构造最优线性函数 $y(x) = (w \cdot \varphi(x)) + b$ 时,利用了结构风险最小化原则,同时引入了间隔的概念,并巧妙地利用原空间的核函数 $K(x_i, x_j)$ 取代了高维特征空间的点积运算,从而避免了复杂计算。

LSSVM 与 SVM 相比较,在利用结构风险原则时,在优化目标中选取了误差 ξ_i 的二范数作为损失函数^[8]。

对于 LSSVM 来说,其优化问题为

$$\min J(w, \xi) = \frac{1}{2} w^T \cdot w + \gamma \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \xi_i^2 \quad (1)$$

$$\text{st. } y_i = w^T \cdot \varphi(x_i) + b + \xi_i, i = 1, 2, \dots, l \quad (2)$$

定义拉格朗日函数为

$$L(w, b, \xi, \alpha) = - \sum_{i=1}^l \alpha_i \{ w^T \varphi(x_i) + b + \xi_i - y_i \} + J(w, \xi) \quad (3)$$

其中, $\alpha_i (i = 1, 2, \dots, l)$ 为拉格朗日乘子,根据以下最优化条件:

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \rightarrow w = \sum_{i=1}^l \alpha_i \varphi(x_i)$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 0 \rightarrow \sum_{i=1}^l \alpha_i = 0$$

$$\frac{\partial L}{\partial \xi_i} = 0 \rightarrow \alpha_i = \gamma \xi_i \quad i = 1, 2, \dots, l$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_i} = 0 \rightarrow y_i = w^T \varphi(x_i) + b + \xi_i \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, l$$

记 $K(x_i, x_j)$ 为满足 Mercer 条件的核函数,则可以把 LSSVM 优化问题转化为求解下列线性方程:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ K(x_1, x_1) \\ \vdots \\ K(x_l, x_l) + \frac{1}{\gamma} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_l \end{bmatrix} \quad (5)$$

程的求解速度要比二次规划快,且所需计算资源少^[8,9]。基于训练时间和计算量的考虑,本文采用 LSSVM 作为学习机器。

3 基于 LSSVM 误差校正的错误隐藏

在视频传输过程中,当视频图像发生离散余弦

变换 (DCT) 宏块 (16×16) 丢失时,通常会采用错误隐藏的方法来消除出错宏块的影响^[1,2]。如果传输中发生运动矢量丢失,或者画面场景切换,则需要使用空域插值法进行错误隐藏。

本文提出的算法是在文献[3]插值方法的基础上加以改进的,其算法流程如图 1 所示。

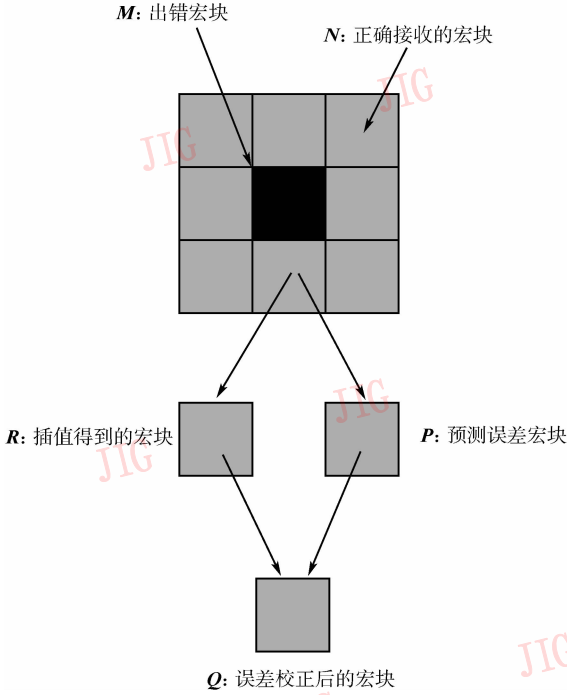


图 1 本文算法流程图

Fig. 1 The proposed restoration process

具体算法如下:

(1) 对宏块 N 中的每一个像素 (i, j) 的灰度值 $x(i, j)$ 进行梯度、方向计算, 计算式如下:

$$g_x = x_{i+1,j-1} - x_{i-1,j-1} + 2x_{i+1,j} - 2x_{i-1,j} + x_{i+1,j+1} - x_{i-1,j+1} \quad (7)$$

$$g_y = x_{i-1,j+1} - x_{i-1,j-1} + 2x_{i,j+1} - 2x_{i,j-1} + x_{i+1,j+1} - x_{i+1,j-1} \quad (8)$$

$$G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (9)$$

$$\theta = \arctan(g_y/g_x) \quad (10)$$

(2) 确定最接近 θ 的方向 θ_i , θ_i 满足 $\theta_i = K \times 22.5^\circ$, $K = 0, 1, \dots, 7$;

(3) 如果宏块 N 中的像素点在方向 θ_i 上能贯穿宏块 M , 则将该方向的梯度值 G 进行累加;

(4) 在满足 $G_{\max} = \max(G)$ 的方向 θ_c 上进行线性插值计算, 即利用如下公式来得到恢复宏块 R 。

$$x_{k;k \in M} = \frac{x_0}{d_{k,0}^c} + \frac{x_1}{d_{k,1}^c} + \dots + \frac{x_n}{d_{k,n}^c} \quad (11)$$

$$\sum_{t \notin M} \frac{1}{d_{k,t}^c}$$

其中, $x_{k;k \in M}$ 为宏块 M 中丢失的像素, $d_{k,t}$ 为丢失像素 x_k 与 x_t 之间的距离, c 为指数, c 可以取 2.5 ^[3]。

在对图像进行多方向插值时, 如果图像中物体边缘的梯度方向介于某两个插值方向之间, 则宏块 R 会在边缘上变得模糊和产生方向扭曲; 如果宏块 M 处于图像明暗交替处, 则得到的宏块 R 的灰度值会出现一定程度的偏差。针对上述情况, 本文提出了一种在多方向插值方法的基础上改进的误差校正算法。

算法的具体步骤为:

(1) ~ (4) 步同原多方向插值方法;

(5) 在 θ_c 方向上, 用式 (12) 进行插值计算即可得到宏块 N 中在真值 $x_{k;k \in N}$ 处进行插值得到的灰度值 $\hat{x}_{k;k \in N}$ 。

$$\hat{x}_{k;k \in N} = \frac{x_0}{d_{k,0}^c} + \frac{x_1}{d_{k,1}^c} + \dots + \frac{x_{k-1}}{d_{k,k-1}^c} + \frac{x_{k+1}}{d_{k,k+1}^c} + \dots + \frac{x_n}{d_{k,n}^c} \quad (12)$$

$$\sum_{k \in N, k \neq t} \frac{1}{d_{k,t}^c}$$

(6) 用真值 $x_{k;k \in N}$ 减去 $\hat{x}_{k;k \in N}$ 来得到误差值 Δx_k , 同时记录下该点的坐标值 (i, j) ;

(7) 训练: 以该点的坐标值 (i, j) 为 LSSVM 的输入, Δx_k 作为其输出, 就可以得到训练模型;

(8) 预测: 若将宏块 M 中的每个点的坐标值作为 LSSVM 模型的输入, 则输出即为该点经插值后其原像素灰度值误差的预测值, 进而可得到预测误差宏块 P ;

(9) 将宏块 P 加到相应的宏块 R 上, 最终即得到误差校正后的宏块 Q 。

4 实验结果

本文使用 Foreman 和 Tennis 视频序列进行了实验。实验选用同一个错误模板, 并采用 NPLI 插值法、MDI 插值法和 LSSVM 误差校正法进行校正误差对比。

实验中, LSSVM 采用 RBF 核函数。由于该核函数参数的选择目前尚没有能够普遍应用的理论, 故采用交叉验证方法得到的 Foreman 参数

为 $\gamma_1 = 1, \sigma_1 = 0.5$, Tennis 参数为: $\gamma_2 = 7, \sigma_2 = 5$ 。

下面以 Foreman 序列中一帧图像为例(如图 2 所示)来说明各种插值方法的错误隐藏效果。对比各实验结果图像可以发现,使用本文算法得到的插值图像较 NPLI 法和 MDI 法插值后的图像在很多细节上都有改善,其中一个画面细节如图 3 所示。从图 3 中的图像细节来看,经过误差校正后的宏块无论 在物体边界上,还是平滑均匀区域中,其视觉效果都比 NPLI 法和 MDI 法更好,图像质量更接近于原图像。

不同插值方法得到的修复宏块与原图像的残差增强图像如图 4 所示。从图 4 中可以看出,本文方法得到结果图像的误差要小于 NPLI 和 MDI 方法的误差。

Foreman 和 Tennis 两个视频序列分别采用 NPLI 法、MDI 法和本文方法进行错误隐藏所得的结果图像的峰值信噪比(PSNR)见表 1。从表中数据可以看到,本文方法结果图像的 PSNR 比其他两种方法有明显提高。应用本文方法的 Foreman 和 Tennis 视频错误隐藏结果的 PSNR 平均值分别比多方向插值方法高出 0.63dB 和 0.60dB。



图 2 错误隐藏方法的效果图

Fig. 2 Concealments of the missing blocks shown in (a) using NPLI (b), MDI (c) and Proposed (d)

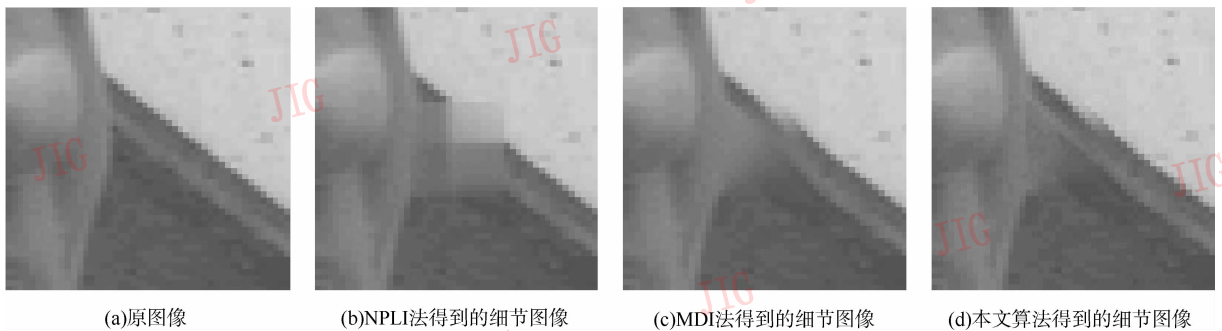


图 3 不同插值方法得到的细节图像

Fig. 3 Details of the concealment using NPLI (b) MDI (c) and Proposed (d)

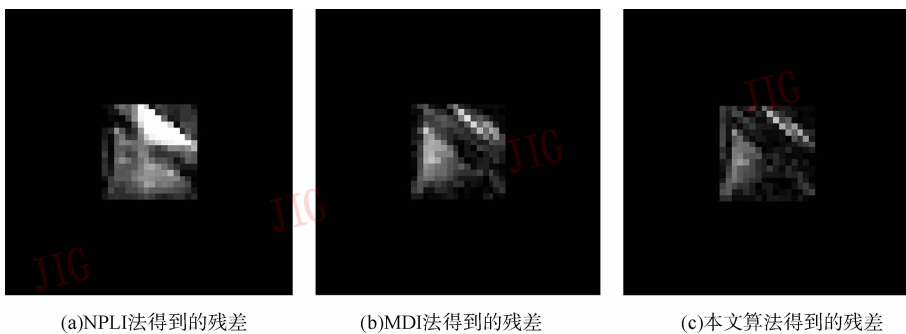


图 4 不同插值方法得到的插值图像残差(增强)图像

Fig. 4 Residues of different interpolation approach (enhanced)

表 1 不同插值方法的插值效果 (PSNR) 对比
Tab.1 PSNR of different interpolation approach

单位: dB

图片号	Foreman 序列			Tennis 序列		
	NPLI 法	MDI 法	本文算法	NPLI 法	MDI 法	本文算法
第 1 帧	37.054 4	37.275 7	37.711 9	30.792 7	31.456 4	32.009 7
第 2 帧	37.114 9	37.658 5	38.124 4	30.811 5	31.510 6	32.166 8
第 3 帧	36.847 0	37.245 4	38.090 9	30.882 1	31.758 9	32.440 5
第 4 帧	37.189 1	37.495 3	38.377 2	30.866 6	31.505 9	32.017 1
第 5 帧	37.599 5	37.826 5	38.751 5	30.882 9	31.654 1	32.223 8
第 6 帧	36.515 3	37.805 2	38.600 0	30.884 9	31.570 4	32.081 2
第 7 帧	35.730 1	36.626 6	37.482 6	30.884 3	31.763 8	32.492 0
第 8 帧	35.595 8	36.589 8	37.203 3	30.896 7	31.679 5	32.237 2
第 9 帧	36.082 7	36.160 9	36.518 6	30.891 0	31.685 3	32.244 8
第 10 帧	35.942 0	35.955 1	36.106 1	30.886 2	31.828 2	32.516 4
均值	36.567 0	37.063 9	37.696 7	30.867 9	31.641 3	32.243 0

5 结 论

本文提出了一种应用于视频图像错误隐藏的误差校正插值算法,该算法在已有的多方向插值法的基础上,充分利用最小二乘支持向量机的学习能力,通过学习图像中各像素点插值误差的相关性来对得到的插值宏块进行误差校正。实验结果表明,该方法是有效的。而如何选择更好的学习参数,以提高视频传输质量,以及如何对算法进行改进优化,以提高其处理速度将是下一步深入研究的重点。

参考文献 (References)

- 1 Wang Yao, Zhu Qin-fan. Error control and concealment for video communication: A review [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, **86**(5):974~997.
- 2 Wu Yan-ling, Zhou Yuan-hua, H. 264 video communication based refined error concealment schemes [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2004, **50**(4):1135~1141.
- 3 Wilson Kwok, Sun Hui-fang. Multi-directional interpolation for spatial error concealment [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1993, **39**(3):455~460.
- 4 Zhang Xue-gong. Introduction to statistical learning theory and support vector machines [J]. Acta Automatica Sinica, 2000, **26**(1):32~42. [张学工.关于统计学习理论和支撑向量机[J].

自动化学报, 2000, **26**(1):32~42.]

- 5 Wang Jue, Ji Liang. Image interpolation and error concealment scheme based on support vector machine [J]. Journal of Image and Graphics, 2002, **7**(6):558~564. [王珏, 季梁. 基于支持向量机的图像插值及错误隐匿策略 [J]. 中国图象图形学报 (A 版), 2002, **7**(6):558~564.]
- 6 Ma Li-yong, Ma Jia-chen, Shen Yi. Local spatial property based support vector machines image interpolation scheme [A]. In: Proceedings of the 6th World Congress on Control and Automation [C], Dalian, China, 2006: 10162~10165. [马立勇, 马家辰, 沈毅. 基于图像局部空间特性的支持向量机插值策略 [A]. 见: 第六届全球智能控制与自动化大会 [C], 大连, 中国, 2006: 10162~10165.]
- 7 Ma Li-yong, Ma Jia-chen, Shen Yi. Support vector machines based image interpolation correction scheme [A]. In: Lecture Notes in Artificial Intelligence [C], Heidelberg Berlin, Germany, 2006, **4062**:679~684.
- 8 Yan Wei-wu, Shao Hui-he. Application of support vector machines and least squares support vector machines to heart disease diagnoses [J]. Control and Decision, 2003, **18**(3):358~360. [阎威武, 邵惠鹤. 支持向量机和最小二乘支持向量机的比较及应用研究 [J]. 控制与决策, 2003, **18**(3):358~360.]
- 9 Yan Hui, Zhang Xue-gong, Li Yan-da. Relation between a support vector machine and the least square method [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2001, **41**(9):77~80. [阎辉, 张学工, 李衍达. 支持向量机与最小二乘法的关系研究 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2001, **41**(9):77~80.]