

SPIHT 编码图像传输的错误保护技术

丁学文^{1,2)} 杨兆选¹⁾ 曹继华²⁾ 郑宏兴²⁾ 苏育挺¹⁾

¹⁾(天津大学电信学院, 天津 300072) ²⁾(天津工程师范学院电子工程系, 天津 300222)

摘要 提出了一种新的 SPIHT 编码图像传输错误保护算法。该算法采用数据隐藏技术,将纯 2 维小波最高一级分解的小波系数嵌入最高分辨率级数据重复传输,对码流中的低频和次低频子带系数进行错误保护;对于其他高频子带系数的修复,则利用子带内或者子带间相关性,通过线性数据内插的错误隐藏技术,对受损的小波系数进行修复。实验结果表明,该算法不增加数据冗余,能够有效提高重建图像质量。

关键词 SPIHT 编码 纯 2 维小波 错误保护 数据隐藏 错误隐藏

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)10-1802-04

Error Protection Technique for SPIHT-based Image Transmission

DING Xue-wen^{1,2)}, YANG Zhao-xuan¹⁾, CAO Ji-hua²⁾, ZHENG Hong-xing²⁾, SU Yu-ting¹⁾

¹⁾(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

²⁾(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222)

Abstract This paper presents an error protection technique for SPIHT-coded image transmission in error-prone network. For the lowest and next lowest frequency coefficients, protection scheme based data hiding is performed. The lowest and next lowest frequency coefficients, which are taken as the hidden data, are extracted from the compressed bitstream, and embedded back into the same bitstream. The restored hidden data is used to conceal errors. The coefficients that cannot be recovered in other high frequency coefficients reconstruction are predicted through linear interpolation based on intra-subband or inter-subband correlation. Experimental results show that the proposed method achieves good and stable error performance with minimal additional redundancy.

Keywords SPIHT-coded, true 2D wavelet, error protection, data hiding, error concealment

1 引言

一种直接构造不可分离纯 2 维小波滤波器的方法,全相位离散反余弦列率滤波器,最近被提出^[1]。将该滤波器用于提升格式中作为预测和更新滤波器,并用分层树内集合划分算法 SPIHT (set partitioning in hierarchical trees) 实现图像的压缩编码,在图像压缩方面有着良好的应用前景,形成了一套完整的编解码方案。虽然基于小波变换的 SPIHT 图像压缩方法是目前公认的一种实用的高性能图像

压缩编码算法。但是在噪声信道中, SPIHT 的嵌入式特性会给比特流的传输带来灾难性的后果。本文基于上述纯 2 维小波编解码方案,提出了一种对 SPIHT 编码图像数据进行错误保护的方法,系统框图如图 1 所示。

2 相关背景知识

2.1 纯 2 维小波分解

纯 2 维小波通常对图像进行 6 级子带分解,如图 2 所示,其中最高一级小波分解子带为 H_6 和 L_6 。

基金项目:天津市重点项目(07JCZDJ05800),国家自然科学基金项目(60671009),劳动与社会保障部科技项目(LB200405)

收稿日期:2007-07-05; 改回日期:2007-07-25

第一作者简介:丁学文(1976-),男,现为天津大学信号与信息处理专业博士研究生。主要研究方向为图像处理、视频压缩。E-mail:

dingxw1@126.com

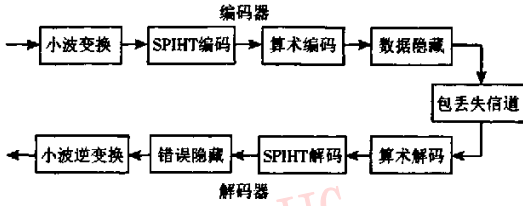


图 1 本文方法的系统框图

Fig. 1 Framework of the proposed method

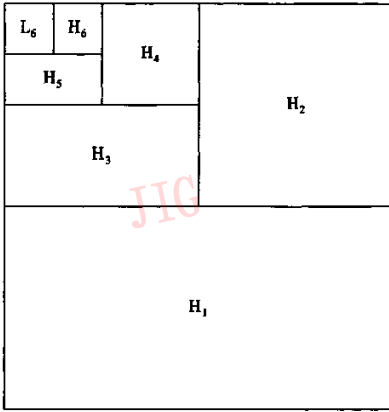


图 2 纯 2 维小波子带分解

Fig. 2 Decomposition of true 2D wavelet

2.2 数据隐藏技术用于错误保护的过程

利用数据隐藏进行错误保护的一般流程是在发送端,一些重要的特征数据从输入的序列中提取出来,并嵌回原序列中,然后进行传输。在接收端,接收到的序列经过误码检测,如果发现重要数据受损,则将隐藏的数据提取出来进行数据修复,然后再进行解码或其他操作获得重建数据。

3 错误保护

3.1 基于数据隐藏的最高一级小波系数错误保护

最高级小波分解系数包括低频子带 L_6 和次低频子带 H_6 。假设 H_6 和 L_6 编码为码流数据中前 L 个包,则将它们作为数据隐藏的特征数据。在图 3(a)中,最高一级小波分解子带的码流数据被复制,然后代替原压缩码流末端相同长度的比特位嵌入到最高分辨率级的数据中。在进行算术熵解码前,如果抗误码工具^[2]在前 L 个数据包中检测到有误码,则提取嵌入的数据进行数据修复,如图 3(b)所示。为了使数

据隐藏造成的解码图像失真最小,数据修复后,将嵌入的码流数据全部置 0。在衰落信道里,噪声主要为脉冲噪声,因此需保护的数据与嵌入的数据同时在相同的位置出现误码的概率很小。根据系数数据量大小,也可以只对 L_6 进行数据隐藏保护,而 H_6 的系数采用后面将要提到的错误隐藏方法恢复。

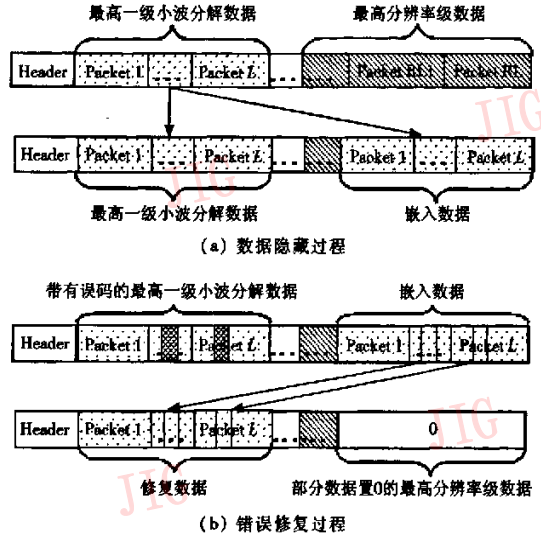


图 3 最高一级小波分解系数数据保护过程

Fig. 3 Outline of the proposed method for error protection using data hiding

3.2 基于错误隐藏的高频小波系数的错误保护

对于丢失的其他高频小波分解子带 (H_1) 系数,利用小波系数之间存在的非平凡相关性,通过无损小波系数线性内插进行恢复。

假设丢失系数 Y_n 的估计 \hat{Y}_n 是 N 个观测值 $X_{n-N}, X_{n-N+1}, \dots, X_{n-1}$ 的线性组合^[3]:

$$\hat{Y}_n = \sum_{k=1}^N a_k X_{n-k} \quad (1)$$

其中, a_k 是与 X_{n-k} 相关的权值。为了使 \hat{Y}_n 的均方误差 (MSE) 最小,最佳权值向量 $\mathbf{a} = [a_1, a_2, \dots, a_N]$ 应为 Yule-Walker 方程的解。

$$\mathbf{R}_{XX} \mathbf{a} = \mathbf{r}_y \quad (2)$$

其中,

$$\mathbf{R}_{XX} = \begin{bmatrix} E[X_{n-1}^2] & E[X_{n-1}X_{n-2}] & \dots & E[X_{n-1}X_{n-N}] \\ E[X_{n-2}X_{n-1}] & E[X_{n-2}^2] & \dots & E[X_{n-2}X_{n-N}] \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ E[X_{n-N}X_{n-1}] & E[X_{n-N}X_{n-2}] & \dots & E[X_{n-N}^2] \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$r_{y_n} = [E[Y_n X_{n-1}] \quad E[Y_n X_{n-2}] \quad \dots \quad E[Y_n X_{n-N}]] \quad (4)$$

在实际应用中,相关矩阵 R_{xx} 和相关向量 r_{y_n} 通过经验数据计算得到。假设随机序列是平稳序列,则 R_{xx} 和 r_{y_n} 的 M 阶近似值为

$$\tilde{R}_{xx} = \frac{1}{M} H^T H, \tilde{r}_{y_n} = \frac{1}{M} H^T u \quad (5)$$

其中,

$$H = \begin{bmatrix} X_{n-2} & X_{n-3} & \dots & X_{n-1-N} \\ X_{n-3} & X_{n-4} & \dots & X_{n-2-N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n-M-1} & X_{n-M-2} & \dots & X_{n-M-N} \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (6)$$

$$u = \begin{bmatrix} Y_{n-1} \\ Y_{n-2} \\ \vdots \\ Y_{n-M} \end{bmatrix}_{M \times 1}$$

在式(5)和式(6)中, $Y_{n-1}, Y_{n-2}, \dots, Y_{n-M}$ 是 M 个有效采样值, H 的第 i 行表示与 Y_{n-i} 相关的观测值,如同 $\{X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_{n-N}\}$ 相对于 Y_n 。

同一子带内和不同子带间的小波系数都存在相关性,因而用来恢复丢失小波系数的观测值可以从其位于同一子带的邻域节点中选取,也可以是从其父节点中选取。前者称为子带内(intra-subband)内插,后者称为子带间(inter-subband)内插。由于父子节点之间系数具有更强的相关性,因而利用父节点的相关系数作为观测值通常可以获得更好的效果。

假设两个次高级小波系数 $\{(11,6), (11,7)\}$ 丢失(该节点称为丢失节点),则丢失系数 $Y_n = (10,6)$ 可以从其父节点 $(3,11) (N=1)$ 进行预测,如图4所示。用来计算权值的采样值为丢失节点周围的4个相邻节点的相关系数 $(10,4), (10,6), (10,8)$ 和 $(11,4)$ 。

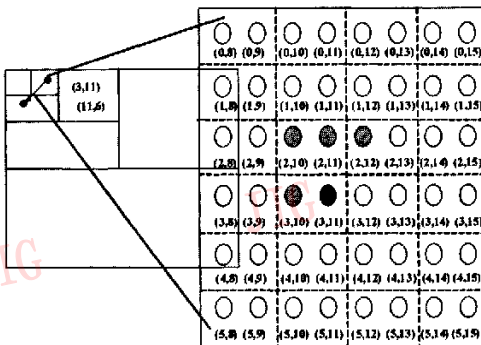


图4 子带间内插

Fig.4 Inter-subband estimation

由图4,有

$$\begin{cases} (10,4) = A(2,10) \\ (10,6) = B(2,11) \\ (10,8) = C(2,12), \text{ 可得} \\ (11,4) = D(3,10) \\ (11,6) = a(3,11) \end{cases}$$

$$u = \begin{bmatrix} (10,4) \\ (10,6) \\ (10,8) \\ (11,4) \end{bmatrix}_{4 \times 1}, H = \begin{bmatrix} (2,10) \\ (2,11) \\ (2,12) \\ (3,10) \end{bmatrix}_{4 \times 1}$$

再利用 $a = E\{(H^T H)^{-1} H^T u\}$ 求出权值 a 并代入 $(11,6) = a(3,11)$ 即可求出丢失小波系数 $(11,6)$ 。同样可以恢复系数 $(11,7)$ 。

4 实验结果

4.1 数据隐藏对无损重建图像质量的影响

数据隐藏中嵌入的数据在解码时被置为0,会在无损解码时导致高分辨率视频质量有所下降,有或者无数据隐藏在不同像素位率(bpp)下对无损重建图像影响如表1所示。从表中可以看出,引入数据隐藏导致的无损退化是非常微弱的,通常人眼难以察觉,完全可以忽略。

表1 有或无数据隐藏下无损解码图像峰值信噪比(PSNR)

Tab.1 PSNR results obtained from the cases described in Section 4.1 under different bpp

	bpp			
	1/8	1/4	1/2	1
无数据隐藏	30.12	32.72	35.94	39.24
采用数据隐藏	29.16	32.35	35.77	39.11

4.2 数据保护技术对无损重建图像质量的影响

为了评估数据保护技术的性能,在3种丢包率5%,10%和20%下,对下述5种情况Lena图像的重建质量进行比较。(1)无损重建;(2)不采用数据保护,丢失的小波系数用零代替;(3)不采用数据隐藏技术,丢失的小波系数采用4邻域平均恢复;(4)采用数据隐藏(恢复最高一级小波分解系数)和4邻域平均(恢复高频小波分解系数);(5)采用数据隐藏和inter-subband内插技术,仿真结果如表2和图5所示。可以看出随着丢包率的增加,错误保护技术的效果也越明显。对于Lena图像,数据隐藏(最高级小波分解系数恢复)能提供1~2dB改进,如果



图 5 图像 Lena 在不同情况下的视觉质量

Fig. 5 The visual quality of the image "Lena" for different cases described in Section 4.2

表 2 不同包丢失率下 5 种情况解码图像的 PSNR (0.25 bpp)

Tab. 2 PSNR results obtained from the five cases described in Section 4.2 (0.25 bpp)

	包丢失率		
	5%	10%	20%
1	32.72	32.72	32.72
2	17.02	14.53	11.25
3	27.11	24.35	20.86
4	28.86	26.32	22.84
5	29.65	27.30	23.82

进一步与错误隐藏技术(对次最低频以外的高频小波分解系数采用带间内插恢复)结合,则能再提供 0.5 ~ 1dB 改进。

5 结论

提出了一种对通过包丢失网络传输的 SPIHT

编码图像进行错误保护的方法。该方法综合应用错误隐藏技术和 inter-subband 内插技术恢复不同子带上的受损小波系数。实验结果显示该错误保护方法不增加数据冗余,能够有效提高重建图像质量。

参考文献 (References)

- 1 Cuo Ying-chun, Hou Zheng-xin. True 2-D wavelet filter bank and its application for image compression [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2005, 16(8): 982 ~ 988. [郭迎春,侯正信. 纯二维小波滤波器组及其在图像压缩中的应用[J]. 光电子激光, 2005, 16(8): 982 ~ 988.]
- 2 Redinbo G R. Concurrent error detection in fast unitary transform algorithms[A]. In: Proceedings of the International Conference on Dependable Systems and Networks [C], Gateborg, Sweden, 2001: 37 ~ 46.
- 3 Yang Shih-hsuan, Cheng Po-feng. Error resilience and error concealment for embedded wavelet coders[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C], Amsterdam, Netherlands, 2005:103 ~ 106.