

## 新的基于分裂层树编码图像的传输方案

付 焱\*, 刘庆利

(沈阳理工大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110159)

(\* 通信作者电子邮箱 lql0808@sina.com)

**摘 要:**提出了一种新的基于分裂层树编码(SPIHT)的实时图像传输方案。该方案首先将图像数据进行小波变换,然后将变换后的小波系数进行合理分块并分别采用 SPIHT 编码,以防止在无线信道传输中产生误码扩散。最后为了提高重构图像的恢复质量,提取每一个块中最高一级的小波系数数据进行重复传输,同时采用最优的帧长,提高图像传输系统的吞吐量。理论分析和仿真结果表明,提出的方案比传统的基于 SPIHT 算法的图像传输方案具有更高的抗误码特性,重构图像的峰值信噪比提高约 10 dB。

**关键词:**分裂层树编码;图像无线传输;最优帧长;吞吐量;抗误码

**中图分类号:** TP391.41; TN911.73 **文献标志码:** A

### New scheme for image transmission based on SPIHT

FU Yao\*, LIU Qing-li

(School of Information Science and Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang Liaoning 110159, China)

**Abstract:** In this paper, a new real-time image transmission scheme based on Set Partitioning In Hierarchical Tree (SPIHT) was proposed. Firstly, the image data needed to be transformed by wavelet. Secondly, in order to resist error pervasion when image was transmitted, the wavelet coefficients were separated into small blocks and encoded by SPIHT. Finally, in order to improve the quality of the restructured image, the wavelet coefficients of the highest level in every block were transmitted repeatedly. In order to improve the throughput of the image transmission system, the optimum frame length was proposed. Both theoretical demonstration and simulation results here have validated that the proposed scheme provides stronger error resilience than traditional scheme based on SPIHT, and can improve the peak signal to noise ratio of the restructured image about 10 dB.

**Key words:** Set Partitioning In Hierarchical Tree (SPIHT); image wireless transmission; optimum frame length; throughput; resisted error

## 0 引言

实时图像在无线传输中,由于数据量非常大,需要进行压缩编码<sup>[1]</sup>才能传输。图像压缩编码虽然减少了数据量,但压缩后的图像码流之间产生了依赖性,加上无线信道具有传输时延长、误码率高等特点<sup>[2]</sup>,通过无线信道传输图像将不可避免地出现差错和误码。如果有某个比特出错,那么对该比特后面数据的解码将产生巨大的影响,最终导致重构图像质量严重下降<sup>[3]</sup>。因此,如何提高图像数据的抗误码性和重构图像的恢复质量成为待解决的问题。

针对该问题文献[4]将变换后的小波系数分成四块并分别进行 Huffman 编码,同时对低频数据采用回退  $N$  帧(Go-Back- $N$ , GBN)重传方式<sup>[5]</sup>。该方案虽然提高了重构图像的质量,但传输的总时延较大,不适应实时图像传输。文献[6-7]分别提出了一种基于 JPEG2000 编码的不等差错保护图像传输方案,但 JPEG2000 的编码解码过程实现比较复杂,同时采用差错保护会增加数据的冗余。文献[8]提出了一种非均匀纠错图像传输方案,根据小波系数重要性的不同,分为不同等级进行保护。该方案虽然减小了由于信道误码带来的损失,但传输过程中增加了数据的冗余,降低了信道的利用率。文献[9]提出了一种基于水印的图像错误隐藏方案,由误码

产生的图像损坏可以通过水印来恢复,提高恢复图像的峰值信噪比,但实现过程比较复杂,不利于实现。文献[10]将最高一级小波分解子带的码流数据嵌入到原压缩码流末端相同长度的比特位,增强了对低频数据的保护,但这样会损失高频数据,不适用于误码率较低的无线信道。

针对以上的问题,本文提出了一种新的基于层树分级编码<sup>[11-12]</sup>(Set Partitioning In Hierarchical Tree, SPIHT)的实时图像传输方案。该方案首先进行提升小波变换,然后对小波系数进行分块并分别编码,提取每一个块中最高一级的小波系数码流放到压缩码流末端,最后根据不同的误码率封装成不同长度的数据帧在无线信道中传输。

## 1 图像传输总体框架

本文提出的图像传输方案总体框架如图 1 所示。发射端首先对遥感图像进行小波变换<sup>[13-14]</sup>,然后根据变换后的小波系数之间的关系将小波系数分解成若干各数据块。接着分别对各个数据块进行独立的 SPIHT 编码,防止数据在无线信道传输中由于误码而造成误码扩散,分别将各数据块的低频码流提取出来放到 SPIHT 编码的码流末端,提高低频数据的抗误码性。最后将所有的码流分别封装成数据帧在无线信道中传输。该方案不采用重传的方式,以减少传输时延,同时不采

收稿日期:2011-10-10;修回日期:2011-12-08。

作者简介:付焱(1978-),女,山东德州人,工程师,主要研究方向:图像处理; 刘庆利(1981-),男,辽宁本溪人,博士研究生,主要研究方向:图像处理与传输。

用信道编码,信道状态由误比特率(Bit Error Rate, BER)来度量。

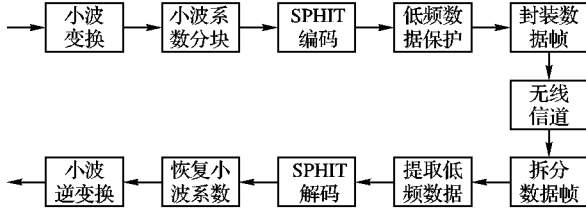


图1 图像传输总体框图

接收端首先对接收到的数据帧进行误码检测,如果发现低频码流出错,则提取出低频保护码流进行修复。然后将修复后的分块码流分别进行 SPIHT 解码,得到分块的小波系数。最后通过小波逆变换得到重构图像。

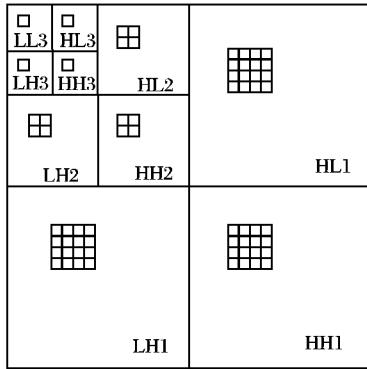


图2 小波系数分块

## 2 小波系数分块

图像经过三次小波变换后被分成 10 个小波系数数据块,即 LL3、HL3、LH3、HH3、HL2、LH2、HH2、HL1、LH1、HH1。左上角的 LL3 是低频数据对于恢复该图像来说是至关重要的,而其他的数据块是高频数据,主要是图像的边缘信息。如图 2 所示,分别提取 LL3、HL3、LH3、HH3 中  $4 \times 4$  的小波系数数据块,分别提取 HL2、LH2、HH2 中  $8 \times 8$  的小波系数数据块,分别提取 HL1、LH1、HH1 中  $16 \times 16$  的小波系数数据块,可以将  $256 \times 256$  的图像分解成 64 个数据块,各数据块内小波系数坐标之间的关系如表 1 所示。

表1 各块中小波系数坐标关系

分块	小波系数坐标关系 ( $T = 32$ )
LL3	$(P, Q)$
HL3	$(P, Q + T)$
LH3	$(P + T, Q)$
HH3	$(P + T, Q + T)$
HL2	$(P + i, Q + 2T + j)$ 其中 $i = 0, 1; j = 0, 1$
LH2	$(P + 2T + i, Q + j)$ 其中 $i = 0, 1; j = 0, 1$
HH2	$(P + 2T + i, Q + 2T + j)$ 其中 $i = 0, 1; j = 0, 1$
HL1	$(P + i, Q + 4T + j)$ 其中 $i = 0, 1, 2, 3; j = 0, 1, 2, 3$
LH1	$(P + 4T + i, Q + j)$ 其中 $i = 0, 1, 2, 3; j = 0, 1, 2, 3$
HH1	$(P + 4T + i, Q + 4T + j)$ 其中 $i = 0, 1, 2, 3; j = 0, 1, 2, 3$

## 3 低频数据保护

本文提出的方案是将各码块中的低频数据的码流提取出来,并放到原序列的后面,这样可以提高低频数据的传输成功率。在无线信道传输中,差错主要由信道中的随机噪声引起,单个比特的出错概率可视为相互独立。本文采用无记忆

随机错误信道,并假设信道状态已知。在未使用信道编码的传输情况下,误帧率为:

$$P_e = 1 - (1 - ber)^L \quad (1)$$

其中:  $ber$  为信道误比特率,  $L$  为帧长度,单位均为 bit。

假设低频数据量为  $M$  bit,那么封装成帧的个数为  $n = \frac{M}{L - C}$  其中,  $C$  为帧头的长度,单位为 bit。

低频码流在无线信道中传输成功的概率为:

$$P_d = (1 - P_e^2)^{\frac{M}{L-C}} \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)可得:

$$P_d = \{1 - [1 - (1 - ber)^L]^2\}^{\frac{M}{L-C}} \quad (3)$$

由式(3)可知低频数据传输的成功概率既与帧长和误码率都有关;同时,帧长和误码率又与系统的吞吐量有关。该系统的归一化吞吐量为:

$$\eta = (1 - P_e) \cdot \frac{L - C}{L} \quad (4)$$

将式(1)代入式(4)可得:

$$\eta = (1 - ber)^L \cdot \frac{L - C}{L} \quad (5)$$

由式(5)中可知,当  $ber$  较小时,数据帧越短,则开销越大,吞吐量越低;另一方面,  $ber$  较大时,数据帧越长,出错的概率越大,误帧率越高。因而在一定的误比特率情况下,存在最优的数据帧长度使系统的吞吐量最大,而最优数据帧长度只与  $ber$  有关。

因此,保证系统吞吐量最大时要满足:

$$\frac{\partial \eta}{\partial L} = 0 \quad (6)$$

将式(5)代入式(6)可得:

$$C \ln(1 - ber) L^2 - C \ln(1 - ber) L + C = 0 \quad (7)$$

解式(7)得:

$$L =$$

$$\frac{C \ln(1 - ber) - \sqrt{C^2 \ln^2(1 - ber) - 4 C \ln(1 - ber)}}{2 \ln(1 - ber)} \quad (8)$$

式(8)表示在不同误码率下,使系统归一化吞吐量达到最大的最优帧长的求解。将式(8)代入式(3)可求得不同误码率下的低频数据的传输成功率。

根据不同的误码,采用不同的帧长传输和数据保护可以提高低频数据传输的成功率。具体如图 3 所示。采用数据保护措施可以明显提高成功率,误码率低于  $10^{-5}$  时,成功率接近 100%,但当误码率高于  $10^{-3}$  时,数据的成功率将为 0。

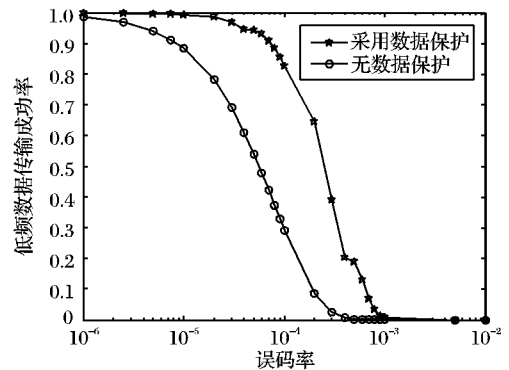


图3 低频数据传输成功率与误码率的关系

## 4 仿真结果与分析

根据本文提出的方案,利用  $256 \times 256$  图像进行仿真,采

用小波变换对图像进行 3 级分解,然后将小波系数分块,采用低频数据保护方式。根据信道的误码率,采用不同的帧长传输图像码流。同时,采用峰值信噪比 (Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR)<sup>[15]</sup> 来衡量重构图像的质量。

在误码率为  $10^{-6}$ ,  $5 \times 10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $5 \times 10^{-5}$  和  $10^{-4}$  下,对下述 2 种情况图像重建质量进行比较: 方案 1 为传统的基于 SPIHT 编码的图像传输方案; 方案 2 为本文提出的方案,仿真结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,随着误码率的增大,重构图像的 PSNR 明显下降,但本文提出的图像传输方案的峰值信噪比高于传统的基于 SPIHT 编码的图像传输方案。图 4 是在误码率分别为  $5 \times 10^{-5}$ 、 $10^{-5}$  和  $5 \times 10^{-6}$  时,两种方案得到的重构图像的视觉质量对比。由图 4 可知,传统方案得到的重构图像峰值信噪比较低,质量较差,而本文方案得到的重构图像只存在几块比较模糊的地方,但总体质量较好。从仿真

结果可以看出,本文提出的方案比传统基于 SPIHT 算法的图像传输方案的峰值信噪比提高了大约 10 dB,具有更高的抗误码特性和防止误码扩散,有效地提高重构图像的质量。

表 2 重构图像的峰值信噪比

方案	误码率	峰值信噪比/dB
1	$10^{-6}$	45.16
	$5 \times 10^{-6}$	36.29
	$10^{-5}$	24.78
	$5 \times 10^{-5}$	19.62
	$10^{-4}$	12.07
2	$10^{-6}$	57.45
	$5 \times 10^{-6}$	48.31
	$10^{-5}$	39.41
	$5 \times 10^{-5}$	30.84
	$10^{-4}$	24.75

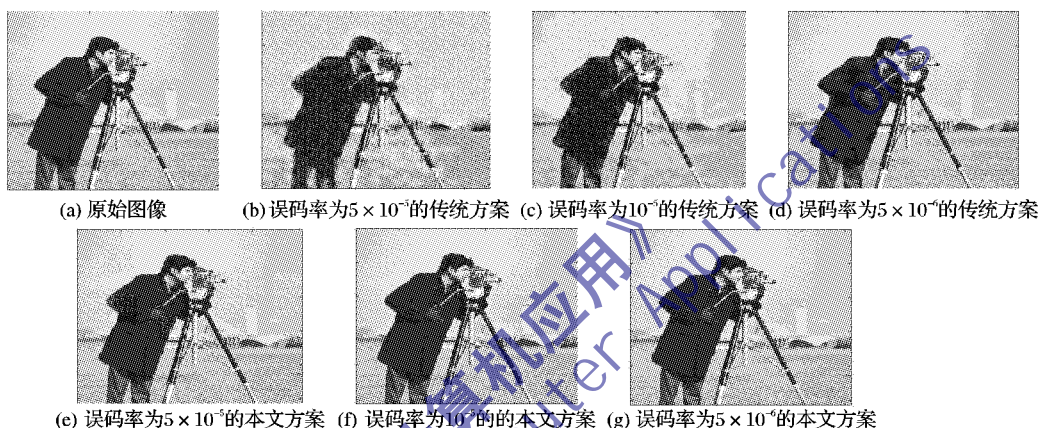


图 4 重构图像的视觉质量

## 5 结语

本文以小波变换为基础,通过采用小波系数分块和低频数据保护等措施,提出了一种新的基于 SPIHT 编码图像传输方案。该方案采用最优的数据帧长度使系统的吞吐量达到最大,同时使低频数据获得较高的传输成功概率。仿真结果表明,在相同的误码率下,相比传统的基于 SPIHT 的图像传输方案,本文提出的方案的 PSNR 提高了约 10 dB,具有更高的抗误码特性,防止误码的扩散,有效地提高重构图像的质量。

### 参考文献:

- [1] 元春青. 图像压缩传输信道编码研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [2] SAID E, ISLAM M. A new hybrid classification-based adaptive error concealment technique for image transmission through wireless communication channels[C]//National Radio Science Conference. Cairo: IEEE Press, 2007: 1-9.
- [3] JOOST R, ALEKSANDRA P. Locally adaptive passive error concealment for wavelet coded images[EB/OL]. [2011-05-15]. <http://telin.ugent.be/~sanja/Papers/ConcealmentSPIHT.pdf>.
- [4] 刘庆利, 潘成胜, 田野, 等. 基于 CCSDS 建议的遥感图像传输系统性能研究[J]. 计算机应用, 2009, 29(10): 2706-2709.
- [5] YAO Y. An effective Go-back-N ARQ scheme for variable error rate channel[J]. IEEE Transactions on Communications, 1995, 43(1): 20-23.
- [6] NUSRAT A, MD R. Progressive quality JPEG2000 image transmission over noisy channel[C]//International Conference on Information and Communication Technology. Dhaka: IEEE Press, 2007: 291-294.
- [7] WANG K, LEE S. Robust JPEG2000 image transmission over IEEE 802.15.4[C]//IEEE International Symposium on Electronic Design, Test and Applications. Hong Kong: IEEE Press, 2008: 253-257.
- [8] 吕超源, 王庭昌, 王红星, 等. 一种用于图像传输的非均匀纠错方案及性能分析[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(6): 1511-1514.
- [9] GURKAN G, YUCELI A. Image error concealment using watermarking with subbands for wireless channels[J]. IEEE Communications Letters, 2007, 11(2): 179-181.
- [10] 丁文学, 杨兆选, 曹继华, 等. SPIHT 编码图像传输的错误保护技术[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(10): 1802-1805.
- [11] SAID A, PEARLMAN W A. A new fast and efficient image codec base on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 243-250.
- [12] 宋春林, 冯瑞, 金炜, 等. 改进的多分辨率 SPIHT 算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(4): 241-243.
- [13] 王富荣. 基于提升小波变换的图像压缩研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2006.
- [14] FAHMY M, EL-RAHEEM G. On the optimal choice of wavelet bases and signal compression using the wavelet lifting scheme[C]//National Radio Science Conference. Egypt: IEEE Press, 2002: 434-441.
- [15] 杨嘉琛, 侯春萍, 沈丽丽, 等. 基于 PSNR 立体图像质量客观评价方法[J]. 天津大学学报, 2008, 41(12): 1448-1452.