

具有纠错能力的小波图像混合编码

汪一鸣, 赵星涛, 曹建新
(苏州大学通信与电子工程系, 苏州 215021)

摘要: 小波图像压缩算法 SPIHT 的提出使图像压缩编码技术大大前进了一步. 但该算法在噪声信道环境下性能将大打折扣. 本文提出了一种基于 SPIHT 的信源信道混合编码算法, 利用而不是改变嵌入式码流的特点, 以灵活可变的方式在完成信源编码的同时完成信道编码, 大大提高了 SPIHT 算法抵御干扰的能力, 为该算法进入实用化创造了条件.

关键词: 图像压缩; 混合编码; 噪声信道环境; 码率; 峰值信噪比

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 09-0111-03

A Wavelet Image Hybrid Coding Algorithm with Error-correcting Functions

WANG Yi-ming, ZHAO Xing-tao, CAO Jian-xin

(The Dept. of Communications and Electronic Engineering Suzhou University, Suzhou 215021, China)

Abstract: SPIHT algorithm yields some of the best compression performance levels as reported in the literature. However, because the location information is always interleaved with the quantization information in the output bit stream, SPIHT tends to be highly sensitive to channel noise. In this paper, we propose a new source-channel coding method based on the original SPIHT. It makes use of embedded code stream instead of changing it. The channel coding can be fulfilled at the same time while doing source coding. The method greatly enhances the resilience to channel errors, which is important for using SPIHT in practice especially in wireless applications.

Key words: image compression; hybrid coding; noisy channel environments; coding bit rate; PSNR

1 引言

Said 和 Pearlman 提出的分级零树 (SPIHT) 算法^[1]是继 Shapiro 的 EZW 算法^[2]后又一影响深远的算法. 其简单精确、快速高效令人赞叹. 但 SPIHT 算法能够以多码率译码的特点同时又导致一个致命缺陷, 这就是每个等级的位置符号信息和幅值量化信息形成长短不一的嵌入式码流, 且随图像的复杂程度而变化. 因此压缩的图像信号经过传输信道时只要在量化阈值位置信息处出现 1 比特的差错就会极大地影响接收端解码后图像的质量. 即使增加码率, 也于图像质量无补. 图 1 是用 SPIHT 算法压缩的 Lena 图像无差错传输和有差错传输 (仅在 0.08bpp 左右有一比特位置信息误码) 的解码结果比较.

本文提出的具有纠错能力的小波图像信源信道混合编码, 是对 SPIHT 算法的改进. 主要特点是把信道纠错编码嵌入到压缩编码过程中去, 即在输入端完成信源编码的同时完成信道编码, 在输出端完成信道解码的同时也完成信源解码, 故可称之为混合编码方法. 实验结果表明, 这种方法极大地提高了 SPIHT 算法的抗干扰性能, 增加了鲁棒性和灵活性, 为该算法走出实验室, 用在包括卫星、移动、无线局域网等极有可能

引入干扰的传输环境里实时传送图像信息提供了可能性.

2 小波图像压缩的 SPIHT 算法

为便于叙述, 对 SPIHT 算法作简单回顾. SPIHT 算法的依据和基本思想是:

(1) 各级小波变换后的子图像具有自相似性. 小波变换能够有效去除数字图像中系数的相关性, 使大部分能量集中在少数几个系数上, 这为压缩创造了条件. 同时, 不同级间相应位置的系数之间仍然保持很强的相关性, 这种相关性以小波树的父子系数关系表现出来. 统计表明, 如果某个较低精度级上的一个系数小于某个阈值, 那么在下一较高精度以及更高精度上该系数所对应的后代系数集均小于阈值的可能性极大. 如果图像比较复杂, 那么有可能在较低精度级上的一个系数小于某阈值, 而下一较高精度以及更高精度上该系数所对应的后代系数集内有若干系数大于阈值, 为了不屏蔽掉相关信息, 把较低精度级上的这个系数定为零树, 对它继续分解.

(2) 以编解码双方完全一致的扫描顺序, 逐级递减量化阈值搜索重要系数. 编码方根据搜索结果形成重要系数坐标序列, 同时输出索引. 解码方根据索引以同样顺序扫描, 生成相应的系数坐标序列.

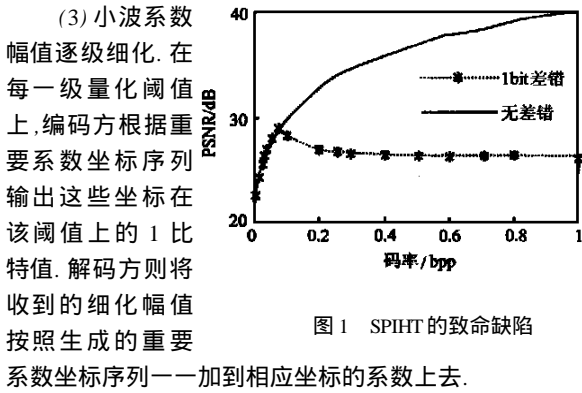


图 2 给出了 SPIHT 编码形成的嵌入式码流输出格式.

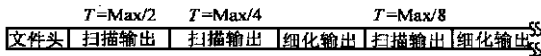


图 2 不定长度的 SPIHT 嵌入式码流

3 纠错编码的选择

信道编码是纠错的有效方法, 一般的纠错方法总是在信源编码之后进行, 并且往往以与信源无关的固定帧为编码单位, 例如用 CRC. 经 SPIHT 压缩的图像虽然也可再经 CRC 编码输出, 但 CRC 前向纠错能力有限, 检错能力又不是传送实时图像所需的, 且底层通信协议 (例如 ATM 的 AAL2) 也可能有 CRC, 从而降低效率.

如何使纠错编码能够适应甚至融入信源编码之中, 且不破坏 SPIHT 算法的结构. 利用卷积码很好地达到了目的. 众所周知, 卷积码的正规定义是任意长的数据序列, 而实际应用中常将卷积码分组截断, 此时加入的收尾比特会降低效率. 而在 SPIHT 算法中, 由于收发双方信源编码的步骤是完全一致的, 正好可以利用卷积码的任意长数据序列特性, 只在双方认为需要的时候加入收尾比特截断. 简单说来, 在发送端 SPIHT 每产生 1 比特信息, 就立即将其卷积编码为一对校验比特 (如果卷积码的码率为 1/2). 在接收端, 采用维特比最大似然译码, 在确定了路径经历存储比特数后, 每收到一对校验比特, 就更新一次路径度量和存储经历, 找出一条有最大度量的路径. 将该路径上最早存储的状态转换所对应的一个比特译出, 并立即将该一比特用于 SPIHT 解码.

4 信源信道混合编码的多种可选方法

信源信道混合编码的编解码结构与 SPIHT 的编解码结构完全一致, 仅需用一个标志位来指示是用混合编解码还是 SPIHT 编解码 (见图 3), 这就为用户根据信道噪声环境优劣自主决定采用何种编解码方法提供了条件. 至少可以有下述三种方法. (1) 全部混合编码. 设标志位始终为 1, 无论是扫描周期的位置符号信息还是细化周期的量化信息都得到信道编码处理, 可以获得最好的图像恢复质量. (2) 部分混合编码. 进入扫描周期, 标志位置 1, 对位置符号信息进行混合编解码, 进入细化周期, 标志位置 0, 量化信息不加纠错, 仍按 SPIHT 编解码. 这是因为位置符号信息远比量化信息重要, 当位置符号信息较量化信息为少时, 可考虑这种方法. (3) 分级混合编码. 量

化阈值高时相应的量化信息代表大的能量, 含有较多信息, 输出量却很少, 量化阈值降到一定程度后的量化信息只是对大量信息的补充和细化, 相对次要, 输出量却很大. 因此可以在量化阈值高时采用混合编码, 即方法 (1), 量化阈值降到一定程度后采用部分混合编码, 即方法 (2). 由于这三种方法只是截断收尾的位置和次数不同, 故复杂程度没有明显区别.

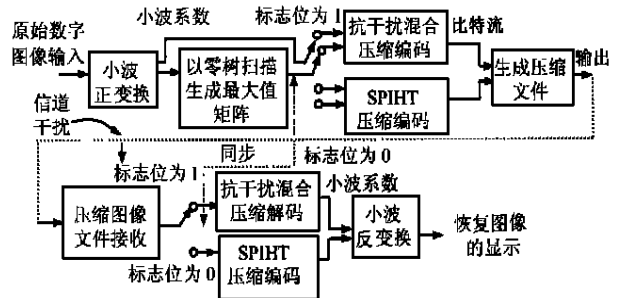


图 3 编解码结构图

5 实验结果讨论

5.1 实验环境

小波基: 选择双正交小波滤波器 B97^[3], 变换级数为 6 级, 采用对称边界延拓.

纠错设计: 信道码率 $b/v = 1/2$, 等效移位寄存器 $K = 3$, 卷积码生成矩阵

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = (g_{ij}), i \in [0, (v-1)], j \in [0, (K-1)], g_{ij} \in [0, 1].$$

机器: 主频 333MHz 个人计算机. 随机噪声: 由软件仿真产生. 标准测试图像: 512 x 512, 8bpp, 单色 Lena 图像.

PSNR 定义: $PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255 \times 255}{N-1 \cdot N-1} \cdot \frac{1}{N \times N} \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} (x_{mn} - \hat{x}_{mn})^2 \right)$ dB,

其中 N 为图像尺寸, x_{mn} 为原图像灰度值, \hat{x}_{mn} 为解码后重建图像的灰度值.

5.2 三种方法在不同噪声情况下与 SPIHT 的对比

图 4、5、6 分别给出了不同误码率下全部混合编码、部分混合编码与 SPIHT 的性能比较. 可见混合编码方法在有噪声时远好于 SPIHT. 部分混合编码只在误码较少、码率较大时才略优于全部混合编码, 一个重要原因是 SPIHT 编码的扫描输出数量很大 (其中的符号隐含了重要量化信息), 故部分混合与全部混合相差不多. 随着码率增加, 细化幅值信息不断

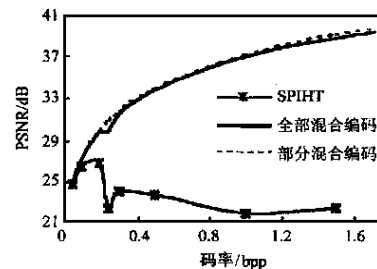


图 4 误码率为 10^{-4} 时的 PSNR

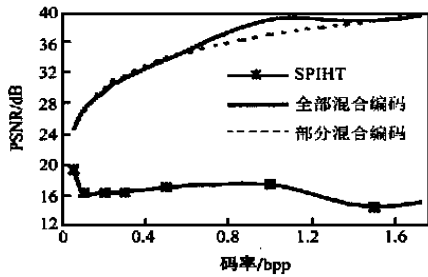


图 5 误码率为 10^{-3} 时的 PSNR

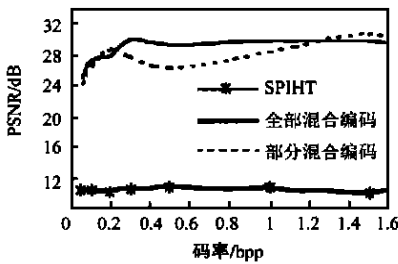


图 6 误码率为 10^{-2} 的 PSNR

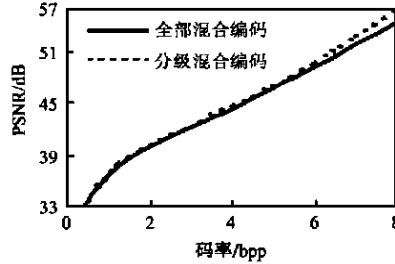


图 7 分级混合编码的比较

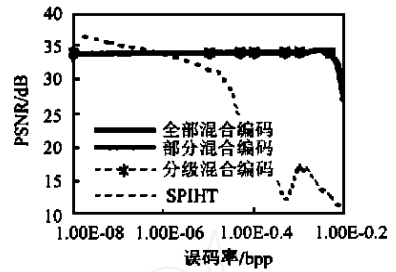


图 8 纠错编码效率 (0.5bpp)

表 1 新方法对编解码时间的影响(误码率为 10^{-3})

码率 类型	0.25bpp			0.5bpp		
	编码时间(s)	解码时间(s)	PSNR(dB)	编码时间(s)	解码时间(s)	PSNR(dB)
SPIHT	0.49	0.28	16.72	0.55	0.33	17.11
全部混合编码	0.44	0.39	30.70	0.49	0.55	33.710
部分混合编码	0.44	0.38	30.84	0.55	0.55	33.861
分级混合编码	0.49	0.39	30.83	0.50	0.55	33.874

5.3 纠错效率和一致性

纠错效率主要与卷积码选择和译码方法设计有关,本文所用非系统卷积码虽然简单,但仍有较好的纠错性能,只要误码不大于 1×10^{-2} ,都能纠正,且一致性很好(见图 8)。图 9 给出了采用 SPIHT 和全部混合编码方法所得 Lena 重建图像与原图的对比。



(a) Lena 测试图像; (b) SPIHT 重建图像 ($0.2\text{bpp}, 10^{-3}$); (c) 混合编码重建图像 ($0.2\text{bpp}, 10^{-3}$)

图 9 噪声环境下重建图像的比较

5.4 新方法对编解码时间的影响

表 1 分别给出了码率为 0.25bpp 和 0.5bpp 时发送端编码和接收端解码各自所需的时间,这个时间包括小波变换,扫描搜索以及输入输出时间。可见新的编解码方法对编码时间没有影响,对解码时间略有影响,如果进一步优化维特比译码程序,还可减少解码时间。

6 结论

对图像压缩而言,除码率、信噪比和速度之外,可靠性是一种算法能否真正实用的关键。本文提出的混合算法,简单有效,灵活方便,可以嵌入任何编解码扫描顺序完全一致的压缩过程,当信道质量理想时(例如光纤传输)可以不用,例如直接采用 SPIHT,以保证有最大编码增益。当信道质量下降时,可由发方或收方提出请求,改用适当的混合编码方法,从而保证接收图像的质量。

作者简介:



汪一鸣 1956 年出生,副教授,硕士生导师,中国电子学会高级会员,长期从事通信与信息系统的研究和开发,主要研究方向为 ATM 技术及计算机多媒体通信。

赵星涛 1975 年出生,苏州大学教师,中科院半导体所硕士研究生。

曹建新 1975 年出生,苏州大学通信与电子工程系硕士研究生。

(下转第 130 页)

位置上,限于篇幅,这里不再给出图示。

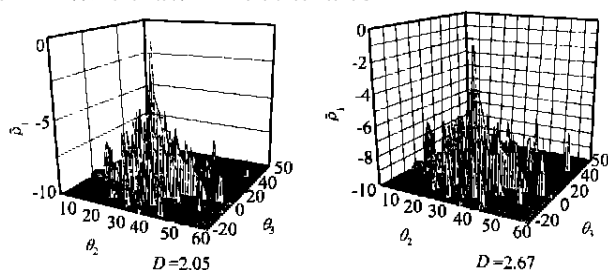


图2 平均散射强度系数 $\bar{\sigma}_i$ 随分维 D 的变化

在图2中,给出了 $K=0.5$, $b=1.6$, $N=M=10$, $\theta_1=30^\circ$, $\theta_2=0.05$ 时的平均散射强度系数 $\bar{\sigma}_i$ 随 D 变化的图形,其中 $L_x=L_y=40$ 。从图中可以发现,在其它参量固定不变的条件, D 对 $\bar{\sigma}_i$ 的影响主要是各峰值的大小和数目及位置。随着分维 D 的增加,在镜反射点以外会出现越来越多的旁瓣峰,且峰值的幅值是增大的。

同样采用式(14)计算不同分形维数 D 条件下在镜反射面内的 $\bar{\sigma}_i$ 值,发现对于确定空间波数的分形粗糙面,在近前向散射范围内峰顶拟合线的斜率和分维 D 还有确定的线性关系,因此可以判定分维 D 是决定散射场方向图的决定性因素,可以通过散射方向图中峰顶拟合线斜率来定量表面的粗糙程度。该方法可应用于粗糙面重建的逆散射问题,也可用来进行粗糙表面的分类。

4 结论

本文在采用二维归一化带限 Weierstrass 分形函数模拟二维分形粗糙面的基础上,主要利用基尔霍夫近似研究了该粗糙面的电磁散射,结果表明对于二维带限 Weierstrass 分形粗糙面,式(1)中的每一个参量和外尺度都影响着散射角分布,表面尺度不能选择太小,但也不需要太大。空间高频 b 和空间波数 K 决定着散射场中波峰的数目和位置,必须注意 K 的选取范围,而 K 的范围又与 b 选取有很大关系,应将入射波长作为一个尺码。求和数 N 和 M 也不能太小,否则粗糙面将变得非常光滑,分形的特征无法体现。在外尺度及空间高频 b 确定的情况下(在基尔霍夫近似条件以内),散射场波峰的数目、位置和大小随分维 D 的变化而变化。对空间波数确定的分形粗糙面,在近前向散射范围内峰顶拟合线的斜率和分维 D 还满足确定的线性关系,它对粗糙面遥感和测量等方面有着重要的意义。当然对于其它类型的分形粗糙面是否有类似的结论以及随机分形粗糙面电磁散射的实验验证还有待研究。

(上接第 113 页)

参考文献:

[1] J. M. Shapiro. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients [J]. Special Issue on Wavelets and Signal Processing, Dec. 1993, 41: 3445 - 3462.

参考文献:

[1] A. Ishimaru. Wave Propagation and Scattering in Random Media [M]. Academic Press, New York, 1978.
 [2] F. T. Ulaby, et al. Microwave Remote Sensing [M]. Addison-Wesley Publishing, 1982, II.
 [3] M. V. Berry. Diffractal echos [J]. J. Phys. A, 1981, 14 (6): 3101 - 3110.
 [4] J. A. Sanchez-Gil, J. V. Garcia-Rams. Strong surface field enhancements in the scattering of p-polarized light from fractal metal surfaces [J]. Opt. Communications, 1997, 134: 11 - 15.
 [5] M. F. M. Sanghadasa, C. C. Sung. Scattering of electromagnetic waves from fractals of large amplitudes [J]. J. Appl. Phys., 1994, 75 (11): 7224 - 7226.
 [6] A. Mendoza, et al. Light scattering by a reentrant fractal surface [J]. Applied Optics, 1997, 36 (15): 3521 - 3530.
 [7] K. Falconer. Fractal Geometry: Mathematical Foundations and Application. Wiley [M]. New York, 1990.
 [8] P. Beckmann, et al. The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces [M]. Pergamon, New York, 1963.
 [9] D. L. Jaggard, et al. Scattering from fractally corrugated surfaces [J]. J. Opt. Soc. Am., 1987, A7 (6): 1131 - 1139.

作者简介:



郭立新 1968 年出生, 1993 年在西安电子科技大学获理学硕士学位, 1999 年在中国科学院陕西天文台获理学博士学位, 现为西安电子科技大学理学院副教授, 发表学术论文 30 余篇, 获国家科技进步三等奖一项, 电子部科技进步一、二等奖各一项。目前主要从事电磁波和光波在随机介质中的传播和散射、军用目标激光散射特性研究及计算机电磁成像和非线性物理研究。



吴振森 1946 年出生, 现为西安电子科技大学理学院教授, 博士生导师。近几年主要从事随机介质、非均匀介质中电磁(光)波的传播与散射、目标激光散射特性和电磁散射等方面的研究。

[2] A. Said, W. A. Pearlman. A fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, June 1996, 6: 243 - 250.
 [3] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, I. Daubrichies. Image coding using wavelet transform [J]. IEEE Trans. Image Processing, April 1992, 1: 205 - 220.