

# 改进的高效EZW遥感图像压缩方法研究

姚敏, 赵敏

(南京航空航天大学自动化学院 南京 210016)

**【摘要】**利用经过小波变换后的图像数据的能量大部分聚集在低频子带这一特点, 针对小卫星载计算机处理能力有限的客观情况, 提出一种将预测编码和EZW编码相结合的图像压缩编码方法。通过有限的扫描次数, 提取高频系数的重要系数。同时结合预测编码的方案, 实现对低频系数几乎无损的压缩。实验证明, 该方法能够使遥感图像的压缩同时具有较快的压缩速度和较好的压缩效果。

**关键词** 图像压缩; 预测编码; 小卫星; 小波变换; 零树编码

中图分类号 TN919.81

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.04.012

## Efficient EZW Coding Algorithm for Remote Sensing Images

YAO Min and ZHAO Min

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics Nanjing 210016)

**Abstract** The good spatial-frequencial localization characteristic of wavelet transform make the energy of image congregate mostly in lower frequency subimage. Based on this characteristic, a coding algorithm which combines embedded zerotree wavelet (EZW) coding method with predicting coding method is presented to fit the limited computer resources in small-satellites. Heavyweight higher frequency coefficients are selected and coded by EZW coding algorithm and lower frequency coefficients are coded by predicting coding algorithm. The result indicates that with this coding algorithm the speed of image compression can be increased with good compression effect.

**Key words** image compression; predicting coding; small-satellite; wavelet transform; zerotree coding

小卫星研究周期短、投资小, 能够很好地完成某些大卫星的任务, 已经成为许多航天大国的研究热点。图像的存储是有效载荷以对地拍照和对空拍照为目的的小卫星的重要功能, 对这类小卫星的研究占有相当的比重。但是, 小卫星的存储空间是非常有限的, 在一些特殊场合下, 当小卫星需要长期蛰伏或较长时间暂停与地面站通讯时, 需要存储的信息就更多。因此, 小卫星能够有效地对测试数据和图像数据进行压缩, 以减少通讯的数据量, 增加小卫星经过地面站上空时的数据传输效率, 就显得非常重要

### 1 遥感图像压缩方案的设计

数据压缩技术最早可追溯到1951年提出的差分脉冲编码(differential pulse code modulation, DPCM)技术。但最早应用于遥感图像压缩的是1980年的SPOT-1 HRV全色图像技术, 该技术采用8:6的DPCM

数据压缩技术, 在SPOT-1~SPOT-4上均被使用过。

遥感图像的压缩和普通图像的压缩是有区别的, 在选择和设计压缩方法时应考虑: (1) 不能单纯地追求高的压缩比, 应该把保证一定的图像质量放在首位; (2) 小卫星的处理能力有限, 应考虑减少运算和编码的工作量。

小波变换的图像压缩编码方法以其独特的优越性越来越多地受到人们的关注。小波变换具有空间一频率局部特性与人眼视觉特性相似的变换机制, 且离散小波变换有类似FFT的快速Mallat算法<sup>[1]</sup>, 使得基于小波变换的图像压缩编码成为研究的主要方向。因此, 遥感图像的压缩可以选用基于小波变换的图像压缩方法。

为了提高小波图像编码的压缩率, 文献[1]提出了小波零树结构<sup>[1]</sup>, 在此基础上, 相继出现了EZW算法<sup>[2]</sup>、SPIHT算法<sup>[3]</sup>、EBCOT<sup>[4]</sup>算法。这些建立在小波树结构基础上的编码算法均具有如下特点:

收稿日期: 2008-05-12; 修回日期: 2009-04-06

基金项目: 国家自然科学基金(60501022)

作者简介: 姚敏(1975-), 女, 博士, 副教授, 主要从事计算机测控、小卫星星务系统设计方面的研究。

(1) 要得到较高的峰值信噪比(PSNR), 需要对图像数据进行多次扫描; (2) 在每一次扫描中, 对低频信号和低频信号设定的阈值是相同的。对于小卫星常用的处理器来说, 为了不影响其他事务的处理, 图像压缩的复杂度的减小是一个非常关键的问题。因此, 在较少的扫描次数下获得较大的PSNR非常重要。此外, 空间数据图像的清晰程度会直接影响图像本身的价值, 因此, 其重构图像需要有较高的峰值信噪比, 如果单纯地依靠减少小波系数的扫描次数来提高压缩速度, 会导致重构图像的质量下降。

将低频信号的编码和低频系数的编码分离开来, 用EZW算法实现对高频系数的编码, 扫描次数就可以设置得少一些, 因而忽略高频系数中绝对值较小的系数。经过小波变换后的低频信号, 其数据量比原始数据已大大减小, 为原始数据量的1/4, 1/16, 1/64, L, 因此可采用无损压缩的方法进行编码, 使对图像的压缩既具有较快的速度, 又能够获得较高的峰值信噪比(PSNR)。小卫星空间图像压缩和图像重构如图1所示。

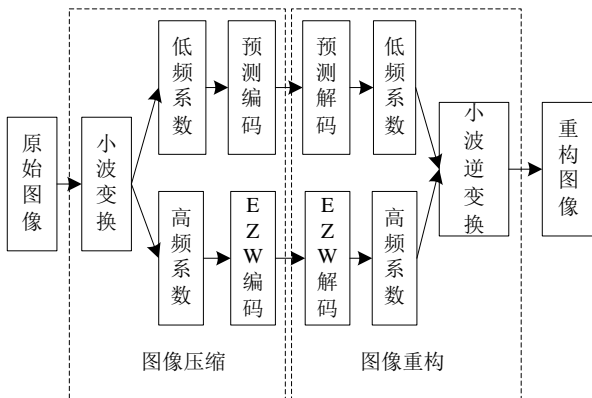


图1 小卫星图像压缩和图像重构框图

## 2 二维小波变换

若将  $\{c_{k,m}^{j+1}\}$  看作一副二维图像,  $k$ 和 $m$ 分别为行下标和列下标, 则二维小波变换的过程可解释为: 先利用分析滤波器  $\tilde{h}$  和  $\tilde{g}$  对图像的每一 $k$ 行做小波变换, 得到低频部分  $\sum_n \tilde{h}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1}$  和高频部分  $\sum_n \tilde{g}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1}$ , 然后对得到的“图像”的每一 $m$ 列用分析滤波器  $\tilde{h}$  和  $\tilde{g}$  做小波变换。

对  $\sum_n \tilde{h}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1}$  的各列做小波变换得到的低频系数和低频系数分别为:

$$c_{k,m}^j = \sum_l \tilde{h}_{l-2k} \left( \sum_n \tilde{h}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \right)$$

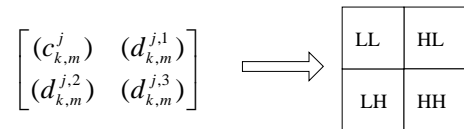
$$d_{k,m}^{j,1} = \sum_l \tilde{g}_{l-2k} \left( \sum_n \tilde{h}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \right)$$

对  $\sum_n \tilde{g}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1}$  的各列做小波变换得到低频系数和低频系数分别为:

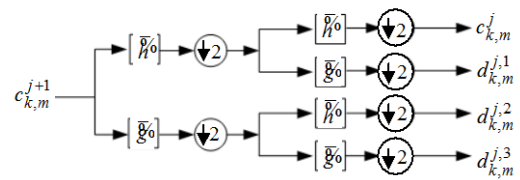
$$d_{k,m}^{j,2} = \sum_l \tilde{h}_{l-2k} \left( \sum_n \tilde{g}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \right)$$

$$d_{k,m}^{j,3} = \sum_l \tilde{g}_{l-2k} \left( \sum_n \tilde{g}_{n-2m} c_{l,n}^{j+1} \right)$$

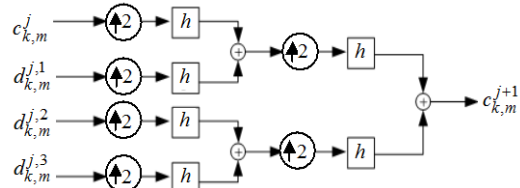
一级小波变换后的图像由4部分构成为:



其中, 每个子图像的大小是原图像的1/4。可以用同样的方法对每个子图像再进行下一级的分解。二维小波分解和重构如图2所示。



a. 二维小波分解



b. 二维小波重构

图2 二维小波分解和重构

## 3 图像的压缩编码

由于小波系数的能量大部分集中在低频子带, 因此可以对低频部分的系数和低频部分的系数采用不同的压缩方式, 以提高压缩的效率和减少能量的损失。对高频系数采用EZW算法进行编码, 扫描次数设计为两次; 而对低频系数采用几乎无损的预测编码进行编码。

### 3.1 EZW编码

图像的小波系数可以组织成如图3所示的树状小波零树结构, 该树状结构是利用了小波系数在同一方向具有相似的特性这样的特点建立的。

图中, LL是低频段滤波后的低尺度近似信息; 同级分辨率下, HL包含了水平方向高通、垂直方向低通滤波后的细节信息; LH包含的是水平方向低通、垂直方向高通滤波后的细节信息; HH包含的是水平和垂直方向都经过高通滤波后的细节信息。对

于阈值 $T$ , 如小波系数 $x$ 满足 $|x| \geq T$ , 则称 $x$ 关于 $T$ 是重要的系数; 若小波系数 $x$ 满足 $|x| < T$ , 则称 $x$ 关于 $T$ 是不重要的系数; 若 $x$ 是不重要的系数, 并且它的所有子孙都是不重要的, 则称 $x$ 是关于 $T$ 的零树根; 如果 $x$ 本身是不重要的系数, 但它存在重要的子孙, 则称 $x$ 是关于 $T$ 的孤立零点。

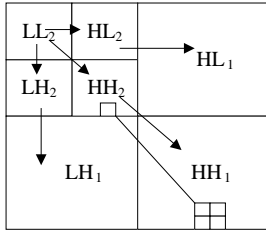


图3 小波树状结构

EZW算法对小波系数经过多次扫描进行编码, 每次扫描过程为:

- 1) 选择阈值。对于 $L$ 级扫描, 选择阈值 $T_i = T_0 \sqrt{2^L}$ , 其中,  $T_0 = 2^{\lceil \log_2 \max\{|c_{i,j}|\} \rceil}$ ;  $c_{i,j}$  为小波系数。
- 2) 主扫描。将小波系数与阈值 $T_i$ 相比较, 输出的下列符号表示已被处理的元素: (1) 正的重要元素 $P$ ; (2) 负的重要元素 $N$ ; (3) 零树根 $T$ ; (4) 孤立零点 $Z$ 。在扫描过程中, 用一个主扫描表记录这些输出符号。第 $i$ 次主扫描结束后, 将输出符号为 $P$ 或 $N$ 的系数的相应位置加以标记, 在下次扫描中不再对它们编码。扫描顺序如图4所示。

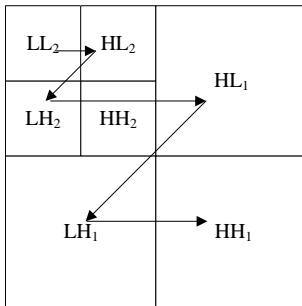


图4 扫描顺序图

- 3) 辅扫描。对主扫描表进行顺序扫描, 将其中输出符号为 $P$ 或 $N$ 的小波系数进行量化。
  - 4) 重新排序。对输出符号为 $P$ 或 $N$ 的数据重新进行排序。
  - 5) 输出编码信息。
- 由于本文中的EZW算法是单独对高频系数进行的, 与标准的EZW算法有所不同, 所以在EZW的使用中需作以下修改:

- (1) 从图3、图4可以看出, 零树的建立离不开低频系数, 它是树根的所在。因此, 树结构的建立需要借助低频系数, 而对低频系数的值本文不作记录,

而只是在树结构的建立中利用其位置信息。

- (2) 对初始阈值 $T_0$ 取值时不是针对所有小波系数取最大值, 而是针对高频系数取最大值, 即 $T_0 = 2^{\lceil \log_2 \max\{|d_{i,j}|\} \rceil}$ ,  $d_{i,j}$  为小波高频系数, 可以使得每次扫描的阈值减小, 从而减小压缩带来的图像能量的损失, 提高重构图像的峰值信噪比。

### 3.2 预测编码

预测编码的原理是利用已经被解码而已知的信息来预测未知的信号<sup>[5]</sup>。如果能够用一个已知值预测多个未知值, 就可以提高图像的压缩比。由于图像系数经过小波分析后, 其低频系数相邻的值是非常接近的, 因此, 将低频部分相邻的 $3 \times 3$ 个系数组成一个组, 用一个值预测一组数中的所有的系数。如可用 $3 \times 3$ 阵列正中的系数 $B$ 来实现对 $x_1 \sim x_8$ 这8个系数的预测, 如图5所示。选择的预测公式为 $\hat{x}_i = B$ ,  $i = 1, 2, \dots, 8$ 。很显然, 这样的预测方法是存在误差的。为了减小误差, 在压缩编码过程中, 同样对预测误差进行编码。由于每个系数的预测误差和其系数本身相比要小得多, 因此每个预测误差占用4位, 对低频系数的压缩比可提高将近一倍。

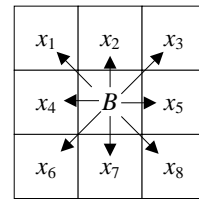


图5 预测编码原理图

## 4 实例

以 $256 \times 256$ 的3幅8位遥感灰度图像作为测试对象, 北京、比华利山、开罗共三幅遥感图像的原始图像以及它们在6:1压缩比条件下的重构图像, 如图6所示。

由于本文算法中对于低频数据采用了无损的压缩方法, 因此, 在相同压缩比条件下, 与EZW算法相比, 本文算法重构图的峰值信噪比得到了明显提高。本文算法和EZW算法在同等压缩比条件下的PSNR比较如表1所示。



a. 北京原图



b. 北京重构图

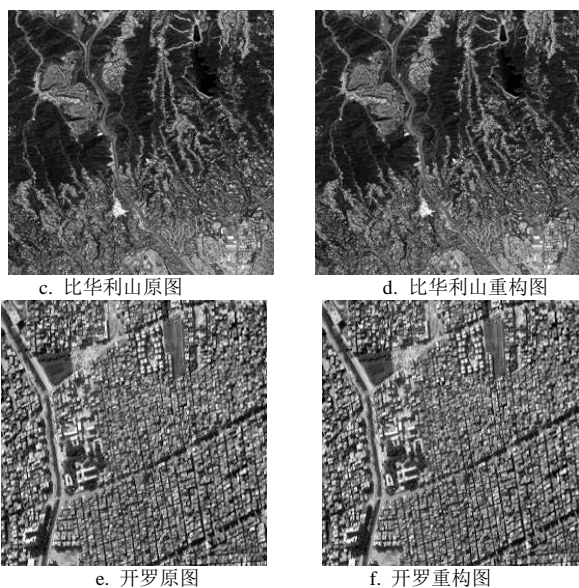


图6 遥感图像的原始图像与重构图像

表1 EZW与本算法关于峰值信噪比(PSNR)的比较

压缩比	算法	北京图	比华利山图	开罗图
10.0	本文算法	27.23	26.94	25.29
	EZW	25.56	25.63	24.11
6.0	本文算法	31.48	31.97	30.42
	EZW	29.29	29.65	28.29
3.5	本文算法	36.25	36.81	36.07
	EZW	33.89	34.33	33.87

从表1可得,在相同的压缩比情况下,与EZW算法相比,用本文算法进行图像压缩编码,可以使峰值信噪比平均提高1.98。从压缩速度上来看,若以小于30的PSNR为目标,用EZW算法需要的扫描次数为5次,而用本文算法需要的扫描次数为4次,而扫描次数直接反映压缩的速度。由此可以推断,本文算法比EZW算法的压缩速度提高近25%。从原理上很容易看出高的压缩比和高的压缩图像质量(PSNR)是一对相互矛盾的指标,因此,有些压缩算法为了提高压缩速度而牺牲压缩图像质量,或者为了提高压缩图像而牺牲压缩速度。而本文算法由于结合了两种压缩算法在压缩速度和压缩图像质量上的优点,因此压缩速度和压缩质量相对于EZW算法都有所提高。

## 5 结论

本文根据能量在小波系数的低频与高频系数中

分布不均匀的特点,将低频系数和高频系数采用不同的编码方式进行编码。对低频系数参数采用几乎无损的压缩算法;对高频系数结合零树理论的思想,在对EZW算法进行修改后,可以减少压缩过程中的数据扫描次数,提高压缩速度。实验结果表明,本文算法能够使图像的压缩同时具有较快的压缩速度和较好的压缩效率。

## 参考文献

- [1] 孙延奎. 小波分析及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 119-152.  
SUN Yan-kui. Wavelet analysis and application[M]. Beijing: China Machine press, 2005: 119-152.
- [2] SHAPIRO J. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41: 3445-3462.
- [3] SAID A, PEARLMAN W. A new fast and efficient image code based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits System Video Technology, 1996, 6: 243-250.
- [4] TAUBMAN D. High performance scalable image compression with EBCOT[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9: 1158-1170.
- [5] PENG Ke-wu, JOHN C K. Embedded image compression based on wavelet pixel classification and sorting[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1011-1017.
- [6] DAMON M C, SHEILA S H. Dynamic contrast-based quantization for lossy wavelet image compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(4): 397-410.
- [7] 郑勇, 周正华, 朱维乐. 一种快速零树编码的小波图像压缩算法[J]. 电子科技大学学报, 2001, 30(4): 331-334.  
ZHENG Yong, ZHOU Zhen-hua, ZHU Wei-le. A compression algorithm of wavelet image with fast zero tree encoding[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2001, 30(4): 331-334.
- [8] OIZUMI M. Preprocessing method for DCT-based image-compression[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2006, 8: 1021-1026.
- [9] YEN Wen-chien, TAI Shen-Chuan. DCT-based image compression using wavelet-based algorithm with efficient deblocking filter[C]//2005 Fourth Annual ACIS International Conference on Computer and Information Science. [S.l.]: IEEE, 2005: 489-494.
- [10] PONOMARENKO N N, EGIAZARIAN K O, LUKIN V V. High-quality DCT-based image compression using partition schemes[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2007, 3: 105-108.

编辑 熊思亮