

小波变换在遥感图象压缩中的应用研究

钟 湜 余 越 李凤亭 葛成辉

(清华大学电子工程系图象教研室, 北京 100084)

摘 要 详细研究了基于小波变换的遥感图象压缩编码技术。针对卫星气象云图及合成孔径雷达图象压缩的不同要求,分别提出了自适应加权量化及快速小波变换的方法。实验结果表明本文提出的方法是解决遥感图象压缩编码的有效途径之一。

关键词 小波变换, 遥感图象压缩, 零树量化, 自举法

1 引 言

自小波变换理论^[1~3]提出以来,基于小波变换的静止及序列图象压缩^[4~9]已得到了深入的研究并取得了初步的应用。虽然从原理上来说小波变换仍属于线性变换,但由于对频域的处理是非线性的,因而基于小波变换的压缩编码技术在压缩比等诸多方面表现出比 JPEG 更为优良的性能。

以往文献大多数研究基于小波变换的自然景物压缩^[4~9],对遥感、遥测图象是否可用基于小波变换的方法很少见报导。概括地讲,遥感、遥测图象主要有两个特点,首先,图象尺寸较大、分辨率高、数据量相当大。其次,图象种类繁多,对压缩比及实时性这两个重要指标要求的侧重点不一,典型的应用包括要求具有实时传输能力的高质量遥感图象(合成孔径雷达 SAR 图象)压缩及高压压缩比非实时的卫星云图压缩等。

本文在分析了基于小波变换的图象压缩编码的基础上,充分挖掘小波压缩编码的潜力,针对灾害监测实际应用中卫星气象云图压缩允许有一定损失但要求高压压缩比以及对 SAR 图象压缩还要求快速的特点,分别提出了适合于卫星气象云图的自适应加权量化方法以及适合于实时要求的快速小波变换的方法。

2 基于小波变换的图象压缩编码

与传统的变换编码类似,基于小波变换的图象压缩算法可由如图 1 的基本框图表示,即由用于去相关的小波变换、针对人类视觉系统(HVS)特点的量化方法及无失真的熵编码组成。

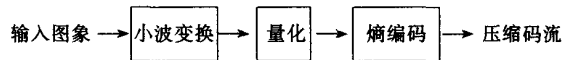


图1 小波变换编码器

小波变换图象压缩编码的变换级一般采用二维离散小波变换^[3],即小波变换是分别对二维的图象信号在水平和垂直方向做一维离散小波变换的结果。由于具有正交、紧支、对称特性的小波函数^[2]在理论上是不存在的,因此实际应用中一般选用能量紧支特性接近正交小波变换的双正交变换^[1],目前较新的基于小波变换的压缩技术多选用了效果较好的 9/7 或 10/18 双正交滤波器^[4]。我们在实验中除采用了 9/7 滤波器外,为提高速度还采用了 5/3 阶整数滤波器。

小波变换除具有对原始图象去相关的作用外,变换系数具有多分辨特性的分布为选择有效的量化策略提供了可能。与传统的编码器类似,基于小波变换的编码器可以采用标量量化、矢量量化等传统的

量化方法,由于无论是标量量化还是矢量量化都没有充分利用小波变换的优势,因此这类小波编码器没有显示出比传统编码器更优越的性能^[4]。

1993年J. M. Shapiro提出零树量化方法^[5]。由于它充分利用了图象的小波变换系数各子带之间的相关性,而计算实现却很简单,所以立即引起了许多研究者的巨大兴趣和进一步探索。零树量化算法的基本思想是在量化小波系数时采用了零树(Zerotree)这一数据结构来充分利用小波变换的优秀时频局域性和挖掘变换系数各子带之间的相关性。该方法有以下几个突出的优点:(1)可对编码后的输出码流进行精确的控制且产生嵌入式码流;(2)由于在每一轮量化扫描时对各子带使用同一个阈值,因此有利于将变换系数大的图象边缘部分保留;(3)容易实现累进传输;(4)不需要做各子带的比特分配和量化步长设计,简化了实现,提高了速度。

小波编码器的最后一个步骤是无失真的熵编码,由于零树量化的结果只是输出几种简单的符号,改进的零树量化(SPIHT)更是只有2种符号输出^[7],因此采用自适应算术编码具有较高的效率。

3 自适应加权量化及快速实现

传统的遥感图象主要用于勘测和侦察,因此这类图象的压缩要求有很高的保真度,通常采用基于预测编码的无损压缩方法。另一类遥感图象压缩研究方向是用于灾害监测、资源勘测的航空雷达遥感图象及卫星云图分析,这类图象保真度要求不高,解压图象主要要求能保持原图的大范围轮廓,但要求较高的压缩比且要求一定的压缩速度,本文主要研究针对后一类遥感图象的压缩方法。

3.1 气象卫星云图的压缩

从上节的讨论可知,基于零树量化的小波编码器能够提供解码图象较高的峰值信噪比(PSNR),但是用通常的零树量化方法对气象卫星云图压缩性能不很理想,表现在对于我们感兴趣的云图的边沿较为模糊,不利于以后的诸如云图面积判读等工作。造成以上现象的一个最为重要的原因就是零树量化完全从解码信噪比角度出发。本节仔细分析了遥感图象的小波域的特征,对影响云图边沿模糊的重要的信息进行了适当的加权,从而改善了解码图象的主观感受。

与自然景物图象不同,气象卫星云图一个重要

的特点是图象灰度分布较为集中,压缩潜力没有自然景物大。不仅如此通常气象卫星云图还有河流、海岸线等线条、表示位置的坐标及文字说明,这些附加在卫星云图上的“边缘图象”使得按通常的量化方法压缩的效果主观感觉很差。

注意到卫星云图部分灰度分布较集中,因此云图的大部分信息包含在小波域中低频部分。由于图中的坐标、河流及海岸线等线条和文字人为地构筑了较多的边缘信息,而边缘信息在小波域的体现即是在小波域的各个高频子带具有较大的数值。按传统的零树量化方法,各个子带数值较大的系数在扫描编码时会得到较多的比特,即这些高频分量得到了较多的细量化。由于总比特数一定,对附加的“边缘图象”付以较多的比特,意味着减少了分配给中间或低频子带的云层的比特数,从而模糊了处于中间或低频子带的云层,使解码图象的主观特性下降。

解决上述问题的有效方法是对各个子带的变换系数进行了适当的加权,对图象中最为重要的云图部分予以更多的比特数。由于云图部分的信息主要集中在较低分辨率的子带和低频子带,因此对分辨率越低的子带可赋予越大的权重,从而对高频部分进行一定的抑制。一个改进的零树量化方法如下:

(1)按分辨率由高到低的顺序对各个高频子带进行加权;

(2)对加权后的各子带信号,按通常的零树方法进行量化编码。

以上算法只是简单地利用了云图与坐标、河流及文字等边缘图象在小波域的分布不同而施以不同的加权,因此基本上没有增加运算量。

3.2 航空雷达遥感图象的压缩

航空雷达遥感图象主要用于地面勘测和灾害监测,典型的遥感图象是合成孔径雷达(SAR)遥感图象。与卫星云图压缩类似,合成孔径雷达遥感图象同样要求有较高的压缩比。由于无论是机载还是星载SAR,压缩部分相对于主控部分为远端,因此为达到实时传输的要求,要求编码器具有一定的速度(要求256kb/s~512kb/s),即这类应用不仅要求一定的压缩比,而且要求较快的速度。

基于小波变换的编码器都采用Mallat提出的快速算法,其实质是以卷积运算来代替小波变换定义中的内积运算。由于卷积运算一般没有快速算法,运算是通过浮点数的移位及乘加来完成的,因此相对于JPEG变换部分采用的DCT而言,基于小波变

换的编码器具有大得多的运算量。解决此问题的一个直观的做法是采用整系数的双正交小波滤波器,用加减法和移位运算代替小波变换中的浮点运算,虽然在客观信噪比方面有所下降,但在较高压缩比的情况下,少许的客观信噪比的下降对于主观感受的影响是很小的,而运算速度则得到了很大的提高。

另一个提高变换部分速度的做法是对某些特定的整数滤波器采用所谓自举法^[10,11] (Lifting Scheme)。对 $h(n) = \{-1/8, 1/4, 3/4, 1/4, -1/8\}$, $g(n) = \{1/4, 3/4, 1/4\}$ 的双正交滤波器来说,具有原地工作特征的自举方案如图 2 所示,原始滤波器 $h = \{-1/8, 1/4, 3/4, 1/4, -1/8\}$ 与图象信号的卷积每像素需要 6 步的操作运算,若用自举法只需 3 步,从而大大降低了小波变换所需的时间。

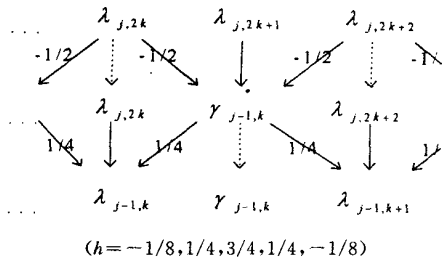


图 2 自举法:实际算法示意图

由于 SAR 遥感图象一般具有较大的尺寸,若针

对整幅图象作小波压缩,不仅需要更多的存储空间,而且由于进行零树量化扫描时就需要更长的时间,从而使得基于零树量化的方法在压缩大图象时所需时间非线性的增加。大尺寸的遥感图象对具有多处理器并行操作的系统也非常不利。一个合理的做法是对整幅图象进行适当的分块比如可将图象分成 512×512 或 512×256 的块进行小波压缩。

4 实验结果

为验证本文提出的方法,我们对典型的卫星气象云图及 SAR 遥感图象进行了压缩编码实验。并对解码图象进行了主、客观评价方法,其中客观评价方法由下式的峰值信噪比给出

$$PSNR = -10 \log_{10} \frac{MSE}{255^2} \text{dB} \quad (1)$$

其中 MSE 为原始图象与解码图象之间的均方误差。

对于卫星气象云图的压缩(图象大小为 640×480),我们采用了文献[4]给出的 9/7 阶双正交滤波器,量化部分采用本文给出的自适应量化加权及文献[7]给出的改进型零树方法 SPIHT,压缩倍率为 20 倍。为便于比较我们还给出了用 JPEG 压缩的结果,图 3 给出了卫星气象云图分别用这 3 种方法压缩 20 倍时的解码图象。

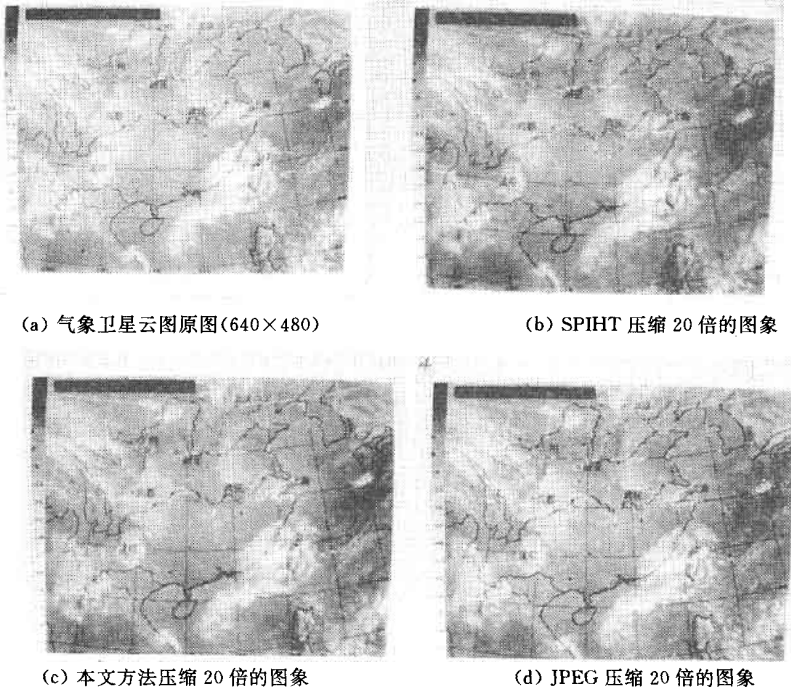
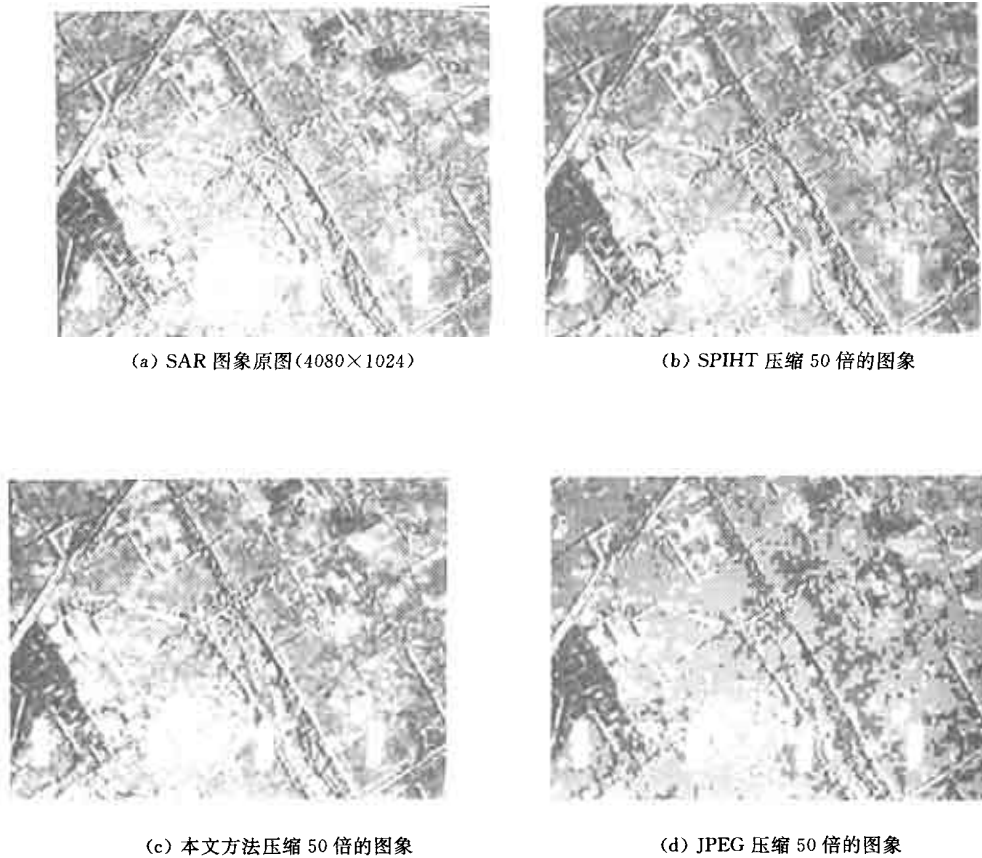


图 3

显然图 3(d)给出的用 JPEG 来压缩这类图象具有的分块是不能容忍的;图 3(b)给出了通常用零树量化方法的结果,云层被模糊了很多,对云层面积的判读极为不利;图 3(c)给出了用本文方法的结果,可以看到云层非常清晰,而算法并没有增加运算量。

用如图 2 给出的双正交滤波器的自举方案,图 4

给出了航空雷达遥感图象压缩的实验结果,表 1 给出了用几种方法编解码器所用时间及解码图象信噪比,相对于用 9/7 阶双正交滤波器的传统的零树方法,本文给出的方法速度提高了 3—4 倍,而 PSNR 仅下降了 0.3dB。



(a) SAR 图象原图(4080×1024)

(b) SPIHT 压缩 50 倍的图象

(c) 本文方法压缩 50 倍的图象

(d) JPEG 压缩 50 倍的图象

图 4

表 1 几种方法压缩 SAR 图象的结果(压缩倍率为 50)

	PSNR(dB)	压缩时间(s)	解压时间(s)
JPEG	19.37	4.5	3.5
SPIHT	21.16	23	24
分块 SPIHT (块大小 512×512)	21.13	16	16.8
Lifting+SPIHT	20.88	13	11
Lifting+分块 SPIHT (块大小 512×512)	20.84	7.3	5.7

5 结 论

本文对基于小波变换的遥感图象压缩编码进行

了初步的尝试,针对两类典型的卫星气象云图压缩及合成孔径雷达图象压缩的不同特点,分别提出了解决方法,实验结果表明方法是有效的。由于遥感图象与自然景物图象在分布上有很大的不同,用解决自然景物图象的压缩方法不一定适合在遥感图象压缩编码中直接应用。深入研究遥感图象在小波域中的分布,是进一步提高遥感图象压缩编码的突破口。

参 考 文 献

- 1 崔锦泰 著(程正兴 译). 小波分析导论. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- 2 Daubechies I. Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets. Comm. on Pure and Appl. Math 1988,11(7):674~693.

- 3 Mallat S G, A Theory for Multiresolution Signal Decomposition; The Wavelet Representation, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989 (11): 674~693.
- 4 Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, Daubiechies I, Image coding using wavelet transform. IEEE Trans. on Image Processing, 1992, 1(2):
- 5 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelets coefficients. IEEE Trans. Signal Processing, 1993, 41(12): 3445~3462.
- 6 Witten I H, Neal R M, Cleary J G. Arithmetic coding for data compression. Commun. ACM, 1987, 30: 520~540.
- 7 Said A, Pearlman W A. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in Hierarchical Trees. IEEE Trans. Circ. Syst. Video Tech. 1996, 6.
- 8 Hilton M L, Jawerth B D. A. Sengupta. Compressing still and moving images with wavelets, Multimedia Systems, 1994, 2(3).
- 9 Xiong Z, Ramchandran K, Orchard M T. Space-frequency quantization for wavelet image coding, to appear in IEEE Trans. on Image Processing, 1997.
- 10 Sweldens W, The lifting scheme: A construction of second generation wavelets, Tech Rep. 1995: 6, Industrial Mathematics Initiative, Department of Mathematics, University of South Carolina, 1995.
- 11 Sweldens W. The lifting scheme: A custom-design construction of biorthogonal wavelets, Appl. Comput. Harmon. Anal., 1996, 3(2): 186~200.



钟 是 1997年6月在清华大学电子工程系获硕士学位,现在美国明尼苏达州州立大学攻读博士学位。感兴趣的研究方向是图象压缩,神经网络的应用。



李凤亭 清华大学电子工程系副教授,长期从事图象处理、多媒体通信的教学与科研工作,完成多项国家重点攻关项目,目前主要研究方向是视频压缩及图象通信。



余 越 1996年在北京理工大学获博士学位,现在清华大学电子工程系作博士后研究工作,目前的研究方向是图象/视频信号压缩、小波变换理论及应用。

葛成辉 清华大学电子工程系教授,曾任图象图形学会常务副理事长,长期从事遥感图象处理及系统、图象压缩及通信的教学与科研工作,感兴趣的方向是遥感图象压缩、多媒体信息系统等。

Remote Sensing Image Compression Based on Wavelet

Zhong Shi, Yu Yue, Li Fengting, Ge Chenghui

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Remote sensing image compression based on wavelet is studied in this paper. Two improved techniques, namely adaptive weighting quantization combining with famous SPHIT and fast wavelet transform based on lifting scheme, are proposed for two typical remote sensing image compression respectively. Experiment shows that our improved ways are effective for remote sensing image compression.

Keywords Wavelet transform, Remote sensing image compression, Zero-tree quantization, Lifting scheme