

文章编号 : 0253-2239(2001)06-0691-05

# 基于小波的干涉多光谱卫星图像压缩方法\*

李云松<sup>1)</sup> 吴成柯<sup>1)</sup> 陈 军<sup>1)</sup> 相里斌<sup>2)</sup>

(1), 西安电子科技大学通信工程学院综合业务网国家重点实验室, 西安 710071 )  
(2), 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068

摘要 : 分析了干涉多光谱卫星遥感图像的成像特性, 并根据该类图像对压缩效果的要求提出了一种基于小波分层树集合分割排序( Set Partitioning in Hierarchical Trees, SPIHT)的局部图像优先编码方法, 通过对图像小波域系数的局部增强, 获得了对图像重要数据优先编码的特性, 在 8 倍压缩比的条件下获得了满意的效果。用该方法对多幅干涉多光谱图像进行了测试, 测试结果表明, 该方法性能优于其他多光谱卫星遥感图像编码方法, 并有利于在实时图像编码系统中得到应用。

关键词 : 干涉多光谱卫星遥感图像 ; 图像编码 ; 小波 ; 分层树集合分割排序

中图分类号 : TN919.81 文献标识码 : A

## 1 引 言

航天遥感是人类认知自然的有效手段, 一般成像仪的光谱分辨率非常低, 只有几个到十几个谱段。近几十年来发展的成像光谱技术具有很高的空间分辨率和光谱分辨率, 但是对干涉多光谱卫星遥感图像进行压缩时, 为了恢复出光谱特性, 要求包含谱信息的那部分图像的峰值信噪比大于 35 dB。这个要求在 8 倍压缩比下是目前任何一种多光谱图像压缩编码算法<sup>[1]</sup>都达不到的, 因此我们必须对这类图像采用新的压缩编码算法。本文提出了一种基于小波分层树集合分割排序的局部图像优先编码算法, 通过对包含谱信息的那部分图像数据进行优先编码, 在 8 倍压缩比下达到了干涉多光谱卫星遥感图像对压缩效果的要求, 并有利于在卫星实时图像编码系统中得到应用。

## 2 干涉多光谱遥感图像的成像原理

成像光谱仪作为一种新型航天遥感设备, 同时具备成像仪和光谱仪的功能, 即同时具有很高的空间分辨率和光谱分辨率。使用成像光谱仪获得的遥感图像数据包含二维空间信息和一维光谱信息。干涉光谱成像原理<sup>[1]</sup>如图 1 所示。

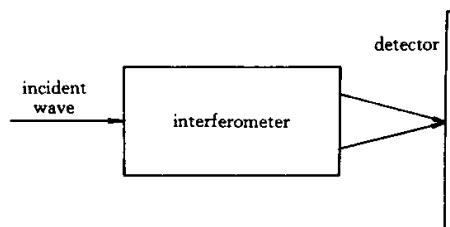


Fig. 1 Interferometer scheme

由图 1 可以看到, 在成像光谱仪中, 一束入射光经过干涉仪的作用, 分解为两束具有一定光程差的光线并进行干涉叠加。成像光谱仪采用行推扫的方式来产生图像, 并且在一行上各点处的光程差不同, 这样就在成像平面上形成了具有竖条状干涉条纹的多光谱图像, 光谱信息就存在于干涉条纹之中。对干涉多光谱卫星遥感图像进行压缩, 应保证恢复出的谱特性失真尽量小, 通常要求包含谱信息的那部分图像的峰值信噪比大于 35 dB, 这个要求在 8 倍压缩比下是目前任何一种多光谱图像压缩编码算法<sup>[1]</sup>都达不到的。但是成像光谱仪的工作方式使得干涉条纹仅存在于图像的一个固定局部区域, 该固定区域的位置由成像光谱仪的结构决定, 因此是预先知道的。对于本文中所采用的多光谱图像, 该区域的二维对角坐标为[(256, 0)(352, 512)]。这样通过对重要图像区域进行优先编码, 使该区域的恢复图像质量显著提高, 而其它非重要区域图像的质量又没有什么损失, 就能够满足干涉多光谱卫星遥感图像对数据压缩的要求, 不仅能够保持光谱信息, 同时可以获得满意的视觉效果。

\* 国防预研基金(J20. DZ0156)和国家自然科学基金(60002007)资助课题。

收稿日期 : 1999-12-29 ; 收到修改稿日期 : 2000-05-02

### 3 基于小波分层树集合分割排序的局部图像优先压缩编码算法

图像的小波分解及合成可以由马拉特<sup>[2]</sup>算法实现,在马拉特算法中,尺度滤波器和小波滤波器都是有限脉冲响应(FIR)滤波器,因此小波变换具有局部化特性,这就使得小波系数只与图像相应位置处一定区域的数据有关(具体关系如图2、图3所示),因此我们如果对一定空间位置上的小波变换系数进行优先编码,则由这部分系数恢复出的那部分图像的信噪比就会得到相应提高。对卫星遥感图像进行压缩一般要求码率固定,如果我们对需要优先编码的那部分小波系数仅仅是固定地多分配一些码字而不去考虑这部分小波系数的特性,就会对整体图像的压缩效果产生不良影响,因此我们必须选择一种能够结合小波系数特性进行编码的高效算法。在各种基于小波变换的编码方法中,分层树集合分割排序算法能够很好地满足这一要求。

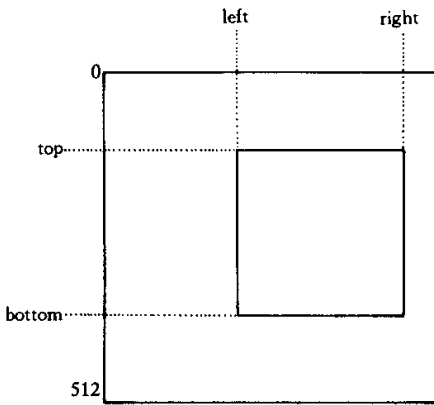


Fig.2 Original image(512×512)

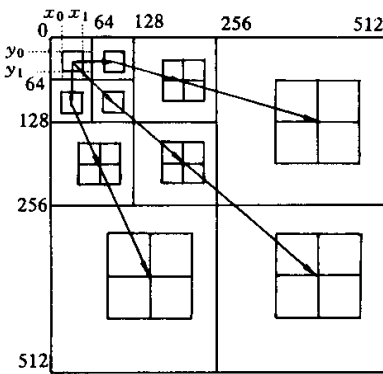


Fig.3 Image after wavelet transform

在图2中,图像内部所示区域为需要优先编码的矩形区域,矩形对角顶点坐标为{(left, top), (right, bottom)},单位为像素。相应图3小波变

换域中,低频分量的加强区域的矩形对角顶点坐标为{(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>), (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>)}坐标关系由(1)式给出,其它高频分量的加强区域和低频分量的加强区域构成零树结构[零树结构的数学表达由(2)式给出]

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= l/2^L, & x_1 &= x_0 + (r - l)2^L, \\ y_0 &= t/2^L, & y_1 &= y_0 + (b - t)2^L, \end{aligned} \right\} (1)$$

其中 l, t, r, b 分别表示图2中矩形对角顶点坐标{(l, t), (r, b)},单位为像素。L 为小波变换级数。

$$\begin{aligned} \text{Treed}(x, y, m, s) = & \left\{ \begin{aligned} & \{(x, y, m, s)\} \cup \text{Treed}(2x, 2y, m - 1, s) \cup \\ & \text{Treed}(2x + 1, 2y, m - 1, s) \cup \\ & \text{Treed}(2x, 2y + 1, m - 1, s) \cup \\ & \text{Treed}(2x + 1, 2y + 1, m - 1, s) \\ & m \neq 1 \text{ 且 } s \neq LL; \\ & \{(x, y, m, LL)\} \cup \text{Treed}(x, y, m, LH) \cup \\ & \text{Treed}(x, y, m, HL) \cup \\ & \text{Treed}(x, y, m, HH), \quad m = M \text{ 且 } s = LL; \\ & \{(x, y, m, s)\}, \quad m = 1. \end{aligned} \right. \end{aligned} \quad (2)$$

其中, x, y 表示系数在子图像中的2维坐标, m 表示子图像层次(1, 2, ..., M), s 表示子图像方向(LL, LH, HL, HH), LL 为图像小波分解后的低频子带, LH 为图像小波分解后垂直方向的高频子带, HL 为图像小波分解后水平方向的高频子带, HH 为图像小波分解后对角方向的高频子带。

分层树集合分割排序算法是1996年 Said 和 Pearlman<sup>[3]</sup>根据 Shapiro<sup>[4]</sup>零树编码的基本思想提出的一种基于图像小波变换(WT)的高效编码算法。分层树集合分割排序算法合理利用了小波分解后的多分辨率特性,取得了优于其它算法<sup>[5]</sup>的编码效果。分层树集合分割排序算法具有内嵌编码的特征,能够精确控制码率,并且具有抗误码扩散的特点,同时它的计算复杂度极低,又使它可以被用来进行实时处理,因此非常适合于对卫星遥感图像进行压缩编码。在分层树集合分割排序编码中首先传输的是最重要的信息,也就是幅值最大的变换系数的位信息,这样如果改变小波系数的值,就会改变它的编码优先级。在本算法中,我们将需要优先编码的那部分小波系数乘以一个大于1的系数(在图4中对应于“区域小波系数增强”模块),再使用分层树集合分割排序算法进行编码,获得了对这部分系数进行优先编码的特性。由于分层树集合分割排序算法结合了小波系数的特性,因此本算法可以获得优化的压缩效果。本算法的基本流程如图4所示。

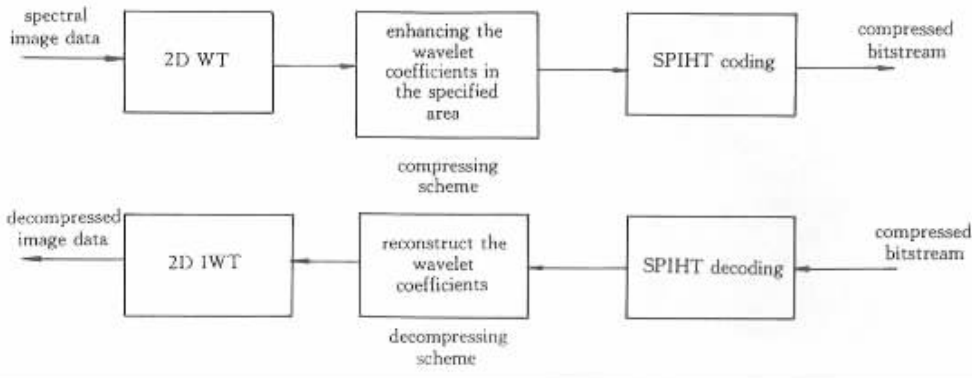


Fig.4 Prior coding algorithm based on WT + SPIHT in specified area

我们对大量干涉多光谱图像进行了实验,实验结果证明,采用基于小波分层树集合分割排序的局部图像优先编码方法,可以实现在满足谱信息失真要求的前提下,不影响图像的视觉特性。

也越来越集中。表 1 给出了在各种情况下所对应的峰值信噪比(PSNR)。

从以上实验结果可以看到,用本算法对图像设定区域进行优先编码后,在增强系数为 2 或更大时,

### 4 实验结果与分析

以图 5~图 8 四幅多光谱遥感图像(格式为 512 × 512 × 8,包含谱信息的那部分图像有很多的竖条纹)为例的实验结果如图 9~图 12 所示。



Fig.5 1. raw(original image)

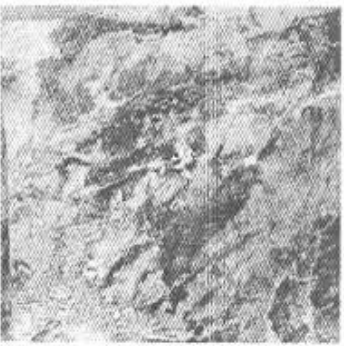


Fig.6 2. raw(original image)



Fig.7 3. raw(original image)

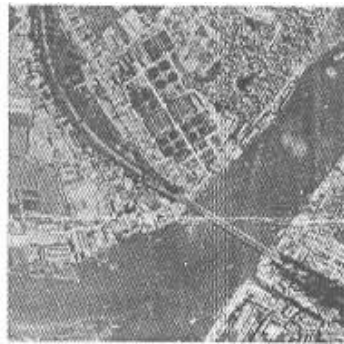


Fig.8 4. raw(original image)



Fig.9 t1. raw(decompressed image of 1. raw when enhancing-coefficient is 4)

可见,与使用其他方法所恢复的图像相比,用本文方法所得的图像具有更好的视觉效果。

在图 13~图 16 中,我们可以看到随着小波增强系数的增加,增强区域的恢复图像误差越来越小,

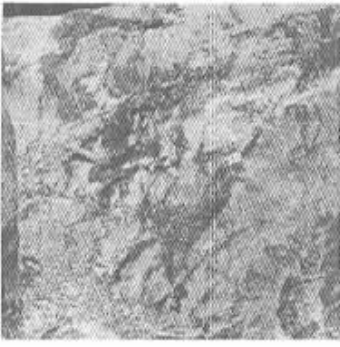


Fig. 10 t2. raw (decompressed image of 2. raw when enhancing-coefficient is 4)



Fig. 11 t3. raw (decompressed image of 3. raw when enhancing-coefficient is 4)



Fig. 12 t4. raw (decompressed image of 4. raw when enhancing-coefficient is 4)

该区域恢复图像的信噪比达到了大于 35 dB 的要求,其它区域图像信噪比有所下降,但视觉效果仍然很好(这一点可以由上面给出的在其它区域信噪比下降最严重时所获得的恢复图像看出)。另一方面可以看到,如果不使用局部图像优先编码方法,即使采用目前性能最优的小波分层树集合分割排序算法,在 8 倍压缩比下仍然不能满足干涉多光谱图像对信噪比的要求,从表 2 中我们也看到标准 JPEG 算法同样不能满足干涉多光谱图像对信噪比的要求。实验结果证明,采用基于小波分层树集合分割排序的局部图像优先编码方法,可以在满足保

持谱信息的前提下,不影响图像的视觉特性,其性能优于其他多光谱卫星遥感图像编码方法,另外由于小波变换和分层树集合分割排序编码方法计算量小、实现简单,因此本方法有利于在实时图像编码系统中得到应用。

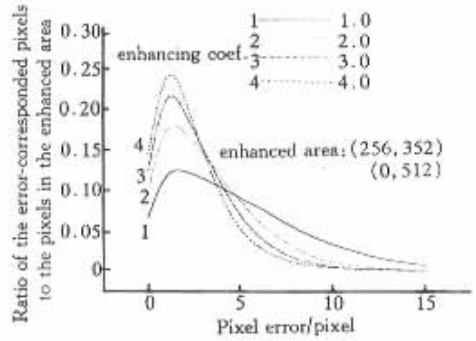


Fig. 13 Compressing effect of 1. raw in the enhanced area

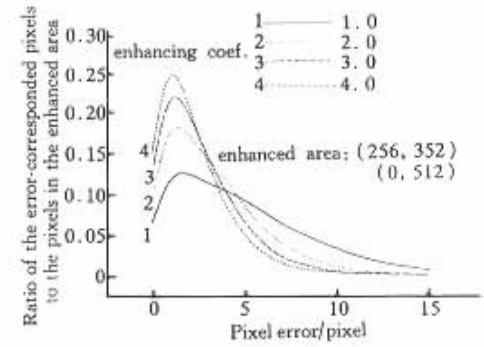


Fig. 14 Compressing effect of 2. raw in the enhanced area

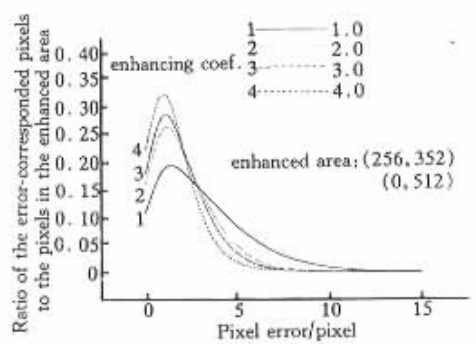


Fig. 15 Compressing effect of 3. raw in the enhanced area

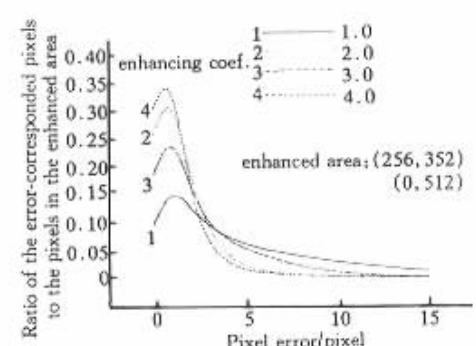


Fig. 16 Compressing effect of 4. raw in the enhanced area

Table 1. Peak signal noise ratio ( PSNR ) of compressed images

wavelet enhancing coefficient	image name	prior coding algorithm in specified area		
		PSNR of enhanced area	PSNR of unenhanced area	PSNR of the whole image
1.0	1. raw	32.20dB	31.84dB	31.88dB
	2. raw	32.30dB	32.14dB	32.16dB
	3. raw	36.51dB	37.19dB	37.05dB
	4. raw	30.20dB	30.38dB	30.35dB
2.0	1. raw	35.49dB	30.67dB	31.26dB
	2. raw	35.42dB	30.98dB	31.54dB
	3. raw	39.89dB	35.81dB	36.34dB
	4. raw	35.61dB	28.75dB	29.46dB
3.0	1. raw	36.92dB	30.04dB	30.75dB
	2. raw	37.02dB	30.29dB	30.99dB
	3. raw	40.72dB	35.08dB	35.72dB
	4. raw	38.13dB	28.43dB	29.24dB
4.0	1. raw	37.44dB	29.08dB	29.84dB
	2. raw	37.41dB	29.37dB	30.12dB
	3. raw	42.05dB	34.84dB	35.56dB
	4. raw	38.48dB	28.33dB	29.15dB

Table 2. Peak signal noise ratio ( PSNR ) of compressed images

image name	compression ratio	standard JPEG		
		PSNR of enhanced area	PSNR of unenhanced area	PSNR of the whole image
1. raw	7.40	30.67dB	29.62dB	29.80dB
2. raw	8.60	30.59dB	29.90dB	30.02dB
3. raw	8.50	35.97dB	36.62dB	36.49dB
4. raw	7.45	27.89dB	28.40dB	28.30dB

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Mailhe C , Vermande P , Castanie F. Spectral image compression. *J. Opt.* ,1990 ,**21**( 3 ) :121~132
- [ 2 ] Mallat S. A theory for multiresolution signal decomposition. *IEEE Trans. Patt. Anal. Mach. Intell.* ,1989 ,**11**( 7 ) :674~693
- [ 3 ] Said A , Pearlman W A. A new , fast , and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology* , 1996 ,**6**( 3 ) :243~249
- [ 4 ] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Trans. Signal Process.* ,1993 ,**41**( 12 ) :3445~3462
- [ 5 ] Antonini M , Barlaud M , Mathieu P *et al.* . Image coding using wavelet transform. *IEEE Trans. Image Process.* , 1992 ,**1**( 2 ) :205~220

## Spectral Satellite Image Compression Based on Wavelet Transform

Li Yunsong<sup>1)</sup> Wu Chengke<sup>1)</sup> Chen Jun<sup>1)</sup> Xiang Libin<sup>2)</sup>

( 1 ) , National Key Laboratory on ISN , Xidian University , Xi'an 710071

( 2 ) , Institute of Optics and Precision Mechanics , The Chinese Academy of Sinices , Xi'an 710068 )

( Received 29 December 1999 ; revised 5 May 2000 )

**Abstract :** The characters of spectral satellite images are analyzed and a new spectral satellite image compression method based on region-enhanced wavelet transform and set partitioning in hierarchical tree ( SPIHT ) coding is presented which offered a satisfied compressing result by enhancing the wavelet coefficients of the serious image data area. A few spectral satellite images are tested and the experimental results show that this method has more advantages over other methods reported so far for spectral satellite image compression.

**Key words :** spectral satellite image ; image compression ; wavelet transform ; set partitioning in hierarchical tree