

文章编号: 1007-4619 (2000) 02-0100-06

基于小波变换的多光谱图像压缩方法

张 荣, 刘政凯, 詹 曙

(中国科学技术大学 电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230027)

摘 要: 在分析多光谱图像小波变换后系数特点的基础上, 提出了一种共享有效图的小波变换压缩方法(SSMWT)。该方法将小波变换压缩技术中的零树编码推广到多光谱图像压缩中, 利用多光谱图像的结构相关性, 对多幅小波图像只需构造一幅有效图, 同时去除空间冗余和谱间结构冗余, 并与 K-L 变换相结合, 进一步去除谱间统计冗余, 实验表明了该方法的有效性。

关键词: 小波变换; 有损压缩; 共享有效图

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

多光谱图像压缩技术是遥感数据存储和传输中的一个迫切需要解决的问题。从信息论的角度来看, 所有的压缩技术都是通过去除数据冗余来达到压缩目的的, 而不同类型的数据, 其数据冗余的特性也各不相同。通常认为多光谱图像数据存在两类冗余, 空间冗余和谱间冗余。从多光谱遥感图像的成像特点出发, 将多光谱图像的谱间冗余进一步分成谱间统计冗余和谱间结构冗余。统计冗余主要由谱间分辨率决定, 分辨率越高, 各波段图像之间的相关性越强, 统计冗余越多; 而谱间结构冗余是由于各波段图像的成像对象是同一地域, 具有相同的物理结构, 地物的分布特征是谱间结构冗余的本质。这两类冗余在本质上是不同的, 因此, 在研究压缩方法时应分别对待。

对多光谱图像有损压缩的研究主要是将二维变换压缩方法推广到三维数据中, 在去除二维空间冗余的同时去除谱间冗余。目前针对多光谱图像的有损压缩方法主要有^[1-4]: (1) 三维 DCT; (2) 二维 DCT 加一维 K-L 变换; (3) 二维 DCT 加一维 DPCM; (4) 二维小波变换加一维小波变换; (5) 三维小波变换等。

小波变换(WT)用于图像压缩的重要原因在于

一方面它拥有传统变换压缩方法的优点, 能够很好地去除图像数据中的统计冗余; 另一方面, 小波变换的多分辨率特性, 使变换后的图像数据能够保持原始图像在各种分辨率下的精细结构, 为进一步去除图像中的结构冗余信息提供了便利。正如我们所分析的, 谱间冗余可以进一步分为谱间统计冗余和谱间结构冗余, 均在谱维方向进行的各种变换去除的多是统计冗余, 而没有利用多光谱图像本身的结构特点。因此, 提出一种共享有效图的小波变换压缩方法(SSMWT), 利用多光谱图像的结构特点进行更有效的压缩, 同时去除空间冗余和谱间结构冗余, 并与 K-L 变换相结合, 进一步去除谱间统计冗余。

2 基于共享有效图的多光谱图像压缩方法

2.1 多光谱图像小波变换系数的分布特点

图1是一组 TM 图像的二阶小波变换。从图1中可以看出, 一方面, 与单幅图像的小波变换一样, 多光谱图像经小波变换后在每一小波段内的高频带呈 Laplace 分布, 而每一个波段内的低频带是原图像的平滑; 另一方面, 小波图像的高频带保留了图像在不同频带、不同方向的结构特点, 对于多光谱图像来说, 由于各波段图像的成像对象是同一地物, 具有相同的物理结构, 因此, 各波段的小波图像之间存在一

收稿日期: 1998-11-05; 修订日期: 1999-03-10

作者简介: 张荣(1968-), 女, 1998年获信息与信息处理专业博士学位, 现任教于中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 研究方向为遥感图像处理, 图像压缩和分析等, 已发表论文5篇。

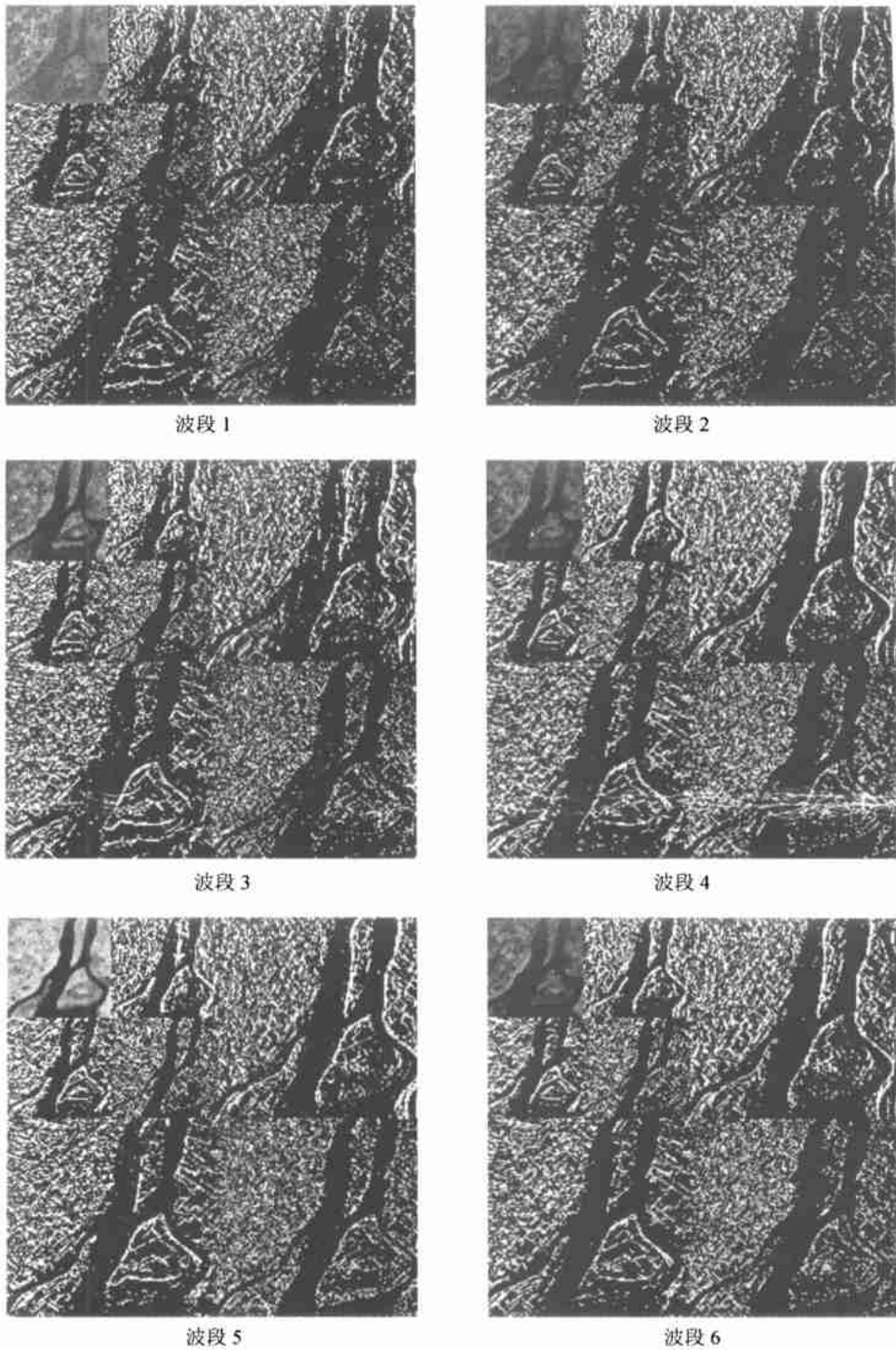


图1 里斯本TM图像各个波段图像的小波图像

Fig. 1 Wavelet images of Lisbon TM images

种结构冗余,即在图像的边缘和轮廓处,各波段的细节模板中的小波系数都较大,而在平坦的区域则具有较小的小波系数。这一点对谱间压缩非常有利。

2.2 小波系数的编码

量化后的小波系数包括两部分信息,一是非零值的大小,一是非零值的位置。通常称用来记录非零系数的位置的信息为有效图(Significance Map),这

样,对量化后的小波系数的编码就包括对有效图的编码和对非零值的编码两部分,即:

总编码量=有效图的编码量+非零系数的编码量

设待编码的信源为零均值、对称分布、统计独立的信源,则信源的熵 H 可表示为:

$$H = p \log p + (1-p) \log(1-p) + (1-p)(1+H_N) \quad (1)$$

其中第一项表示判断一个系数是零还是非零所需的比特数,对有效图的编码量, p 表示一个系数为零的概率;对非零系数,为编码其符号我们需要一个比特,其绝对值的编码量我们用 H_N 表示。

通常,量化后的小波系数中非零系数的分布很稀疏,这时,为非零值位置信息所花费的比特数占了总编码量的很大一部分。因此,提高有效图的编码效率,对提高量化系数的总体编码性能是具有很大意义的。根据小波变换多分辨率特性提出的零树方法(Zero tree)^[5]是一种有效的有效图压缩方法,这种方法基于如下假设:

若对给定的门限 T ,在一个较粗尺度上的小波系数被量化为 0,那么,在同一方向上,相同空间区域的较细尺度上的小波系数也被量化为 0。这时存在一棵全零的小波系数树,称之为零树。有关实验^[6]也证明了假设的正确性。由于一棵零树中所有的节点都为零,我们只需对零树的根节点编码,从而实现对有效图的高效编码。

对非零系数通常采用 Huffman 编码或算术编码。

2.3 多光谱图像小波系数的零树构成

对于多光谱图像来说,由于各波段图像之间存在结构相关性,因此,有理由提出假设各波段的零树位置是相同的。这样,对于多幅小波系数图像,只需构造一幅有效图来确定多幅小波系数图像中的非零值的位置,从而降低存储有效图带来的开销,提高压缩效率。我们称这样的有效图为共享有效图。在实际多光谱图像中,由于图像结构是光谱差异的一种表现,因此,“各波段的零树位置是相同的”假设只在统计上是成立的。实际上,各波段的零树位置并不完全相同。对此,我们提出由各波段零树相“与”得到共享零树。这样,只有所有波段中都为 0 的点才设为零点,否则即使是 0 的点也将作为非零系数编码。具体方法如下。

- (1) 对于所有波段中都为 ZT 的点,设为 ZT;
- (2) 对于所有波段中都为 IZ 的点,设为 IZ;
- (3) 如果各波段中既有 IZ 又有 ZT,设为 IZ;
- (4) 只要有一个波段为非零点,设为 POS 或 NEG(以某一波段为准,并设定 0 为正数);

其中 ZT 表示一棵零树的根节点;IZ 表示一个孤立的零节点;PSO 表示一个正的非零节点;NEG 表示一个负的非零节点。

2.4 具体算法

根据多光谱图像小波变换后系数分布的特点,我们提出一种共享有效图的多光谱图像小波变换压缩方法 SSMWT (Share Significance Map Wavelet Transform)。由于遥感数据对遥感应用非常宝贵,应尽量减少压缩带来的损失。因此,对小波系数的量化,我们只作取整运算,对小波系数中的平滑模板采用无损压缩(SNMAW)预测树方法^[7];具体算法为:

- (1) 分别对各波段图像进行三阶小波变换,然后量化;
- (2) 对量化后的各小波图像的平滑模板进行无损压缩;
- (3) 对各波段小波图像的细节模板中不同频段分别设置阈值,大于阈值的点设为非零系数,小于阈值的点设为 0,同时生成有效图;
- (4) 用各波段的有效图生成共享有效图,并对其进行零树编码;
- (5) 根据共享有效图,将各波段的非零系数进行算术编码。

3 实验结果

实验数据 1 为里斯本(Lisbon)泰吉河流域的 TM 遥感图像,尺寸为 256×256 ,共 6 个波段,像素灰度级为 256(8 bits),图 2(a)是其第 5 波段图像;实验数据 2 为华盛顿特区(Washington DC)的 TM 遥感图像,尺寸为 512×512 ,共 6 个波段,像素灰度级为 256 (8 bits),图 2(b)是其第 5 波段图像。

我们用上述方法对两组 TM 图像进行压缩,算法实现时选用阶次为 6 的 Daubechies 小波基,压缩效果与单独用小波压缩方法比较如图 3。

用 SSMWT 方法进行压缩后图像的误差分析见表 1。

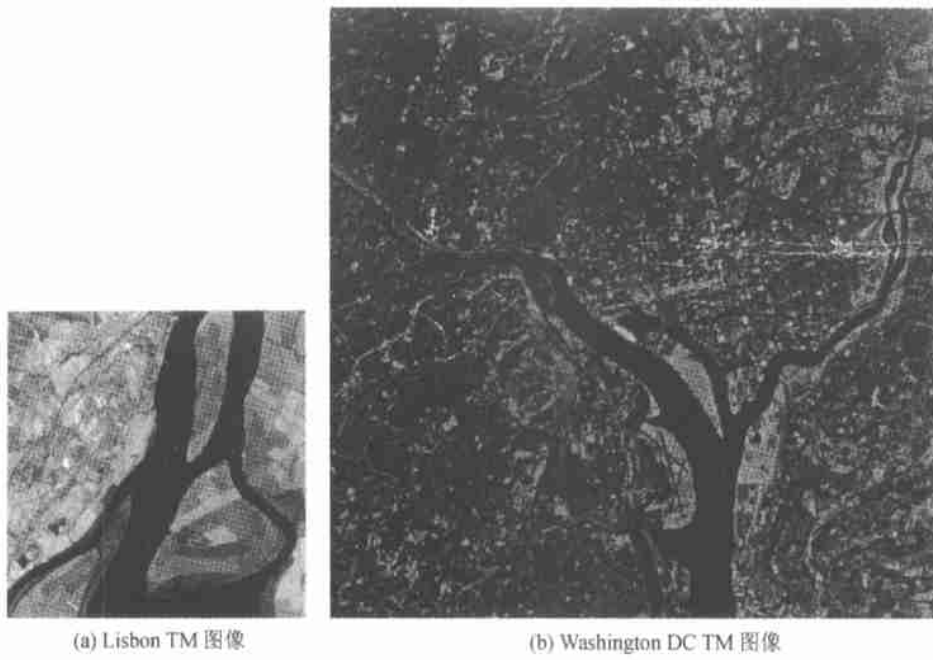


图 2 实验数据

Fig. 2 Experimental data

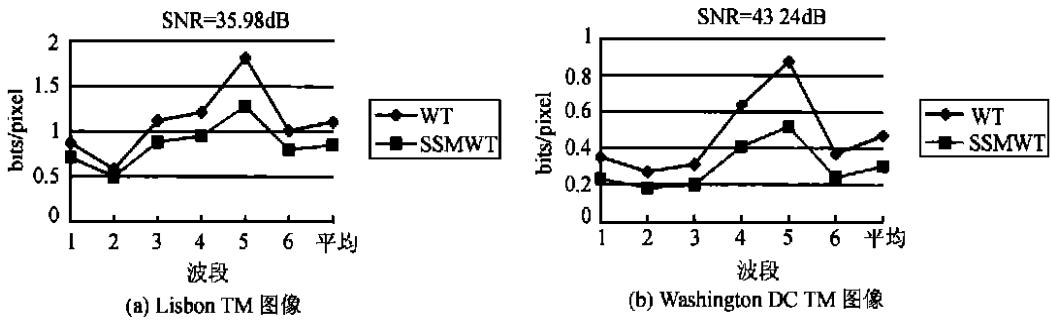


图 3 WT 方法与 SSMWT 方法比较

Fig. 3. Comparison of WT and SSMWT

表 1 SSMWT 方法的误差分析

Table 1 Error analysis for SSMWT technique

(a) Lisbon TM 数据

波段	1	2	3	4	5	6	平均
最大误差	23	23	25	22	25	24	
误差 < 2/%	60.22	65.12	54.24	51.72	47.62	47.62	55.47
(2 ≤ 误差 < 4)/%	20.51	19.57	21.57	22.89	23.29	21.83	21.61
(4 ≤ 误差 < 8)/%	15.10	12.50	18.23	19.44	21.75	18.49	17.50
误差 > 8/%	4.17	2.81	5.96	5.95	7.84	5.79	5.42
均方差	3.77	3.36	4.23	4.29	4.65	4.21	4.09
信噪比/dB	36.63	37.62	35.63	35.50	34.81	35.68	35.98

(b) Washington TM 数据

波段	1	2	3	4	5	6	平均
最大误差	21	14	16	23	24	20	
误差 $<2/\%$	57.59	75.71	64.32	45.46	42.42	56.90	57.07
($2\leq$ 误差 <4)/ $\%$	24.50	17.46	22.75	24.80	23.87	25.04	23.07
($4\leq$ 误差 <8)/ $\%$	15.50	6.47	11.55	23.53	25.50	15.77	16.39
误差 $>8/\%$	2.41	0.35	1.38	6.21	8.21	2.30	3.48
均方差	3.50	2.40	3.05	4.47	4.84	3.48	3.62
信噪比/dB	43.31	46.58	44.50	41.18	40.49	43.35	43.44

根据我们在引言中对多光谱图像的冗余分类,即把谱间冗余进一步分成谱间统计冗余和谱间结构冗余,以上的方法去除的只是空间冗余和谱间结构冗余,而忽略了谱间统计冗余,因此,还可以对上述方法进行改进,即先进行 K-L 变换去除谱间统计冗余,再进行共享有效图的小波变换压缩。实验结果表明了该方法的有效性。图 4 为 Lisbon TM 图像进行 K-L 变换后再用 SSMWT 和直接用 SSMWT 方法的比较。

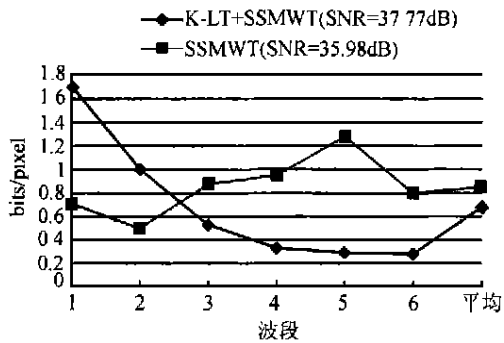


图 4 SSMWT 方法与 KLT+SSMWT 方法比较

Fig. 4 Comparison of SSMWT and KLT+SSMWT

从图 4 中可以看出,先进行 K-L 变换再进行共享有效图的小波变换编码可以进一步提高压缩效率。

4 结 论

在分析多光谱图像小波变换后系数特点的基础上,提出了一种共享有效图的小波变换有损压缩方法(SSMWT)。该方法将小波变换压缩技术中的零树

编码推广到多光谱图像压缩中,利用多光谱图像的结构相关性,对多幅小波图像只需构造一幅有效图,同时去除空间冗余和谱间结构冗余,并与 K-L 变换相结合,进一步去除谱间统计冗余,实验表明了该方法的有效性。研究多光谱图像的压缩技术具有很大的实用意义。本文在这一领域做了一些初步研究,其应用前景值得我们去进行更深入的研究和开发出实用产品。

参考文献 (References)

- [1] J. A. Saghi, A. G. Tescher. Near-lossless Bandwidth Compression for Radiometric Data. *Optical Engineering*, 1991, **30**(7): 934-939.
- [2] J. A. Saghi, A. G. Tescher, J. T. Reagan. Practical Transform Coding of Multispectral Imagery. *IEEE Processing Magazine*, 1995, **12**(1): 32-43.
- [3] G. Hong, G. Hall, J. Errell. Discrete Cosine Transform Data Compression Application Applied to Satellite Sensor Image. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, **16**(5): 835-850.
- [4] R. N. Hoffman, D. W. Johnson. Application of EOF's to Multispectral Imagery Data Compression and Noise Detection for AVIRIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1994, **32**(1): 25-34.
- [5] J. M. Shapiro. Embedded Image Coding Using Zerotrees of Wavelet Coefficients. *IEEE Trans. On SP.*, 1993, **41**(12): 3445-3461.
- [6] Shen Jian Dong. Application of WT in the Compression and Quality Evaluation of Image [D]. Master dissertation, University of Science and Technology of China, 1995. [沈建东, 小波变换在图像压缩和图像质量评估中的应用[D]. 中国科学技术大学, 1995.]
- [7] Zhang Rong, Yan Qing, Liu Zhengkai. A Prediction Tree-based Lossless Compression Technique of Multispectral Image Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, **2**(3): 171-175. [张荣, 阎青, 刘政凯. 一种基于预测树的多光谱遥感图像无损压缩方法[J]. 遥感学报, 1998, **2**(3): 171-175.]

Wavelet-based Compression for Multispectral Imagery

ZHANG Rong, LIU Zheng-kai, ZAN Shu

(Dept. of Elec. Eng. & Info. Sci., Univ. of Sci. & Tech. of China, Hefei 230027, China)

Abstract: For the multispectral image (MSI) data, there are two types of redundancy: spatial redundancy and spectral redundancy. In this paper, we classified the spectral redundancy into two categories: spectral statistical redundancy and spectral structural redundancy. The former is based on the spectral resolution. The higher spectral resolution the more redundancy. The latter is caused by the same imaging objects of all bands images, it is essentially based on the arrangement of earth objects. Essentially, the two types of redundancy are different. Here, we proposed a lossy compression technique based on wavelet transformation: Share Significance Map Wavelet Transform (SSMWT). With this technique, zerotree coding was used in compression of MSI, and we only need to create one significance map for all bands of images in MSI, is the light of structure correlation between all bands of images after WT, and then to remove spatial correlation and spectral structure correlation. Combined with K-L transformation, the spectral statistic correlation of MSI can be removed. The experiments have shown the efficiency of this technique.

Key words: wavelet transform; lossy compression; share significance map