

一种多光谱遥感图象的近无损压缩方法

张荣 刘政凯

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系,合肥 230037)

摘要 近无损压缩是在无损压缩和有损压缩之间的一种折衷。多光谱遥感图象的近无损压缩通常用 K-L 变换去除谱间冗余,用数字余弦变换(DCT)去除空间冗余来实现。本文分析了多光谱遥感图象空间冗余和谱间冗余的特点,提出用 K-L 变换和预测树方法去除两类冗余。该方法更好地去除了谱间冗余,取得了较好的实验结果。

关键词 K-L 变换,数字余弦变换,预测树,近无损压缩

1 引言

随着遥感技术的不断发展,由各种传感器获得的图象数据急剧增长,为了有效地传输和存储巨大的遥感图象数据,必须研究符合遥感应用的压缩技术。目前,遥感图象压缩方法大致分3类:无损压缩,有损压缩和近无损压缩。无损压缩方法^[1~4]可以精确地保留所有信息,但其压缩比很低(一般不超过 $2:1$ ^[1])。有损压缩方法^[5~8],可以提供较高的压缩比(一般为 $40:1$ ^[1]),但压缩过程中会丢失一些信息,对于遥感应用来说,这些信息很可能是重要的。近无损压缩^[9,10]是两者之间的一个折衷,与无损压缩相比,它的压缩比可达 $5:1$ ^[10];与有损压缩相比,它以最大误差(Maxerror)取代均方差(rms)作为衡量丢失信息的尺度,在一定的最大误差限制下,进行压缩,使恢复的图象与原始图象基本相同,减少对遥感应用的影响。图象之所以可以压缩是因为其本身

存在冗余,多光谱遥感图象存在两类冗余,用数字余弦变换(DCT)去除空间冗余,采用 K-L 变换去除谱间统计冗余,预测树方法去除空间冗余和谱间结构冗余,实现近无损压缩。由于更好的去除了谱间冗余,在压缩比相同的情况下,其最大误差,均方差,信噪比等指标都优于基于 K-LT 和 DCT 的近无损压缩方法。

2 多光谱遥感图象中的冗余

多光谱遥感图象是一定地域在不同光谱段的成像,它可用三维数组($L \times W \times N$)表示,其中 $L \times M$ 为图象的空间尺寸, N 为图象集的波段数。每一波段的图象本身存在空间冗余,即每一点域其邻域点很可能是相似的。不同波段图象之间存在谱间冗余,我们认为,谱间冗余表现在两个方面:一方面是统计冗余,即各波段图象的灰度分布是相关的(见图1),这

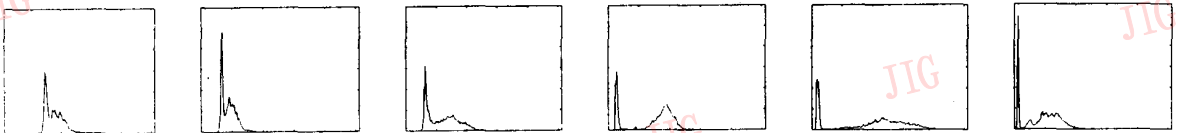


图1 原始图象的灰度分布

一方面冗余可以用 K-L 变换去除(见下页图2);另一方面是结构冗余,由球同波段的成像对象是同一地物,

具有相同的物理结构,虽然同一空间位置不同波段的象素值相差很大,但与其邻域的关系却是很相似的,我们把这种相似性称为结构冗余。在以前的文献中,没有具体区分这两种冗余,各种压缩方法在去相关时往往只偏重其中一种,如文献[6][10][11]中的K-L变换方法去除的是谱间统计冗余,而文献[1]

中的预测树方法和文献[3]中基于分类的方法去除的是谱间结构冗余。

因此,在本文中我们采用K-L变换去除谱间统计冗余,采用预测树方法去除空间冗余和谱间结构冗余,然后对残差图象进行算术编码,实现多光谱遥感图象的近无损压缩。

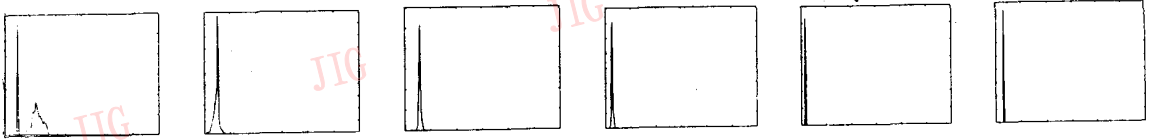


图2 K-L变换后的灰度分布

3 基于K-L变换的去除谱间统计冗余

K-L变换(Karhunen-Loeve Transformation)是一种正交变换。对于图象尺寸为 $L \times M$,波段数为 N 的多光谱遥感图象数据,我们构造 $N \times N$ 的K-L变换矩阵进行变换。变换过程如下:用 $V(x, y)$ 表示波段矢量,其各元素是不同波段中空间位置为 (x, y) 的象素值,表示如下:

$$V(x, y) = [g_1, g_2, \dots, g_m, \dots, g_N]^T \quad (1)$$

其中, $x = 1, 2, \dots, L; y = 1, 2, \dots, M$,

g_m = 第 m 幅图象在 (x, y) 点的灰度值,

用 U_v 表示平均矢量,则方差矩阵为:

$$C_v = \frac{\sum_{x=1}^L \sum_{y=1}^M \{[V(x, y) - U_v][V(x, y) - U_v]^T\}}{L \cdot M} \quad (2)$$

$$\text{其中, } U_v = \frac{\sum_{x=1}^L \sum_{y=1}^M V(x, y)}{L \cdot M} \quad (3)$$

则变换矩阵 T 由 C_v 的特征矢量构成:

$$T = [t_1, t_2, \dots, t_N]^T \quad (4)$$

$$\text{变换公式为: } Z(x, y) = T \cdot V(x, y) \quad (5)$$

T 具有下列性质:

$$(1) T \cdot C_v \cdot T^{-1} = \begin{bmatrix} \lambda_1 00000 \\ 0\lambda_2 0000 \\ \dots\dots \\ 000000\lambda_N \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_N$, λ_i 为 C_v 的特征值。

(2) T 的逆等于 T 的转置,即 T^{-1} ,所以逆变换可以写成:

$$V(x, y) = T^T Z(x, y), \quad (7)$$

当K-L变换用于有损压缩时,只取前 m 个特征矢量构成逆变换矩阵,而令后 $N-m$ 个特征矢量为零,这样造成的均方误差为 $\lambda_m + \lambda_{m+1} + \dots + \lambda_N$,当用所有的特征矢量构成逆变换矩阵时,不存在误差,可以实现无损压缩。K-L变换的实质是进行坐标变换,将方差在坐标轴上的分布重新排列,使在原坐标系中均匀分布的方差在变换后的坐标系中变为非均匀分布,有利于编码,从而实现压缩。K-L变换后的 N 幅图象统计上互不相关,因此K-L变换是利用图象数据的统计特性实现去谱间相关,而与图象中象素的空间分布没有关系。

4 基于预测树的去空间冗余和谱间结构冗余

由于多光谱遥感图象本身的特点,K-L变换后的图象(见图5)仍存在空间冗余和谱间结构冗余。在文献[9][10]中,J. A. Saghri等人用离散余弦变换(DCT)去除空间冗余,而没有考虑去除谱间结构冗余。文献[1]中的预测方法可以很好地去除空间冗余和谱间结构冗余。

预测树方法是一种有效的多光谱遥感图象无损压缩方法,由N. D. Men和K. Sayood提出^[1],它的主要思想是把一幅图象看作一个加权图(Weighted Graph),每一象素为图中的一个顶点,四邻域象素之间的连线为图中的边,边的两端象素值之差为边的权值,然后,在这个加权图中找出一种生成树象素之间的连线为图中的边,边的两端象素值之差为边的权值,然后,在这个加权图中找出一种生成树(Spanning Tree),在传输和存储中,可以由生成树的边及其权值准确地恢复原始图象。由于边的权值

是领域像素之间的差值,有效地去除了空间相关性,从而可以实现压缩。

由一个生成树可以确定一种预测模型,生成树的边表示预测方式,边的权值为预测误差,这种预测模型称为预测树模型。预测树方法虽然可以降低预测误差,但它必须在传输和存储时把预测树的形状作为附加信息一起输和存储,对于单幅图象,造成的开销与其提高的压缩效率相抵消,以四邻域的预测树为例,传输预测树的开销约为 2bits/pixel,而其提高的压缩效率往往不到 2 bits/pixel,所以这种方法对单幅图象是不适宜的。但对于多光谱的遥感图象,预测树方法却有很好的作用。多光谱遥感图象是同一地域在不同波段的成象,因此成象对象具有相同的物理结构,虽然相邻波段同一位置的像素值相差很大,但像素与其空间邻域的关系在相邻波段中却是很相似的。而预测树抓住了这种关系,相邻波段的预测树是相似的,因此可以用一种预测树代替,消除或减少了预测树带来的开销。预测树方法可以很好地去除空间冗余和谱间结构冗余。预测树图例如下:

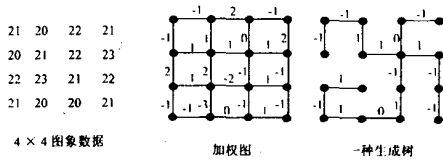


图 3 四邻域预测树

预测树方法的关键在于构造一个最短生成树。在图中,这一问题可以用 Kruskal 算法解决^[12]。

5 实验及结果

实验数据取自 1991 年 6 月 24 日里斯本泰吉河流域的 SPOT 遥感图象,尺寸位 256 × 256,共 6 个波段,像素灰度级为 256(8bits),图 4 为其中的第 1,

3,5 波段的图象。图 5 为 K-L 变换后的图象中的 3 幅(量化范围 0~255),可以看出,变换后的图象仍存在空间冗余和谱间结构冗余。



图 4 原始图象



图 5 K-L 变换后的图象

我们对 K-L 变换后的图象用预测树方法进行预测,得到残差图象,再进行算术编码。在不同量化误差下,各波段的比特率如下:

表 1 各种最大误差下的比特率(bits/pixel)

	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	波段 5	波段 6	平均
最大误差为 1	2.95	2.36	2.06	1.52	1.37	0.98	1.87
最大误差为 2	2.30	1.70	1.40	0.96	0.83	0.54	1.29
最大误差为 4	1.56	1.12	0.87	0.54	0.46	0.30	0.83

与 KLT-DCT 方法相比,由于 DCT 仅去除了图象的空间冗余,而预测树方法在去除空间冗余的同时,还去除了谱间结构冗余,因此有更好的压缩效果。表 2 为压缩比相同时(6.67 : 1),两种方法各项指标的比较。

表 2 压缩比相同时两种方法的比较

	error < 1	error < 3	error < 5	error ≥ 5	Maxerror	SNR	rms
K-LT 与 DCT 方法	31.76%	59.69%	7.57%	0.98%	9	92.87	0.005 9
K-LT 与预测树方法	30.69%	67.27%	2.03%	0.00%	4	98.84	0.004 7

其中 Maxerror 为最大误差,rms 为均方差:

$$rms = \sum_{k=1}^N \sqrt{\frac{1}{L \times M} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^M [p(i, j) - \hat{p}(i, j)]^2}$$

SNR 为信噪比:

$$SNR = \sum_{k=1}^N 10 \log(255 * 255 / rms^2)$$

6 结论

本文对多光谱遥感图象的近无损压缩进行了研究,分析了多光谱图象的特点,对其谱间冗余提出了更细致的分类:分为统计冗余和结构冗余,从这一分类角度出发,采用 K-L 变换去除谱间统计冗余,采用预测树方法去除空间冗余和谱间结构冗余。实验结果表明,这一方法与 K-L 变换加 DCT 方法相比,在减少最大误差和提高信噪比两方面都有明显改善。

参考文献

- 1 Memon N D, Sayood K, Nagliras S S. Lossless Compression of Multispectral Image Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1994, 32(2): 282~289.
- 2 Wang J F, Zhang K, Tang S. Spectral and Spatial Decorrelation of Landsat-TM Data for Lossless Compression. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1995, 33(5): 1277~1285.
- 3 Roger R E, Arnold F. Reversible Image Compression Bounded By Noise. *IEEE Trans. Geodesic. Remote Sensing*, 1994, 32(1): 19~24.
- 4 Arnavut Z, Narumalani S. Application of Permutation to Lossless Compression of Multispectral Thematic Mapper Image. *Optical Engineering*. 1996, 35(12): 3342~3448.
- 5 Hoffman R N, Johnson D W. Application of EOF's to Multispectral Imagery Data Compression and Noise Detection for AVIRIS. *IEEE Trans. Geosci Remote Sensing*, 1994, 35(1): 25~34.
- 6 Hong G, Hall G, Errel J. Discrete Cosine Transform Data Compression Application Applied to Satellite Sensor Image. *International Journal of Remote Sensing*. 1995, 16(5): 835~850.
- 7 Abousleman G P, Marcellin M W, Hunt B R. Compression of Hyperspectral Imagery Using the 3-D DCT and Hybrid DCPM/DCT. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1995, 33(1): 26~33.
- 8 钱神恩, 李桂菊, 刘伟奇. 基于轮廓纹理分解的三维谱象数据压缩. *环境遥感*, 1996, 11(1): 14~19.
- 9 Saghri J A, Tescher A G. Near-lossless Bandwidth Compression for Radiometric Data. *Optical Engineering*, 1991, 30(7): 934~939.
- 10 Saghri J A, Tescher A G, Reagan J T. Practical Transform Coding of Multispectral Imagery. *IEEE processing Magazine*, 1995, 12(1): 32~43.
- 11 戴一奇, 胡冠章, 陈卫. 图论与代数结构, 北京: 清华大学出版社, 1995.



张荣 1995年7月毕业于合肥工业大学计算机与信息科学系,获信号与信息处理专业硕士学位,同年考入中国科学技术大学电子工程与信息科学系读博士学位,从事遥感图象处理研究。



刘政凯 男, 1940年8月生, 1964年毕业于中国科学技术大学, 现为中国科学技术大学教授, 博士生导师。主要从事遥感图象处理, 人工神经网络及模式识别方面研究, 已发表论文60篇, 出版专著6本。

A Near-lossless Compression Technique of Multispectral Image Data

Zhang Rong, Liu Zhengkai

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

Abstract Near-lossless compression is a trade-off between lossy compression and lossless compression. Usually, K-L transformation is used for spectral decorrelation, and DC-transformation is used for spatial decorrelation, when multispectral images were near-lossless compressed. In this paper, we analyzed the correlation of multispectral images, classified the spectral correlation as statistical correlation and structural correlation. Then we proposed a new technique: K-L transformation was used for statistical spectral decorrelation, and prediction tree technique was used for structural spectral decorrelation and spatial decorrelation. This technique removed spectral correlation effectively and gave a better experimental result than K-L T and DCT.

Keywords K-L transformation, DCT, Prediction tree, Near-lossless compression