

一种基于预测树的多光谱遥感图像无损压缩方法

张 荣 阎 青 刘政凯

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系 合肥 230027)

摘 要 最小绝对权值(MAW)预测树方法是一种有效的多光谱遥感图像无损压缩方法,但其中构造预测树的算法复杂,实现困难。本文对预测树方法进行改进,提出一种侧邻域最小绝对权值(SNMAW)预测树方法,通过改变预测树的四邻域定义,使构造预测树的算法简化,并且,实验结果表明,对不同类型的多光谱遥感图像,SNMAW的压缩效果与MAW的压缩效果相近或有所改善。

关键词 无损压缩,预测树,算术编码

1 引 言

随着遥感技术的迅速发展,有效传输和存储巨大的遥感图像数据成为当务之急,图像压缩技术是解决这个问题的必要手段。由于在很多遥感应用中,要求遥感图像保持原始信息,因此,需要采用无损压缩技术^[1]。图像的无损压缩过程通常分两步。第1步为去相关(Decorrelation),即去除图像冗余,获取残差图像。第2步为编码(Coding),即对残差图像进行熵编码。常用的熵编码算法有 Huffman 编码和算术编码。去相关在无损压缩中具有至关重要的作用。去相关越成功,残差图像越接近无记忆信源。去相关后的残差图像概率分布很好地吻合 Laplasian 分布^[2],其零阶熵低于原图的零阶熵,根据 Shannon 编码定理,无记忆信源的零阶熵是平均码长的下限,因此,只有研究有效的去相关算法,降低残差图像的零阶熵,才可能减少平均码长,提高压缩比。由于残差图像的灰度分布符合 Laplasian 分布,它正比于 $\log\sqrt{\sigma}$, σ 是其方差,因此,去相关的目标可以看作使残差图像的绝对值尽可能小。多光谱遥感图像数据有其自身的特点,存在两类相关性:空间相关性和谱间相关性。近年来,出现了一些去除这两类相关性的无损压缩方法^[2-6],其中 N.D.Memon 等人提出了一种最小绝对权值(MAW)预测树方法^[2]。该方法利用多光谱图像的成像特点,可以同时去除空间相关性和谱间相关性,是一种有效的多光谱遥感图像无损压缩方法。但在生成预测树时要保证树的无环

性,使预测树的生成算法复杂,实现困难。本文提出一种改进方法——侧邻域最小绝对权值预测树方法(SNMAW),该方法通过改变预测树的四邻域定义,保证了预测树的无环性,使预测树的生成算法简化,有效地提高了预测树方法的可行性,实验表明,该方法使压缩效果与原方法的压缩效果相近或有所改善。

2 MAW 预测树方法的原理

MAW 预测树方法的理论基础是图论,它的主要思想是把一幅图像看作一个加权图(Weighted Graph),每一像素为图中的一个顶点,四邻域像素之间的连线为图中的边,边的两端像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像。由于边的权值是邻域像素之间的差值,有效地去除了空间相关性,从而可以实现压缩。举例如下:

图 1 中, (a) 为 4×4 图像的像素值, (b) 为其加权图, 由 (b) 可以得到很多种生成树, (c), (d) 是其中的两种。在预测树中, 每一个顶点由其相连的邻域点预测。如 (2, 4) 点的值为 23, 在 (c) 中, 它由 (1, 4) 点预测, 预测误差为 2, 在 (d) 中, 它由 (2, 3) 点预测, 预测误差为 1。可见, 对于某一点, 不同方向的边表示不同的预测方式, 产生不同的预测误差; 对于一幅图像, 由一个生成树可以确定一种预测模型。生成树中每条边的方向表示某一点的预测方式, 边的权

收稿日期: 1997-10-27; 收到修改稿日期: 1998-01-08

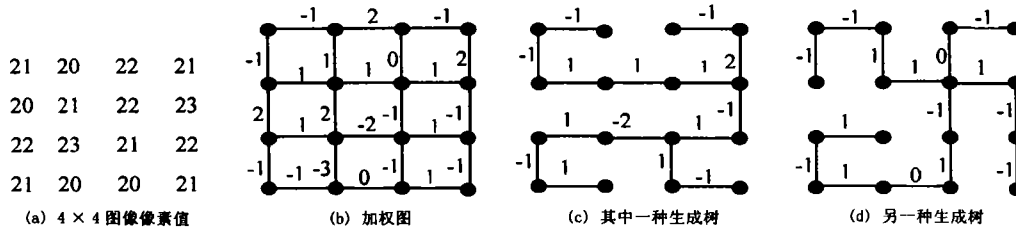


图1 生成树图例
Fig.1 Example for spanning trees

值为预测误差,这种预测模型称为预测树模型。预测树方法比 JPEG 无损压缩标准中的 DPCM 方法优越,因为在压缩一幅图像时预测树方法可以同时选择 4 种预测方式,即当前点可以在其四个邻域点中选择一个最相近的顶点预测,而 DPCM 方法虽然有 8 种预测方式^[7],但对于确定的图像只能选择一种预测方式,因此预测树方法能得到更小的预测误差。不过,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传输和存储,对于单幅图像,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,传输预测树的开销为 2bit/pixel,而其提高的压缩效率往往不到 2bit/pixel,所以这种方法对单幅图像是不适宜的。但对于多光谱的遥感图像,预测树方法却有很好的作用。多光谱遥感图像是同一地域在不同波段的成像,因此成像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,是一种可行的无损压缩方法。预测树的具体传输方法有两种:前向自适应方法和后向自适应方法。

后向自适应方法 第 1 幅图像以常规的无损压缩方法进行传输,发方和收方都由第 1 幅图像生成第 1 棵预测树的形状,然后,发方用第 1 棵预测树预测第 2 幅图像,只对残差图像进行熵编码和发送。收方用第 1 棵预测树和接收的残差图像恢复第 2 幅图像,双方再由第 2 幅图像生成第 2 棵预测树,以此类推,直到最后一幅图像。这种方法无需传输预测树的形状,每一幅图像的恢复由它前一幅图像的预测树和当前幅的残差图像完成,因此无需传输附加信息。

前向自适应方法 对所有波段图像计算一个最优预测树,传输它的形状和各图像由此预测树产生

的残差图像,这样对于波段数为 B 的遥感图像只需传输一棵预测树,由预测树带来的开销被 B 幅图像分担了,为 $(2/B)$ bit/pixel,当 B 很大时,开销可以忽略。

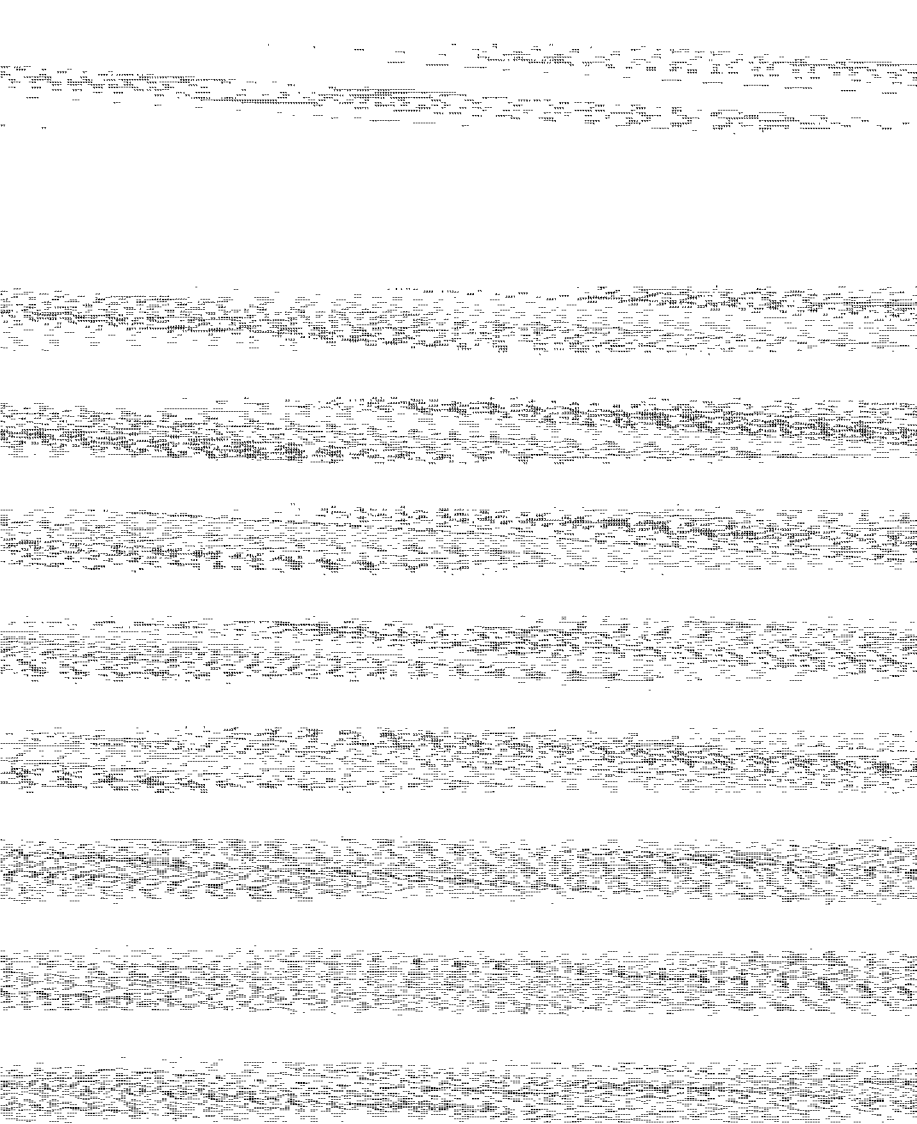
3 MAW 预测树的生成方法

MAW 预测树方法的关键在于构造一个最短生成树。在图论中,这一问题可以用 Kruskal 算法解决^[8],对于有 n 个顶点的图,该算法是不断往树 T 中加入当前的最短边 e ,如果此时构成回路,那么它一定是这个回路的最长边,删之;否则,加入 T ,直至达到 T 中有 $n \times n - 1$ 条边为止。这时 T 中不包含回路,因此是树。对于一幅 $N \times N$ 的图像, $n = N \times N$, 顶点之间只有邻域点之间存在边,共 $2N(N - 1)$ 条边。因此,构造最短四邻域生成树的问题可以描述为:在 $2N(N - 1)$ 条边中选取 $N \times N - 1$ 条边,构成树,并使生成树边的权值尽可能地小。实现 Kruskal 算法需要对 $2N(N - 1)$ 条边进行排序,并且每加入一条边都需作无环判定,计算量很大。

4 对 MAW 预测树方法的改进

MAW 预测树方法的实质是希望每一个点由与它灰度值最相近的邻域点(即最近邻域点)预测得到最小的预测误差。但是,由于每个点本身也是其四邻域点的四邻域点,如果两个顶点互为最近邻域点,在寻找最近邻域点时会形成环,而且,由于是非因果预测,多点之间也可能形成环。而要避免形成环,其中一个顶点就不能由其最近邻域点预测。这样,一方面是预测误差增大,即并不是每一个顶点都可以由其最相近的邻域点预测,另一方面是构造生成树的算法复杂。

本文提出一种改进方法,通过改变预测树的四邻域定义,保证了预测树的无环性,使预测树的生成



的尺寸均为 256×256 , 像素灰度级为 256 (8 bits)。

在实验中, 我们对每一幅图像分别构造 MAW 预测树和 SNMAW 预测树进行预测, 计算残差图像的零阶熵 ER (Entropies of Residual) 和构造预测树的时间 (T), 实验结果见表 1:

表 1 MAW 与 SNMAW 预测树方法的比较
Table 1 Comparison of MAW and SNMAW prediction tree

(a) 数据 1

波段	MAW 预测树方法		SNMAW 预测树方法	
	ER/bit/pixel	T/s	ER/bit/pixel	T/s
1	2.24	0.99	1.66	0.09
2	1.89	0.78	1.36	0.09
3	2.49	0.97	1.91	0.09
4	2.53	1.04	1.96	0.09
5	2.91	1.22	2.32	0.09
6	2.40	0.91	1.83	0.09
平均	2.41	0.99	1.84	0.09

(b) 数据 2

波段	MAW 预测树方法		SNMAW 预测树方法	
	ER/bit/pixel	T/s	ER/bit/pixel	T/s
1	4.29	1.05	3.88	0.09
2	4.25	1.03	3.86	0.09
3	4.32	1.06	3.92	0.09
4	4.60	1.21	4.20	0.09
5	4.08	0.98	3.64	0.09
6	4.05	0.90	3.64	0.09
平均	4.27	1.04	3.86	0.09

(c) 数据 3

波段	MAW 预测树方法		SNMAW 预测树方法	
	ER/bit/pixel	T/s	ER/bit/pixel	T/s
1	4.52	1.27	4.14	0.09
2	4.54	1.26	4.15	0.09
3	4.33	1.16	3.95	0.09
4	4.64	1.35	4.26	0.09
5	4.62	1.33	4.25	0.09
6	4.70	1.36	4.31	0.09
平均	4.56	1.29	4.18	0.09

由表 1 可见, 构造 SNMAW 预测树的时间远远小于构造 MAW 预测树的时间, 而由 SNMAW 预测树预测后的残差图像的零阶熵也比由 MAW 预测树预测的低。这是由于在构造 MAW 预测树时, 为了避免形成环, 有很多点不能由其最近四邻域点预测。在这 3 类图像中不能由最近四邻域点预测的比例分别为 29.28%, 58.25%, 61.14%。

在实际压缩中, 对 MAW 和 SNMAW 预测树分别采用前向自适应方法和后向自适应方法进行预

测, 并对于预测后的残差图像进行算术编码, 编码后各图像的 bit/pixel 见表 2。

表 2 各种无损压缩方法的 bit/pixel 比较
Table 2 Comparison of results of lossless compression methods in bits per pixel

(a) 数据 1

波段	原图	JPEG	MAW		SNMAW	
			前向自适应	后向自适应	前向自适应	后向自适应
1	5.74	3.39	2.52	----	2.12	----
2	5.19	2.96	2.11	2.07	1.70	1.74
3	6.24	3.71	2.75	2.79	1.91	2.45
4	6.04	3.71	2.87	2.91	2.62	2.62
5	6.48	4.20	2.91	3.33	2.93	3.04
6	6.02	3.58	2.56	2.56	2.32	2.24
平均	6.04	3.59	2.62	2.73	2.27	2.42

(b) 数据 2

波段	原图	JPEG	MAW		SNMAW	
			前向自适应	后向自适应	前向自适应	后向自适应
1	6.00	5.30	4.77	----	4.70	----
2	5.97	5.29	4.55	4.67	3.86	4.66
3	6.04	5.35	4.32	4.62	4.53	4.53
4	5.86	5.67	5.35	5.35	5.45	5.45
5	5.51	5.16	4.99	4.97	5.08	5.06
6	5.59	5.07	4.89	4.54	4.99	4.55
平均	5.83	5.31	4.81	4.83	4.77	4.85

(c) 数据 3

波段	原图	JPEG	MAW		SNMAW	
			前向自适应	后向自适应	前向自适应	后向自适应
5	6.90	5.17	4.52	----	4.14	----
6	7.00	5.19	4.90	4.90	4.88	4.88
7	6.66	4.97	4.47	4.73	4.27	4.72
8	6.93	5.27	4.96	4.89	4.91	4.95
9	6.96	5.26	5.43	5.46	5.60	5.67
10	7.03	5.34	5.47	4.94	5.62	4.84
平均	6.91	5.20	4.96	5.00	4.90	5.01

表 2 中, 前向自适应技术无附加信息, 后向自适应技术的附加信息为 2 bit/pixel, 而波段数为 6, 所以平均每个波段的附加信息为 $2 \text{ bit/pixel} \div 6 = 0.33 \text{ bit/pixel}$, 波段数越大, 平均附加信息越小。

从表 2 中可以看出, 预测树方法比 JPEG 静态无损压缩标准方法具有更好的压缩效果, 而 SNMAW 预测树方法一方面比 MAW 预测树方法简单易行; 另一方面, 也具有与 MAW 预测树方法相近或更好的压缩效果, 因此是一种可取的无损压缩方法。

SNMAW 预测树方法的算法简单, 实现时间短, 对于 3Mbit 的实验数据作后向自适应传输的总时间为 3.0s, 码速率可以达到 1Mbit/s, 作前向自适应传

输的总时间为 3.4s, 码速率可以达到 903kbit/s。

6 结 论

本文对多光谱遥感图像无损压缩中最小绝对权值(MAW)预测树方法进行了研究,提出一种改进方法:侧邻域最小绝对权值(SNMAW)预测树方法。该方法通过改变预测树的四邻域定义,一方面使预测树的生成算法简化,实现时间短;另一方面压缩效果与原方法相比相近或有所改善,是一种可取的实用方法。

参 考 文 献

- 1 K. Sayood. Data compression in remote sensing application. *IEEE Geosci. Remote Sensing Newsletter*, 1992, **84**:7—15.
- 2 N. D. Memon, K. Sayood, S. S. Nagliras. Lossless Compression of Multispectral Image Data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1994, **32**(2):282—289.
- 3 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.

- 4 J. E. Wang, K. Zhang, S. Tang. Spectral and Spatial Decorrelation of Landsat-TM Data for Lossless Compression. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1995, **33**(5):1277—1285.
- 5 张 荣, 刘政凯, 李厚强. 基于分类的多波段遥感图像无损压缩方法. *中国图象图形学报*, 1998, **3**(2):106—110.
- 6 R. E. Roger, John F. Arnold. Reversible Image Compression Bounded by Noise. *IEEE Trans. Geodesic. Remote Sensing*, 1994, **32**(1):19—24.
- 7 钟玉琢, 李树青, 林福宗等. 多媒体计算机技术. 北京:清华大学出版社, 1994.
- 8 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.

作 者 简 介

张 荣, 女, 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, 从事遥感图像处理研究。

A Prediction Tree-based Lossless Compression Technique of Multispectral Image Data

Zhang Rong Yan Qing Liu Zhengkai

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

Abstract Minimum Absolute Weight (MAW) prediction tree technique is one of the efficient lossless compression techniques for multispectral image data, but its algorithm is complex. In this paper we proposed an improved method which changes the definition of the 4-neighborhood model. we call it side neighborhood minimum absolute weight (SNMAW) prediction tree technique. It can simplify the algorithm and improve the results of lossless compression.

Key words Lossless compression, Prediction tree, Arithmetic coding