

基于改进 SPIHT 的多波段遥感图像无损编码

倪 林

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系,合肥 230026)

摘 要: 首先利用基于地物反射特性的方法去除谱间相关性,再对残差图像采用 S+P 变换去除空间相关性,然后,利用改进的分级树的集合划分(SPIHT)方法,实现遥感图像的高效无损编码,实验表明本方法能取得满意的结果,显示了本方法在多波段遥感图像压缩中的潜力。

关键词: 遥感图像压缩; S+P 变换; 改进的分级树的集合划分(SPIHT); 无损压缩

中图分类号: TN919.81 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)05-0704-04

Lossless Compression of Multispectral Remote Sensing Images Based on Improved SPIHT

NI Lin

(Department of Electronic Engineering and Information Science, USTC, Hefei 230026, China)

Abstract: First, the decorrelation method based on the object reflection properties of the same object was used to reduce the spectral correlation. The S+P transform was then applied to the difference image to realize spatial decorrelation. Finally, the improved SPIHT was used to realize high-performance lossless encoding. Experimental results showed obvious effects and also its potential in remote sensing image compression.

Key words: remote sensing image compression; S+P transform; improved SPIHT; lossless image compression

1 引言

对多波段遥感图像压缩方法的研究是近几年才出现的^[1],其压缩比都很小,对 224 波段的 AVIRIS 数据的无损压缩比只有 1.33 至 1.5:1^[2,3],对 7 波段的 TM 数据的无损压缩比为 1.7 至 2.4:1^[4];Hoffman^[2]等人用 K-L 变换压缩 AVIRIS 数据,使最大压缩比达到 1.5:1;Memen^[3]等人提出预测树的方法,力求减小残差数据方差,但预测树要在最小均方误差意义下求得,且该方法是非因果的;Wang^[4]等人用最优线性预测器去除空间和谱间相关,由于最优线性预测器要在最小均方误差意义下求得,因此要涉及大量数据的运算,最大压缩比也只达到 2.4:1.可见,压缩比不高是目前多波段遥感图像压缩中普遍存在的问题,要解决这一问题就必须寻找更好的压缩方法。

传统的多波段遥感图像的无损压缩方法主要包括两个步骤,去除图像数据的相关性和对去相关结果进行编码.本文采用基于地域反射特性的方法去除谱间相关性,而采用小波变换的塔式分解去除空间相关性.采用小波变换一方面能去除图像数据间的相关性,另一方面它提供的多分辨率塔(Pyramid)式分解方式,有利于实现高效的量化和编码环节,因而能取得很好的压缩效果^[5~8].小波变换(或 S+P 变换)虽然去除了图像数据间的相关性,但各个分量中的变换系数的幅值仍能反映出原始图像内容的结构,如图 1 所示,图中数据取自

1991 年 6 月 24 日里斯本泰吉河流域的 SPOT 遥感图像,尺寸为 256 × 256,共 6 个波段,像素灰度级为 256(8bits),图 1 说明同一方向的分量中,对应原始图像同一区域的各个尺度下的系数幅值间还存在着相关性,相关系数一般在 0.2 到 0.6 之间,大多在 0.35 左右^[7].为了去除这种相关性,在 A. Said^[8]的分级树的集合划分(SPIHT)方法基础上,进行相应的改进,使不同的预测残差图像共享执行路径(Sharing Execution Path),从而显著减少数据量,提高压缩比。

我们结合基于地物反射特性的谱间去相关方法、S+P 变换和改进的 SPIHT 方法,对多谱段遥感图像进行无损压缩,取得了令人满意的结果。

2 基于地物反射特性的谱间去相关

通过对多波段遥感图像进行分类,对每类波段向量构造谱间预测器,进行谱间去相关,具体方法参见文献[10].在进行分类时,分别对 8、16、32、64 类的谱间预测结果进行比较,发现随着分类数的增加,并未给谱间去相关带来更大的收益,因此,为了节省额外的存储预测器系数的空间和方便对分类图的编码,我们在实验中只选用了 8 类,也即对于 6 波段图像数据,最多需要 0.5bpp 存储分类图,且只需存储 40 个预测系数.实验表明,除去分类图的 0.5bpp 的开销,本文的谱间去相关方法能取得近 1.3bpp 的收益,去相关效果相当明显。

3 残差图像编码

3.1 S+P 变换

虽然正交小波变换能有效地去除图像数据的空间相关性,但一般的小波变换往往将字符(CHAR)型的图像数据变换为浮点(FLOAT)型数据,在编码中引入量化失真,这不利于图像数据的无失真压缩。为此,人们用提升(Lifting)的方法实现整数小波变换^[10]以去除空间相关性。应用整数小波变换同样要选择合适的小波,选择的准则主要考虑去相关效果和运算量这两个因素。这里用加权熵来定量描述去相关效果,加权熵定义为

$$H_w = \frac{1}{4} (H(C_1) + H(D_{1,v}) + H(D_{1,h}) + H(D_{1,d}))$$

其中 C_1 是一级整数小波变换的低通分量, $D_{1,v}$ 、 $D_{1,h}$ 和 $D_{1,d}$ 分别是一级整数小波变换的垂直、水平和对角高通分量,表 1 是几种常用小波滤波器对图 1 的 6 波段数据分解的加权熵。

表 1 整数小波变换的加权熵

| 滤波器 \ 波段 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 平均 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| Harr | 5.04 | 4.28 | 5.22 | 5.39 | 5.98 | 5.17 | 5.18 |
| D4 | 4.96 | 4.04 | 5.18 | 5.10 | 5.74 | 5.08 | 5.02 |
| 9-7 | 4.65 | 4.00 | 5.12 | 4.79 | 5.68 | 4.96 | 4.87 |
| S+P | 4.23 | 3.79 | 4.98 | 4.62 | 5.72 | 4.87 | 4.70 |

由表 1 可见, S+P^[11]变换的去相关效果最好。此外,从运算量上来看,整数小波变换的运算量和滤波器长度成正比^[10],而 S+P 变换中的 S 变换^[12]的运算量等于 Harr 变换的运算量,只是和 Harr 变换相比,多了一个预测环节,可见, S+P 变换的运算量也较小。考虑上述因素,用 S+P 变换去除残差图像的空间相关性。

3.2 改进的 SPIHT 算法

和 EZW 相比, SPIHT 的一个明显的改进就是直接对变换系数的幅值进行比特平面编码,而不需要连续逼近量化(SAQ),可见,提高 SPIHT 编码效率的关键就是如何有效地对有限(对于残差图像一般不多于 8 个比特平面)的比特平面进



图 1 遥感图像的小波变换,显示不同尺度下小波变换系数幅值间的相关性

行编码。SPIHT 的另一显著特点就是没有采用 EZW 的有效图(Significance Map)记录有效系数的位置,而是利用集合划分的判决信息构成算法的执行路径,在恢复过程中,按照算法的执行顺序,自动地在变换系数阵列的各个位置恢复相应的系数。虽然 SPIHT 算法没有采用有效图,但通过对算法过程的分析可以看出, SPIHT 实际上用算法的动态执行过程记录有效图,并同时实现了对有效图的压缩,也就是说,有效图隐含在算法的执行过程中。而记录系数符号位和最高有效位的信息则嵌入在记录有效图的码流中。

可见, SPIHT 的压缩域数据包括两部分,一部分是包含执行路径的信息位,也即包含压缩后的有效图的信息,另一部分是有效系数的符号位和当前的有效系数最高位。对于本文的实验数据,在由 SPIHT 算法得到的压缩数据中,执行路径的判决信息约占压缩数据总量的 40%,可见,若能充分利用多波段遥感图像的特点,设法减少判决信息的数据量,就可以明显地提高压缩比,本文以此为出发点,对 SPIHT 算法提出相应的改进。

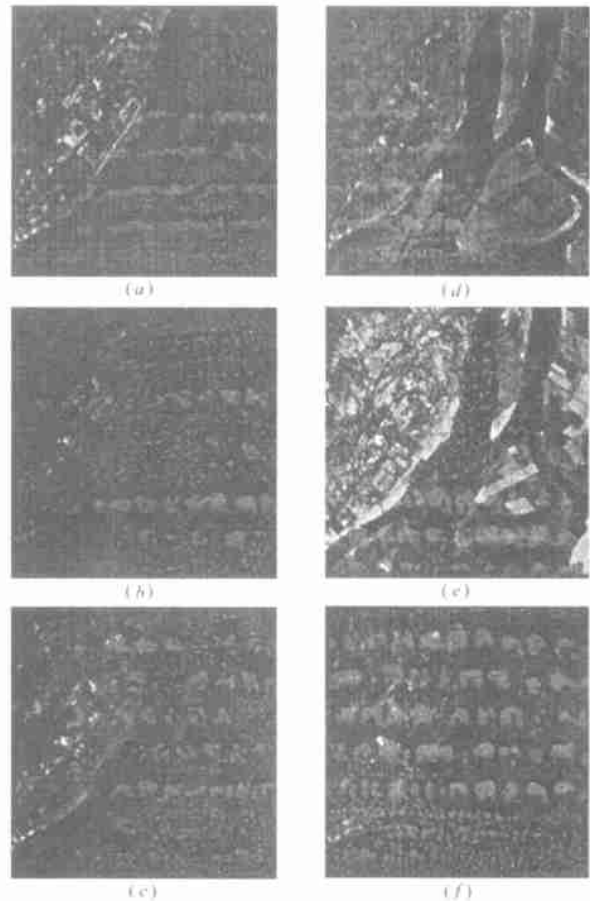


图 2 第 1 波段(a)和 2~5 波段(b)~(f)残差图像(8bit 量化)

图 2 为谱间预测残差图像,其中可见明显相同的结构边缘(为取得好的视觉效果,对残差图像进行了 8 比特的重新量化),而图像经过塔式分解后的各高频子带的系数呈零均值分布,系数的能量主要来自原始图像对应区域的边缘,如果原始图像具有相似的边缘,则在塔式分解后的各高频子带的系数

分布也相近,由此,可以推测,不同波段残差图像的塔式分解后的各高频子带的系数具有相似分布,这种相似分布就是残差图像谱间相关性的体现,通过在不同波段残差图像间共享执行路径来去除这种相关性。

如前所述,SPIHT的一个执行路径就对应着EZW中的一个有效图,编码中的有效图的数目就等于比特平面的数目.假设对每个残差图像采用SPIHT,若残差图像像素值在-255和+255之间,则每个残差图像最多隐含8个有效图(有效图可在算法执行过程中恢复).由于残差图像间存在结构相关性,则在不同残差图像的同一比特平面的有效图间存在较强的相关性,实验表明,有效图对应的比特平面越高,有效图的相关性越强.定义波段 k 和波段 l 的有效图相似度 $\rho_{kl} = N_{s_{kl}} / N_s$,其中 N 为一个比特平面中所有节点的数目, N_s 为两个有效图的相同节点的数目.表2为残差图像较高位的4个比特平面所对应的有效图的相似度.对应剩下几位比特平面有效图的相似度略有下降,但均在0.85以上,可见有效图间的相关性很强,具有较大的压缩潜力。

表2 有效图的相似度

| 比特平面 | 23 | 24 | 25 | 26 | 34 | 35 | 36 | 45 | 46 | 56 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 8 | 0.99 | 0.97 | 0.95 | 0.98 | 0.96 | 0.95 | 0.98 | 0.97 | 0.99 | 0.98 |
| 7 | 0.96 | 0.97 | 0.96 | 0.98 | 0.97 | 0.94 | 0.96 | 0.93 | 0.98 | 0.94 |
| 6 | 0.94 | 0.93 | 0.93 | 0.95 | 0.92 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.96 | 0.92 |
| 5 | 0.92 | 0.90 | 0.89 | 0.91 | 0.90 | 0.88 | 0.93 | 0.91 | 0.96 | 0.89 |

为了去除有效图间的相关性,在编码中使5个残差图像共用一组有效图,共用的有效图可以看作是同一比特平面的5幅有效图相“或”的结果.共用的有效图在SPIHT中对应一条执行路径,5幅图像共享同一条执行路径,也就是说,在实现共享执行路径的算法中,对5幅残差图像同时编码,只要其中有一个节点的判决信息为1,执行路径的判决信息即为非0,只有当5幅图像当前节点的判决信息均为0时,执行路径的判决信息才为0。

实现共享执行路径算法,还需要在排序过程和精炼过程作出相应的改进,在排序过程中,每当输出判决信息1和有效系数的符号时,实际上,就隐含着最高位为1的信息.若共享执行路径,虽然判决信息为1,但某波段的实际判决信息则可能为0,此时若输出1和有效系数的符号,则将非有效系数的最高位设定为1,而实际上应该为0.为了解决这一问题,将判决信息输出为1时的情况替换为31种符号,它们分别对应5波段图像所输出判决信息的不同排列组合,加上输出为0的情况,共有32种,因此,最多用5比特二进制码就可表示判决信息,只比原来的判决信息多出4比特.而实际上,由于执行路径对应的有效图具有很强的相关性,5比特判决信息为全0和全1的情况最多,因此可采用不等长的Huffman码表示相应的判决信息;此外,由于在排序过程中,可能将某些波段的非有效系数加进了有效像素列表(LSP)中,因此,在精炼过程中,还需要输出非有效系数的当前最高位,实际上,这些非有效系数,在精炼过程中,都被当作有效系数对待.可见,共享执行路径的收益为5条执行路径只需用一个执行路径代替,而所付出的代价为判决信息的比特数和精炼过程中的非有效系数的

比特数的增加。

4 实验结果

实验采用图1所示的图像数据,用前述谱间预测器,去除谱间相关,对第一波段图像直接采用S+P变换和SPIHT进行无损编码,而对其余5个波段的残差图像用S+P变换进行5级分解,然后,采用改进的SPIHT方法进行编码.压缩域数据主要包括分类图、共享执行路径的信息比特和各个波段的符号位和有效系数的当前最高比特流3部分(预测系数可忽略不计),对分类图采用Huffman编码,压缩数据量为23265Byte,后两部分的压缩数据如表3所示,加上分类图后,得到采用原始SPIHT时的平均压缩结果为3.18bpp,即2.51倍,采用改进的SPIHT的平均压缩结果为2.41bpp,压缩比为3.31。

表3 压缩域数据(Byte)的分布

| 波段 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 平均 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 原始 SPIHT | 10204 | 7732 | 8173 | 8596 | 9121 | 8342 | 8695 |
| 改进 SPIHT | 17512 | 10435 | 12476 | 13655 | 13784 | 12875 | 13458 |
| 原始 SPIHT | 11204 | 12764 | 12764 | 12764 | 12764 | 12764 | 2127 |
| 改进 SPIHT | 17512 | 10829 | 13057 | 13980 | 14002 | 13213 | 13766 |

将分类图和路径信息平均分配到各个波段后,可对原始SPIHT和改进的SPIHT的压缩结果进行比较,同时,用空域DPCM加Huffman

编码取代S+P变

5 结论

从多波段遥感图像的成像原理出发,利用地物反射特性,可以有效地去除谱间相关性;此外,利用S+P变换去除预测残差图像的空间相关性,并采用改进的分级树的集合划分(SPIHT)方法,通过共享执行路径,有效地去除谱间结构相关性,实验取得了令人满意的结果,值得注意的是本文的SPIHT改进方法可并行实现,显示了本文的方法在多波段遥感图像无损压缩中的实用价值。

参考文献:

- [1] K. Sayood. Data compression in remote sensing application [J]. IEEE Geosci. Remote Sensing Newsletter, 1992, 84: 7 - 15.
- [2] R. N. Hoffman and D. W. Johnson. Application of EOF's to multispectral imagery: data compression and noise detection for AVIRIS [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1994, 32(1): 25 - 34.
- [3] N. D. Memon, K. Sayood and S. S. Nagliras. Lossless compression of multispectral image data [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1994, 32(2): 282 - 289.
- [4] J. F. Wang, K. Zhang and S. Tang. Spectral and spatial decorrelation of Landsat-TM data for lossless compression [J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1995, 33(5): 1277 - 1285.

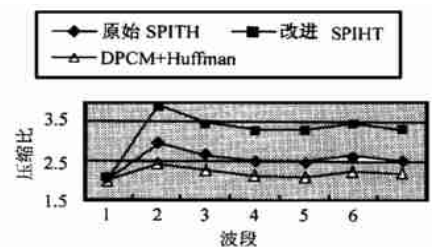


图3 实验得到的压缩比的比较

2001 年中国人工智能学会全国学术年会(CAAI'99) 征文通知

中国人工智能学会定于 2001 年 10 月 8~10 日在北京召开第九次全国学术年会。欢迎高等学校教师、科研院所和企业的科技人员以及博士生硕士生踊跃参加新世纪我国智能领域的第一次学术盛会。年会期间,将召开中国人工智能学会理事扩大会议,进行理事会换届和增补新理事。

本届学术年会的主题:智能与网络。征文领域包括:

一、基础理论研究:

智能的生理学基础

离散数学与逻辑学理论

二、基本技术研究

知识工程与知识理论

神经网络新模型与新算法

机器学习

三、应用技术研究

计算机视觉与模式识别

自然语言理解与机器翻译

知识发现与数据挖掘

智能 CAD 与智能 CAI

面向信息网络的智能应用

智能的认知学基础

智能研究的哲学与方法论

搜索理论与方法

网络智能、分布智能与群体智能

人工生命

智能机器人

海量数据的智能处理

智能控制、智能管理与智能自动化

可拓工程的理论与应用

面向各种应用的专家系统

征文截止日期:2001 年 8 月 10 日

欢迎以电子版(Word 7.0 以上)投稿。来稿请另纸写明论文题目、作者姓名、单位名称、通信地址、电话号码、e-mail 地址、论文所属领域。论文纸型为 A4,单面,不分栏,5 号字,激光打印,篇幅限为 4 页,最多不超过 6 页。

本届年会由北京邮电大学承办,北京科技大学、北京理工大学、首都师范大学、广东工业大学协办。论文请用 e-mail 寄给: yxzhong@ieee.org。如不能用电版,请将书面论文寄至:100876 北京邮电大学钟义信教授。

联系电话:(010)62282638,(010)62283163

- [5] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies. Image coding using wavelet transform [J]. IEEE Trans. Image Processing, April 1992, q:205 - 220.
- [6] R. A. Devore, B. Jawerth, and B. J. Lucier. Image compression through wavelet transform coding [J]. IEEE Trans. IT, Mar. 1992, 38:719 - 746.
- [7] J. M. Shapiro. Embedded image coding using zero trees of wavelets coefficients [J]. IEEE Trans. SP, Dec. 1993, 41:3445 - 3462.
- [8] A. Said and W. A. Pearlman. A new fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical tree [J]. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, June 1996, 6:243 - 250.
- [9] 倪林. 基于地物反射特性的多波段遥感图像近无损压缩方法 [J]. 遥感技术与应用, 1999, 14(4):53 - 58.
- [10] W. Sweldens. The lifting scheme: A custom design construction of biorthogonal wavelets [J]. Journal of App. and Comp. Harmonic Analysis, 1996, 3(2):186 - 200.

- [11] A. Said and W. A. Pearlman. An image multiresolution representation for lossless and lossy compression [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1996, 5(9):1303 - 1310.
- [12] S. Ranganath and H. Blume. Hierarchical image decomposition and filtering using the S-transform [J]. in Proc. SPIE: Med. Imaging II, 1988, 914:799 - 814.

作者简介:



倪 林 出生于 1967 年 7 月,副教授,1996 年获清华大学模式识别与智能控制专业博士学位,1996 年至今任教于中国科技大学电子工程与信息科学系,目前,感兴趣的研究领域有小波变换,图像压缩,模式识别,数据融合等,发表论文约 20 篇。