

# 基于3D-DPCM和变长编码的超光谱图像无损压缩

王 军

(中国航天科工集团第九总体设计部,湖北 武汉 430040)

**摘 要:**剖析了干涉成像光谱仪拍摄图像的空间和谱间相关性,提出一种三维DPCM无损压缩方案。首先做谱间DPCM预测,再应用帧内DPCM预测于残差图像,最后对差分码流实施变长编码。实验表明,该算法能完成无损压缩,平均压缩比为1.486,相比整数小波变换(二维)算法提高3.3%,且算法复杂度较低,仅有加、减法和移位运算,便于硬件实现。

**关键词:**超光谱图像;无损压缩;谱间DPCM;帧内DPCM;变长编码

**中图分类号:**TN919.81 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2013.12.22

## Research on hyper-spectral image lossless compressing technology based on 3D-DPCM and variable-length coding

WANG Jun

(The Ninth Institute, China Aero space Sci. & Industry Corp., Wuhan 430040, China)

**Abstract:** The spectral correlation and spatial correlation of images from interferential imaging spectrometer are analyzed and calculated. The 3D-DPCM lossless compression scheme is proposed. This scheme includes three aspects: Spectral DPCM is predicted, then residual images are predicted by using intra-DPCM, finally, variable-length coding is carried out for differential coefficient. The experimental data shows that the algorithm can carry out lossless compression, the average of compression ratio is up to 1.486. It is 3.3% higher than Integer Wavelet Transform of two dimensions. This algorithm only uses addition-subtraction and shifts to complete data compression. Implementation with hardware is easier.

**Key words:** hyper-spectral image; lossless-compressing; spectral DPCM; intra-DPCM; variable-length coding

### 1 引 言

超光谱图像是一种三维立体图像,它将一维光谱信息叠加在普通二维图像的基础上,其谱段数高达上百个,所以超光谱图像包含了巨大的数据量。其数据压缩较普通图像来讲略有不同,一是通常采用航空遥感或卫星遥感等手段获取图像信息,代价高昂,且信息本身也非常重要,所以要求采用失真度小的无损或近无损压缩方法;二是要求在地质资源调查等诸多领域实时传输图像,所以要求压缩系统速率高、硬件实现简便。

文献[1]描述了几种超光谱图像无损压缩算

法,3DSPIHT和3DEZW是两种基于小波变换的压缩算法。3DSPIHT算法首先采用K-L变换去除谱间相关性,再应用帧内小波变换生成三维分级树结构,最后对三维分级树结构应用SPIHT扫描编码;主要采用基于上下文的自适应无损压缩算法CALIC作为预测算法。与之相比对超光谱图像采用国际标准JPEG-LS和JPEG2000进行无损压缩,并比较上述几种算法的压缩比,平均在1.55~1.95之间<sup>[1]</sup>。但是,上述几种算法复杂度较高,硬

作者简介:王 军(1981-),男,工程师,硕士,主要研究方向为数字图像信号处理。E-mail:king090903@aliyun.com

收稿日期:2013-05-10;修订日期:2013-06-11

件实现较困难。

本文选取的研究对象为超光谱遥感图像,对压缩比大于1.5以上的无损压缩算法展开研究,同时争取减小算法复杂度,以使硬件实现简便。

## 2 超光谱图像相关性分析及无损压缩方案

成像光谱仪有滤光片型、声光调制型、色散型、等很多种类,由它们所成图像即是光谱图像,光谱分辨率高的称为超光谱图像。但干涉型光测量成像是干涉图像,需应用傅里叶变换才能得到光谱图像。在干涉型中又分为单纯时间调制和单纯空间调制等多种形式。本文研究的是一台实际的时空混合调制型干涉成像光谱仪,推扫获得“图谱合一”图像,其超光谱信息需从“图谱合一”图像序列(一组512帧)中恢复<sup>[2-3]</sup>。本文所指超光谱图像均指应用推扫获得的三维“图谱合一”图像,它包含空间相关性和谱间相关性两方面。

每个谱段内某一像素与其相邻像素之间的相似性称为超光谱图像的空间相关性。分析可得超光谱图像序列的行自相关系数最大0.9631、最小0.9627、平均0.9629,列自相关系数最大0.9614、最小0.9609、平均0.9611。由此可知,行列之间的相关性大致相同,不管是行自相关系数还是列自相关系数均在0.96以上,说明超光谱图像有较强的空间相关性。

各波段光谱图像在同一空间位置的像素相似性称为谱间相关性。这种相似性由以下两点原因导致:1)每个波段图像的像素值是相同地物区域对各波段光的反射强度值,相邻波段的地物反射率相近,由此产生一定相关性;2)不同波段图像涉及地物目标相同,因此具有相同的空间拓扑结构<sup>[4-6]</sup>。分析可得超光谱图像序列的谱间相关系数最大0.9713、最小0.9557、平均0.9686,说明超光谱图像亦具有较强的谱间相关性。表1为对超光谱图像序列1001~1008进行相关性计算所得相关系数值。表1是计算得到8序列超光谱图像相关系数值。

根据以上分析,以一组512帧的“图谱合一”序列图像作为对象展开研究,提出如下压缩算法:以超光谱图像序列前一帧作为后一帧的参考图像,第一步实施谱间预测,消除谱间存在的相关性;第二步对差分图像实施帧内预测,并对预测的差分码采用变长编码,消除空间存在的相关性。

图1是原理框图。

表1 8序列超光谱图像相关系数值  
Tab.1 Correlation coefficient of hyper-spectral image with eight sequences

Correlation coefficient	Row	Col	Spectral
Max	0.9631	0.9614	0.9713
Min	0.9627	0.9609	0.9557
Average	0.9629	0.9611	0.9686

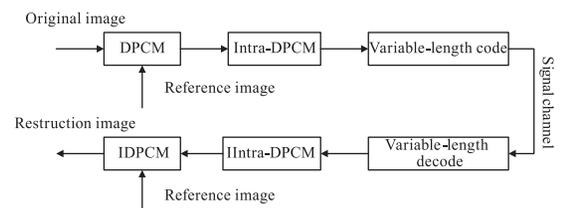


图1 超光谱图像无损压缩原理图

Fig.1 The lossless compression algorithm of hyper-spectral image

## 3 无损压缩原理

### 3.1 谱间差分预测

应用谱间预测于超光谱图像序列(512帧):第一,以序列1000作参考帧不进行压缩直接传输;第二,输入序列1001,采用序列1000作参考帧应用谱间预测,得到谱间差分图像;第三,传输经后续处理的差分图像。在接收端,接收的差分序列与参考序列经应用逆预测得到恢复序列图像1001。同上,此后均以前一序列作为后一序列的参考帧,按上述步骤完成512帧图像传输。因本文采用完全的无损压缩算法,求解恢复序列和原始序列间的均方误差为零,因此在接收端用恢复序列作参考帧并不会带来累积误差。

实际中,考虑实验用超光谱序列相邻帧之间有列的平移,数据冗余较大,而干涉条纹位置相对来说比较固定。以序列1000作为参考帧对1001实施谱间预测时,使1001右移一列与1000作差得到差分图像,如此,使得图中主要余下干涉条纹。而且,预测过程中实施的运算仅为移位和加、减法运算,硬件实现简便。

### 3.2 帧内预测

应用帧内预测于超光谱图像序列(512帧):第一步,不经压缩直接传输经谱间预测后的波段残差图像序列的第一行、第一列,作为序列的第一行、第一列;第二步,对预测后序列(除第一行

和第一列外)应用帧内预测,得到其差分码流;第三步,传输经后续处理的差分码流。在接收端,收到的差分码流经逆预测得到恢复的波段残差图像序列。依此类推,按上述步骤完成 512 帧图像传输。

### 3.3 变长编码

对经过帧内预测的差分码流应用变长编码实现压缩,该方法对出现概率高和出现概率低的数据分别赋予较短和较长的码字,从而能够减少整体数据量实现数据的压缩编码。本文即采用局部定长、全局变长的编码方式取得了较好的压缩效果。

## 4 实验结果及分析

本文应用配置为 Intel Core i5 - 3317u、1.7 GHz CPU、4.00G 内存的计算机进行算法仿真,以 Matlab7.0 作为仿真工具,以每帧 8Bit 的 512 帧“图谱合一”超光谱图像序列为对象,按上述方法依次压缩传输。

图 2 为以 1000 作为参考帧对 1001 进行压缩的图解,图 2(a)和图 2(b)分别为 1001 和 1000 原图,图 2(c)为 1001 与 1000 谱间预测波段残差图像,图 2(d)为图 2(c)的帧内预测误差图像,图 2(e)为 1001 恢复图像。图 3 为超光谱图像序列中的 1001 ~ 1008 帧图像的压缩比数据图。

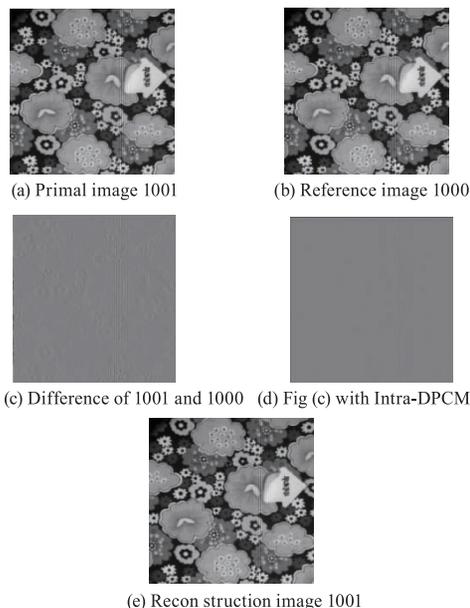


图 2 超光谱图像压缩仿真图

Fig. 2 Experimental results of hyper-spectral image

表 2 为应用不同算法对超光谱图像序列 1001 ~ 1008 进行压缩得到的压缩比均值。本文算法压缩比最大可达 1.520,经验证,恢复帧和原始帧之间的

均方误差为零,表明本文的压缩算法是完全的无损压缩。

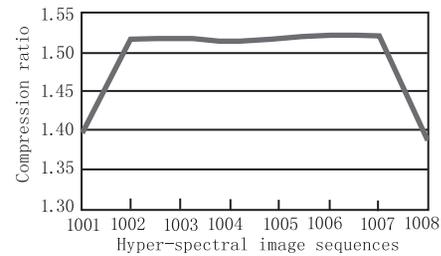


图 3 超光谱图像序列压缩比数据图(帧 1001 ~ 1008)

Fig. 3 Compression ratio of hyper-spectral image (frame 1001 ~ 1008)

表 2 8 序列超光谱图像压缩比均值

Tab. 2 Compression ratio of hyper-spectral image with eight sequences

Compression Algorithm	Intra-DPCM	IWT	This Algorithm
Average	1.414	1.438	1.486

## 5 结论

对超光谱图像序列中应用二维整数小波变换(三层分解)和算术编码算法,压缩比是 1.438,而本文算法应用谱间预测和帧内预测替代整数小波变换、应用变长编码替代算术编码后,压缩比达 1.486。表明表明超光谱图像序列的谱间相关性和空间相关性能够通过谱间差分预测和帧内差分预测有效消除,压缩比提高 3.3%。

若采用谱间 DPCM 和整数小波变换算法,即谱间预测加提升整数小波变换,再对变换后图像进行二值自适应算术编码,则本文算法与其主要区别是在进行谱间预测后进行帧内预测。帧内预测仅进行简单的加减法运算,提升整数小波变换则需通过 Lazy 小波变换、对偶提升、更新、伸缩四个步骤实现,说明帧内预测较提升整数小波变换算法复杂度低,本文算法实现简便。

文献[1]中理论上最佳的 K-L 变换算法的压缩比最大 1.5,而本文算法最大 1.520、平均 1.486,较 K-L 变换算法有一定提高。但更关键的是,K-L 变换需通过求解与原始数据相关的协方差矩阵和特征矢量来获得基函数,但上述计算在实际应用中却比较难实现。在本文算法中,谱间预测仅需简单的加、减法和移位运算,帧内预测只有加、减法运算,变长编码也只采用加、减法和简单的乘法来实现数据压缩。因此,本文算法复杂度相对来说较低,硬件实现简便。

## 参考文献:

- [1] Zhang Lei, Huang Lianqing. Summarization of hyper-spectral image data compression algorithms OME Information, 2005, 1(4): 30 - 33. (in Chinese)  
张雷, 黄廉卿. 超光谱图像数据压缩方法综述[J]. 光机电信息, 2005, 1(4): 30 - 33.
- [2] Liu Yangchuan, Bayanheshig, Cui Jicheng, et al. Lossless compression of hyperspectral image based on prediction and JPEG2000 [J]. Laser & Infrared, 2012, 42(4): 452 - 457. (in Chinese)  
刘仰川, 巴音贺希格, 崔继承, 等. 基于预测与JPEG2000的高光谱图像无损压缩方法[J]. 激光与红外, 2012, 42(4): 452 - 457.
- [3] Wu Xiaohua, Li Zitian, Zhang Fan. Analysis and near-lossless compression based on CPLD of interference hyper-spectral image [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(9): 1346 - 1348. (in Chinese)  
吴小华, 李自田, 张帆. 干涉超光谱图像分析与近无损压缩 CPLD 实现 [J]. 光子学报, 2005, 34(9): 1346 - 1348.
- [4] Zhou Youxi, Xiao Jiang. The image compression scheme for remote sense superspectral images [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(4): 594 - 597. (in Chinese)  
周有喜, 肖江. 遥感干涉超光谱图像压缩编码[J]. 光子学报, 2005, 34(4): 594 - 597.
- [5] An Bin, Chen Shuhai, Chen Hua, et al. Application of texture feature in mutispectral image classification [J]. Laser & Infrared, 2002, 32(3): 188 - 190. (in Chinese)  
安斌, 陈书海, 陈华, 等. 纹理特征在多光谱图像分类中的应用[J]. 激光与红外, 2002, 32(3): 188 - 190.
- [6] Pang Bo, Jin Xinyu. A wavelet-based approach for compression of Multi-spectral images [J]. Laser & Infrared, 2005, 35(6): 447 - 450. (in Chinese)  
潘波, 金心宇. 一种基于小波的多光谱图像压缩方法 [J]. 激光与红外, 2005, 35(6): 447 - 450.
- .....