

文章编号: 0253-2239(2010)02-0378-04

一种大孔径静态干涉成像光谱仪高光谱图像的 AT-3DSPIHT 压缩算法

马冬梅^{1,2} 马彩文¹ 罗翠华^{1,2}

(¹ 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 针对大孔径静态干涉成像光谱仪(LASIS)的成像特点,提出了一种支持感兴趣区域(ROI)的非对称三维分层树集划分(AT-3DSPIHT)压缩算法。首先,对高光谱干涉图像进行非对称三维离散小波变换。然后,根据光谱信息的分布特点,采用ROI方法对不同区域的变换系数赋予不同的编码精度,以保护光谱信息。最后,采用改进的三维分层树集划分(3DSPIHT)算法编码高光谱干涉图像的小波变换系数。实验结果表明,该方法在8:1压缩比下,获得大于40 dB的峰值信噪比,同时有效地保护了光谱信息。

关键词 信息光学;高光谱图像压缩;非对称三维分层树集划分;感兴趣区域;大孔径静态干涉成像光谱仪

中图分类号 TN919.81 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103002.0378

A Compression Algorithm of AT-3DSPIHT for LASIS's Hyperspectral Image

Ma Dongmei^{1,2} Ma Caiwen¹ Luo Cuihua^{1,2}

(¹ Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an, Shaanxi 710119, China)
(² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract A compression algorithm of asymmetric 3D set partitioning in hierarchical trees (AT-3DSPIHT) supporting region of interest (ROI) is proposed for imaging characteristics of large-aperture static imaging spectrometer (LASIS). Firstly, the hyperspectral image sequences are decomposed with asymmetric 3D discrete wavelet transform (3D-DWT). Secondly, different coding precisions are assigned to wavelet coefficients in different regions by the method of ROI to protect the hyperspectral information. Finally, the transformed images are encoded with the adapted 3D set partitioning in hierarchical trees (3DSPIHT) algorithm. The experimental results show that the peak signal-to-noise ratio (PSNR) is more than 40 dB at 8:1 compression rate, and the efficient protection of hyperspectral information is achieved.

Key words information optics; hyperspectral image compression; asymmetric 3D set partitioning in hierarchical trees; region of interest (ROI); large-aperture static imaging spectrometer

1 引 言

随着遥感技术的发展,高光谱成像技术获得了日益广泛的应用。然而,其海量数据给目前有限的信道带宽和存储能力带来了很大压力,因此必须对其进行压缩。由于各种光谱仪的分光原理不同、生成的图像具有各自的特点,因此国内外的众多学者提出了种种

具有针对性的压缩方案^[1~5]。例如:文献[1]提出了一种基于图像分类与曲线拟合的压缩算法,该算法用于超光谱干涉图像序列;文献[2]中提出的三维集合分裂嵌入式零块编码算法和文献[4]中提出的基于二叉树分类的点阵矢量量化算法均可用于可见光/红外成像分光计(AVIRIS)高光谱图像压缩。

收稿日期: 2009-03-12; **收到修改稿日期**: 2009-04-13

基金项目: 国家 863 计划(2007AA703222)资助课题。

作者简介: 马冬梅(1976—),女,博士研究生,主要从事图像压缩及图像融合技术等方面的研究。

E-mail: dr.mdm@opt.ac.cn

导师简介: 马彩文(1965—),男,研究员,博士生导师,主要从事光电测控与精密跟踪测量技术等方面的研究。

E-mail: cwma@opt.ac.cn

本文针对大孔径静态干涉成像光谱仪(LASIS)的成像特点,提出了一种基于三维小波变换的非对称三维分层树集划分(AT-3DSPIHT)算法^[6]结合感兴趣区域(Region of interest, ROI)的图像压缩方案。该方法首先对高光谱干涉图像序列进行非对称三维小波变换,然后确定各子带的 ROI 区域并对其余变换系数进行适量截取,最后采用改进的三维分层树集划分(3DSPIHT)算法进行编码。

2 高光谱干涉图像分析

2.1 成像原理

LASIS 是一种推扫式傅里叶变换成像光谱仪。其成像原理^[7]如图 1 所示,一束视场角 θ 的光线入射到 LASIS,经萨尼亚克(Sagnac)干涉仪后成为两束平行的相干光,当其会聚到成像镜的后焦面的同一点时就发生干涉。LASIS 沿着横向剪切干涉仪剪切方向推扫,与推扫方向平行的“一列”探测器单元输出某像元的一条干涉图。推扫完一个视场,就得到像面完整的目标干涉图。

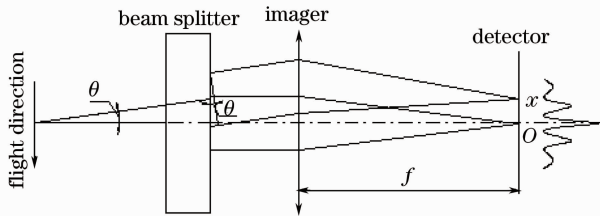


图 1 LASIS 系统成像原理

Fig. 1 Imaging principle of LASIS system

同一列上各点处的光程差不同,这样就在像面上形成了具有横条状干涉条纹的光谱图像,光谱信息就存在于干涉条纹之中。每帧图中零光程谱线位置基本上是固定的。对高光谱干涉图像进行压缩,应保证完整恢复图像中各像素点的光谱曲线。

2.2 图像特征

图 2 是 LASIS 获得的一系列高光谱干涉图像。

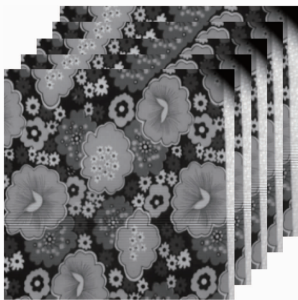


图 2 高光谱干涉序列

Fig. 2 Hyperspectral interference image series

图 2 中,零光程差附近的光强调制剧烈,呈现出明显的干涉条纹,使得景物的空间信息变模糊;离零光程差越远,干涉条纹越不明显,而物像越清晰。得到这样的图像是由 LASIS 系统的特点决定的:随着视场角的增大,干涉仪产生的光程差增大,干涉现象减弱,图像被调制的程度就降低。图像压缩应充分保护零光程差附近的主要光谱信息。

3 图像压缩

3.1 非对称三维小波变换树

高光谱干涉图像序列由推扫形成,帧间存在较大的冗余,同时,也具有普通图像的帧内冗余,因此,可采用三维离散小波变换(3D-DWT)进行分解。因为图像序列的帧内冗余与帧间冗余不同质,本文采用 D9/7 小波做非对称 3D-DWT 变换去相关;对于大小为 $512 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$, 8 bit/pixel 的图像,每 8 帧连续图像为一组,首先对每一帧图像进行 3 级的二维离散小波变换(2D-DWT),然后沿帧方向做 2 级一维离散小波变换(1D-DWT),最后将变换系数组织成非对称树(AT)结构^[6]用于 3D-SPIHT 算法,如图 3 所示。

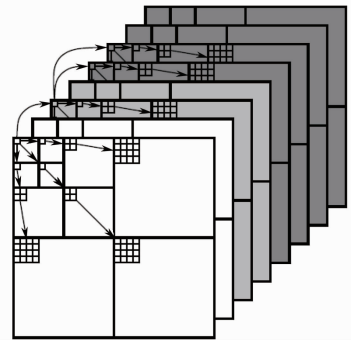


图 3 3DSPIHT 算法的非对称树结构

Fig. 3 Asymmetric tree structure for 3DSPIHT algorithm

3.2 ROI 系数保护

为保护零光程差附近的光谱信息,文献[8]提出了率失真斜率提升算法,对不同光程差的像点赋予不等的重要性权值。这就需要研究有效的匹配算法,精确定位零光程差谱线的位置,并且要考虑在实际应用中推扫平台的姿态稳定性带来的诸如谱线偏移、扭曲等问题。这无疑增加了算法的复杂度。本文基于 ROI 方法对不同区域的变换系数赋予不同的编码精度,大大简化了算法,有效保护了主要的光谱信息。

在本实验中,固定选取每帧中光谱条纹明显的第 129~256 行为 ROI_1 区,第 1~128,257~384 行为 ROI_2 区,第 385~512 行为背景区(BG)。与一般的 ROI 系数提升方法^[9]不同,因为光谱集中区虽然

有重要信息,但是主要用于光谱复原,所以对视觉并不重要,没有必要优先传送。所以本文采用对非重要 ROI 区系数“截取”的方法,即:对非 ROI₁ 区,在编码时截取不同的长度,如图 4 所示。

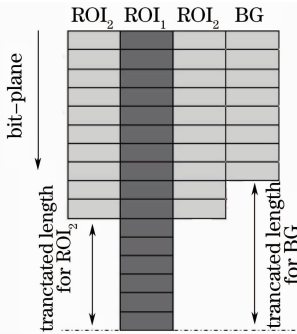


图 4 重要 ROI 系数保留

Fig. 4 Coefficient preserving in significant ROI

为确定图像变换域的各级小波子带的 ROI,将原始图像定义为虚拟的 0 级二维小波变换域,则定义 1 级子带的 ROI 区为 0 级子带 ROI 的 PROI,满足如下公式:

$$f_{\text{PROI}}(i, j) = \bigcup_{(k, l) \in O(i, j)} f_{\text{ROI}}(k, l),$$

以此类推,第 $(n+1)$ 级子带的 ROI 区为 n 级 ROI 的 PROI^[10]。

3.3 改进的 3DSPIHT 算法

分层树集划分(SPIHT)算法^[11],是基于分层树集合分裂排序的编码算法,它是当前业界公认的优秀的静态图像压缩算法。它充分利用了用图像经小波分解后的多分辨率特性,巧妙设计排序算法,同时具有低复杂度和高信噪比的优点,并且支持渐进传输。这种算法得以不断发展、改进,并由二维 SPIHT 扩展到三维 SPIHT,以适应各种不同领域的图像压缩^[6, 12~15]。

4 实验分析

选择分 512 pixel × 512 pixel, 8 bit/pixel 的高光

谱干涉图像序列做测试,取 $R_1=6, R_2=3$, 压缩平均比特率为每像素每帧 1 bit。如图 2 所示,每 8 帧连续图像为一组,整个算法是在计算机上用 Matlab 7.0 仿真。

表 1 给出了不同区域的峰值信噪比 (PSNR) 值,由背景区的 PSNR 值低于平均值,换取 ROI 区域的高保真压缩。该方案有效地保护了光谱信息:随机抽取取面上某一点的光谱曲线,并对其做傅里叶变换,如图 5 所示,复原图像的光谱曲线与原始图像的光谱曲线密切吻合,而同一比特率下一般 3DSPIHT 算法的复原与原始光谱曲线则有明显的偏离。因此,从光谱复原的角度,本文提出的算法比一般 3DSPIHT 的性能更好。图 6 显示了原始图像和复原图像的对比,其中图 6(a)为原始图像,图 6(b)为本方案下的恢复图像,图 6(c)为一般 3DSPIHT 算法的恢复图像,三者视觉效果上几乎没有差别。可见,该方案在平均每像素每帧 1 bit 下的图像视觉恢复效果令人满意。

表 1 不同区域的压缩率失真性能

Table 1 Rate-distortion compression performance of different regions

Region	BG	ROI ₂	ROI ₁	Average
PSNR /dB	34.55	39.42	51.26	41.16

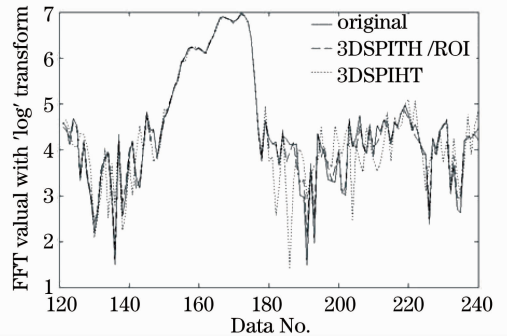


图 5 两种压缩算法的比较

Fig. 5 Comparison of two compression algorithms

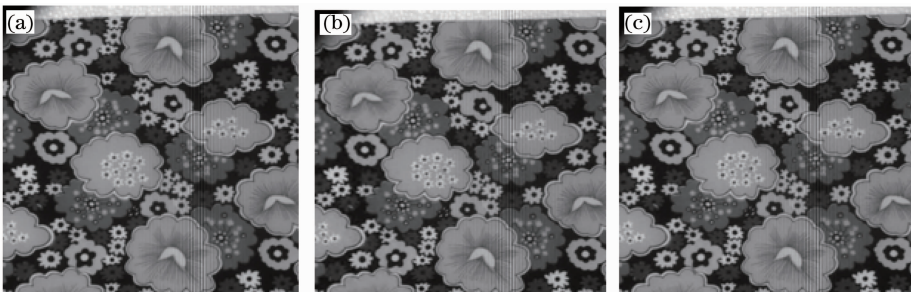


图 6 (a)原始图像;(b)3DSPIHT/ROI 恢复图像;(c)一般 3DSPIHT 恢复图像

Fig. 6 (a) Original image; (b) reconstructed image under 3DSPIHT/ROI; (c) reconstructed image under general 3DSPIHT

5 结 论

提出了支持 ROI 区域的 AT-3DSPIHT 算法, 首先采用非对称三维离散小波变换对干涉高光谱序列去相关, 然后把每帧小波域图像按光谱信息的分布分为 ROI₁ 区、ROI₂ 区和 BG 区, 对不同的区域赋予不同的编码精度, 最后采用改进的 3DSPIHT 算法进行编码。因为要确定不同子带内的 ROI 区和 BG 区, 所以对每帧的二维小波分解级数不宜过大, 对于本图像序列而言, 不宜超过 6。考虑到图像序列的推扫特性及内存资源, 每次只处理连续 8 帧图像。仿真结果表明, 在 8:1 压缩率下, 平均峰值信噪比超过 40 dB, 满足 LASIS 系统的应用要求, 有效地保护了图中的光谱信息。定义不同跨度的 ROI 区及分配不同的编码精度对图像率失真性能及光谱复原的影响, 有待进一步研究。

参 考 文 献

- Deng Jiaxian, Li Taijun. Interference hyperspectral images compression based on classification and curve fitting[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(1): 45~51
邓家先, 李太君. 基于分类和曲线拟合的干涉超光谱图像压缩[J]. *光学学报*, 2007, **27**(1): 45~51
- Hou Yin, Liu Guizhong. Three-dimensional set partitioned embedded zero block coding algorithm for hyper spectral image compression[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 67~73
侯颖, 刘贵忠. 基于三维集合分裂嵌入式零块编码算法的超光谱图像压缩[J]. *光学学报*, 2008, **28**(1): 67~73
- Li Yunsong, Kong Fanqiang, Wu Chengke *et al.*. Interference multi-spectral image compression based on distributed source coding[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1463~1468
李云松, 孔繁锵, 吴成柯等. 基于分布式信源编码的干涉多光谱图像压缩[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1463~1468
- A. J. S. Dutra, W. A. Pearlman, E. A. B. da Silva. Compression of hyperspectral images with LVQ-SPECK [C]. *IEEE Proc. Data Compression Conf.*, 2008: 93~102
- Li Yunsong, Ma Jing, Wu Chengke. Three-dimensional orientation prediction-based wavelet transform for interference multi-spectral images compression[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(12): 2281~2287
李云松, 马静, 吴成柯. 基于方向角预测三维小波变换的干涉多光谱图像压缩[J]. *光学学报*, 2008, **28**(12): 2281~2287
- X. Tang, S. Cho, W. A. Pearlman. 3D set partitioning coding methods in hyperspectral image compression [C]. *IEEE Internat. Conf. Image Processing*, 2003, (2): 239~242
- Dong Ying, Xiangli Bin, Zhao Baochang. Analysis of interferometer system in a large aperture static imaging spectrometer [J]. *Acta Optica Sinica*, 2001, **21**(3): 330~334
董瑛, 相里斌, 赵葆常. 大孔径静态干涉成像光谱仪的干涉系统分析[J]. *光学学报*, 2001, **21**(3): 330~334
- Li Xiaoyi, Kong Fanqiang. Interference multi-spectral image compression based on weighted rate-distortion slop lifting[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(s1): 290~294
李晓翼, 孔繁锵. 基于不等权重率失真斜率提升的干涉多光谱图像压缩算法[J]. *光子学报*, 2007, **36**(s1): 290~294
- E. Atsumi, N. Farvardin. Lossy/lossless region-of-interest image coding based on set partitioning in hierarchical trees[C]. *Internat. Conf. Image Processing (ICIP-98)*, 1998, (1): 87~91
- Keun-hyeong Park, Chul Soo Lee, Hyun Wook Park. A multiresolutional coding method based on SPIHT [J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2001, (2195): 951~956
- A. Said, W. A. Pearlman. A new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 1996, **6**(3): 243~250
- Kim Beong-Jo, W. A. Pearlman. An embedded wavelet video coder using three-dimensional set partitioning in hierarchical trees (SPIHT)[C]. *IEEE Data Compression Conf.*, 1997: 251~260
- F. W. Wheeler, W. A. Pearlman. SPIHT image compression without lists[C]. *IEEE ICASSP 2000*: 2047~2050
- Thomas W. Fry, Scott Hauck. SPIHT image compression on FPGAs[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, **15**(9): 1138~1147
- Song Chunlin, Feng Rui, Jin Wei *et al.*. Improved multi-resolution SPIHT algorithm [J]. *Computer Engineering*, 2008, **34**(4): 241~243
宋春林, 冯瑞, 金炜等. 改进的多分辨率 SPIHT 算法[J]. *计算机工程*, 2008, **34**(4): 241~243