

文章编号:1004-4213(2010)09-1702-4

一种干涉高光谱图像的 3DSPIHT 结合 ROI 压缩算法*

马冬梅^{1,2}, 马彩文¹, 王阿妮^{1,2}

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119)

(2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:针对大孔径静态干涉成像光谱仪的成像特点,提出了一种基于三维小波变换的 3DSPIHT 算法结合 ROI 的图像压缩方案.对干涉高光谱图像序列进行了三维非对称离散小波变换.采用 ROI 方法对主要的光谱系数进行提升,以保护光谱信息.最后,对 3DSPIHT 算法进行改进,以有效编码干涉高光谱图像的小波变换系数.实验结果表明,该方法在 8:1 压缩比下可获得大于 40 dB 的峰值信噪比,同时有效地保护了光谱信息.

关键词:高光谱图像压缩;三维离散小波变换;3DSPIHT;ROI

中图分类号:TN919.81

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103909.1702

0 引言

随着遥感技术的发展,干涉光谱成像技术获得了日益广泛的应用.由于干涉光谱成像仪获得的图像同时具有二维空间信息和一维的光谱信息,其海量数据在目前有限带宽信道上传输和存储非常困难,因此必须对其进行压缩.为此,国内外的众多学者提出了各种有针对性的压缩方案^[1-5].如文献[1]提出基于均匀值量化压缩和 AR 模型算法,文献[2]中提出光谱插值预测与量化编码(SIP&QC)方法等,针对纯干涉图像,均取得良好的压缩效果.文献[3]提出点阵矢量量化器结合四叉树分类算法,适用于机载可见红外成像光谱仪(Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer, AVIRIS)高光谱图像压缩.

本文针对大孔径静态干涉成像光谱仪(Large Aperture Static Imaging Spectrometer, LASIS)的成像特点,提出了一种基于三维小波变换的三维多级树集合分裂(Three Dimensional Set Partitioning In Hierarchical Trees, 3DSPIHT)算法结合感兴趣区域(Region Of Interest, ROI)的压缩方案.该方法首先对干涉高光谱图像序列进行非对称三维小波变换,然后确定各子带的 ROI 区域并对其变换系数进行提升,最后采用改进的 3DSPIHT 算法进行编码.

1 干涉高光谱图像分析

1.1 成像原理

大孔径静态干涉成像光谱仪 LASIS 是一种推扫式傅里叶变换型成像光谱仪.其成像原理^[6]如图 1,一束视场角为 θ 的光线入射到 LASIS,经 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.

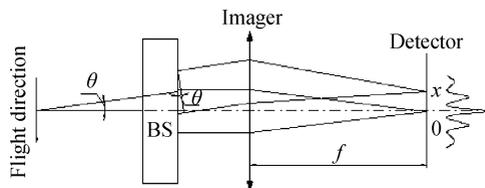


图 1 LASIS 系统成像原理

Fig. 1 Imaging principle of LASIS system

LASIS 沿横着剪切干涉仪剪切方向推扫,与推扫方向平行的“一系列”探测器单元输出某地元的一条干涉图.推扫完一个视场,就得到像面完整的目标干涉图.

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 0 光程差谱线的位置基本固定,在图中约第 180 行附近,这是由 LASIS 系统的硬件结构设计决定的,并不随系统的推扫而漂移. LASIS 图像的干涉信息主要集中在每帧图像的第 120~240 行.对干涉高光谱图像进行压缩,应保证完整恢复图像中各像素点的光谱曲线.

1.2 图像特征

图 2 是 LASIS 获得的一系列干涉高光谱图像.

* 国家高技术研究发展计划(2007AA703222)资助

Tel:029-88887641

Email:dr.mdm@opt.ac.cn

收稿日期:2009-02-12

修回日期:2009-04-15

图中,0 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 0 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 0 光程差附近的主要光谱信息.

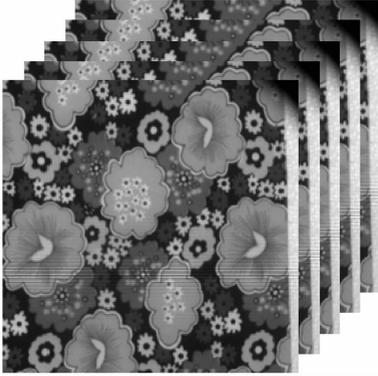


图 2 干涉高光谱序列

Fig. 2 Interference hyperspectral image sequence

2 图像压缩

2.1 非对称三维小波变换

干涉高光谱图像序列由推扫形成,帧间存在较大冗余,同时,也具有普通图像的帧内冗余,因此,可采用 3 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,本文采用双正交 9/7 小波做非对称 3D-DWT 变换去相关. 如图 3,对于大小为 $512 \times 512 \text{ pixel}^2$ 、8bpp (bit per pixel) 的图像,每连续 8 帧图像为一组,首先对每一帧分别进行 3 级的 2D-DWT,然后沿帧方向做 2 级的 1D-DWT.

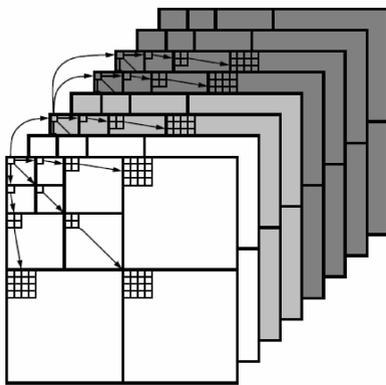


图 3 非对称 3 维离散小波变换

Fig. 3 Asymmetric 3D-DWT

2.2 ROI 系数提升

为保护零光程差附近的光谱信息,文献[7]提出了率失真斜率提升算法,对不同光程差的像点赋予重要性权值. 这就需要研究有效的匹配算法,精确定位 0 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. 这无疑大大增加了算法的复杂度. 本文提出的基于 ROI 区域系数二进提升,算法简单实用,有效保护了主要的光谱信息.

在本实验中,固定选取每帧图像中光谱条纹明显的第 121~240 行为 ROI 区域,进行系数提升. 这样,实现对 ROI 区域的优先编码,并且在输出码流比特率一定的条件下获得比背景区域高的比特率,即通过降低背景区的比特率来换取 ROI 区域的高保真压缩. 选取提升系数为 $2^3 = 8$,即 $s=3$,如图 4.

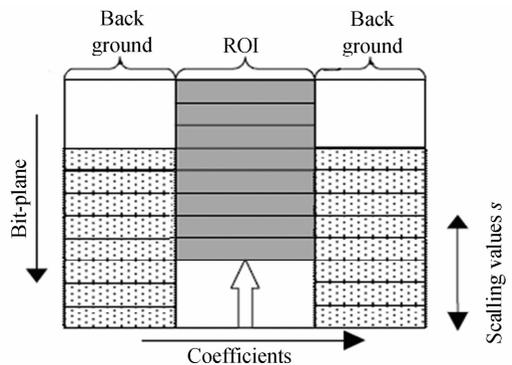


图 4 ROI 系数提升

Fig. 4 Coefficient-shift in ROI

为确定图像变换域的各级小波子带的 ROI 区域,将原始图像视为虚拟的 0 级二维小波变换域,则定义一级子带的 ROI 区为 0 级子带 ROI 的 PROI,满足公式(1)

$$\text{PROI}(i, j) = \bigcup_{(k, l) \in O(i, j)} \text{ROI}(k, l) \quad (1)$$

以此类推,第 $(n+1)$ 级子带的 ROI 为第 n 级 ROI 的 PROI,详见文献[8].

2.3 改进的 3DSPIHT 算法

SPIHT 算法^[9]是当前业界公认的优秀静态图像压缩算法. 它充分利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. 自问世以来,受到业界众多关注,并由 2DSPIHT 扩展到 3DSPIHT,以适应各种不同领域的图像压缩^[10-11]. 图 3 为空间方向树的组织结构. 为适应 ROI 系数提升,对一般的 3DSPIHT 算法加以改进,并在下文中给出伪代码描述,下划线表示 ROI 系数提升.

1. Initialization:

1.1 output $n' = \lceil \log_2(\max_{(i, j, k)} \{|C_{(i, j, k)}|\}) \rceil$.

1.2 Identify all the DWT coefficients in ROI, then:

1.2.1 scale up all the ROI coefficients by s upward bit-shifts.

1.2.2 output $n'' = \lceil \log_2(\max_{(i, j, k) \in \text{ROI}} \{|C_{(i, j, k)}|\}) \rceil$, set $n = \max(n', n'')$.

1.3 Set the LSP as an empty list, and add the coordinates $(i, j, k) \in H$ to the LIP, and only those with descendants also to the LIS, as type A entries.

2. Sorting pass:

2.1 for each entry (i, j, k) in the LIP do:

2.1.1 output $S_n(i, j, k)$;

2.1.2 if $S_n(i, j, k) = 1$, then move (i, j, k) to the LSP and output the sign of $C_{i, j, k}$.

2.2 for each entry (i, j, k) in the LIS do:

2.2.1 if the entry is of type A then

- output $S_n(D(i, j, k))$;

- if $S_n(D(i, j, k)) = 1$ then

- * for each $(l, m, n) \in O(i, j, k)$ do:

- output $S_n(l, m, n)$;

- if $S_n(l, m, n) = 1$ then add (l, m, n) to the LSP and output the sign of $C_{l, m, n}$;

- if $S_n(l, m, n) = 0$ then add (l, m, n) to the

end of the LIP;

- * if $L(i, j, k) \neq \phi$ then move (i, j, k) to the end of the LIP, as an entry of type B, and go to Step 2.2.2; else, remove entry (i, j, k) from the LIS;

2.2.2 if the entry is of type B then

- output $S_n(L(i, j, k))$;

- if $S_n(L(i, j, k)) = 1$ then

- * add each $(l, m, n) \in O(i, j, k)$ to the end of the LIP, as an entry of type A;

- * remove (i, j, k) from the LIS.

3. Refinement pass: for each entry (i, j, k) in the LSP, except those included in the last sorting pass (i. e. with same n), output the n -th most significant bit of $|C_{i, j, k}|$.

4. Quantization-step update: decrement n by 1 and go to Step 2.

3 实验分析

本文选择分辨率为 $512 \times 512 \text{ pixel}^2$ 、8 bpp 的高光谱干涉图像序列做测试,如图 2. 每连续 8 帧图像为一组,整个算法是在 PC 机上用 MATLAB 7.0 仿真.

当提升指数取 $s = 3$ 时,即可有效保护光谱信息,同时又不会损失过多的背景信息. 图 5(a)为原始图像,(b)为 1bpppf (bit per pixel per frame)压缩率下的恢复图像. 可见,在 1bpppf 下恢复图像视觉效果令人满意.

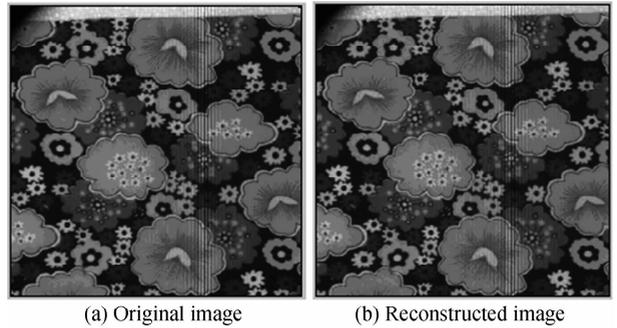


图 5 原始图像与恢复图像

Fig. 5 Original and reconstructed images

表 1 给出了不同比特率下的 PSNR. 图 6 为压缩算法对干涉光谱的影响. 随机抽取了像面上某一点的光谱曲线,并对其做傅里叶变换. 由图中可以看出,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 算法的复原光谱曲线与原始光谱曲线则有明显的偏离. 从光谱复原的角度,本文提出的算法比一般的 3DSPIHT 的性能更好.

表 1 压缩的率失真性能

Table 1 Rate-distortion performance of compression

Rate/bpppf	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
PSNR/dB	28.36	33.00	36.45	39.43	43.31

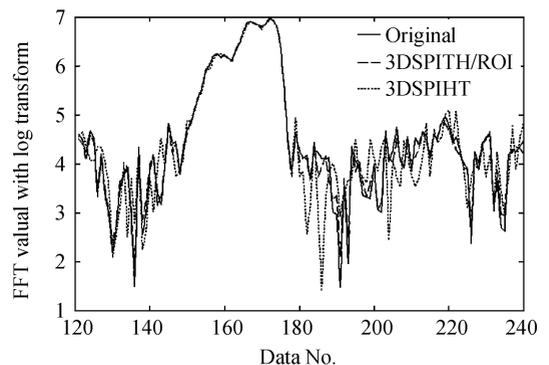


图 6 两种压缩算法的比较

Fig. 6 Comparison of tow compression algorithms

4 结论

本文提出的 3DSPIHT 结合 ROI 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;定义每帧图像中光谱信息集中的第 120~240 行为 ROI 区域,然后确定小波域图像中各级子带的 ROI 区域,对 ROI 区域的小波系数进行提升,提升系数为 2^3 ,最后采用改进的 3DSPIHT 算法进行编码. 仿真结果表明,在 8:1 压缩率下,峰值信噪比超过 40 dB,满足 LASIS 系统的应用要求;与一般 3DSPIHT 相比,有效地保护了图中的光谱信息. 提升指数 s 的选择不仅由光谱信息的保护要求决定,并且与图像的小波分解级数有关,一般而言,分解级

数越高, s 的取值也越大. 选取不同跨度的 ROI 区域及不同的提升系数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

- [1] DU Shu-song, YUAN Yan, XIANG-LI Bin, *et al.* Experimental study on interference spectral image series compression[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(9): 1672-1676.
杜述松, 袁艳, 相里斌, 等. 干涉光谱图像序列压缩的实验研究[J]. *光子学报*, 2007, **36**(9): 1672-1676.
- [2] LÜ Qun-bo, YUAN Yan, XIANG-LI Bin. Fourier transform imaging spectral data compression[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(3): 573-576.
吕群波, 袁艳, 相里斌. 傅里叶变换成像光谱数据压缩[J]. *光子学报*, 2008, **37**(3): 573-576.
- [3] DUTRA A J S, PEARLMAN W A, DA-SILVA E A B. Compression of hyperspectral images with LVQ-SPECK[C]. *IEEE Proceedings of the Data Compression Conference*, 2008: 93-102.
- [4] WANG Ke-yan, WU Cheng-ke, KONG Fan-qiang, *et al.* A novel algorithm for satellite interferential multispectral images compression[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(3): 555-560.
王柯俨, 吴成柯, 孔繁锵, 等. 卫星干涉多光谱图像压缩新算法[J]. *光子学报*, 2008, **37**(3): 555-560.
- [5] SU Ling-hua, YI Tong-sheng, WAN Jian-wei. Compression of hyperspectral image based on independent component analysis[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2008, **37**(5): 973-976.
苏令华, 衣同胜, 万建伟. 基于独立分量分析的高光谱图像压缩[J]. *光子学报*, 2008, **37**(5): 973-976.
- [6] DONG Ying, XIANG-LI Bin, ZHAO Bao-chang. 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.
- [7] LI Xiao-yi, KONG Fan-qiang. Interference multi-spectral image compression based on weighted rate-distortion slope lifting[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(sup): 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**(sup): 290-294.
- [8] PARK Keun-hyeong, CHUL Soo-lee, HYUU Wook-park. A multiresolutional coding method based on SPIHT[J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2002, **17**(6): 467-476.
- [9] SAID A, PEARLMAN W A. 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.
- [10] BEONG-JO K, PEARLMAN W A. An embedded wavelet video coder using three-dimensional set partitioning in hierarchical trees (SPIHT) [C]. *IEEE Data Compression Conf*, 1997: 251-260.
- [11] KHELIFI F, BOURIDANE A, KURUGOLLU F. Joined spectral trees for scalable SPIHT-based multispectral image compression[J]. *IEEE Trans on Multimedia*, 2008, **10**(3): 316-329.

An Algorithm of 3DSPIHT in Conjunction with ROI for Hyperspectrum Image Compression

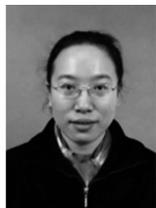
MA Dong-mei, MA Cai-wen, WANG A-ni

(1 *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119*)

(2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: A compression algorithm based on 3D-DWT and 3DSPIHT in conjunction with ROI is proposed for hyperspectral images of LASIS according to its interference hyperspectral properties. Firstly, the hyperspectral image sequence with asymmetric 3D-DWT is decomposed. Secondly, its major hyperspectrum coefficients are scaled up by ROI method to protect the hyperspectral information. Finally, the general 3DSPIHT algorithm is adapted to encode the transformed images. The numerical experiment results show that the PNSR is more than 40 dB at 8 : 1 compression rate, and the hyperspectral information can be protected.

Key words: Hyperspectrum image compression; 3D-DWT; 3DSPIHT; ROI



MA Dong-mei was born in 1976. She received her M. S. degree from Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of CAS in 2005. Now she is pursuing the Ph. D. degree in optical engineering. Her research interests focus on image compression, image fusion, etc.



MA Cai-wen was born in 1965. He is a researcher and his research interests focus on photoelectric monitoring, precision tracking and measure technology.