

文章编号: 1003-501X(2008)01-0140-05

基于 IHS 变换的多光谱遥感图像有损压缩算法

田宝凤^{1,2}, 孙荣春^{1,2}, 王海霞^{1,2}, 徐抒岩¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 提出了一种有效的多光谱遥感图像有损压缩算法, 该算法根据多光谱遥感图像的数据特点, 将 IHS 变换和整数小波变换相结合进行数据压缩。采用 IHS 变换去除谱间相关性; 采用整数小波变换去除空间相关性, 依据各个子带的重要程度, 用自适应阈值进行量化, 并分别对量化后的数据和重要图表采用固定比特平面编码和游程编码。实验结果表明, 算法在保证平均 PSNR≥33dB 时, 获得了较高的压缩比, 并且算法硬件实现简单, 对内存的需求低。

关键词: 有损压缩; 多光谱遥感图像; IHS 变换; 整数小波变换

中图分类号: TP751

文献标志码: A

Lossy Compression Algorithm of Multispectral Remote Sensing Images Based on IHS Transform

TIAN Bao-feng^{1,2}, SUN Rong-chun^{1,2}, WANG Hai-xia^{1,2}, XU Shu-yan¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate university of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: An effective and lossy compression algorithm of multispectral remote sensing images was proposed. On the basis of analyzing characteristic of multispectral images, IHS transform and integer wavelet transform were combined to compress data. IHS transform approach was applied to remove the correlation between spectral bands and integer wavelet transform was applied to remove the correlation of spatial. According to the important degree of the each subband, adaptive threshold values were chosen in the quantification, and fixed bit-plane coding and RLE were individually used to quantify data of every subband and important graph. The experiment result shows that the algorithm has higher compression ratio while PSNR ≥ 33dB. In addition, the algorithm requires small storage and is easy to be realized in hardware.

Key words: lossy compression; multispectral remote sensing images; IHS transform; integer wavelet transform

1 引言

多光谱遥感图像在军事、环境监测、农业和地质等很多领域都有广泛应用。随着高分辨率成像光谱技术的发展, 致使多光谱遥感图像的数据量呈指数形式增长, 要传输和存储这么庞大的数据量需要占用大量的链路带宽。在有限的卫星信道带宽的限制下, 要实时的下传海量的多光谱遥感数据就必须进行数据压缩。通常多光谱图像的无损压缩比不超过 4, 因而采用无损压缩算法有时仍不能解决海量遥感数据与传输带宽之间的矛盾。如何在较小的失真度下, 获得大压缩比是目前多光谱遥感图像压缩中迫切需要解决的问题。

收稿日期: 2007-04-12; 收到修改稿日期: 2007-10-19

作者简介: 田宝凤(1978-), 女(汉族), 辽宁锦州人, 在读博士研究生, 主要研究工作是数字信号处理与遥感图像压缩。

E-mail: ljfengsha@163.com.

多光谱遥感图像是三维图像，它除了含有二维空间信息之外，还含有一个光谱维信息。因此对多光谱遥感图像的压缩，既要去除空间冗余，还要去除谱间冗余^[1]。常用的多光谱遥感图像压缩方法有：预测编码、矢量量化(VQ)和变换编码。预测编码的压缩比低，矢量量化的复杂度相对较高，变换编码是人们普遍采用的方法，尤其是具有高度能量集中特性的小波变换^[2]。近几年多光谱遥感图像有损压缩方法主要有：KLT + 小波变换^[3-4]；DPCM + DCT^[5]；1 + 2 维小波变换^[6]；VQ + 小波变换^[7-8]；三维小波变换^[9-10]等。上述几种算法对于不同的实际应用均取得了令人满意的效果。

本文针对只含有 RGB 三个谱段的多光谱遥感图像，提出了一种新的易于硬件实现、高性能的多光谱遥感图像有损压缩算法。该算法采用 IHS 空间变换的方法去除谱间相关性，同时采用整数小波变换去除空间数据冗余，实现对多光谱遥感图像的压缩处理。

2 多光谱遥感图像的数据特征

由于多光谱各谱段的成像对象是同一地物，虽然各个谱段图像的灰度值有很大差异，但其结构是相似的，这体现了多光谱图像的谱间相关性。此外，在同一谱段内，某一像素与其相邻像素之间的相似性，体现了空间相关性。因而对多光谱遥感图像的压缩，要同时考虑去除空间相关性和谱间相关性。与普通图像相比，多光谱遥感图像含有丰富的纹理信息，信息熵较高。为了充分了解多光谱遥感图像的数据特征，下面就从空间相关性和谱间相关性两个方面进行分析。

2.1 空间相关性分析

空间相关性一般通过行列自相关函数来表征，行列自相关函数的定义在文献[11]中有详细描述。

图 1 给出了一幅多光谱遥感图像(美国五角大楼)和一幅国际标准 Lena 图像对应 RGB 三个谱段的行列自相关函数对比图。在图 1 中，虚线代表的是 Lena 图像，实线代表的是多光谱遥感图像。从图 1 中可以看出，多光谱遥感图像比 Lena 图像的自相关函数值小，并且随着像素间隔 K 的增加，两幅图像的自相关函数之间的差距变大，说明多光谱遥感图像的空间相关性比 Lena 图像差。因而，多光谱遥感图像比起普通图像更难压缩。

2.2 谱间相关性分析

谱间相关性一般都是从直方图分布和等高图曲线来分析各个谱段图像间的统计相关和结构相关，本文从探讨各个谱段之间的互相关系数的角度来研究多光谱遥感图像谱间相关系数与普通图像谱间相关系数的区别。仍以图 1 实验中所采用的多光谱遥感图像和 Lena 图像为例，表 1 给出了各个谱段间的谱间相关系数。

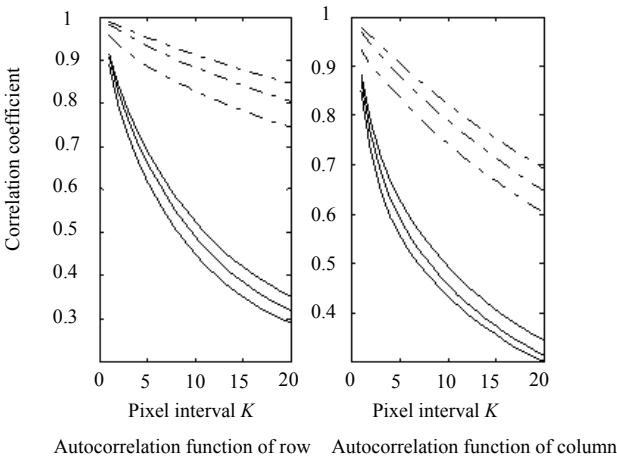


图 1 行列自相关函数对比图

Fig.1 Contrast graphs of row and column autocorrelation function

表 1 谱间相关系数

Table 1 Correlation coefficient between spectral bands		
Correlation coefficient	Multispectral image	Lena image
R-G	0.98172	0.87863
G-B	0.96775	0.91065
R-B	0.93474	0.67636

3 混合压缩算法的提出

3.1 IHS 空间变换

IHS 空间变换是将一幅含 RGB 成分的图像分离成表征地表空间信息的亮度(Intensity)和表征光谱信息的色度(Hue)与饱和度(Saturation)三个成分，并且 I、H、S 成分相互独立，可以很好地实现谱间去相关。IHS 空间变换去谱间相关性比起 $K-L$ 变换以及 DPCM 预测方法更为直观和简单。

RGB 空间到 IHS 空间变换的公式如下：

$$\begin{bmatrix} I \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ -\sqrt{2}/6 & -\sqrt{2}/6 & 2\sqrt{2}/6 \\ 1/\sqrt{2} & -1/\sqrt{2} & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \arctan(V_2 / V_1), \quad S = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (2)$$

3.2 谱段内压缩算法的提出

对于谱段内图像的压缩采用和普通灰度图像一样的压缩手段，主要从变换、量化和编码三个环节来考虑。下面是本文所采用的谱内压缩算法的具体内容：

1) 变换环节，采用基于提升方案的整数小波变换。

整数小波变换被称为第二代小波变换，它是在提升方案的基础上提出的。提升方案一般通过三个步骤来实现：分裂、预测和更新。整数小波变换就是对提升方案的三个实现步骤进行取整操作来实现的，相当于对原来的算子作了很小的改动，但小波分解的特性没有改变^[12]。本文采用适合遥感图像压缩的 D5/3 小波基^[13]，进行三级整数小波变换，小波分解的基本公式如式(3)所示：

$$\begin{aligned} s_l^0 &= x_{2l} & d_l^0 &= x_{2l+1} \\ d_l^1 &= d_l^0 + \lfloor \tau(s_l^0 + s_{l+1}^0) + 1/2 \rfloor \\ s_l^1 &= s_l^0 + \lfloor \nu(d_l^0 + d_{l-1}^0) + 1/2 \rfloor \end{aligned} \quad (3)$$

其中： $\tau = -0.5$ ， $\nu = 0.25$ 。由上式可以看出，运算中只含有移位、加减和取整运算，大大减少了计算复杂度。再加之提升方案具有原位计算的特点，所以采用整数小波变换可以节省内存。

2) 量化环节，采用自适应的量化阈值。

量化方案的选择直接决定了整个压缩系统的压缩性能，因为量化过程是不可逆的。在这一环节中，首先判断每个子带对于重构图像质量影响的重要程度，然后依据每个子带的重要程度采用一种自适应的量化阈值进行量化，并且可以选择不同的量化步长分别进行粗量化和细量化。

本文采用的自适应量化阈值是按照下面的步骤实现的。

计算小波分解后各个子带系数的能量大小。

采用去除某一子带，计算用其余子带重构图像的峰值信噪比(PSNR)的方法，获得子带能量和重构图像质量之间的关系。得出子带能量越大，子带对重构图像质量的影响越大，子带就越重要。

依据子带的重要程度，确定量化阈值，建立起量化阈值和能量之间的反比例关系。子带越重要，量化阈值就较小，获得较好的重构图像质量。反之，子带不太重要，量化阈值较大，获得较大的压缩比。

由于子带的能量具有较大的数量级，所以采用子带的样本标准差来代替能量。能量越大，标准差也越大。本文的自适应量化阈值方法就是通过建立量化阈值和标准差之间的反比例关系来实现的。

3) 编码环节，各个子带分别处理。

LL 子带：最低频 LL 子带聚集了最多的能量，对重构图像的质量影响最大，这个子带不量化而采用无失真 DPCM 编码。

高频子带：高频子带经过量化之后，分成两部分系数进行编码。一部分是重要系数，另一部分是重要图表。对重要系数采用固定比特平面编码，而重要图表是指对高频子带提取出重要系数对应的信息，绝对值大于阈值的系数映射为 1，反之映射为 0。重要图表是为了解码时找到与各系数相对应的位置信息，对于个别子带含有很多 0 值的重要图表，进行游程编码，以获得更高的压缩比。

3.3 IHS 空间变换和谱段内压缩算法结合

本文混合压缩算法的提出就是将上述的 IHS 空间变换和谱段内压缩算法相结合来实现的。算法首先对多光谱遥感图像进行 IHS 变换，去除其谱间相关性，然后对变换后的 I、H 和 S 成分分别采用提出的谱内压缩算法去除空间相关性，以实现多光谱遥感图像的压缩。在算法的实现过程中，由于 I 成分对应的谱段表征的是地表空间的亮度信息，如果这一谱段损失的信息量较多，则会严重导致重构图像质量的下降，

因而对这一谱段进行压缩时，将自适应量化阈值的系数设置的小些，以保证获得更好的重构图像质量。对于空间变换后另外两个成分的信息进行处理时，由于表征的是光谱信息的色度和饱和度信息，这些信息的适度舍弃，对于重构图像质量的影响不大，所以对它们进行压缩时，可将自适应阈值的系数设置的稍大些，以获得较高的压缩比。本文提出的混合压缩算法就是基于上述的实现方案来完成的，这样就在保证重构图像质量的同时，也获得了较大的压缩比，充分协调了小失真度和大压缩比之间的矛盾。

4 算法仿真实验及其对比实验

算法实验是在操作系统 Windows XP，编程语言为 MATLAB7.0 实验环境下进行的。图 2 给出了六幅内容和纹理复杂程度各不相同的多光谱遥感图像。后续为了描述简便，将本文提出的混合压缩算法称为 IHS+IWT 算法。



图 2 六幅多光谱遥感图像
Fig.2 Six multispectral remote sensing

表 2 给出了 IHS+IWT 算法对上述图像进行有损压缩的压缩比(CR)和峰值信噪比。从表 2 中可看出，本算法对于各种不同内容和纹理的图像，在重构图像质量平均 PSNR ≥ 33 dB 时，获得了平均值 7 以上的压缩比。

为了说明本文提出的 IHS+IWT 算法相对于其他算法的优越性，下面图 3 给出本文算法与 DPCM+IWT^[11]有损压缩算法，DPCM+SPIHT^[14]算法，不去除谱间相关性的 SPIHT^[15]算法的 PSNR-CR 对比曲线。

从图 3 中可以看出，本文提出的 IHS+IWT 压缩算法，比起其它三种算法最大限度地去除了谱间相关性和空间相关性，无论在压缩比和峰值信噪比上均获得了最好的压缩效果。

5 结 论

提出了一种适合于三个谱段的多光谱遥感图像有损压缩算法，算法通过 IHS 变换去除谱间相关性，并且再通过谱段内的整数小波变换去除空间数据冗余。在遥感图像压缩中既要考虑高实时性，同时又要协调小失真度和大压缩比之间的关系是十分重要的。本文算法中提出的自适应量化阈值方案，使得算法处理不同内容和纹理的图像均获得较好的重构图像质量和较高的压缩比，并且算法具有结构简单，所需存储容量

表 2 压缩比和峰值信噪比

Table 2 Compression rate and PSNR		
Image	CR	PSNR(dB)
Hongkong	6.1310	33.5415
Beijing	4.7094	33.3809
Pentagonal building	6.7933	32.7504
White House	8.7978	33.4616
Pyramid	8.2183	32.6587
Shanghai pudong	8.4291	32.7165
Average value	7.1798	33.0849

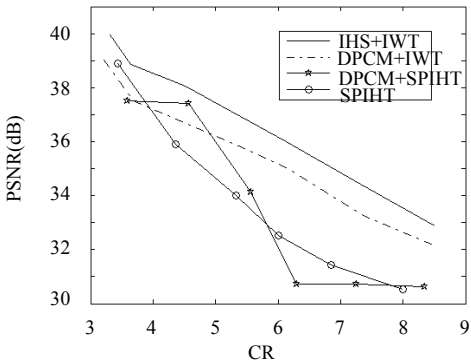


图 3 四种算法的对比实验

Fig.3 Contrast experiment of four algorithms

小,易于硬件实现,是一种有效的有损压缩算法。由于 IHS 变换受限于处理三个谱段,在本文算法探讨的基础上向处理更多谱段的多光谱遥感图像数据进行延拓,是值得今后继续探讨的问题。

参考文献:

- [1] 卓红艳, 罗建书, 魏文俭. 基于提升的 Landsat-TM 光谱图像压缩[J]. 中国空间科学技术, 2005(4): 65-71.
ZHUO Hong-yan, LUO Jian-shu, WEI Wen-jian. A Landsat-TM Image Compression Algorithm Based on Lifting[J]. **Chinese Space Science and Technology**, 2005(4): 65-71.
- [2] GONZALEZ Rafael C, WOODS Richard E. **Digital image processing(second ed)**[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [3] 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.
PAN Bo, JIN Xin-yu. A Wavelet-based Approach for Compression of Multispectral Images[J]. **Laser and Infrared**, 2005, 35(6): 447-450.
- [4] Geli G, Poggi G. Compression of Multispectral Images By Spectral Classification and Transform Coding[J]. **IEEE Trans. Image Processing**, 1999, 8(4): 476-489.
- [5] Abousleman G P, Marcellin M W, Hunt B R. Compression of Hyperspectral Imagery Using 3-D DCT and Hybrid DPCM/DCT[J]. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 1995, 33(1): 26-34.
- [6] 王 琪, 郭 雷. 基于 1+2 维小波变换的多光谱图像压缩[J]. 光子学报, 2003, 32(9): 1126-1129.
WANG Qi, GUO Lei. Multispectral Images Compression Based on 1+2D Wavelet Coding[J]. **Acta Photonica Sinica**, 2003, 32(9): 1126-1129.
- [7] 付文秀, 王世刚, 高燕梅, 等. 结合矢量量化的 SPIHT 算法用于多光谱图像压缩[J]. 通信学报, 2004, 25(6): 109-114.
FU Wen-xiu, WANG Shi-gang, GAO Yan-mei, *et al.* Application of SPIHT with Vector Quantization to Compression of Multispectral Image[J]. **Journal of China Institute of Communications**, 2004, 25(6): 109-114.
- [8] SERPICO S B, BRUZZONE L. A New Search Algorithm for Feature Selection in Hyperspectral Remote Sensing Images[J]. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2001, 39(7): 1360-1387.
- [9] Luigi Dragotti P, Poggi G, Ragozini A R P. Compression of Multispectral Images By Three-dimensional SPIHT Algorithm[J]. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 2000, 38(1): 416-428.
- [10] Tang X, Pearlman W A, Modestino J W. Hyperspectral Image Compression Using Three-dimensional Wavelet Coding[J]. **SPIE**, 2003, 5022: 1037-1047.
- [11] 田宝凤, 孙荣春, 徐抒岩. 基于提升方案的多光谱遥感图像有损压缩算法[J]. 光学技术, 2006, 32(S): 560-562.
TIAN Bao-feng, SUN Rong-chun, XU Shu-yan. Lossy Compression Algorithm of Remotely Sensed Multispectral Images Based on Lifting Scheme[J]. **Optical Technique**, 2006, 32(S): 560-562.
- [12] Adams M D, Kossentini F. Reversible Integer-to-integer Wavelet Transforms for Image Compression: Performance Evaluation and Analysis[J]. **IEEE Transactions on Image Processing**, 2000, 9(6): 1010-1024.
- [13] 柯 丽, 黄廉卿. 适于遥感图像实时压缩的小波基的选择[J]. 光学技术, 2005, 31(1): 77-80.
KE Li, HUANG Lian-qing. Choice of Wavelet Base in Real-time Compression for Remote Sensing Image[J]. **Optical Technique**, 2005, 31(1): 77-80.
- [14] 吴 铮, 何明一. 基于小波变换和分段 DPCM 混合编码的多光谱遥感图像压缩算法[J]. 电子与信息学报, 2003, 25(6): 747-754.
WU Zheng, HE Ming-yi. Multispectral Imagery Compression By Hybrid DWT and Partitioning DPCM[J]. **Journal of Electronics and Information Technology**, 2003, 25(6): 747-754.
- [15] 柯 丽, 黄廉卿. 提升方案结合改进 SPIHT 的快速图像压缩方法[J]. 光电工程, 2005, 32(1): 59-62.
KE Li, HUANG Lian-qing. Fast Image Compression Method Based on Lifting Scheme Combined with Improved SPIHT[J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2005, 32(1): 59-62.