

# 基于三维自适应预测的高光谱图像无损压缩算法

张晓玲, 沈兰荪, 张培强

(北京工业大学信号与信息处理研究室, 北京 100022)

**摘 要:** 利用高光谱图像具有较强的谱间相关性的特点, 本文提出一种基于三维自适应预测的高光谱图像无损压缩方法, 首先根据相关系数计算波段预测顺序, 然后利用相关性较强的空间邻点和谱间邻点, 采用基于神经网络模型的自适应预测方法进行三维预测编码。实验结果表明, 该方法能够有效的去除高光谱图像的空间和谱间相关性, 与现在最优的无损压缩国际标准 JPEGLS 相比, 压缩后的平均比特率能够降低 0.3bpp 左右。

**关键词:** 高光谱图像; 无损压缩; 自适应预测; 波段排序

**中图分类号:** TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 06-0957-03

## Lossless Compression of Hyperspectral Image Based on 3-D Adaptive Prediction

ZHANG Xiao-ling, SHEN Lan-sun, ZHANG Pei-qiang

(Signal & Information Processing Lab., Beijing Polytechnic University, Beijing 100022, China)

**Abstract:** Using the significant spectral correlation within the hyperspectral images, a lossless compression algorithm is presented in this paper. The method can be explained in two steps: (1) band ordering according to spectral correlation coefficient; (2) 3-D adaptive prediction based on neural networks. Experiments show that this method can remove the spatial and spectral redundancy efficiently. The proposed approach can reduce about 0.3 bit per pixel compression compared with JPEGLS.

**Key words:** hyperspectral image; lossless compression; band ordering; adaptive prediction

### 1 引言

随着具有上百波段的成像光谱仪 (Imaging Spectrometer) 的迅速发展, 高光谱图像数据呈海量增长, 一幅  $512 \times 614 \times 224$  (波段) 的 AVIRIS (Airborne Visible InfraRed Imaging Spectrometer) 高光谱图像就达 140Mbytes, 给有限的传输带宽和存储容量带来了严峻的挑战。研究高效的压缩方法<sup>[1]</sup>, 是遥感领域急需解决的一个课题。

近年来, 高光谱图像的压缩取得了很大的进步, 出现了不少压缩方法, 如基于预测的方法<sup>[2]</sup>, 基于变换的方法<sup>[3]</sup>, 基于量化的方法<sup>[4,5]</sup>, 以及多种方法的混合编码<sup>[5,6]</sup>等。由于无损压缩能够在压缩图像数据的同时, 不丢失任何信息, 因此, 在高光谱图像的传输和存储等要求不能丢失信息的应用中有很重要的作用, 受到人们广泛的关注<sup>[2,4]</sup>。

成像光谱仪的光谱分辨率达到 10nm 左右, 高的光谱分辨率使得高光谱图像的谱间相关性很强。我们从去除谱间冗余出发, 提出一种新的基于三维自适应预测的高光谱图像无损压缩方法。首先根据波段之间的相关系数计算波段间的预测顺序<sup>[7]</sup>, 然后采用基于神经网络的自适应预测方法<sup>[8,9]</sup>进行

三维预测编码。实验结果表明, 用本文提出的方法对 128 波段的 OMIS-I (Operational Modular Imaging Spectrometer)<sup>[10]</sup> 图像编码, 能够有效的去除高光谱图像的空间/谱间相关性, 与目前无损/近无损压缩标准 JPEGLS<sup>[11]</sup> 相比, 本文方法获得的平均比特率能够降低 0.3bpp (bits/pixel) 左右。

### 2 计算波段预测顺序

高光谱图像可以表示为一个三维数组  $f(b, i, j)$ , 其中,  $b, i, j$  分别表示波段、行和列。像素不仅与其空间相邻点具有相关性, 还与其谱间相邻点具有相关性。因此, 当前像素可以由相关性较强的周围像素 (空间邻点和谱间邻点) 来预测, 预测关系表示为:

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^k a_i x_i \quad (1)$$

其中,  $\hat{y}$  为像素  $y$  的预测值,  $x_i$  为邻点像素值,  $a_i$  为预测系数。预测值  $\hat{y}$  越接近真实值  $y$ , 误差图像的熵就越低, 压缩效率就越高。可以通过两种途径来提高预测精度: (1) 选择相关性较强的谱间邻点  $x_i$ ; (2) 自适应的调整预测系数  $a_i$ 。为此, 第一步是计算波段之间相关系数, 选择预测波段, 即确定最优

预测顺序,第二步是进行自适应的三维预测编码。

高光谱图像是在连续谱带上对同一地物同时成像,但不同波段之间的相关性并不相同。如果两个波段的相关性强,则意味着两个波段的图像提供的信息相似,利用其中的一幅图像的信息,就可以用较少的信息量表示出另一个波段的图像。因此,在对高光谱图像进行预测编码时,应该选择相关性较强的波段来进行预测编码,这样可以有效减少表示当前波段所用的信息量,提高压缩效率;反之,利用相关性较小的波段进行预测,则会影响压缩效率。显然,选取相关性较大的波段进行预测,是提高三维预测编码效率的关键之一。

对于特定成像光谱仪获取的高光谱图像,波段之间的相关性是类似的,因此根据相关性预先计算好的预测顺序,可以适用于该成像光谱仪所获取的绝大部分图像<sup>[7]</sup>。我们采用相关系数来确定波段之间的相关性,如下式:

$$r_{XY} = \frac{Cov(X, Y)}{\sqrt{D(X)} \sqrt{D(Y)}} \quad (2)$$

其中,  $D(X)$ 、 $D(Y)$  为波段  $X$ 、 $Y$  的方差,  $Cov(X, Y)$  为波段  $X$  和波段  $Y$  之间的协方差,  $r_{XY}$  为波段  $X$  与  $Y$  之间的相关系数。  $n$  个波段之间的相关系数形成  $n \times n$  的相关系数矩阵  $C$ 。

首先在相关系数矩阵  $C$  中搜索最大值,设为  $C_{xy}$ ,从而得到一组预测对,设为  $b_x$  和  $b_y$ ;令  $b_x$  为  $b_y$  的预测波段,即  $b_y$  的  $b_x$  采用二维预测编码。然后在  $C$  中搜索与  $b_x$  和  $b_y$  相关系数最大的值( $C_{xy}$ 除外),设为  $C_{xz}$ (或  $C_{yz}$ ),由此得到第二组预测对,  $b_z$   $b_x$ (或  $b_z$   $b_y$ )。依此类推,根据已编码的波段和相关系数矩阵  $C$ ,得到下一个编码波段及其相应的预测波段,最终得到一个预测关系表。

根据公式(2),按照上述方法,得到的 OMIS-I 的波段预测表的一部分如下(限于篇幅,不一一列出):119 (2D 预测编码),118 119(0.999),117 119(0.999),116 117(0.996),120 119(0.990),128 120(0.990)……。其中,括号中的小数为该预测对的相关系数。

### 3 三维预测编码

根据预测公式(1),选择合适的预测系数,能够提高预测精度。但最优预测系数是随着编码过程的进行而不断变化的。作者在文献[8,9]曾提出一种基于神经网络的自适应的预测方法,其预测系数能够根据前一个像素的预测误差自适应调整,有效地提高了预测精度。特别值得指出的是,该方法的预测邻点数目和位置可以任意调整,用于高光谱图像的三维预测编码,能够同时去除空间和谱间相关性。并且由于采用 Rice 编码方法,对图像只扫描一次,预测和编码同

时完成,编码效率和编码速度都较高。

我们选择预测波段的和当前波段的共 13 个相邻像素进行预测编码,预测关系如图 1 所示,其中  $X$  表示预测邻点,  $Y$  表示待编码像素,左边的表示预测波段,右边的表示当前波段。

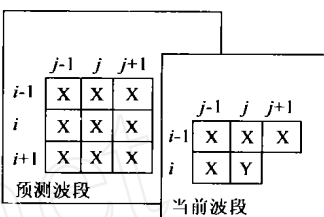


图 1 三维预测邻点示意图

### 4 实验结果

实验图像为 128 波段的 OMIS-I 高光谱图像,其中,波段 1-64 为 vis/nir;波段 65-96 为 sw2;波段 97-104 为 mir;波段 105-112 为 TIR;波段 113-128 为 sw1。现有的几个图像压缩国际标准 JPEG、JPEG2000、JPEGLS 均有无损压缩模式,其中 JPEGLS 采用二维边缘检测预测编码,被认为是无损压缩性能最好的编码标准<sup>[11,12]</sup>,而且该标准采用的也是基于预测的方法,因此,我们将实验结果与该标准的实验结果进行比较。实验图像

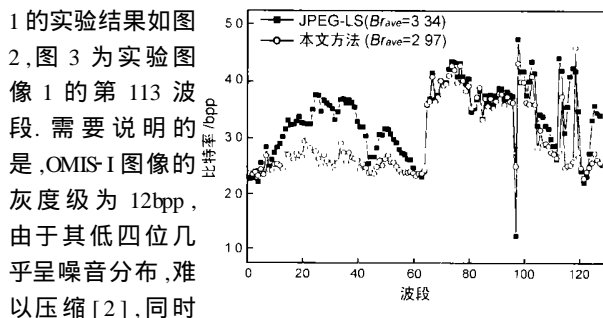


图 2 实验图像 1 各个波段的压缩结果比较。他们将图像均量化为 8bpp。

从图 2 中,我们可以看到,采用本文提出的方法,压缩后大多数波段的平均比特率都有明显的降低,128 个波段平均比特率降低 0.37bpp。

采用本文的方法,用已计算好的波段预测顺序,压缩其它的 OMIS-I 图像,均获得较好的结果。这里给出另外两组实验图像(实验图像 2 和 3)及压缩后的平均比特率比较结果,分别如图 4 和图 5 所示。



图 3 实验图像 1(第 113 波段)



图 4 实验图像 2(第 114 波段)  
压缩结果: JPEGLS:  $Br_{ave} = 3.81$   
本文方法:  $Br_{ave} = 3.06$



图 5 实验图像 3(第 113 波段)  
压缩结果: JPEGLS:  $Br_{ave} = 3.08$   
本文方法:  $Br_{ave} = 2.89$

## 5 讨论

从以上的实验结果,可以看出:

(1) 高光谱图像谱间存在很大的冗余,有效的利用谱间相关性,能够大大的提高压缩效率,vis/nir 波段(第 1-64 波段)的编码效率提高的尤为明显,这是因为 vis/nir 波段的光谱分辨率较高(不到 10nm). 对于有的波段,该方法的压缩效果不明显,个别波段的压缩效果较 JPEGLS 差,这是由于这些波段与其它波段的相关性很低,因此三维预测的效果不明显.

(2) 自适应的三维预测方法能够快速有效的去除图像的相关性,容易扩展预测邻点的个数和位置. 对于空间纹理更加丰富复杂的图像,如图 4,本文提出的方法效果更加突出,与 JPEGLS 相比,其平均比特率降低 0.75bpp.

基于上述研究结果,如果能从以下几个方面进一步展开研究,将会取得更好的压缩效果:(a) 根据相关性的强弱,对不同波段确定不同的预测方案,如对某些相对独立的波段(与其它波段的相关性低),可采用二维预测方法;(b) 根据预测方法,确定更准确的相关性数学模型,选用相关性更强的谱间邻点,将会进一步提高压缩效率.(c) 若采用两个或多个波段作为预测波段,可能会获得更好的预测效果.

## 参考文献:

- [1] 沈兰荪,等. 视频编码与低速率传输[M]. 北京:电子工业出版社,2001.
- [2] B Aiazzi, P Alpa, L Alparone, et al. Lossless compression of multi/hyper-spectral imagery based on a 3-D fuzzy prediction[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1999, 37(5): 2287 - 2294.
- [3] M R Pickering, M J Ryan. Efficient spatial-spectral compression of hyperspectral data[J]. IEEE Trans. on Geosci. Remote Sensing, 2001, 39(7): 1536 - 1539.
- [4] M J Ryan, J F Arnold. The lossless compression of AVIRIS images by vector quantization[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1997, 35(3): 546 - 550.

- [5] G P Aboulema, et al. Hyperspectral image compression using entropy-constrained predictive trellis coded quantization[J]. IEEE Trans. Image Processing, 1997, 6(4): 566 - 573.
- [6] M R Pickering, M J Ryan. Compression of hyperspectral data using vector quantisation and the discrete cosine transform[A]. 2000 International Conference on Image Processing [C]. Vancouver, BC: ICIP, 2000. 195 - 198.
- [7] S R Tate. Band ordering in lossless compression of multispectral images[J]. IEEE Trans. Comput., 1997, 46(4): 477 - 483.
- [8] 张晓玲, 毋立芳, 沈兰荪. 基于感知器的遥感图像无损压缩编码[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(7): 712 - 715.
- [9] 张晓玲, 沈兰荪. 一种基于自适应预测的医学图像高效无损压缩方法[J]. 电子学报, 2001, 29(12A): 1914 - 1916.
- [10] 刘银年, 薛永祺, 王建宇, 等. 实用型模块化成像光谱仪[J]. 红外与毫米学报, 2002, 21(1): 9 - 13.
- [11] M J Weinberger, et al. The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEGLS[R]. HPL-98-193, 1998.
- [12] C Christopoulos, et al. The JPEG2000 still image coding system: an overview[J]. IEEE Trans. Consumer Electron., 2000, 46(4): 1103 - 1127.

## 作者简介:



张晓玲 女, 1971 年出生于山东莱州, 1993 年毕业于华中理工大学, 现为北京工业大学信号与信息处理研究室博士生, 主要研究方向为图像/视频编码和传输. E-mail: zhangxiaoling @emails.bjut.edu.cn.

沈兰荪 男, 1938 年出生于江苏苏州, 1961 年毕业于北京邮电学院通信工程系, 现为北京工业大学教授、博士生导师, IEEE 学会高级会员, 研究领域为图像处理、图像传输、图像压缩和光谱信号的检测等, 发表学术论文二百余篇, 出版专著十部.