

文章编号: 1007-4619 (2000) 02-0095-05

# 高光谱图像数据变换编码压缩方法

王春胜<sup>1</sup>, 禹秉熙<sup>2</sup>, 戴逸松<sup>1</sup>, 文大化<sup>2</sup>

(1. 吉林工业大学 电子工程系, 吉林 长春 130025; 2. 中国科学院 长春光学精密机械研究所, 吉林 长春 130022)

**摘 要** 三维 DCT 变换编码包括谱段方向的一维 DCT 变换和由此产生的特征值图像的二维 DCT 变换编码。谱段方向一维 DCT 变换的主要作用是去除光谱方向的数据相关性, 并产生由 DCT 系数构成的并与各个谱段相对应的特征值图像。特征值图像的压缩由 JPEG 算法完成, 图像的压缩比由 JPEG 的量化因子  $q$  控制。

图像边缘特征对高光谱图像的应用具有非常重要的意义, 在高光谱图像的压缩过程中要尽量保持图像的边缘特征。我们设计了具有图像边缘保持特性的量化表, 以取得最佳的量化效果。

**关键词:** 高光谱图像; 变换编码; JPEG; 量化器; 图像边缘特征

**中图分类号:** TP751.1      **文献标识码:** A

## 1 引 言

### 1.1 超光谱图像数据压缩问题的由来

成像光谱技术(Imaging Spectroscopy)是 80 年代初发展起来的新的遥感技术。世界上一些国家如美、加、德、法、澳、中等国研制出了一系列航空成像光谱仪(Imaging Spectrometer), 提出航天成像光谱仪的开发研制计划。成像光谱仪的光谱分辨率为几个 nm 至 20 nm, 波段通道数可达几十个至上百个。所以成像光谱仪称为高光谱传感器(Hyperspectral Sensor)。

由于成像光谱仪的高光谱图像是在二维图像的基础上加上一维光谱信息, 所以其产生的数据率非常大。例如美国 TRW 公司的 HSI 的数据率为 313 Mb/s。如果再加上卫星轨道和一些工程参数等辅助数据, 数据量会更大。这样大的数据率对于下链路信道是难以接收的, 所以必须进行图像数据压缩。

### 1.2 高光谱图像数据压缩技术的现状

目前对多光谱和高光谱图像数据压缩技术的研究主要可分为有损压缩和无损压缩两大类<sup>[1]</sup>, 有损压缩的研究重点主要集中于变换编码和矢量量化编码上。其中变换编码技术包括 KLT 变换<sup>[2]</sup>、DCT 变

换<sup>[3]</sup>、小波变换<sup>[4]</sup>等。KLT 变换是最优变换, 在变换时需要图像的统计特性, 即协方差矩阵等。这对信源统计特性可行的图像是可行的, 但对信源统计特性未知的图像, 这种变换是很复杂的, 并没有快速算法。DCT 变换虽然在去相关的性能上稍逊于 KLT 变换, 但在变换过程中不需要已知图像的统计特性, 计算量小, 有快速算法, 并有专用 DSP 芯片, 所以适用于实时处理的场合。小波变换也是近年图像压缩技术研究的热点之一。

根据仙农的率失真理论, 矢量量化编码具有很大的优越性, 其编码性能有可能很接近率失真函数的理论极限。矢量量化技术正广泛应用于多光谱图像数据压缩。主要有特征预测矢量量化 (Feature Predictive VQ, FPVQ)<sup>[5]</sup> 和多级矢量量化 (Multistage VQ, MSVQ)<sup>[6]</sup> 等。矢量量化技术所取得的压缩效果优于变换编码技术。对一般多光谱图像, 矢量量化技术的压缩比可达到 20:1 (nearlossless)。但由于失真度与码书的大小成反比关系, 要想降低失真度, 就必须极大地增加码书的容量, 一个庞大的码书以及对其进行的查找对实时处理是不合适的。

无损压缩可使恢复图像与原图像完全一致, 即均方差为 0。无损压缩包括霍夫曼编码、算术编码、莫尔斯编码<sup>[7]</sup> 等。无损压缩的压缩比较小, 一般为 2-4。

收稿日期: 1999-01-21; 修订日期: 1999-04-13

**作者简介:** 王春胜 (1965-), 男, 1991 年毕业于中国科学院长春光学精密机械研究所获工学硕士学位, 现在吉林工业大学电子工程系攻读通信与电子系统专业博士学位。主要从事图像处理及图像压缩方面的研究工作, 已发表论文 10 余篇。

本文介绍了一种实用的三维 DCT 变换编码的高光谱图像数据压缩算法,这种算法可使图像质量在准无失真和视觉失真范围内选择。本算法首先应用一维 DCT 变换去除谱段方向相关性,并产生特征值图像。光谱方向去相关的特征值图像再使用 JPEG 算法<sup>[8]</sup>进行压缩。这种算法的关键是充分利用了光谱和空间两种数据相关性。以 DCT 为基础的 JPEG 压缩算法是当今最可行的图像压缩技术。这种算法可以很方便地改变参数以得到不同精度的重建图像。

## 2 高光谱图像数据压缩系统组成

高光谱图像是对某个特定地物进行高光谱成像所得到的一组二维图像,其中每一幅二维图像对应一个谱段。每幅二维图像的差异仅在于它们是处于不同的谱段。

普遍二维图像的相邻像元之间具有很强的相关性。一般图像压缩技术致力于减少或完全消除这种相关性,使图像数据得到压缩,这种技术目前已制定了国际标准,即 JPEG(静止图像)标准和 MPEG(运动图像)标准。对于高光谱图像,地物上的每一个像元,在各个谱段对应的二维图像中的数值虽然有差异,但具有很强的相关性。高光谱图像数据压缩技术不仅要去除二维图像中相邻像元之间的相关性,又要去除同一像元在不同谱段上的相关性。

压缩系统的构成如图 1,它主要由数据分割、谱段方向去相关、特征图像量化、JPEG 压缩 4 部分组成。

的图像子块。由于 JPEG 每次只能压缩  $8 \times 8$  的二维图像子块,所以我们将高光谱图像分割成  $8 \times 8 \times 8$  的图像子块便于后续的谱段方向一维 DCT 变换和特征值图像的 JPEG 压缩编码。

### 2.2 谱段方向去相关

由于离散余弦变换(DCT)具有计算简单、运算速度快等特点,特别是它不要求已知信源的统计特性,并有专用的 DSP 芯片,可进行实时处理,所以我们选用一维 DCT 变换做谱段方向去相关。

在谱段方向去相关时,我们仅在谱段方向做一维 DCT 变换。经一维 DCT 变换后,原高光谱图像的 8 幅二维普通图像变换为 8 幅谱段方向去相关的特征值图像。

### 2.3 特征值图像的量化

量化是产生误差的重要原因之一,为保证重建图像的质量,我们必须选择最佳的量化方案。对于高光谱图像立方体,经过一维 DCT 谱段去相关的特征值图像,能量主要集中于前三幅上。其值由浮点数表示,数值大部分超过 255,它们必须被映射和量化到 0-255 整数范围内,。便于后续使用 JPEG 算法压缩。

### 2.4 特征值图像的 JPEG 压缩编码

JPEG 压缩编码是本系统的核心。一维 DCT 变换所要完成的任务只是去除谱段方向的相关性,不能产生压缩效果。整个系统的压缩功能主要由 JPEG 完成。

JPEG 算法的一个重要的特点是可以根据需要改变其参数。主要有 DCT 系数量化表(Q 表)、量化步长控制因子  $q$  以及霍夫曼表。根据高光谱图像的应用情况设计了具有图像边缘特征保持功能的量化器,  $q$  因子是量化步长控制参数。因此  $q$  因子决定图像压缩的效果和质量。在高光谱图像压缩系统中, JPEG 所要压缩的是经一维 DCT 变换去相关而形成的一组特征值图像,因此在进行压缩时针对集中了大部分能量的前 3 幅图像,一定要选择较小的量化因子。而对后 5 幅图像可选取较大的因子。这样既可保证恢复图像的质量,又可获得较大的压缩比。

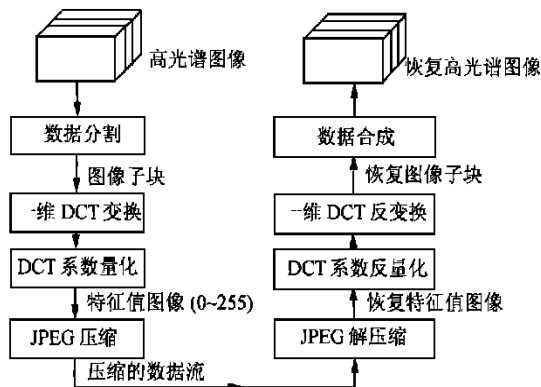


图 1 压缩系统框图

Fig. 1 Compression system block diagram

### 2.1 数据分割

在数据分割部分,高光谱图像被分成互不重叠

## 3 图像边缘特征保持方法

图像的边缘特征对于高光谱图像的应用是非常

重要的,因此在设计压缩算法时要充分考虑到如何保持图像的边缘特征,使之不在压缩过程中有较大的失真。

JPEG 压缩算法是根据人们对普遍图像的压缩要求设计的。JPEG 推荐的 Q 表在设计中充分考虑到人眼的视觉特性(HVS)。人眼对平坦区域的失真较为敏感,而对边缘区域的失真较为迟钝。JPEG 正是根据人眼的这一视觉特点,对代表平坦区域的低频系数进行细量化,而对代表边缘区域的高频系数进行粗量化。这样在满足人眼不失真的条件下取得了较高的压缩比。JPEG 的这种量化策略未能对图像的边缘信息给予应有的重视,而是以牺牲边缘区域的高频系数为代价获得较高的压缩比。这样的处理对于高光谱图像是不合适的。

为此我们需对压缩过程中的边缘特性保持方法进行深入研究。

### 3.1 图像边缘子块的二维 DCT 谱分析

我们认为在  $8 \times 8$  像素这样小的图像子块中,如含有图像边缘,一定是或近似为平直单边缘。因此平直单边缘图像子块在二维 DCT 变换后能量的分布和针对单边缘图像子块的 DCT 系数的量化器设计是我们重点要研究的问题。

经过对单边缘图像子块二维 DCT 谱分析后我们发现<sup>[9]</sup>:

- (1) 当边缘为水平方向时,二维 DCT 系数的能量全部集中在第一列上。
- (2) 当边缘为竖直方向时,二维 DCT 系数的能量全部集中在第一行上。
- (3) 当边缘为倾斜方向时,二维 DCT 系数的能量主要分布于主对角线及其两侧,并且左上角所占能量比重较大。

### 3.2 量化器设计

根据以上结论,我们参照 JPEG 静止图像压缩标准所推荐的量化器设计出了具有图像边缘特征保持特性的新型量化器(表 1)。通过新量化器与原 JPEG 量化器比较可以看出,在边缘信息能量较集中的区域均采用了较小的量化步长,而对其它区域则采用较大的量化步长。这样既可以取得较高的压缩比又可以充分保持图像边缘区的能量,使之在恢复时不会出现较大的失真。新量化器具有自适应功能。当图像子块具有边缘信息时,它会具有保持功能;当图像子块为平坦子块时,由于平坦了块经二维

DCT 变换后,能量主要集中于左上角上,新量化器取得与原量化器同样的效果。

表 1 边缘特性保持 Q 表

Table 1		The edge retained Q Table					
6	8	8	10	12	11	12	12
8	8	10	10	12	58	60	55
10	10	8	10	40	57	69	56
14	12	10	8	12	87	80	62
12	12	37	10	8	10	103	77
14	35	55	64	10	8	10	92
12	64	78	87	103	10	12	16
12	92	95	98	112	100	16	14

大量实验表明,一维 DCT 变换不会改变原图像中的边缘特征。前 3 幅特征图像中这种特征较为明显,而在后 5 幅图像中由于能量较少导致边缘两侧灰度值差异很小。因此后 5 幅特征值图像不必采用新的量化器。

## 4 图像压缩效果与谱精度分析

图 2 是 8 幅高光谱图(1030—1100 nm)的原图像;图 3 为压缩后恢复图像;表 2 为压缩实验结果。

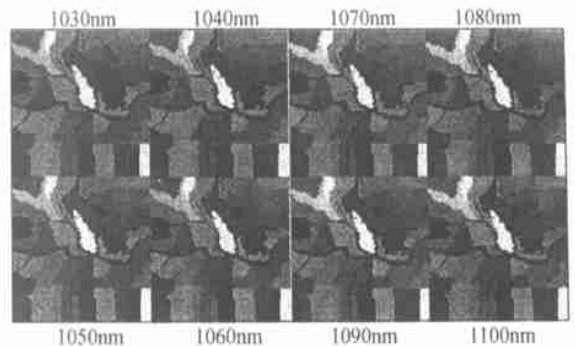


图 2 8 幅高光谱图像(1030—1100 nm)

Fig. 2 The source hyperspectral images at 1030—1100 nm

从表 2 中可以看出,对于本文所采用的算法一维 DCT+JPEG(新 Q 表),前 3 幅图像的压缩比较小,后 5 幅图像压缩比较大。这是由于经过一维 DCT 变换后,主要能量集中于前 3 幅图像上,因此这 3 幅图像较为复杂,所以压缩比较小。而后 5 幅图像所具有的能量较小,经过量化后图像中的灰度值差异较小,因此会取得较大的压缩比。表 2 中的 PSNR 是经过 JPEG 解压缩和一维 DCT 反变换而得到的完

全恢复的图像与原图像进行计算而得的。

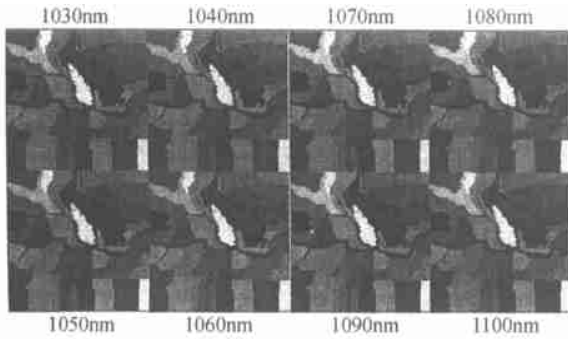


图 3 恢复高光谱图像(1030—1100 nm)

Fig. 3 The reconstructed hyperspectral images at 1030—1100 nm

表 2 实验结果

Table 2 Experiment data

波段	一维 DCT+JPEG (新 Q 表)		JPEG (新 Q 表)		JPEG	
	PSNR	CR	PSNR	CR	PSNR	CR
1	53.166	2.89	50.141	3.56	47.331	5.31
2	51.688	5.73	50.183	3.57	47.870	4.92
3	53.401	6.73	50.202	3.57	47.848	4.92
4	53.160	33.68	50.175	3.55	47.856	4.89
5	52.093	48.73	50.178	3.56	47.864	4.92
6	52.540	36.41	50.141	3.55	47.840	4.89
7	53.360	43.46	50.182	3.55	47.841	4.90
8	52.310	42.12	50.182	3.55	47.841	4.90
Cube	52.714	27.44	50.170	3.55	47.786	4.96

表中 CR 为压缩比,  $PSNR = 10 \log \frac{255 \times 255}{MSE}$  (dB) 式中, MSE 为恢复图像的均方误差。

表 2 中的 JPEG(新 Q 表)项是使用新量化器的 JPEG 算法对高光谱图像各谱段图像进行压缩实验的数据。从数据中可以看出,由于没有利用谱段间的数据相关性,这种方法的压缩比远远小于我们所采用的一维 DCT+JPEG 的方法。表 2 中的 JPEG 项是使用 JPEG 推荐量化表的 JPEG 算法对高光谱图像立方体各谱段图像进行压缩实验的数据。从数据中可以看出,CR 大于 JPEG(新 Q 表)项。这是由于在新量化器设计中,我们把对图像边缘信息有影响的区域都采用了较小的量化步长。从整体上看新量化器的量化步长小于 JPEG 推荐量化器中的量化步长。

从图 3 中可以看出图像边缘清晰无明显失真。

图 4 是一种物质的光谱曲线在图像压缩前和恢

复后的情况(由于篇幅所限,我们只选取一条曲线)。我们对同一地域取得了 72 幅高光谱图像(谱段分辨率为 10 nm),并将每个  $8 \times 8$  地域在 72 个谱段上分为 9 组,然后分别进行压缩和恢复。可以看出,恢复后的曲线与原曲线相差很小,完全能够表示出原曲线的特征吸收或辐射峰谷的中心波长、半值宽度、带深及斜率等参数。

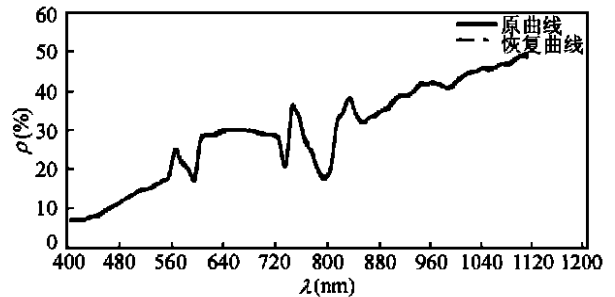


图 4 黄河矿的光谱曲线<sup>[10]</sup>

Fig. 4 Spectral curve of Huanghoite

## 5 结 论

本文讨论了高光谱图像数据的变换编码压缩方法。这种压缩技术由谱段间的一维 DCT 变换和谱段间去相关后形成的特征值图像的 JPEG 压缩算法组成。算法的精度由 JPEG 中的量化表控制,可在准无失真和视觉失真的范围内进行选择。在 JPEG 量化器的设计中引入了图像边缘信息保持的特点,使算法更适用于高光谱图像。

本研究的另一个重要特点是之所以使用一维 DCT 变换做为谱段去相关的方法,是因为目前的 DSP 芯片完全能做到实时处理,这样整个高光谱图像数据压缩系统完全能做到实时处理。这是目前其它压缩方法所不能做到的。

## 参考文献 (References)

- [1] S. Gupta, A. Gersho. Recent Trends in Compression of Multispectral Imagery [A]. The Twenty Seventh Asilomar Conf. on Signals, System & Computer [C]. Nov. 1993, 1325—1329.
- [2] John A. Saghi. Transform Coding of Multispectral Imagery [J]. SPIE, 1994, 2298, 45—61.
- [3] Glen P. Abousleman. Hyperspectral Image Compression Using 3-D Discrete Cosine Transform and Entropy-Constrained Trellis Coded Quantization [J]. SPIE, 1994, 2331, 136—147.
- [4] B. R. Epstein, R. Hingorani. Multispectral KLT-wavelet data compression for Landsat Thematic mapper images. Data Compression Conf., 1992, 181—190.
- [5] S. Gupta, A. Gersho. Feature predictive vector quantization of mul-

- tispectral images [J]. *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, 1992, **30**, 491—501.
- [6] S. Gupta, A. Gersho. Variable Rate Multistage Vector Quantization of Multispectral Imagery with Greedy bit Allocation [J]. *SPIE*, 1993, **2094**, 890—901.
- [7] M. Rabbani, P. Jones. Digital Image Compression Techniques [J]. *SPIE*, 1991, **1450**, 116—128.
- [8] G. K. Wallace. The JPEG still picture compression standard [C]. *Communications of the ACM*, Apr. 1991. vol. 34, 30—44.
- [9] Wang Chunsheng. A scheme of Retaining Image Edge Features in JPEG Image Compression Technology [J]. *SPIE*, 1998, **3561**, 356—362.
- [10] Space science and technology center of Chinese Academy of Sciences. Data compilation of Chinese earth resources spectra information [C]. Beijing: Energy Press, 1987, 154. [中国科学院空间科学技术中心. 中国地球资源光谱信息资料汇编 [C]. 北京: 能源出版社, 1987, 154]

## A Transform Coding Compression of Hyperspectral Image with its Edge Features Retained

WANG Chung-sheng, YU Bing-xi, DAI Yi-song, WEN Da-hua  
(*Electronic Department, Jilin University of Technology, Changchun 130025, China*)

**Abstract:** The High Resolution Imaging Spectrometer (HIRIS) produces tremendous amounts of raw data. Transmission of these data to a ground receiving station is constrained by downlink communication bandwidth. To alleviate limitation, the data must be compressed. In this paper, we present a compression algorithm for hyperspectral image by using, three-dimensional discrete cosine transform coding (3-D DCT).

The 3-D DCT includes a 1-D DCT on spectral direction followed by 2-D DCT on the eigen images produced by 1-D DCT. The main effect of the 1-D DCT is to remove the data correlation on the spectral direction, and produces the spectral band corresponded eigen images which are consisted by the DCT coefficients. The resulting spectrally-decorrelated eigen images are then compressed using the JPEG algorithm. The compression ratio is controlled by the quantization (Q table) of JPEG. Image edge features are of great significance to the application of hyperspectral image. During the compression, it is pursued to retain the image edge feature. We have designed a Q table for retaining the edge feature with maximum compression.

**Key words:** hyperspectral images; transform code; JPEG; quantization; image edge feature