

## 适于星上应用的高光谱图像无损压缩算法

李进<sup>1,2</sup>, 金龙旭<sup>1</sup>, 李国宁<sup>1</sup>

1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要** 针对常见基于预测、变换、矢量量化及其组合的高光谱无损压缩算法压缩比低、压缩算法整体耗时以及硬件实现困难的问题, 提出一种适于星上应用的高光谱图像无损压缩算法。首先, 沿光谱线的第一谱段图像采用中值预测器进行谱段内预测, 其他谱段图像采用谱间预测。谱间预测采用两步双向预测算法, 第一步预测采用双向二阶预测器得到参考预测值, 第二步预测采用本文提出的改进 LUT 搜索预测算法得出 4 个 LUT 预测值, 然后将参考预测值与其比较得出最终的预测值。最后, 使用 XX-X 空间高光谱相机的压缩系统试验设备对该文提出的压缩算法进行了试验验证。结果表明, 压缩系统能快速稳定地工作, 平均压缩比达到 3.05 bpp, 与传统方法相比, 平均压缩比提高了 0.14~2.94 bpp。有效的提高了高光谱图像无损压缩比和解决了压缩算法整体实现困难的问题。

**关键词** 高光谱图像; 无损压缩; 两步双向预测; 改进 LUT 预测

中图分类号: O433.4 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)08-2264-06

### 引言

随着高光谱遥感成像光谱仪在空间和谱间分辨率指标要求上的不断提高, 导致同时具有二维空间信息和一维的光谱信息的高光谱遥感图像数据量呈指数增加。现有星载存储器容量有限, 卫星信道带宽受限, 无法适应空间高光谱遥感图像的海量数据。因此, 必须要对高光谱遥感图像进行压缩。高光谱遥感图像包含了十分丰富的地物特征信息, 具有广泛和长期的应用价值, 有损压缩会对后续的应用造成无法估量的影响, 因此高光谱遥感图像压缩通常进行无损压缩。

目前, 对高光谱遥感图像无进行损压缩的常用方法是基于预测<sup>[1,2]</sup>、变换<sup>[3-6]</sup>、矢量量化<sup>[7,8]</sup>以及它们的组合<sup>[9]</sup>或改进的图像压缩算法<sup>[10]</sup>, 如 POT 变换<sup>[11]</sup>、OrthOST 变换<sup>[12]</sup>、LVQ-SPECK<sup>[13]</sup>、DSC<sup>[14]</sup>等。基于变换的压缩算法可以实现渐进有损压缩, 但其复杂度较高, 硬件实现困难, 无损压缩性能较低。基于矢量量化的压缩算法可以有效地提高压缩性能, 但是编码算法非常复杂, 计算量随矢量维数的增加呈指数增加, 难以满足空间高光谱相机的应用。基于预测的算法对于高光谱图像无损压缩取得的较好的效果, 但常见预测算法的无损压缩比较低。然而, 对于高光谱成像光谱仪而言, 压缩算法需要在保证压缩算法硬件实现简单、耗时较短的前

提下尽量提高压缩比。

在参考国内外相关技术的基础上, 根据背景项目需求, 结合高光谱图像特点, 权衡高光谱图像无损压缩比、实现复杂度以及压缩耗时等方面, 提出一种适于空间高光谱相机应用的图像压缩方案。提出的创新性高光谱图像压缩方案已经在 XX-X 空间高光谱相机原理样机的压缩设备上获得了应用, 应用表明, 可以有效的解决空间高光谱相机的庞大、复杂的数据压缩处理。

### 1 压缩系统设计思想

高光谱图像光谱分辨率的数量级通常为  $10^{-2}\lambda$ , 可以看作为二维的空间几何信息和一维光谱信息组成的三维立体图像, 高光谱成像仪的成像过程如图 1 所示。

高光谱图像的谱段数通常在几十到几百。对于这种图像来说, 存在空间相关性和谱间相关性。空间相关性指同一谱段内某一像素与其相邻像素之间的相关性, 其图像空间行相关性公式为

$$R(p, 0) = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - \bar{f}) \times (f(x+p, y) - \bar{f})}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - \bar{f})^2} \quad (1)$$

收稿日期: 2012-02-23, 修订日期: 2012-05-26

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)基金项目(863-2-5-1-13B)资助

作者简介: 李进, 1984 年生, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生

e-mail: 1458312813@qq.com

图像空间列相关性公式为

$$R(0, q) = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - \bar{f}) \times (f(x, y+q) - \bar{f})}{\sqrt{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - \bar{f})^2}} \quad (2)$$

$$h(p, q) = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x+p, y+q) - \bar{f}) \times (g(x, y) - \bar{g})}{\sqrt{(\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \bar{f}]^2) \times (\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [g(x, y) - \bar{g}]^2)}} \quad (3)$$

其中,  $f(x, y)$ 和  $g(x, y)$ 分别代表相邻波段的像素点  $(x, y)$ 的像素灰度值,  $h(0, 0)$ 为  $f(x, y)$ 和  $g(x, y)$ 的互相关函数。根据式(1)一式(3), 对高光谱图像的空间和谱间相关性进行测试, 测试图像选用标准 AVIRIS 高光谱图像 Jasper Ridge, 测试结果如图 2 所示。由图 2(a)和(b)知, 高光谱图

式中,  $M \times N$ 为图像的大小,  $f(x, y)$ 为图像的灰度函数,  $\bar{f}$ 为图像灰度的平均值。高光谱图像的谱间相关性是指不同谱段的图像在同一空间位置的像素之间的相关性。谱间相关性计算公式为

像的谱间相关性强于空间相关。测试其他图像, 也得到相同的结果。

根据上述分析的高光谱图像特点, 提出一种适于星上应用的高光谱图像无损压缩系统, 系统设计思想如图 3 所示。

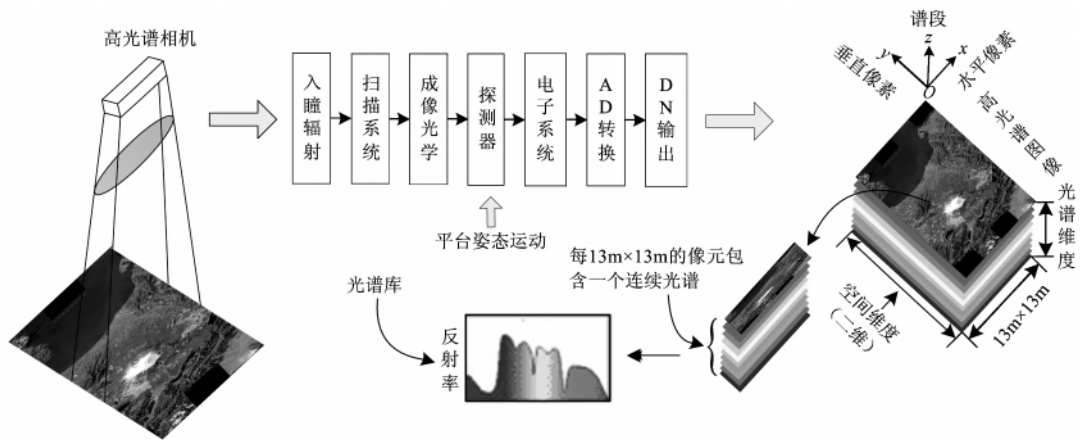


Fig 1 Hyperspectral imaging process

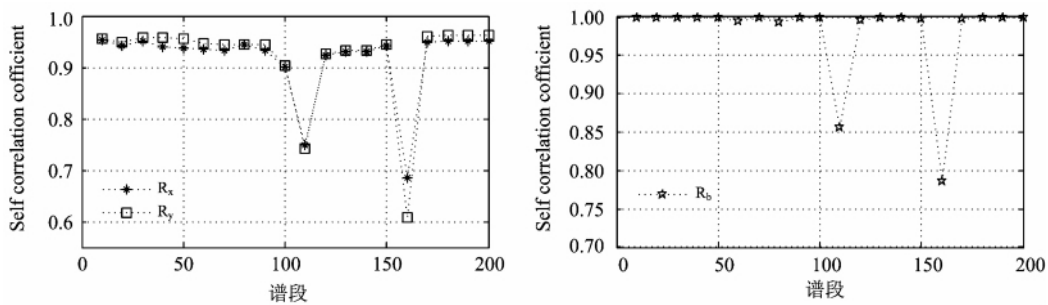


Fig 2 The correlation of hyperspectral image

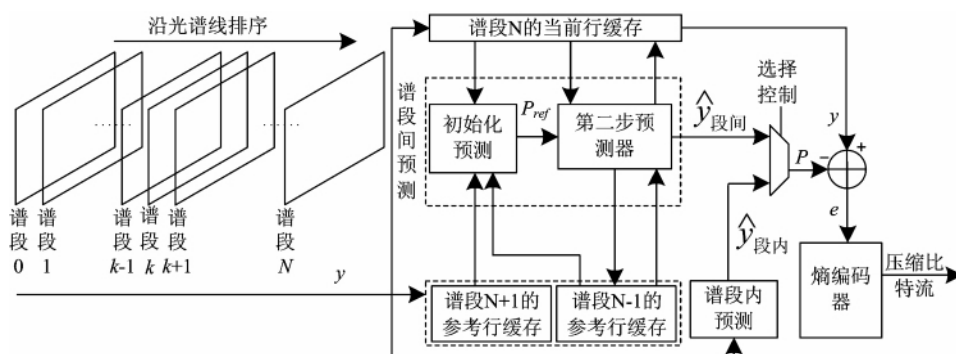


Fig 3 System general structure

压缩系统主要分为：谱段内预测，谱间 2 步双向预测器和熵编码模块 3 部分。对于高光图像而言，谱段内预测比谱段内预测性能更佳。因此，采用沿光谱线第一谱段的图像（图 3 中谱段 0）采用谱段内预测，其他谱段图像采用谱段间预测的方法。谱间 2 步双向预测器的第一步预测器进行谱间双向预测，第二步预测器把第一步预测值作为参考预测  $P_{ref}$ ，然后在当前谱段中搜索预测出最后的预测值，最后，将当前像素值与预测值相减得到预测差值，将预测差值进行采用自适应算法编码得到压缩后码流。

## 2 关键技术

### 2.1 第一步预测

谱段内预测借鉴 JPEG-LS 中的中值预测器，该滤波器对于静止图像压缩不仅简单而且效率较高。设  $y$  是当前像素值，该像素的 3 个相邻像素为  $y_{nw}$ 、 $y_n$  和  $y_w$ ，如图 4(a) 所示。

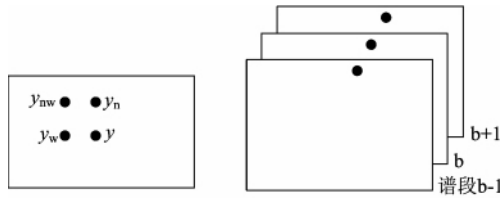


Fig 4 The of position relation of pixels

像素  $y$  的谱段内预测值为

$$\hat{y}_{intra} = \begin{cases} \min(y_n, y_w), & y_{nw} \geq \max(y_n, y_w) \\ \max(y_n, y_w), & y_{nw} \leq \min(y_n, y_w) \\ y_n + y_w - y_{nw}, & otherwise \end{cases} \quad (4)$$

对于谱段间预测，提出一种 2 步双向预测策略，该策略包括 3 个模块：初始化预测模块、第二步预测器模块。在初始化预测中，使用双向预测器来计算预测参考值  $P_{ref}$ 。第二步预测器使用该预测值在当前谱段中来查找出最后的预测值。初始化预测采用二阶预测器

$$\hat{y} = \alpha(v - m_v) + \beta(w - m_w) + m_y \quad (5)$$

其中， $w$  和  $v$  是与谱段  $b$  的相同位置的谱段  $b-1$  和  $b+1$  的像素值。 $m$  为一随机变量的期望值。 $\alpha$  和  $\beta$  是预测系数。预测系数  $\alpha, \beta$  通过求解 Wiener-Hopf 方程

$$\begin{bmatrix} \sigma_v^2 & \sigma_{vw} \\ \sigma_{vw} & \sigma_w^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{yv} \\ \sigma_{yw} \end{bmatrix} \quad (6)$$

设当前待压缩谱段对应的图像为如图 5(a) 所示，该谱段的前一谱段对应的图像如图 5(b) 所示。

	$y_{20}$	$y_{18}$	$y_{17}$	$y_{19}$	$y_{21}$		$w_{20}$	$w_{18}$	$w_{17}$	$w_{19}$	$w_{21}$	
$y_{16}$	$y_{13}$	$y_9$	$y_7$	$y_6$	$y_{10}$		$w_{16}$	$w_{13}$	$w_9$	$w_7$	$w_6$	$w_{10}$
$y_{15}$	$y_{12}$	$y_8$	$y_3$	$y_2$	$y_4$		$w_{15}$	$w_{12}$	$w_8$	$w_3$	$w_2$	$w_4$
$y_{14}$	$y_{11}$	$y_5$	$y_1$	$y$			$w_{14}$	$w_{11}$	$w_5$	$w_1$	$w$	

Fig 5 Image contents

统计参数公式表示为

$$\delta_w^2 = E\{w^2\} - m_w^2 = \frac{1}{M^2} (M \sum_{i=1}^M w_i^2 - (\sum_{i=1}^M w_i)^2) \quad (7)$$

$$\delta_{wy} = E\{wy\} - m_w m_y = \frac{1}{M^2} (M \sum_{i=1}^M w_i y_i - \sum_{i=1}^M w_i \sum_{i=1}^M y_i) \quad (8)$$

这里  $M$  为图像大小尺寸，同理，其他系数可以被求得。

### 2.2 第二步预测

第二步预测器是需要当前谱段中搜索预测像素值与  $P_{ref}$  最近的像素值。提出一种基于双向搜索预测算法。其思想为：设待预测像素为  $f(x, y, z)$ ，其中， $x, y, z$  分别为该像素在图像中所处的行、列和谱段位置。该像素在初始化预测阶段求得的预测参考值为  $P'_{ref}$ 。第二步预测时，假设  $\mu$  是前一谱段的像素  $f(x, y, z-1)$  的像素值， $\lambda$  后一谱段的像素  $f(x, y, z+1)$  的像素值。在前一谱段对应的图像中搜索像素值为  $\mu$  的像素，如果搜索到像素  $f(x'_1, y'_1, z-1), f(x'_2, y'_2, z-1), \dots, f(x'_k, y'_k, z-1) (1 \leq k \leq MN, M, N$  分别为图像行数和列数)；在后一谱段对应的图像中搜索像素值为  $\lambda$  的像素，如果搜索到像素  $f(x''_1, y''_1, z+1), f(x''_2, y''_2, z+1), \dots, f(x''_k, y''_k, z+1)$ 。然后在当前谱段中，这些搜索到的像素的同位置像素  $f(x'_1, y'_1, z), f(x'_2, y'_2, z), \dots, f(x'_k, y'_k, z)$  和  $f(x''_1, y''_1, z), f(x''_2, y''_2, z), \dots, f(x''_k, y''_k, z)$  的值与预测参考值  $P'_{ref}$  进行比较，得出最终的预测值。如果未搜索到，则将  $P'_{ref}$  与  $f(x, y, z-1)$  和  $f(x, y, z+1)$  的像素值进行比较，哪个接近  $f(x, y, z)$  的像素值，哪个作为最终的谱间预测值。

为了提高搜索速度，考虑到压缩算法采用 FPGA 处理器实现，而 FPGA 结构采用 LUT 架构（以 Xilinx 公司 FPGA 为例），利用 FPGA 这种查找的工作特点，提出一种改进 LUT 预测搜索算法进行搜索。基于 LUT 预测搜索算法以及其提升算法对于高光谱压缩取得了满意的效果，这些算法整体结构参考文献[15,16]。对 LUT 预测搜索算法进行改进，采用 4 个 LUT 进行预测和更新来提高预测搜索速度，算法具体描述为：

设  $f(x, y, z) (0 \leq f(x, y, z) \leq f_{max}, 0 \leq x \leq M, 0 \leq y \leq N, 1 \leq z \leq K)$ ，LUT 为  $T_i^{(z)}[\cdot] (i=1, 2, 3, 4)$ 。LUT 长度为  $f_{max}$ ，由第一步预测器求得像素  $f(x, y, z)$  的参考预测值为  $P'_{ref}$ ， $f(x, y, z)$  预测值  $f'(x, y, z)$ ，则 LUT 预测步骤为

$$f'(x, y, z) = f'_{\min\{\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4\}}(x, y, z) \quad (9)$$

式中

$$\epsilon_1 = \operatorname{argmin}\{|T_1^{(z)}[f(x, y, z-1)] - P'_{ref}|\} \quad (10)$$

$$\epsilon_2 = \operatorname{argmin}\{|T_2^{(z)}[f(x, y, z-1)] - P'_{ref}|\} \quad (11)$$

$$\epsilon_3 = \operatorname{argmin}\{|T_3^{(z)}[f(x, y, z+1)] - P'_{ref}|\} \quad (12)$$

$$\epsilon_4 = \operatorname{argmin}\{|T_4^{(z)}[f(x, y, z+1)] - P'_{ref}|\} \quad (13)$$

LUT 的更新步骤为

$$T_2^{(z)}[f(x, y, z-1)] = T_1^{(z)}[f(x, y, z-1)] \quad (14)$$

$$T_4^{(z)}[f(x, y, z+1)] = T_3^{(z)}[f(x, y, z+1)] \quad (15)$$

$$T_1^{(z)}[f(x, y, z-1)] = f(x, y, z) \quad (16)$$

$$T_3^{(z)}[f(x, y, z+1)] = f(x, y, z) \quad (17)$$

最后将  $P'_{ref}, T_1^{(z)}[f(x, y, z-1)], T_2^{(z)}[f(x, y, z-1)]$ ,

$T_3^{(z)}[f(x, y, z+1)]$  和  $T_4^{(z)}[f(x, y, z+1)]$  进行比较得出最终的预测值。图 6 和图 7 进一步说明所提出的改进 LUT 预测搜索算法的预测和更新步骤。

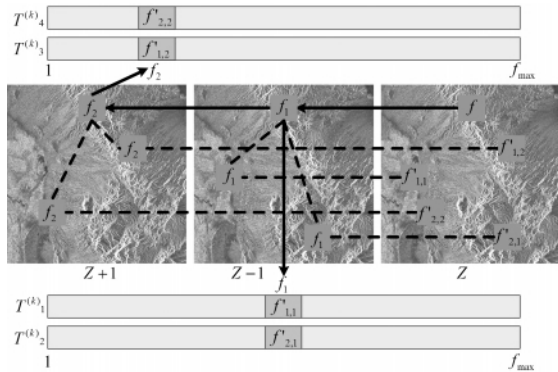


Fig 6 Prediction step of proposed method

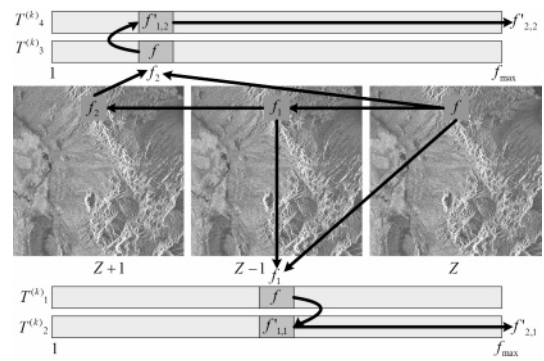


Fig 7 Update step of proposed method

### 3 实验与结果

#### 3.1 压缩系统硬件实现平台

为了测试本压缩系统性能, 使用了自主研发的 XX-X 空间高光谱相机的压缩系统的试验设备。压缩系统硬件实现平台组成如图 8 所示。

硬件平台主要包括: 协处理器、FPGA 和相应外设。FPGA 选用 Xilinx 公司生产的 Spartan3 XC3S4000 FPGA。协处理器内嵌 ARM926EJ-S 处理器核和各种外设 IP 核。压缩系统在实验平台上采用软硬件结合处理的策略, 如图 9 所示。整个谱段间预测模块采用硬件实现。熵编码模块除了具有较小的计算负担特点外, 该模块是序列处理来更新和分类概率表。该模块和其他模块使用硬件实现。硬件包括谱间预测, 数据缓存和总线打包。对于软件单元中, 应用程序实现压缩系统的其他部分, 同时也实现初始数据输入, 压缩码流输出以及显示等单元。

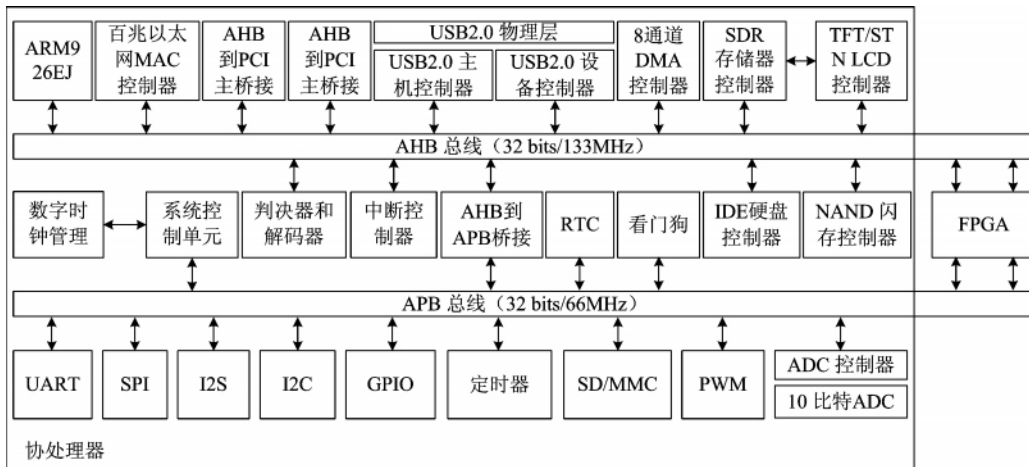


Fig 8 The platform of compression system

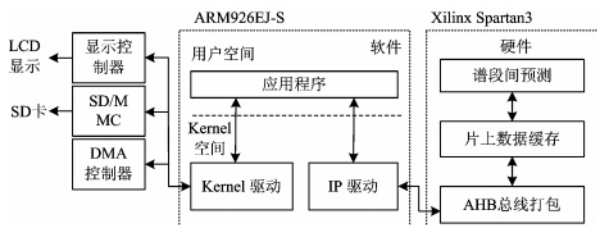


Fig 9 The strategy of hardware in combination with software

#### 3.1 压缩系统可行性验证

为了验证本压缩系统可行性, 使用图 8 所示实验系统, 测试图像选用 JPL 实验室的 AVIRIS 高光谱图像序列, 其中 Cuprite 和 Alteration 图像的第 120 波段的图像如图 10(a)和

(b)所示, 这两幅图像经压缩系统压缩, 解压后的第 120 波段重构图像如图 11(a)和(b)所示。

由图 10 和图 11 可知, 从图像上来看原始图像和重构图像没有任何区别, 这是由于压缩为无损压缩, 原始图像和重

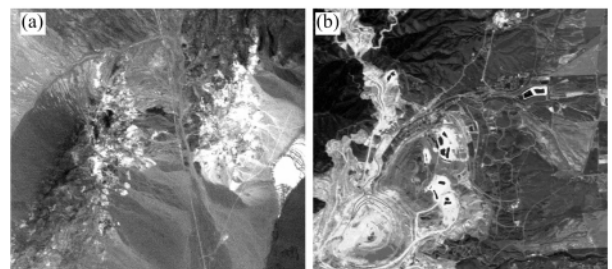


Fig 10 Original images

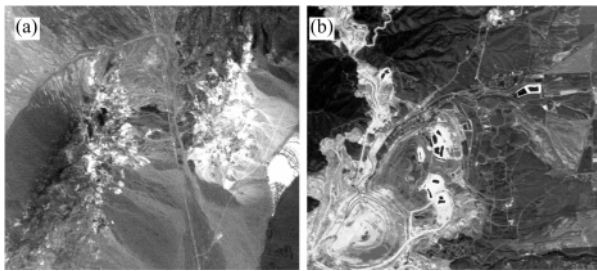


Fig 11 Reconstructed images

构图像的每个像素值理论上应该都完全一样。对图 10 和图 11 的原始图像和重构图像采用均方误差公式进行比较, 均方误差公式 MSE 为

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - g(x, y))^2}{MN}} \quad (18)$$

其中,  $f(x, y)$  和  $g(x, y)$  分别为原始图像和重构图像,  $M$  和  $N$  为图像大小。使用式(18)对图 10 和图 11 的原始图像和重构图像进行计算, 求得两幅图像的 MSE 均为 0, 理论与实际相符合。可见, 本压缩系统是可行的。

### 3.2 压缩算法性能实验结果

为了测试本压缩系统的两步预测算法压缩性能, 压缩算法在加入和不加入第二步预测进行测试。测试图像选用 AVIRIS 和 Hyperion 图像库中的高光谱图像, 其中, AVIRIS 图像大小为  $512 \times 614 \times 224$  (行  $\times$  列  $\times$  波段), 每个像素用 16 bit 存储; Hyperion 图像大小为  $256 \times 256 \times 224$  (行  $\times$  列  $\times$  波段), 每个像素用 12 bit 存储。在图 8 所示的硬件平台上进行测试, 其中 12 组图像(每组取 15 幅图像)的平均压缩比测试结果如表 1 所示。

Table 1 Compression test results (Unit: bits  $\cdot$  pixel $^{-1}$ )

图像名	无第二步预测法	本法(含第二步预测)
Cuprite	4.09	3.02
Jasper Ridge	4.14	3.13
Low Altitude	3.60	2.96
Lunar Lake	4.21	3.29
Moffett Field	4.35	3.36
Hawaii	4.29	3.24
Maine	3.16	2.82
Coastal	4.11	3.12
Erta Ale	3.23	2.99
Lake Monona	3.19	2.94
Mt. St. Helens	3.79	3.04
Urban	3.08	2.76
平均压缩比	3.77	3.05

由表 1 知本高光谱图像压缩算法的未加入第二步预测时平均压缩比为 3.77 bpp(bits  $\cdot$  pixel $^{-1}$ ), 加入第二步预测时平均压缩比为 3.05, 提高了 0.72 bpp。

所提出的双向两步预测高光谱图像压缩算法与传统高光谱图像压缩算法平均压缩比比较如表 2 所示。

Table 2 Compression test results (Unit: bits  $\cdot$  pixel $^{-1}$ )

方法	平均压缩比	方法	平均压缩比
双向预测 <sup>[17]</sup>	5.24	最佳递归双向 <sup>[20]</sup>	4.47
LAS-LUT <sup>[16]</sup>	4.89	IP3-BSP <sup>[21]</sup>	3.92
聚类 <sup>[18]</sup>	5.96	TSP-W2 <sup>[22]</sup>	3.95
s-DSC-inf <sup>[19]</sup>	3.22	多波段预测 <sup>[23]</sup>	3.19

由表 1 和表 2 知, 本文提出的压缩算法具有最好的压缩性能, 比现有压缩算法平均压缩比提高了 0.14~2.94 bpp。此压缩算法平均压缩比小于 4 bpp, 满足项目设计指标。

### 3.3 压缩算法实现复杂度实验结果

为了分析比较此压缩系统与现有算法的实现复杂度性能优劣, 在 PC 计算上进行测试分析。PC 机工作参数配置为: 英特尔 CPU: E8400, 主频为 3.00 GHz, 内存为 3.00 GB。测试图像选用 AVIRIS 高光谱图像序列, 测试结果如表 3 和表 4 所示。

Table 3 Comparison of computation time for different methods (Unit: seconds)

方法	编码器	解码器
LUT <sup>[15]</sup>	33	37
LAI-S-LUT <sup>[16]</sup>	61	62
TSP-W2 <sup>[22]</sup>	13 870	13 883
本法	249	267
无第二步法	110	106

Table 4 Comparison of compression performance for different methods (Unit: bits  $\cdot$  pixel $^{-1}$ )

图像	LUT	LAI-S-LUT	TSP-W2	无第二步法	本法
Yellowstone0	4.83	4.49	3.40	3.84	3.11
Yellowstone3	4.63	4.32	3.87	3.70	3.21
Yellowstone10	3.97	3.72	3.43	3.16	2.82
Yellowstone11	4.35	4.03	3.68	3.49	2.97
Yellowstone18	4.85	4.49	3.98	3.79	3.04
Average	4.53	4.21	3.79	3.60	3.03

由表 3 和表 4 知, 本压缩算法权衡了高光谱图像压缩性能和压缩损耗时间, 具有最好的压缩性能, 损耗时间也较短。因此, 本工作提出的方法非常适于空间高光谱相机的应用。

## 4 结论

本工作提出适于空间高光谱相机的图像压缩方案。压缩算法采用两步预测算法, 第一步预测采用双向预测, 第二步是根据第一步预测值, 在当前波段中搜索最终的预测值。这种策略提高了压缩算法的整体性能, 同时编码时间损耗较短。最后, 使用笔者研制的 XX-X 空间高光谱相机样机的实验设备平台进行了试验验证。结果表明, 压缩系统具有良好压缩性能, 平均压缩比达到 3.05 bpp, 比现有压缩算法平均压缩比提高了 0.14~2.94 bpp。为空间高光谱相机的图像数据整体压缩硬件实现提供了一种很好的解决方案。同时可以为未来星上专用图像压缩芯片的设计提供参考。

## References

- [ 1 ] Daniele Giacobello, Mads Græsbøll Christensen, Manohar N Murthi, et al. IEEE Signal Processing Letters, 2010, 17(1): 103.
- [ 2 ] Wu Xiaolin, Zhai Guangyao, Yang Xiaokang, et al. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(1): 36.
- [ 3 ] Ian Blanes, Joan Serra-Sagristà. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48(7): 2854.
- [ 4 ] Garima Chopra, Pal A K. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(1): 270.
- [ 5 ] Li Bo, Yang Rui, Jiang Hongxu. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(1): 236.
- [ 6 ] Jiao Licheng, Wang Lei, Wu Jiaji, et al. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2011, 8(2): 326.
- [ 7 ] Murthy Chandra R, Duni Ethan R, Rao Bhaskar D. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(11): 5390.
- [ 8 ] Fernando García-Vilchez, Jordi Muñoz-Mari, Ian Blanes, et al. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2011, 8(2): 253.
- [ 9 ] Yoonjoo Lee, Moo Young Kim. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4): 2602.
- [ 10 ] Zhu Wei, Du Qian, Fowler James E. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2011, 8(3): 416.
- [ 11 ] Ian Blanes, Joan Serra-Sagristà. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(3): 961.
- [ 12 ] Michel Barret, Jean Louis Gutzwiller, Mohamed Hariti. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(5): 1557.
- [ 13 ] Alessandro J S Dutra, William A Pearlman, Eduardo A B da Silva. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2011, 5(3): 370.
- [ 14 ] Pan Xuzhou, Liu Rongke, Lv Xiaoqian. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2012, 9(2): 224.
- [ 15 ] Jarno Mielikainen. IEEE Transactions on Signal Processing Letters, 2006, 13(3): 157.
- [ 16 ] Huang B, Sriraja Y. SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing XIII, Bruzzone L, Ed., 2006, 6365: 63650I-1.
- [ 17 ] CHANG Jin, TAO Wu-sha, NIAN Yong-jian, et al(常进, 陶午沙, 粘永建, 等). Electronics Optics & Control(电光与控制), 2010, 17(10): 65.
- [ 18 ] NIAN Yong-jian, SU Ling-hua, SUN Lei, et al(粘永健, 苏令华, 孙蕾, 等). Journal of Electronics & Information Technology(电子与信息学报), 2009, 31(6): 1271.
- [ 19 ] SONG Juan, LI Yun-song, WU Cheng-ke, et al(宋娟, 李云松, 吴成柯, 等). Acta Electronic Sinica(电子学报), 2011, 39(7): 1551.
- [ 20 ] SUN Lei, GU De-feng, LUO Jian-shu(孙蕾, 谷德峰, 罗建书). Optics and Precision Engineering(光学精密工程), 2009, 17(11): 2864.
- [ 21 ] Lin Chengchen, Hwang Yintsung. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010, 7(3): 558.
- [ 22 ] Kiely A, Klimesh M. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(8): 2672.
- [ 23 ] SUN Lei, LUO Jian-shu(孙蕾, 罗建书). Acta Electronic Sinica(电子学报), 2007, 35(12): 2876.

## Lossless Compression of Hyperspectral Image for Space-Borne Application

LI Jin<sup>1, 2</sup>, JIN Long-xu<sup>1</sup>, LI Guo-ning<sup>1</sup>

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 100049, China

**Abstract** In order to resolve the difficulty in hardware implementation, lower compression ratio and time consuming for the whole hyperspectral image lossless compression algorithm based on the prediction, transform, vector quantization and their combination, a hyperspectral image lossless compression algorithm for space-borne application was proposed in the present paper. Firstly, intra-band prediction is used only for the first image along the spectral line using a median predictor. And inter-band prediction is applied to other band images. A two-step and bidirectional prediction algorithm is proposed for the inter-band prediction. In the first step prediction, a bidirectional and second order predictor proposed is used to obtain a prediction reference value. And a improved LUT prediction algorithm proposed is used to obtain four values of LUT prediction. Then the final prediction is obtained through comparison between them and the prediction reference. Finally, the verification experiments for the compression algorithm proposed using compression system test equipment of XX-X space hyperspectral camera were carried out. The experiment results showed that compression system can be fast and stable work. The average compression ratio reached 3.05 bpp. Compared with traditional approaches, the proposed method could improve the average compression ratio by 0.14~2.94 bpp. They effectively improve the lossless compression ratio and solve the difficulty of hardware implementation of the whole wavelet-based compression scheme.

**Keywords** Hyper-spectral image; Lossless compression; Two-step and bi-directional prediction; Improved LUT prediction

(Received Feb. 23, 2012; accepted May 26, 2012)