文章编号:1001-5078(2014)07-0819-05

·图像与信号处理 ·

基于双估计值的查找表高光谱图像无损压缩

白玉杰1,何艳坤2,马 玉1,张 转1,赵 耀1

(1. 西北工业大学电子信息学院,陕西西安710072;2. 西安电子科技大学通信工程学院,陕西西安710072)

摘 要:提出一种基于双估计值的查找表预测高光谱图像无损压缩算法。首先,在高光谱图像 的第1 谱段图像采用 JPEG-LS 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 间预测采用以下步骤,利用 3 个 LUT 预测值求出第一个估计值;其次用当前谱段内和前一谱 段内特定的 8 个像素点计算出第二个估计值,将谱段内预测和谱间预测有效地结合,去除了高 光谱图像的谱间相关性。然后,用 3 个 LUT 预测值和最终的预测估计值比较,选出最终的预 测值。最后,将预测残差进行算术编码。实验结果表明,针对 NASA 的 AVIRIS 高光谱图像,用 本文算法比 LAIS-LUT 的压缩比平均提高了 0.03 ~ 0.11,针对国内 OIMS-I 高光谱图像,比 LAIS-LUT 压缩比平均提高了 0.01 ~ 0.09,有效的提高了压缩比。 关键词;高光谱图像;查表预测算法;两估计值预测;无损压缩

中图分类号:TP391.4 文献标识码:A DOI:10.3969/j.issn.1001-5078.2014.07.024

Lossless compression of hyperspectral images based on lookup table and two estimated values

BAI Yu-jie¹, HE Yan-kun², MA Yu¹, ZHANG Zhuan¹, ZHAO Yao¹

(1. Northwestern Polytechnical University, Electronic Information Department, Xi' an 710072, China;2. Xidian University, Communication Engineering, Xi' an 710072, China)

Abstract: A lossless compression algorithm of hyperspectral images based on two estimated value and look-up-table (LUT) prediction is proposed. Firstly, the intraband is predicted by using a JPEG-LS median predictor only for the first image along the spectral line, and the interband is predicted for the other bands. For interband prediction, the first estimated value is gotten by using three LUT prediction values, and then the second estimated value is computed by using eight specific pixels which located in the previous band and in the current band, the intraband prediction is effectively combined with the interband prediction, the spectrum correlation of hyperspectral images is removed. Then, the final estimated value is gotten through comparing the three LUT prediction values and the two estimated values. Lastly, the prediction error will be compressed by arithmetic coding. The experiment results show that: compared with LAIS-LUT, the proposed algorithm could enhance the compression ratio by about 0.03 ~ 0.11 for AVIRIS hyperspectral images data, and 0.01 ~ 0.09 for OIMS-I hyperspectral images, which improves the compression ratio effectively. **Key words**: hyperspectral image; look-up-table (LUT) prediction; two estimates predict; lossless compression

1 引 言

高光谱成像仪拍摄的图像是地物在不同波段电 磁波上的成像序列,不同波段包含几百甚至上千幅 图高光谱图像,它包含大量丰富的地形、地貌等特征 信息,在大气、海洋等领域有广泛和长期的应用价 值,由于包含的信息量大,在存储和传输过程中造成 很大压力,必须进行压缩,因为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,预测^[1]、变换^[2]算法在高光谱遥感图像

基金项目:国家自然科学基金(No. 61171154);国家自然科学基 金(No. 60902052)资助项目。

作者简介:白玉杰(1987 -),男,硕士,主要研究工作高光谱预 测,遥感图像压缩。E-mail:byj6666666@126.com 收稿日期:2013-12-01

上应用比较多,比如 LAIS-QLUT-OPT 预测^[3]等, 但是基于变换的压缩算法复杂度较高,压缩比较 低,很难满足需要。CALIC^[4]和 JPEG - 2000^[5]作 为一种基于非线性预测器压缩算法,通常用于静 止图像。WuXL对CALIC图像压缩算法进行了 改进,将光谱域信息作为上下文^[6],从而在 CALIC 图像压缩算法的基础上提高了压缩比, Magli $E^{[7]}$ 使用了 Kalman 滤波器,又进一步提高了压缩比。 Mielikainen^[8]提出一种查表(LUT)预测算法,一定 程度上去除了高光谱图像的空间相关性和谱间相 关性,Huang^[9]等人在LUT基础上提出一种提升算 法 LAIS-LUT,基于高光谱图像预测具有学习的特 点,实现了高光谱图像的较高压缩比。LAIS-QLUT, LAIS-QLUT-OPT 需要为每一个波段选取一 个最优的量化参数,因此复杂度较高。文献[10] 利用4个LUT在原有的LUT上提高了一定的压缩 比,但是复杂度比较高,实现有一定困难。另外文 献[11]在LUT上利用线性预测也实现了高光谱压 缩,但是压缩比较低。本文在深入分析基于 LUT 及其提升算法的基础上,提出了一种压缩比较高, 复杂度较低,基于双估计值 LUT 预测的高光谱无 损压缩算法。

2 传统 LUT 及其改进算法

成像光谱仪在电磁波谱的紫外、可见光、近红外和中红外区域,以数十至数百个连续且细分的光谱 波段对目标区域同时成像,形成高光谱图像。这种 波段连续的高光谱图像,谱间相关性远远高于空间 相关性,在进行数据压缩过程中,往往以去除谱间相 关性来提高压缩比,在已经成熟并广泛应用的高光 谱压缩算法中,以基于 LUT 的预测以及 LUT 改进无 损压缩算法性能最优。

LUT^[8]预测算法思想如下:当前谱段中 A 是当前像素点,B 是前一谱段与 A 对应位置的像素,对 A 点预测时,首先在前一谱段 B 点前已编码的像素值中寻找和 B 点像素值相等的像素点,如果找到,假 设为 b1,其中当前谱段内与 b1 对应位置的点记为 a1 点,则待处理点 A 用 a1 像素值来预测,如果没有 找到 b1,则 A 直接用 B 预测。



为了更好地去除谱间相关性,许多研究者对 LUT 预测算法进行了改进,目前来讲以 LAIS-LUT^[13]预测 算法性能最优,LAIS-LUT 算法在做预测时,首先寻找 一个预测估计值,然后寻找两个当前像素点的 LUT 预测值,这两个 LUT 预测值和预测估计值进行比较, 更靠近预测估计值的作为最终的预测值。为了降低 复杂度,LAIS-QLUT-OPT 预测^[3]对 LAIS-LUT 做了一 定的改进,文献[10]利用 4 个 LUT 预测值和 8 个 LUT 预测值在原有的 LUT 上提高了一定的压缩比, 但是复杂度较高,实现有一定困难。所以本文提出了 一种基于 LUT 预测改进的算法,实现了低复杂度,较 高的压缩比。

3 基于双估计值 LUT 预测算法

3.1 本文算法简介

首先分析高光谱图像谱间相关性,设波段 z 的 图像为 $P_z(m,n)$,波段 z + 1 的图像为 $P_{z+1}(m,n)$, 定义 z 波段的谱间相关系数为 h_z :

表1 AVIRIS 高光谱谱间相关系

波段	相关系数	波段	相关系数	波段	相关系数	波段	相关系数
20	0. 989628	70	0. 999878	120	0. 997836	170	0. 998613
30	0. 993559	80	0. 994686	130	0. 999898	180	0. 999411
40	0. 977317	90	0. 999951	140	0. 999916	190	0. 999478
50	0. 996810	100	0. 999879	150	0. 998575	200	0. 999576
60	0. 999364	110	0. 997614	160	0. 997657	210	0. 998625

由表1可以看出,AVIRIS 高光谱谱间相关系数 基本都在99.9%以上,因此高光谱图像的谱间相关 性远高于空间相关性。本文在此基础上提出了一种 基于双估计值的 LUT 预测高光谱无损压缩算法。

该算法包括以下几部分,首先第一个谱段使用 JPEG-LS的中值预测器进行谱段内预测,其余谱段 预测充分利用谱间相关性进行预测。更新和操作三 个LUT,并均值化,求得第一个预测估计值,然后用 当前素点的当前谱段和前一谱段周围特定的8个像 素点计算出第二个预测估计值,两个估计值线性方 法计算出一个最终的预测估计值,两个估计值线性方 法计算出一个最终的预测估计值,然后,用LUT预 测值和最终的预测估计值进行比较,得出最终预测 值。最后,待预测像素点大小和最终预测值相减得 到预测残差,采用算术编码方法对预测残差进行压 缩得到压缩码流。

3.2 本文预测算法

谱段内预测借鉴 JPEG-LS 的中值预测器。设 $P_{x,y,z}$ 为当前待预测像素点, P_{nw} , P_n 和 P_w 表示待预 测像素点的 3 个左上方相邻像素。像素 $P_{m,n,z}$ 的谱 段内预测值为:

$$\hat{P}_{red} = \begin{pmatrix} \min(P_n, P_w), P_{mv} \ge \max(P_n, P_w) \\ \max(P_n, P_w), P_{mv} \ge \min(P_n, P_w) \\ P_n + P_w - P_{nw} \text{, otherwise} \end{cases}$$
(3)

对于谱段间预测,如果待编码序列大小是 *M* × *N* × *Z* (行 × 列 × 波段),分以下两步:首先判断待预测像素点是不是当前像波段前 *M* 个像素点,如果是,那么直接用 LUT 预测算法,如果不是,那么以下算法具体描述为三部分:

(a)3个LUT的提出

建立三个 LUT 进行更新和操作,第二个 LUT 使 用第一个 LUT 更新前的数据进行预测,第三个 LUT 使用前两个 LUT 更新前的数据进行预测,这样就能 找到 0 至 3 个 LUT 预测值,分别记为 pre[0]、 pre[1]和 pre[2]。

(b)预测值的两个估计

对待预测像素点的估计有多种方法,一种是利用(a)中3个LUT的预测值做估计,该种方法只需 对三个LUT的预测值做均值:

$$T = (pre[0] + pre[1] + pre[2])/3$$
(4)

 $\frac{p_{m,n,z}}{p_{m,n,z-1}} \approx \frac{p_{m,n-1,z}}{p_{m,n,z-1}} \approx \frac{p_{m-1,n-1,z}}{p_{m-1,n-1,z-1}} \approx \frac{p_{m,n-2,z}}{p_{m,n-2,z-1}} \approx \frac{p_{m-1,n,z}}{p_{m-1,n,z-1}}$ (5)

第二个预测估计值受 LAIS-LUT^[9]预测的启发, U 作为待预测像素点的第二个预测估计值,当前谱 段和前一谱段存在这样一个近似关系,如公式(5), 因为公式(5)的近似关系,这里用平均的方法公式 (6)计算出第二个预测估计值的伸缩因子,第二个 预测估计值计算方法如公式(7);

$$\alpha = \frac{1}{4} \left(\frac{p_{m,n,z}}{p_{m,n,z-1}} + \frac{p_{m-1,n-1,z}}{p_{m-1,n-1,z-1}} + \frac{p_{m,n-2,z}}{p_{m,n-2,z-1}} + \frac{p_{m-1,n,z}}{p_{m-1,n,z-1}} \right)$$

$$(6)$$

$$U = \alpha p_{m,n,z-1}$$

$$(7)$$

以上两个预测估计值一定程度上和待预测像素 点大小很接近,为了预测更准确,还需要进行下一步。

(c)最终预测值的选择

前文计算出了预测值的两个估计值,在最终预测值的计算上有很大作用,但是最终预测值只有一个,为了便于更精确的比较和筛选,这两个估计值计算出了一个最终预测估计值:

$$\hat{P}_{m,n,z-1} = \frac{2}{3}T + \frac{1}{3}U$$
(8)

在最终预测时,如果 T 不为 0,用三个 LUT 的预 测值 pre[0]、pre[1]和 pre[2]与 $\hat{P}_{x,y,z-1}$ 进行比较, 更靠近 $\hat{P}_{x,y,z-1}$ 的 LUT 预测值,作为最终预测值。如 果 T 为 0,最终预测值直接用 U 预测。

4 实验结果与分析

本文实验中采用的测试图像为 2006 年的 BSQ 格式的 AVIRIS 高光谱图像和由北京图源有限责任 公司提供的国内 OMIS-I 高光谱图像, AVIRIS 高光 谱图像包含 224 个谱段,每个谱段包含 512 个 lines, 每一行有 614 个 pixels,国内 OMIS-I 的高光谱图像 由 128 波段组成,覆盖了从可见光到热红外的光谱 范围,共 128 个波段,每个波段的高光谱图像大小为 512 行×512 列,每个像素采用 16bit 存储,表 2 所示 为本文算法对 AVIRIS 高光谱图像的压缩比,表 3 所 示为本文算法对 OMIS-I 高光谱图像的压缩比。

本文所提算法与传统 LUT 预测压缩比算法比 较如表4 和表5 所示。

表2 本算法对 AVIRIS 高光谱图像的压缩比

AVIRIS	MoffetFieldsc0. img	MoffetFieldsc1. img	Cupritesc0. img	Cupritesc1. img	LunarLakesc0. img	LunarLakesc1. img
本文算法	3. 31	3. 18	3. 25	3. 11	3. 53	3.60

OMIS-I	seal1. img	river1 -	river1 – 1. img		nd2 – 1. img	desert9 – 1. img	
本文算法	2. 53	2. 53 1.			2. 84	3. 15	
表4 本文算法和传统 LUT 算法在 AVIRIS 数据上的压缩比对比							
方法	JPEG2000	LUT	TWP-W	V2	LAIS-LUT	本文算法	
平均压缩比	2. 23	3.16	3. 03		3.26	3. 33	
表 5 本文算法和传统 LUT 算法在 OMIS-I 数据上的压缩比对比							
方法	JPEG2000	LUT	TWP-W	V2	LAIS-LUT	本文算法	
平均压缩比	2. 21	2. 53	2.30		2. 57	2. 65	

表3 本文算法对 OMIS-I 高光谱图像的压缩比

由表2和表4可以看出,本文提出所提算法对 AVIRIS 平均压缩比为3.33,比传统LUT 压缩算法 压缩比提高了0.17,比LAIS-LUT 算法压缩比提高 了0.07,压缩性能是最优的,比LAIS-LUT 算法压缩 比平均提高了0.03~0.11。本文提出的算法对国 内OMIS-I高光谱图像的压缩比如表3所示,压缩比 平均为2.65,从表5中可以看出,比传统LUT 压缩 算法压缩比提高了0.13,比LAIS-LUT 算法压缩比 提高了0.08,压缩性也能是最优的,比LAIS-LUT 算 法压缩比平均提高了0.01~0.09,本文算法无论对 AVIRIS 数据还是 OMIS-I 数据压缩比相对现有的 LAIS-LUT 都有一定提升。

图 2 是本文算法和 LAIS-LUT 算法的残差对 比,实验用的是 AVIRIS 高光谱图像中 LunarLake_ sc1. img 的第 100 波段的数据,图中可以明显看出本 文算法残差比 LAIS-LUT 算法的残差要小,图中有 一些很离散的残差比较大,本文所提算法和 LAIS-LUT 算法都没能很好地解决这个问题,LAIS-LUT 算

法中是因为和估计值 $\hat{I}_{i,j,k}$ 比较的两个 LUT 预测值, 有很小部分两个 LUT 预测值与真实值差距比较大,

本文所提算法中是因为和最终估计值 $\hat{P}_{x,y,z-1}$ 比较的 pre[0]、pre[1]和 pre[2]都和真实值都比较大, 所以才造成了有极个别残差比较大。



图 2 序列 LunarLake_scl. img 第 100 波段的残差统计

另外,为了验证本算法在复杂度上的可行性,本 预测方法在计算机上进行了测试分析,计算机运行 参数:英特尔 CPU:W3505,主频 3.06GHz,内存为 6.00G,测试图像用 2006 年的 BSQ 格式的高光谱图 像序列和由北京图源有限责任公司提供的 OMIS-I 高光谱图像。

由表6和表7可以看出,本文算法牺牲了较小 复杂度,提升了一定的压缩比,具有较好的压缩性 能,损耗时间也在可以接受的范围以内。

方法	JPEG2000	LUT	TWP-W2	LAIS-LUT	本算法		
所耗时间	32	39	13902	65	472		
表7 OMIS-I 数据的不同方法的计算时间(单位:s)							
方法	JPEG2000	LUT	TWP-W2	LAIS-LUT	本算法		
所耗时间	12	17	7813	37	228		

表6 AVIRIS 数据的不同方法的计算时间(单位:s)

5 结 论

针对传统的 LUT 算法以及 LUT 改进的 LAIS-LUT 算法和 TWP-2 算法,本文提出了基于双估计值 的查找表预测高光谱图像无损压缩算法。将谱段内 预测和谱间预测有效地结合,去除了高光谱图像的 谱间相关性,复杂度较低,测试结果表明对 AVIRIS 高光谱图像压缩比平均比 LAIS-LUT 算法提高了 0.03~0.11,对国内 OMIS-I 高光谱图像,比 LAIS-LUT 算法压法压缩比平均提高了 0.01~0.09。很 好的解决了高光谱图像压缩比低,复杂度较高的问 题,尤其针对国内 OMIS-I 高光谱图像,是一个很好 的解决方案。

参考文献:

- WU Xiaolin, ZHAI GUangyao, YAN Xiaokang, et al. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(1):36.
- [2] PAN Bo, JIN Xinyu. A wavelet-based approach for compression of multispectral images [J]. Laser & Infrared, 2005,6(35),447-450. (in Chinese)
 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.
- [3] Jarno Mielikainen, Pekka Toivanen. Lossless compression of hyperspectral images using a quantized index to lookup tables[J]. IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing Letters, 2008, 5(3):474-478.
- Wu X, Memon N. Context-based, adaptive lossless image coding[J]. IEEE Trans. Communications, 1997, 45(4): 437 444.
- [5] LIU Yinchuan, Bayanheshig, CUI Jicheng, et al. Lossless compression of hyperspectral image base on prediction and JPEG2000[J]. Laser & Infrared, 2012, 42(4), 452 457. (in Chinese)
 刘仰川,巴音贺西格,崔继承,等.基于预测与

JPEG2000 的高光谱图像无损压缩算法[J]. 激光与红外,2012,42 (4):452-457.

[6] WU X L, MEMON N. Context based lossless interband compression-Extending CAI. IC [J]. IEEE Transitions on Image Processing, 2000,9(6):994 – 1001.

- [7] Magli E, Olmo G, Quacchio E. Optimized onboard lossless and near-lossless compression of hyperspectral data using CALIC[J]. IEEE Geosci. Remote Sens. Lett., 2004, 1 (1):21-25.
- [8] Jarno Mielikainen. Lossless compression of hyperspectral images using lookup tables[J]. IEEE Tran. on Signal Processing Letters, 2006, 13(3):157-160.
- [9] Huang B, Sriraja Y. Lossless compression of hyperspectral imagery via lookup tables with predictor selection [C]// Proc. of SPIE, 2006, 6365:636501 – 1.
- [10] LI Jin, JIN Longxü, LI Guoning. Lossless compression ofhyperspectral image for space-borne application[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 33 (8): 2264 – 3369. (in Chinese)
 李进,金龙旭,李国宁.适于星上应用的高光谱图像无 损压缩算法[J].光谱学与光谱分析, 2012, 32(8):

2264 - 2269.

[11] SONG Jinwei, ZHANG Weizhong, CHEN Xiaomin. Lossless compression of hyperspectral images based on linear prediction and look-up table [J]. Opt. Precision Eng., 2013,21(8):2201-2208. (in Chinese) 宋金伟,张忠伟,陈晓敏. 利用线性预测与查表法的高光谱图像压缩[J]. 光学 精密工程,2013,21(8): 2201-2208.