

文章编号: 1007-4619 (2001) 02-0119-03

基于 HRIS 光谱图像帧序列相关性的 D²PCM 无损压缩方法

王学良

(中国科学院 长春光学精密机械研究所, 吉林 长春 130022)

摘 要: 分析了 HRIS 光谱图像帧序列的相关性, 并针对这一特性, 提出了利用 D²PCM 方法, 降低光谱图像序列的谱相关和空间相关, 减少图像中的冗余, 从而实现光谱图像的压缩。该方法提高了压缩比和压缩效率, 算法运算量小, 快速。

关键词: 谱相关; 空间相关; DPCM; D²PCM; 无损压缩

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A

1 引 言

HRIS (High Resolution Imaging Spectrometer), 即高分辨率成像光谱仪, 是在多波段光谱仪基础上发展起来的新一代遥感仪器, 具有极高的光谱分辨率和地面空间分辨率, 可以给出几乎连续的光谱图像, 大大提高了对地面目标分析和解释的可靠性。在 HRIS 中, 分别对可见光和红外范围的各 64 个波段反射光谱进行同时采集和存储, 每个波段一帧光谱图像数据量为 $256 \times 256 \times 8$ bits, 128 个波段图像的数据量将达到 8MB, 如此巨大的数据量, 给数据存储和传输带来困难, 因此非常有必要对图像数据进行压缩存储。对于 HRIS 图像数据, 传统压缩方法的效率不十分理想, 为此本文提出一种基于 HRIS 光谱图像帧序列相关性的 D²PCM 无损压缩方法, 有效地减少光谱图像帧序列间谱间和空间冗余信息, 提高压缩比和压缩效率。下面首先分析 HRIS 图像帧序列间的相关性, 然后说明 D²PCM 压缩编码的实现, 最后给出对比实验结果。

2 HRIS 光谱图像序列特性

HRIS 是对同一物体众多反射光谱进行同时记录的遥感仪器, 图像数据具有很大的空间冗余和谱

间冗余^[1]。空间冗余是指同一波段空间相邻像素具有相关性, 而谱间冗余是指具有相同空间位置而处于不同波段像素间具有相关性, 相关性强弱在很大程度上取决于光谱分辨率。

空间冗余和谱间冗余在光谱图像特性方面表现为不同波段图像间具有高度的相关性, 利用(1)式计算了可见光光谱范围 64 个波段相邻光谱图像间的相关系数, 其曲线图如图 1 中的曲线 a 所示。

$$C(k) = E\{B(k) \cdot B(k+1)\} \quad (1)$$
$$(k = 0, 1, 2, \dots, N-1)$$

由图 1 中曲线 a 可知相邻光谱图像间相关系数非常接近于 1, 说明光谱数据图像间是高度相关的, 具有很大的信息冗余。因此, 可以利用这一特性对图像进行预处理, 减少图像中的冗余信息, 提高压缩比和压缩效率。

3 基于光谱图像序列特性的 D²PCM 压缩模型

对于无损压缩来说, 可分为两个步骤:

(1) 去相关过程, 是通过预测方法获得预测值与实际像素值之间的残差, 减少或消除图像中的冗余。

(2) 残差图像编码过程, 是对残差图像进行可变速长压缩编码形成输出比特流, 实现数据压缩。

收稿日期: 1999-12-28; 修订日期: 2000-04-20

作者简介: 王学良(1969—), 男, 吉林磐石县人, 1992年7月毕业于长春光学精密机械学院电子工程系并获学士学位, 1995年攻读中国科学院长春光学精密机械研究所硕士学位, 并于1997年提前攻读博士学位, 主要从事计算机图像处理方面的研究, 现已发表论文6篇。

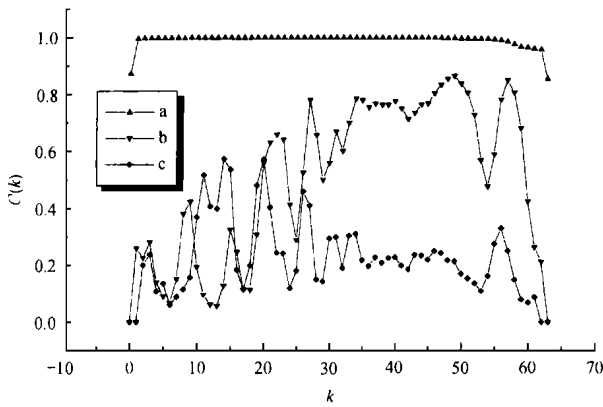


图 1 相邻 HRIS 图像间的相关系数 $C(k)$

Fig. 1 The correlation $C(k)$ of adjacent HRIS images

对于无损压缩来讲,编码过程可以利用通用方法,比较容易实现;而去相关过程是与数据本质特征紧密相联的,没有统一方法。

去相关的重要手段是预测,它是利用像素间的相关性,通过邻近像素灰度值估计任一像素的真实值。Wang 利用最小二乘法构造图像单一最佳线性预测函数,对多光谱遥感图像进行预测^[2];Memon 提出了预测树法^[3],压缩效果并不十分理想;郭去疾等提出了多方式预测概念,利用多方式对多光谱遥感图像进行预测,实现比较困难。

本文设计了基于 HRIS 光谱图像序列相关的 D^2 PCM 无损压缩方法。介绍如下:

由于相邻波段光谱图像间具有强相关性,光谱图像序列可以采用 3 种方式描述,具体如下:

方式(1):

$$B(k, i, j) \quad (2)$$

其中, k 为波段号, $k=0, 1, \dots, N-1$; i, j 为图像像素位置坐标。

方式(2):

$$B(0, i, j), D_1(k, i, j) \quad (3)$$

其中, $D_1(k, i, j)$ 代表残差, $k=0, 1, \dots, N-2$ 。

$$D_1(k, i, j) = B(k+1, i, j) - B(k, i, j) \quad (4)$$

方式(3):

$$B(0, i, j), D_1(0, i, j), D_1^2(k, i, j) \quad (5)$$

其中, $k=0, 1, \dots, N-3$ 。

$$D_1^2(k, i, j) = D_p(D_1(k, i, j)) \quad (6)$$

其中, D_p 代表 DPCM。

在 3 种方式中,方式(1)是原始图像序列,方式(2)为原始图像序列以光谱波段 k 为变量的 DPCM 表示;而方式(3)是光谱图像序列以光谱波段 k 为变量的 D^2 PCM 表示。为了对 3 种表示方式进行比较,

分别计算了每种描述方式的图像间相关系数,如图 1 中的曲线 a, b 和 c 所示,表 1 为相关系数统计表。

表 1 相关系数统计表

Table 1 The statistics of correlation coefficient

方式	均值	方差
(1)	0.99128	0.0251
(2)	0.50492	0.27726
(3)	0.22601	0.13637

由相关曲线和统计表中,可以看到用方式(3)描述光谱图像序列,图像相关系数最小,有望提高压缩比,因此方式(3)是最有利的。

另外,根据 Shannon 信息保持编码定理^[4],图像无失真压缩的编码平均长度是与其熵值 $H(x)$ 为下限,图像的熵 $H(x)$ 为:

$$H(x) = - \sum_j P_j \log P_j \quad (7)$$

其中, P_j 为 j 出现的概率。

利用(7)式,对 3 种表达方式的图像序列进行计算,计算结果如表 2。

表 2 3 种光谱图像序列熵均值表

Table 2 The entropy mean of three spectral image sequences

方式	图像熵均值
(1)	3.26
(2)	2.69
(3)	2.20

在 3 种方式中,以方式(3)表示图像序列的熵均值最小,从理论上讲,图像无失真压缩编码平均长度也较前两种方式短,可期望的压缩效果也会理想。

综上所述,采用方式(3)对光谱图像进行描述是比较理想的。

因此,针对方式(3)设计了光谱图像序列压缩模型,如图 2。

具体压缩过程如下:

(1) 对 $B(0, i, j)$ 进行自适应算术编码压缩;

(2) 构造预测器,采用 ARMR 型预测器,方程为:

$$\begin{aligned} X_r(k, i, j) = & X_r(k-1, i, j-1) \\ & + X_r(k-1, i-1, j) \\ & + X_r(k-1, i-1, j-1) \\ & - (X - X_e) \end{aligned} \quad (8)$$

(3) 对于输入信号 $D_1(k, i, j)$,以 k 为变量,进行线性预测。

(4) 对于输出误差信号 $e(k, i, j)$ 进行熵编码,

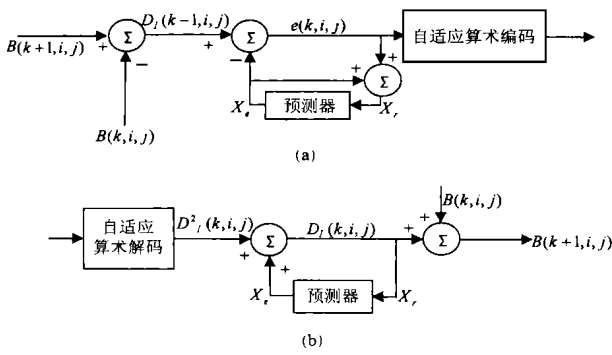


图 2 D²PCM 压缩算法框图
(a) 压缩过程; (b) 解压缩过程

Fig. 2 The diagram of D²PCM compress algorithm
即自适应算术编码, 实现数据压缩。

4 实验结果及结论

利用本文中提出的 D²PCM 压缩方法, 对 HRIS 可见光范围 64 波段的一幅图像, 进行了压缩实验, 原始图像大小为 256 × 256 像元 × 64 波段 × 8bits = 4194304bits = 4MB。

压缩结果为:

压缩后图像大小为 1506486bits, 即约为 1.44 MB。

$$\text{平均压缩比 } CR = \frac{4194304}{1506486} = 2.784$$

$$\text{平均比特率 } B = \frac{1506486 \times 8}{4194304} = 2.874 \text{bits/像素}$$

$$\text{平均压缩效率 } \eta = \frac{H(x)}{B} = \frac{2.2}{2.874} = 76.5\%$$

为了与常规压缩方法对比, 分别利用 Huffman, LZSS 和自适应算术编码方法, 对同一 HRIS 图像进

行了压缩实验, 对比结果如表 3。

表 3 压缩性能对比表

Table 3 The comparison of different compression performance

	Huffman	LZSS	自适应算术编码	本文方法
CR	1.661	1.770	2.222	2.784
B	4.816	4.52	3.600	2.874
η	45.6%	48.7%	61.1%	76.5%

由实验结果可以看出, 利用本文中提出的 D²PCM 压缩方法对光谱图像序列进行压缩, 压缩比和压缩效率均高于常规的 Huffman, LZSS 和自适应算术编码压缩方法。其根本原因在于常规的 Huffman, LZSS 和自适应算术编码没有利用图像序列帧间的相关性, 仅仅对每帧图像进行独立压缩; 而本文提出的算法, 充分利用帧间相似性, 对光谱图像序列进行 D²PCM 处理, 进一步降低了信息冗余, 提高了压缩比和压缩效率, 压缩效果比较好。

但该方法也有一定的缺陷, 压缩比对噪声干扰比较敏感。

参考文献 (References)

- [1] Wang J F, Zhang K Z, Tang S W. Spectral and Spatial Decorrelation of Landsat-TM Data for Lossless Compression [J]. *IEEE Trans. Remote Sensing*, 1995, 33(5): 1277-1285.
- [2] Memon N D, Sayood K, Nagliras. Lossless Compression of Multi-spectral Image Data [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1994, 32(2): 282-289.
- [3] Roos P, Viergever M A. Reversible 3D Decorrelation of Medical Images [J]. *IEEE, Medical Imaging*, 1993, 12(3): 413-420.
- [4] Xing Renjie et al. Computer image processing [M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 1988. [荆仁杰等. 计算机图像处理[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 1988.]

Lossless D²PCM Compression Algorithm Based on Correlation of HRIS Spectral Image Sequence

WANG Xue-liang

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: The correlation of HRIS spectral image sequence was analyzed in this paper. A lossless compression algorithm based on D²PCM coder, which reduced the spectral and spatial correlation, has been developed. The proposed method depressed the image redundancy sufficiently, and increased compression ratio and efficiency. The results of experiments prove it practicable and fast.

Key words: spectral correlation; spatial correlation; DPCM; D²PCM; lossless compression