

文章编号 : 0253-2239(2002)07-0834-05

改进的对块零树编码压缩方法对超光谱数据压缩^{*}

闫敬文 沈贵明 胡晓毅 许 芳

(厦门大学电子工程系, 厦门 361005)

摘要: 提出了对块零树的预测二值标量量化压缩编码方法, 给出了压缩比公式, 并应用此压缩编码实现了对超细光谱数据的压缩。该压缩编码方法既具有小波零树压缩编码高压缩比和宜于实时实现的特点, 同时具有编码、解码速度快和易于实时传输等优点。实验结果表明: 改进的对块零树编码压缩(IBBZTC)方法在不传输剩余误差的情况下, 达到 190 倍的压缩比时, 峰值信噪比仍然在 30 dB 以上, 压缩性能优于 KL 变换-静止图像压缩(KLT-JPEG), 小波变换-矢量量化(WT-VQ), 小波变换-零树矢量量化(WT-ZTVQ) 和对块零树编码压缩方法。

关键词: 小波变换; 数据压缩; 零树编码; 对块零树编码

中图分类号: TP311.56 文献标识码: A

1 引 言

数据压缩是视频传输、网络多媒体通信、传真各种业务中的关键技术。有损压缩在信息量大、且传输带宽受限时采用。数据压缩通过数学变换, 用函数基映射并对变换后的数据进行不可逆压缩编码实现。子带或小波变换分解以去像素间的相关性, 将能量集中于较少一些系数上。允许应用多率、多尺度的结构和匹配每个频带的统计性的有效编码方法, 成为图像编码的强有力工具。数据压缩的目的是减少存储空间和传输的码流位率, 保持可靠的信任度或图像的质量。Mallat 巧妙地将计算机视觉领域的多尺度分析的思想引入到小波分析中, 构造了小波多尺度分析框架结构, 构造了小波函数及信号按小波变换的分解和重构, 并将这种算法应用于图像的分解与重构, 这就是现在著名的 Mallat 算法。Daubechies^[1]构造了具有有限紧支集的正交小波基, 通过双尺度方程可以得到尺度函数和小波函数。通过对小波母函数按一个确定数的伸缩平移, 获得小波基函数, 可实现对模拟和数字信号小波分解和重建。当前通常采用双正交小波变换进行数据压缩, 小波变换-矢量量化的图像压缩方法已被应用于数字图像压缩^[2,3]。但矢量量化需要进行码本训练和码字匹配, 运算量大, 使效率下降。针对不同的

图像都要求进行码本训练, 所以矢量量化在实际应用中受到了限制。四元树矢量量化既具有矢量量化压缩编码的优点, 又有标量量化运算简单的特点, 极大地提高了编码效率, 可应用于中等复杂度的数据压缩^[4]。小波零树方法(EZW)具有易于硬件并行实现和控制压缩率或失真率等优点, 已经被广泛应用于视频图像数据压缩中^[5,6]。但是小波零树方法对其对应的每一个小波零树进行多次预测编码, 使编码效率降低。后来又有人提出了块零树压缩编码方法, 使空间相关性好的图像压缩效率得以大大提高。对于相关性一般或较差的图像数据, 压缩效果较差, 甚至无法应用此方法。在光谱数据压缩中文献^[7,8]的方法尽管取得了较好压缩效果, 但是实验数据仅为 16 个谱段, KL 变换的优越性能并没有体现出来, 而且在较高压缩比时出现了方块效应。文献^[9]的谱特征矢量量化压缩编码方法没有充分利用空间相关信息进行数据压缩, 只是充分地利用了谱这维的相关性, 也无法真正地提高压缩性能。谱特征矢量量化压缩编码方法的改进的压缩方法^[10]虽然利用了空间相关性, 在压缩速度上也有较大的提高, 但压缩失真十分明显。本文提出块截短编码和块零树压缩编码相结合的对块零树编码方法。应用该方法对超细光谱数据进行压缩实验, 获得优于文献^[9,10]提出的压缩编码方法的压缩性能。

2 基于小波变换的对块零树编码原理

块截短编码是一种较为常用的、且是唯一能对突变边缘有保护作用的压缩编码方法。但压缩比固

^{*} 福建省自然科学基金(9910002)和厦门大学科研启动基金资助课题。

E-mail: yjwen@jingxian.xmu.edu.cn

收稿日期: 2001-09-05; 收到修改稿日期: 2002-01-23

定 编码速度快,压缩效率较低,而小波零树预测和小波树矢量量化压缩编码方法具有较高的压缩效率,但编码速度较低。具体细节请参考 [2, 5]。对块零树预测编码原理如图 1 所示。假设三级小波金字塔分解后低频子图像一区域经块截断编码确定为区域 1(黑色)和区域 2、3、4(灰色)。按照小波变换各级分解各子图像的时间和空间对应关系,构造出黑色区块零树和灰色区块零树如图 1(b)图 1(c)。由于黑色区块零树和灰色区块零树可以视作是由一个

块零树分割成的,故在本文中称之为对块零树。而低频区域分割可采用块截断编码需要传送二均值区域、四元树分割及区域合并。图 1 中的分割形状为理想条件下情况,也可能是任意形状,用位图格表示。由于传送只是低频位图格,额外码流开销也不会大。其它子图像位图格可由各子图像之间对应关系确定。一旦低频子图像黑色区块和灰色区块确定后,对应的块零树也就随之确定。各级小波分解子图像空间对应区域如图 1(a)所示。

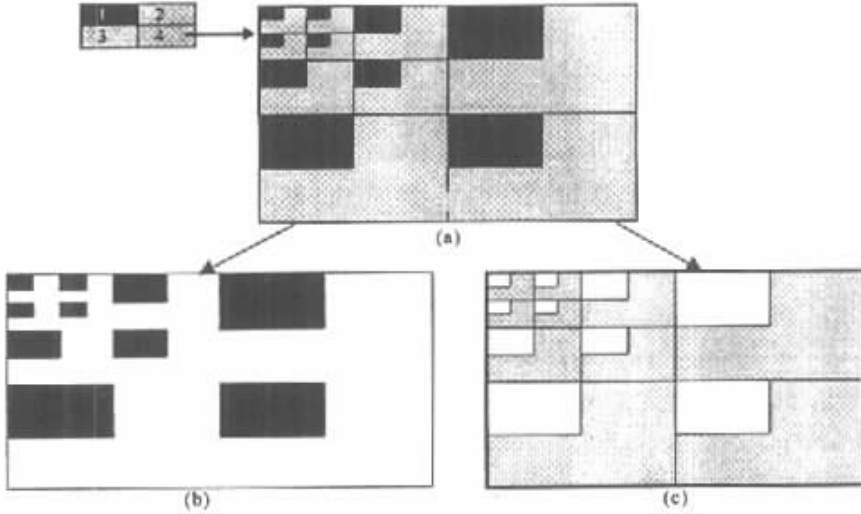


Fig. 1 Biblock zero tree principle. (a) Low frequency subimage(2×2)obtained by tree wavelet transformation, and a block of 16×16 dimension is constructed;(b) A block zero tree of part above low frequency block mean according to block truncating coding(black);(c) A block zero tree of part under low frequency block mean according to block truncating coding(gray)

下面具体说明各级子图像间位图格尺寸关系。假定各位图格长和宽分别为 $\{x_i, y_i; JK_{ii}; J, K = L, H, i = 1, 2, 3\}$,各子图像间的位图格长和宽具体关系式为:

$$\left. \begin{aligned} x_{i-1} &= 2x_i, \\ y_{i-1} &= 2y_i, \\ JK_{ii}; J, K &= L, H, i = 1, 2, 3. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

可见各级子图像本级位图格长和宽是下一级的二倍。由此可知只需要传送数据量最小低频子图像中的位图格后,各子图像的位图格也就可以确定。

根块二值区域划分方法:

1) 根块尺寸的直接四元树分解确定

根据压缩比或率失真要求,预先给定四元树分解阈值 T 进行四元树分解。当低频子图像内任意两像元灰度值差 $\Delta \leq T$ 时,四元树分解结束。四元树最后一次分解前,可能 $\Delta > T$ 的像元灰度值较小,也有可能落在四元树最后一次分解四个区域的一个区域内,构成一个子块,如图 1 所示用黑色标记。其

余三个区域内任意两像元灰度值差满足 $\Delta \leq T$,合并成另一个子块,用灰色标记。黑色块均值用 $\bar{1}$ 标记,灰色块均值用 $\bar{0}$ 标记。本文中的对块就是指 0 块和 1 块。根据小波分解各子图像对应关系,按照分式 (1) 直接确定其它各高频子图像的 0 块和 1 块。

2) 块尺寸固定的块截短编码(BTC)位图(Bitmap)的对位图(Bibitmap)

将低频子图像用块尺寸固定 BTC 编码产生 0 块和 1 块。首先将低频子图像分成 $N \times N$ 大小无重叠像元块,本例中 N 取 4。为各数据块单独设计 2 电平(1 bit)量化器,而量化器的阈值和两个重建电平随一个子块的局部统计特性而变化。通过本方法,可将一个 4×4 大小 8 bit 数据块变换成同样大小的 1 bit 的数据块。具体运算如下:已知第 k 个数据块为:

$$X_k = \begin{bmatrix} 146 & 149 & 152 & 156 \\ 97 & 122 & 144 & 147 \\ 89 & 90 & 135 & 145 \\ 85 & 92 & 99 & 120 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

子块均值为:

$$\bar{X}_k = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 X_{ij}, \quad (3)$$

X_{ij} 为子块中对应像素。通过计算可得 \bar{X}_k 为 123.0。当 $X_{ij} \geq 123.0$ 时, 像素被量化为 1; 当 $X_{ij} \leq 123.0$ 时, 像素被量化为 0。经量化得:

$$X_{kq} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

0 位对应的均值 \bar{X}_{k0} 为 99, 1 位对应的均值 \bar{X}_{k1} 为 147。重建块:

$$\bar{X}_k = \begin{bmatrix} 147 & 147 & 147 & 147 \\ 99 & 99 & 147 & 147 \\ 99 & 99 & 147 & 147 \\ 99 & 99 & 99 & 99 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

2 电平 BTC 形成总比特率为 2bit/pixel, 压缩比为 4 倍。而对应下一级用同样的 2 电平 BTC 时, 由于不用传对应 Bibitmap, 压缩比则为总象元数 16×16 与 0 块和 1 块均值比, 为 128 倍。考虑 Bibitmap 构成小波树与对块小波树相似, 故本文统称为对块零树。 n 次

小波分解后固定 BTC 尺寸为 $N \times N$ (本例中 $N = 4$) 和 1 对块零树时, 压缩比 C_R 均可用下式计算:

$$C_R = 16 \sum_{i=1}^n 2^{X(n-1)} / [4 + 2(n-1)]. \quad (6)$$

3 实验结果和结论

本文提出的对块或对块位图压缩算法应用于 224 谱段光谱数据进行实验, 选择典型 7 个谱段数据进行压缩实验, 结果如图 2~图 7 所示。本研究中的压缩结果没有对误差图像进行编码传输。如果对误差图像进行编码传输, 可使峰值信噪比 P_{SNR} 提高, 而压缩比 C_R 将有所下降。小波金字塔分解 3 次以上为宜。小波金字塔分解次数太少, 预测编码也不十分理想。若小波金字塔分解次数过多, 因为对 3 次以上低频子图像分解时, 能量已经相当集中, 失去小波变换的意义, 也影响运算速度^[11]。本研究算法适用于高压缩比或低码率传输要求的系统中, 适合实时实现并行处理要求。另外可以对峰值压缩比和压缩比进行控制, 保证传输图像质量。

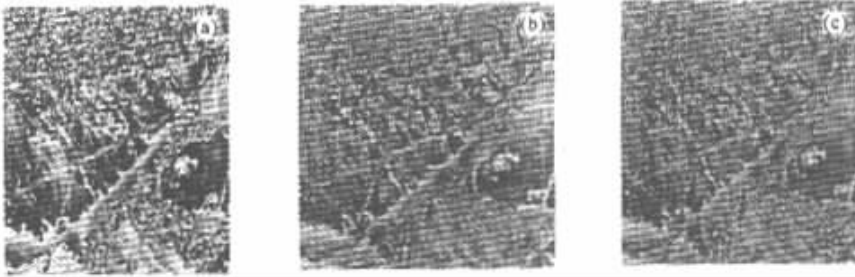


Fig. 2 The 61st spectral band image data compression results. (a) The 61st spectral band original image of 224 spectral band hyperspectral imagery data; (b) Compress rate $C_R = 190.218$ and signal to noise ratio of peak $P_{SNR} = 34.580$ dB; (c) Compress rate $C_R = 130.956$, and $P_{SNR} = 36.193$ dB

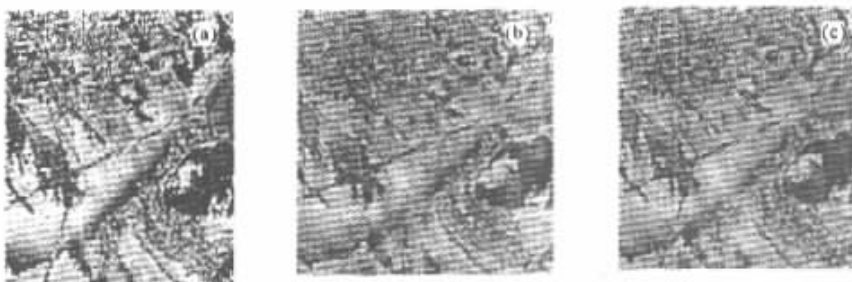


Fig. 3 The 80th spectral band image data compression results. (a) The 80th spectral band original image of 224 spectral band hyperspectral imagery data; (b) Compress rate $C_R = 190.218$, and signal to noise ratio of peak $P_{SNR} = 34.012$ dB; (c) Compress rate $C_R = 130.956$, and $P_{SNR} = 35.014$ dB

在低频子图像对块根块二值区域划分的方法 2) 中的固定尺寸可以是任意的。考虑码流开销, 在每个象元为 8 bit 时, $M \times N$ 值应为 8 的倍数。实验结果

表明, 在不传输剩余误差的情况下, 该压缩方法在同样的压缩比条件下, 峰值压缩比比谱特征分类矢量量化(SFCVQ)方法提高 1 dB 以上, 压缩速度提高 2 倍

以上比静止图像压缩(JPEG)方法提高 3 dB~5 dB, 压缩速度提高 5 倍以上;比零树矢量量化(ZTVQ)方

法提高近 2 dB, 压缩速度略有提高。在同样的峰值压缩比条件下, 压缩比提高 10~20 倍。

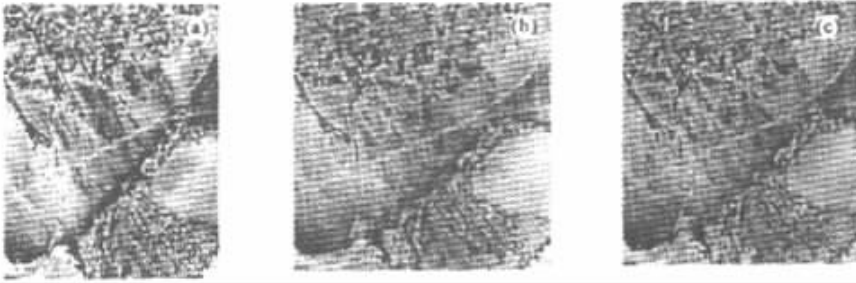


Fig. 4 The 105th spectral band image data compression results. (a) The 105th spectral band original image of 224 spectral band hyperspectral imagery data; (b) Compress rate $C_R = 190.218$, and signal to noise ratio of peak $P_{SNR} = 34.351$ dB; (c) Compress rate $C_R = 130.956$, and $P_{SNR} = 36.773$ dB



Fig. 5 The 130th spectral band image data compression results. (a) The 130th spectral band original image of 224 spectral band hyperspectral imagery data; (b) Compress rate $C_R = 190.218$, and peak signal to noise ratio $P_{SNR} = 34.910$ dB; (c) Compress rate $C_R = 130.956$, and $P_{SNR} = 36.011$ dB

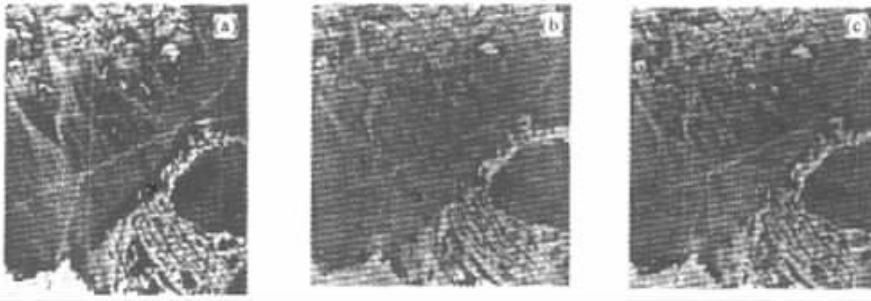


Fig. 6 The 147th spectral band image data compression results. (a) The 147th spectral band original image of 224 spectral band hyperspectral imagery data; (b) Compress rate $C_R = 190.218$, and peak signal to noise ratio $P_{SNR} = 34.839$ dB; (c) Compress rate $C_R = 130.956$, and $P_{SNR} = 38.916$ dB



Fig. 7 The 171st spectral band image data compression results. (a) The 171st spectral band original image of 224 spectral band hyperspectral imagery data; (b) Compress rate $C_R = 190.218$, and peak signal to noise ratio $P_{SNR} = 30.098$ dB; (c) Compress rate $C_R = 130.956$, and $P_{SNR} = 32.381$ dB

参 考 文 献

- [1] Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. *Commun. Pure & Applied Math.*, 1988, **XLI** (7) 909~996
- [2] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. A new compression of multispectral image data. *Acta Optica Sinica*(光学学报), 1997, **17**(3) 298~303(in Chinese)
- [3] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. A multispectral image data compression method based on KLT/DCT. *Chinese J. Laser*, 1997, **B6**(2):110~116
- [4] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. An image compression method based on wavelet and vector quantization. *Chinese J. Image and Graphical*(中国图像、图形学报), 1997, **2**(12) 909~913(in Chinese)
- [5] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. A characteristic analysis for multispectral data compression method based on K-L transformation. *Optics Engng.* (光学精密工程), 1997, **18**(4) (in Chinese)
- [6] Shapiro J. Embedded image coding using zero trees of wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1993, **41**(12) 3445~3462
- [7] Yan Jingwen. *A Compression Method for Three Dimensional Multispectral Data Using Wavelet Transformation*(采用小波变换的三维光谱数据压缩方法). [MS Dissertation]. Changchun : Changchun Institute of Optics and Fine Mechanic(in Chinese)
- [8] Yan Jingwen, Shen Guiming, Liu Jinshong. A new image compression coding algorithm based on wavelet transformation technique and quadtree VQ. *J. Xiamen University*(厦门大学学报), 2000, **39**(2):180~184(in Chinese)
- [9] Yan Jingwen, Sun Hui, Zhang Shenghua. A remote image compression method based by WT/VQ. *Chinese J. Laser*, 1997, **B6**(5) 473~480
- [10] Qian Shen'en, Yan Jingwen, Sun Hui. 3D hyperspectral imagery data compression using VQ with spectral-feature-coding-based fast matching. *Acta Electronica Sinica*(电子学报), 1997, **25**(5):11~16(in Chinese)
- [11] Yan Jingwen, Shen Guiming. 3D Multispectral imagery data compression based on KLT/WT and VQ with spectral-feature-coding. *J. Remote Sensing*(遥感学报), 2000, **4**(4) 290~294(in Chinese)

An Improved Biblock Zero Tree Coding for Hyperspectral Data Compression

Yan Jingwen Shen Guiming Hu Xiaoyi Xu Fang

(Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005)

(Received 5 September 2001 ; revised 23 January 2002)

Abstract : An improved biblock zero tree compression coding (IBBZTC) method with predictive binary scalar quantization and a compression ratio formula is given. The IBBZTC way is applied for hyperspectral data compression. This method is characterized by ZTC's high compression ratio, real-time implementing, and advantages of higher coding/decoding speed and real-time transmission. The experimental results show that the total compression performance of IBBZTC outperforms the KL transformation-joint photographic experts group (KLT-JPEG), wavelet transform-vector quantization (WT-VQ), wavelet transform-zero tree vector quantization (WT-ZTVQ) and biblock zero tree coding (BBZTC) compression methods without transmitting residue error. Compression rate is 190 times, and peak SNR is above 30 dB.

Key words : wavelet transformation ; data compression ; zero tree coding ; biblock zero tree coding