

文章编号:1001-9081(2006)05-1009-03

基于小波变换和快速矢量量化的 InSAR 图像压缩

张宗念¹, 黄仁泰¹, 闫敬文²

(1. 东莞理工学院 电子工程系, 广东 东莞 523106; 2. 厦门大学 电子工程系, 福建 厦门 316005)

(zongnian_zhang@sohu.com)

摘要:提出了一种基于小波变换和快速矢量量化的 InSAR 图像压缩编码方法。在小波变换域内,根据 InSAR 图像的统计特征进行非线性量化后,再进行小波树快速矢量量化压缩编码;并应用门限技术抑制图像噪声。实验结果表明:该方法对 InSAR 图像压缩效果明显优于 EZW 和 SPIHT 方法。

关键词:小波变换;数据压缩;矢量量化

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

InSAR image compression based on wavelet transformation and fast vector-quantization

ZHANG Zong-nian¹, HUANG Ren-tai¹, YAN Jing-wen²

(1. Department Electronics Engineering, Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong 523106, China;

2. Department Electronics Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract: A new image compression method for the interferometry synthetic aperture radar (InSAR) image based on wavelet transform and fast VQ was presented. In the domain of wavelet transformation, data characteristics were applied to quantize data in non-linear mode. Then a fast coding method of wavelet tree-structure VQ was used to compress the InSAR data. With this method, non-linear VQ combined with the wavelet soft threshold technique can suppress noise in InSAR data definitely. Experiment results show that the presented compressing method is more efficient than typical EZW and SPIHT.

Key words: wavelet transformation; data compression; VQ (vector quantization)

0 引言

NICOLAS 教授提出的二维空间的图像统计及其应用理论,对分析和处理合成孔径雷达图像(SAR)具有一定的指导意义^[1]。由于 SAR 图像信息具有特殊性,在数据压缩和相关处理中都不同于其他图像,所以包含幅度和相位信息的干涉雷达图像(InSAR)信息进行压缩更是数据压缩中的一个难点。近年来小波分析作为一种新的分析方法在信号和图像处理中得到了广泛的应用,它可将非平稳过程转化为平稳过程,这样可以在时间和空间域内同时进行分析,使能量集中于较少的系数。另外小波变换的多率/多尺度结构,允许应用针对每个子带的统计特性和人的视觉特征相匹配的有效编码方法^[2],因此小波变换成为图像编码的有力工具。如何采用先进方法对 InSAR 图像进行压缩是本文研究的主要内容。

由于 InSAR 传感器的发展趋势也一直向多波段、多极化和高分辨率方向发展,InSAR 图像数据量越来越大,存贮和传输变得越来越困难,因此必须对其进行压缩。矢量量化是一种常见且行之有效的压缩编码方法,可把分解的信号转换成能够利用带内和带外相关性和高维矢量空间分维灵活性的位率,对遥感图像进行有效的压缩^[3]。但矢量量化需要进行码本训练和码字匹配,运算量大效率下降,并且针对不同的图像都要求进行码本训练,这在实际应用中受到了限制。四叉树矢量量化即具有矢量量化压缩编码的优点,同时又有标量

量化运算简单的特点,可极大地提高编码效率,可应用于中等复杂度的数据压缩^[4]。小波零树方法(EZW)具有易于硬件实现和压缩率或失真率控制等优点,已经被广泛应用于视频压缩领域。但是 EZW 方法对每一个小波零树都要进行多次预测编码,使效率降低^[5]。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。但对于相关性一般或较差的图像,压缩效果较差,甚至不能应用此方法进行压缩。针对 EZW 的特点,结合 VQ 压缩方法的高效率的小波树矢量量化压缩,可以使压缩性能得以改善^[6]。近来有人提出用树结构小波分解方法对 InSAR 图像进行压缩,可以更好地适应图像统计特征^[7]。但是不同的图像都具有不同的小波分解树,这给编码和硬件实现都带来不便,而且会导致运算量增加。块零树矢量量化编码^[8],虽然比零树矢量量化编码具有较高的效率,但无法克服 PSNR 有不同程度下降问题。针对上述方法都不能实现对 SAR 有效的压缩,本文提出了一种在小波变换域内,应用 InSAR 图像的统计特征进行非线性量化后,再对小波树进行快速矢量量化的压缩编码方法。其中非线性量化采用小波软门限技术,对图像中的噪声具有一定的抑制作用。在非线量化后的快速矢量量化使码本减小,压缩编码速度提高。

1 InSAR 图像的统计特性

1.1 InSAR 图像模型

InSAR 幅度数据通常认为服从几种分布。当后向散射认为

收稿日期:2005-11-21;修订日期:2006-02-13

基金项目:广东省教育厅高校自然科学基金资助项目(Z03094);广东省东莞科技计划资助项目(2005)

作者简介:张宗念(1963-),男,河北深州人,副教授,博士,主要研究方向:小波分析、多尺度几何分析、遥感图像压缩和分析;黄仁泰(1964-),广东东莞人,讲师,主要研究方向:计算机网络通信、嵌入式系统设计;闫敬文(1964-),男,吉林磐石人,教授,博士,主要研究方向:小波分析和应用、视频图像压缩、遥感图像压缩和分析。

是同一媒质时,如一种农作物和草原时,回波认为服从 $\Gamma^{1/2}$ 分布。而 K_A 分布则被认为是回波数据来自同一媒质区域,如森林。而对于城市或不完全是森林的地区, $\Gamma^{1/2}$ 分布和 K_A 分布模型都不适用。1997 年 Frery 等人提出了 g_A^0 分布模型描述这样区域的回波数据分布。下面介绍 K_A 和 g_A^0 分布的主要特性。

$K_A^0(\alpha_C, \gamma, n)$ 和 $K_A(\alpha_K, \lambda, n)$ 的概率密度分别为:

$$f_C(z) = \frac{2n^n \Gamma(n - \alpha_C) z^{2n-1}}{\gamma^\alpha \Gamma(n) \Gamma(-\alpha_C) (\gamma + nz^2)^{n-\alpha_C}} \quad (1)$$

$$f_K(z) = \frac{4(\sqrt{\lambda n})^{\alpha_K+n}}{\Gamma(n) \Gamma(\alpha_K)} z^{n-\alpha_K+1} K_{n-\alpha_K}(2z \sqrt{\lambda n}) \quad (2)$$

这里 $\alpha_K, \lambda, n, z > 0, K_v$ 是第三类贝塞尔函数, v 为阶数。令两个随机变量 V 和 W 分别服从 K_A 和 g_A^0 分布。 V 的累积分布为:

$$\Pr(V \leq v) = \frac{n^{n-1} \Gamma(n - \alpha_C)}{\gamma^n \Gamma(n) \Gamma(-\alpha_C)} v^{2n} \cdot H\left(n, n - \alpha_C, n + 1; -\frac{n}{\gamma} v^2\right) \quad (3)$$

H 为超几何函数。 W 的累积分布(n 为整数)为:

$$\Pr(W \leq w) = 1 + \frac{2^{2-\alpha-n}}{\Gamma(\alpha_K) \Gamma(n)} g(v, k, z) \quad (4)$$

这里 $z = 2w \sqrt{\alpha n}, k = 2n - l, v = \alpha - n, g(v, k, z)$, 可以由以下递归公式给出。

$$g(v, k, z) = \begin{cases} -z^{v+1} K_{v+1}(Z), & k = 1 \\ (k-1)(2v+k-1)g(v, k-2, z) - z^{v+k} K_{v+k}(z) (k-1)z^{v+k-1} K_v(Z), & k \geq 2 \end{cases} \quad (5)$$

假设 z_1, \dots, z_k 为独立观测的样本, 已知 n 和 λ 的 α_k 最大似然估计器为:

$$k\Psi(\hat{\alpha}_K) - \sum_{j=0}^k \frac{\partial}{\partial \alpha_K} \log K_{\alpha_K-n}(2z_j \sqrt{\lambda n}) = \frac{k}{2} \log \lambda + \sum_{i=0}^k \log z_i \quad (6)$$

类似地有, 已知 n 和 γ 的 α_C 最大似然估计器为:

$$\Psi(n - \hat{\alpha}_C) - \Psi(-\hat{\alpha}_C) = -\log \gamma + \frac{1}{k} \sum_{i=0}^k \log(\lambda + nz_i^2) \quad (7)$$

至于相位数据, 在此不进行详细讨论。

1.2 InSAR 图像的实际统计特性

InSAR 图像是由微波后向散射形成的, 正是由于这种特殊的因素, 使 InSAR 图像成像机理和噪声机制与其他图像都有较大的差异。为了更好地了解 InSAR 图像的统计特性, 下面用一幅实际图像进行测试和说明。我们选用一个最通用的测试图像, 没有明显的信息特征。因为需要进行数据压缩, 所以应用了小波变换域内的变换统计直方图进行比较和说明。图 1 是 InSAR 图像数据统计分析的直方图。由于选用的是非典型的类似草原的 InSAR 图像数据, 统计直方图服从 $\Gamma^{1/2}$ 分布。其中, (a) 是原图像统计直方图, (b)、(c) 和 (d) 分别是一级、二级和三级小波分解后的统计直方图。从图中可以清楚地看出小波分解能量集中作用十分明显。(e) 和 (f) 四级和五级小波分解图像统计直方图, 小波分解能量集中作用已经不明显。

从这个例子的实际统计直方图分析可以看出, 随着小波分解技术的增加, 图像数据越来越集中; 另一个方面说明能量集中作用已经不再发挥作用, 更多级小波分解对压缩没有改

进。所以我们进行小波分解时, 只需分解三级即可。

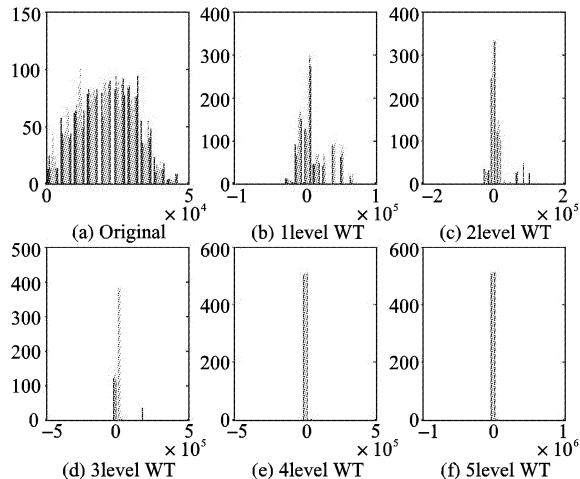


图 1 InSAR 幅度图像统计直方图

InSAR 相位图像信息与幅度信息差别较大。因为相位是从 $-\pi$ 到 π 之间非均匀分布的, 需要进行 Unwrapping 处理才能得到干涉条纹。再辅之以高度定标信息, 才能获得 DEM 图。其具体的统计直方图如图 2 所示。可以从图 2(a) 中直方图轮廓看出, 相位数据近似服从均匀分布。(b)、(c) 和 (d) 是一级、二级和三级小波分解图像统计直方图, 可以清楚地看出小波分解能量集中作用也十分明显, 使变换后的数据接近于高斯分布。从 (e) 和 (f) 四级和五级小波分解图像统计直方图可看出, 小波分解能量集中作用已经不明显, 数据分布变化也不大。

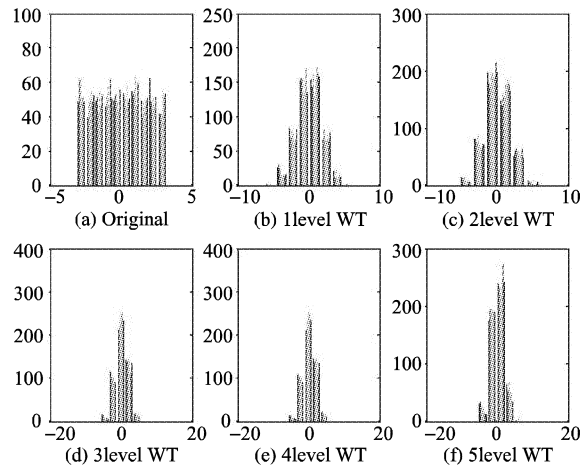


图 2 InSAR 相位图像统计直方图

从这个例子的相位实际统计直方图分析可以看出, 采用金字塔分解方式, 分解的数据越来越少, 对统计直方图影响越来越小。这一点和幅度信息类似。相位信息的另外一个特点是数据的值比较小, 能量集中后数据最大值也很小。所以不能简单地采用 EZW 和 SPIHT 编码方法。

2 InSAR 图像压缩

根据 InSAR 图像的实际统计特性和小波压缩的特点, 本文提出的压缩系统框图如图 3 所示。对于系数较大的幅度信息, 采用基于小波变换技术的 EZW 的小波树快速矢量量化压缩编码方法进行压缩^[8]。而对于系数较小的相位信息, 采用二叉树矢量量化压缩编码方法进行压缩^[5]。其中部分缩写词的含义为 QTVQ: QuadTree Vector Quantization, WTTTFVQ: Wavelet-Transform-Tree-Fast-Vector-Quantization。

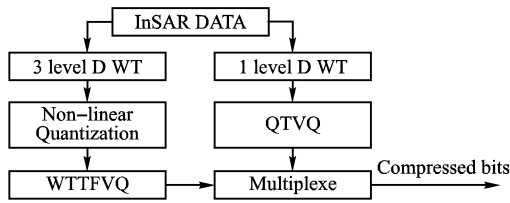


图 3 基于小波变换 InSAR 图像压缩

由于幅值概率极不均匀,可设计一个非线性量化器对进行量化,可大大减少数据量。根据数据的分布,非线性量化器的设计如图 4 所示。此量化器先对输入信号进行归一化处理,对 0.5~1 的信号采用 6 位精度输出,对 0.25~0.5 的采用 4 位精度,而 0~0.25 的只取 2 位。

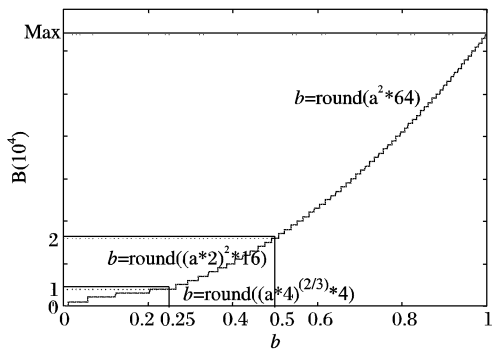


图 4 基于概率分布的非线性量化器

考虑到相位数据分布的特点和采用的压缩编码方法,进行小波变换时只进行一次小波分解。考虑到相位信息的精度要求,不对相位信息进行非线性量化处理。因为相位信息分布任意区间相对较小,进行四叉树矢量量化编码所需要的时间不会太长,而且可以获得较高的压缩比。

3 结语

采用上述方法对 SAR 图像幅度信息的压缩结果如图 5 所示。(a)原图像;(b)经过 3 次扫描 EZW 压缩编码,CR 为 20 倍,PSNR 为 28.32dB;(c)经过 4 次扫描 EZW 压缩编码,CR 为 20 倍,PSNR 为 33.51dB;(d) WTTFVQ 压缩编码,CR 为 20 倍,PSNR 为 35.01dB。通过对比可以看出,本文提出的方法比 EZW 方法的压缩性能明显提高,而且具有速度快,宜于实时实现的优点。

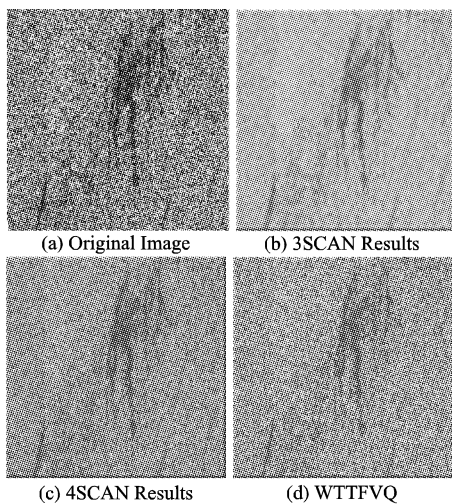


图 5 InSAR 图像幅度信息压缩结果

对于相位信息,采用基于四叉树分解的矢量量化编码方法压缩^[5]。由于数据分布区间较小,采用矢量量化压缩方法十分有效。实验中门限值 T 取 0.2。对于低频子图像,平均

每个像元为 2 比特。水平和垂直子图像,平均每个像元为 1 比特。而对角高频子图像,平均每个像元为 0.5 比特。对形成的码流进行算术编码的无损压缩。压缩结果如图 6 所示,(a)原图像;(b)四叉树分解时门限值 $T=0.4$,CR=9.65 倍,PSNR 为 33.73dB;(c)四叉树分解时门限值 $T=0.6$,CR=10.41 倍,PSNR 为 32.17dB;(d)四叉树分解时门限值 $T=0.2$,CR=8.81 倍,PSNR 为 34.24dB。因为相位信息对 DEM 影响较大,而且会产生累积误差,所以对相位压缩时,要求比较高的保真度,不宜进行高压缩比的压缩。从结果中也可以看出,本文提出的方法对相位压缩效果较好,基本上保持了原来的纹理信息。非线性量化结合了小波软门限技术,对图像中的噪声具有一定的抑制作用。在非线量化后的快速矢量量化使码本减小,压缩编码速度提高。

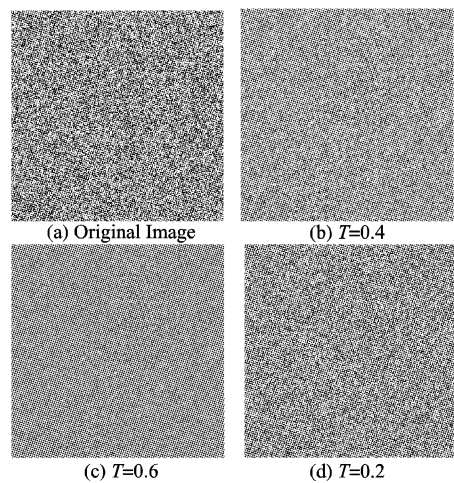


图 6 InSAR 图像相位信息压缩结果

从上述实验结果可以得出如下结论:采用基于小波变换非线性矢量量化压缩编码方法,对于干涉合成孔径雷达幅度图像压缩的效果较好,压缩速度明显高于 EZW 和 SPIHT 方法,是一种有效的、有应用前景的 InSAR 图像压缩方法。

参考文献:

- [1] NICOLAS JM. Introduction to second kind statistics: applications to SAR image laws[M]. ENST de Paris press, 2002.
- [2] ANTONINIA M, BARLAUD M, MATHIEU P, et al. Image coding using wavelet transform[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1992, 1(2): 205-220.
- [3] YAN JW, SUN H, ZHANG SH. A image compression method based on wavelet and vector quantization[J]. the chinese journal of image and graphical[J]. 2003, 2(12): 909-913.
- [4] YAN JW, SHEN GM, LIU JS. The quadtree vector quantization image compression algorithm based on wavelet transformation[J]. journal of xiaman university, 2000, 39(2): 180-184.
- [5] ISLAM A, PEARLMAN WA. An embedded and efficient low-complexity hierarchical image coder[A]. Proc. of SPIE Vol. 3653, Visual Communications and Image Processing '99[C]. San Jose, CA, 1999. 294-305.
- [6] YAN JW, SUN H, ZHANG SH. A fast compression coding method based on wavelet tree vector quantization[J]. the chinese journal of image and graphical, 2002, 2(10): 730-734.
- [7] ZHAO HZ, GUMMING LG. SAR image data compression using a tree-structured wavelet transformation[J]. IEEE TRANS. ON GEO-SCIENCE AND REMOTE SENSING, 2001, 39(3): 546-552.
- [8] YAN JW, SHEN GM, HU XY, et al. An improved biblock zero tree coding for hyper spectral data compression[J]. ACTA OPTICA SINICA, 2002, 22(7): 834-838.