

一种基于相干斑抑制技术的 SAR 图像编码方法

杨云志^{①②} 黄顺吉^① 王建国^①

^①(电子科技大学电子工程学院 成都 610045)

^②(中国电子科技集团公司第十研究所 成都 610036)

摘要: 该文讨论了相干斑抑制技术中软阈值、硬阈值和 Garrote 函数去噪的方法, 并对这些方法进行了比较; 文中在讨论了嵌入式零树编码技术的基础上, 提出了采用基于相干斑抑制技术的图像编码方法, 利用该方法实现了对 SAR 图像数据的编码处理, 给出了相应的处理结果。实验结果表明: 在进行图像编码过程中对相干斑的抑制取得了较好效果。

关键词: 合成孔径雷达; 图像编码; 相干斑抑制; 阈值; 嵌入式

中图分类号: TN957.52

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)10-2533-04

A SAR Image Coding Method Based on Speckle Suppression Technology

Yang Yun-zhi^{①②} Huang Shun-ji^① Wang Jian-guo^①

^①(School of University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610045, China)

^②(China Electronics Technology Group Corporation No.10th Research Institute, Chengdu 610036, China)

Abstract: This paper presents the speckle suppression technology which includes the soft threshold, the hard threshold and the Garrote function threshold method. It gives the contrast result of the three method. Analyzed the embedded zero-trees wavelet coding method, it presents a SAR(Synthetic Aperture Radar) image coding technology with the speckle suppression. Finally, it presents a compressed SAR image with the speckle suppression. The results show that the speckle of the SAR image is suppressed during coding the SAR image.

Key words: SAR; Image coding; Speckle suppression; Threshold; Embedded

1 引言

众所周知, 合成孔径雷达(SAR)图像编码技术已广泛应用于各领域中, 然而, 在进行 SAR 图像编码处理时, 必须要考虑 SAR 图像的一些特殊性质, 这样才能使经压缩编码后较好地恢复 SAR 原有图像, 最大限度地降低由于对图像进行处理而带来的失真。SAR 图像所具有的几种特殊性质有: (1)图像具有相干斑噪声: 相干斑现象是因 SAR 系统为相干成像系统, 由其固有的辐射和成像处理造成的, 相干斑会严重影响图像的质量、增加对图像识别的难度; (2)图像相邻像素间相关性比较小, 故对普通图像适用的处理方法不一定适合于对 SAR 图像的处理; (3)图像的灰度值动态范围较大(通常为 16bit~24bit), 因此, 适用于普通图像的压缩算法对 SAR 图像不一定适用。

由以上 SAR 图像的特性知, 在对 SAR 图像进行压缩编码时, 要尽可能减少这些因素对图像处理的影响, 从而才能较好地通过压缩和解压缩后, 恢复 SAR 图像的原始信息, 减少由于对图像进行压缩编码处理而带来的失真。在对 SAR 图像进行处理时, 相干斑抑制是比较重要的, 然而, 将相干斑抑制与图像压缩编码结合起来的压缩编码方法在报道中还不太多。本文探讨的重点就是相干斑抑制技术在 SAR 图像压缩编码中的应用。

2 相干斑抑制技术基本原理

相干斑噪声是一种乘性独立同分布的高斯噪声, 其基本模型如下:

假设对一幅 SAR 图像, 定义 $y(i,j)$ 是坐标为 (i,j) 的像素点的灰度值, 表示为

$$y(i,j) = x(i,j) \cdot e(i,j) \quad (1)$$

式中 $x(i,j)$ 是图像的原始信息, $e(i,j)$ 是乘法噪声, 对数变换后为

$$\ln|y(i,j)| = \ln|x(i,j)| + \ln|e(i,j)| \quad (2)$$

式(2)表示了相干斑噪声的分布模型。利用该模型, 下面分别介绍软阈值、硬阈值^[1-3]和基于 Garrote 函数^[4]的相干斑去噪的基本方法。

2.1 软阈值去噪

在 Donoho 的研究中, 给出了一种通过估计噪声值来恢复未知信号的非线性方法, 该方法是利用对信号正交小波变换后的系数进行削减达到去噪目的, 即不论信号和噪声的频率分布如何都能保留信号去除噪声, 这就是软阈值去噪。软阈值去噪一般由: 小波变换、非线性系数削减去噪和小波逆变换 3 个步骤完成。

假设原始信号为

$$X(t) = S(t) + N(t) \quad (3)$$

式中 $S(t)$ 表示有用信号, $N(t)$ 表示加性噪声, 定义 $W(\cdot)$ 和 $W^{-1}(\cdot)$ 为正向和逆向小波变换, $D(\cdot, \lambda)$ 为阈值为 λ 的去噪操作。

通过去噪是为了得到 $S(t)$ 的估计值 $\hat{S}(t)$, 则软阈值去噪的原理可描述为

$$\begin{cases} Y = W(X), & \text{小波变换} \\ Z = D(U, \lambda), & \text{去噪操作} \\ \hat{S} = W^{-1}(Z), & \text{小波逆变换} \end{cases} \quad (4)$$

对于信号 U 和给定阈值 λ , 有

$$D(U, \lambda) \equiv \text{sgn}(U) \max(0, |U| - \lambda) \quad (5)$$

式(5)表示, 当 $|U| \leq \lambda$ 时, 函数 D 削减为零; 当 $|U| > \lambda$ 时, 函数 D 削减为 λ 。

2.2 硬阈值去噪

硬阈值去噪的削减函数定义表示为

$$D(U, \lambda) \equiv \begin{cases} 0, & |U| \leq \lambda \\ U, & |U| > \lambda \end{cases} \quad (6)$$

式(6)可以看出, 硬阈值去噪的削减函数是非连续函数, 它对阈值周围的微小变化很敏感。相对于软阈值去噪, 由于它对于大的小波变换系数不发生改变, 因此不会和原信号发生大的偏差。

2.3 基于 Garrote 函数的阈值去噪

从理论分析上看, 软阈值和硬阈值两种削减函数各有优缺点, 即软阈值削减函数具有较好的稳定性, 但对图像的边缘处理有一定的模糊; 而硬阈值削减函数在处理图像边缘时有较好的效果, 但稳定性较弱。为了弥补这两种削减函数的缺陷, Breiman 提出了一种非线性的 Garrote 削减函数, 该削减函数可运用在小波域中, 即所谓的基于 Garrote 函数的阈值去噪法。

Garrote 函数的定义式为

$$D(U, \lambda) \equiv U[1 - (\lambda/|U|)^2] = \begin{cases} 0, & |U| \leq \lambda \\ U - \lambda^2/U, & |U| > \lambda \end{cases} \quad (7)$$

假设观察到的原始信号是 $y=(y_1, \dots, y_n)$, 由下式给出

$$y_i = f_i + \sigma \cdot z_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中 $\{f_i\}$ 是想要恢复的信号函数 f 的采样值; $\{z_i\}$ 是零均值、方差为 1 的独立分布高斯随机变量; σ 是噪声级别, 目的是要得到 f 的估计值 \hat{f} , 并且满足最小的风险函数:

$$R(\hat{f}, f) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E(\hat{f}_i - f_i)^2 \quad (9)$$

假设 $X^{\text{iid}} \sim N(\theta, 1)$ (i.i.d 是独立同分布), 设已选定阈值 λ , 削减函数 $D(\cdot, \lambda)$, 定义削减估计值 θ 的均值、方差和风险函数为

$$\begin{cases} M_\lambda(\theta) = E\{D(X, \lambda)\} \\ V_\lambda(\theta) = \text{Var}\{D(X, \lambda)\} \\ R_\lambda(\theta) = E\{D(X, \lambda) - \theta\}^2 = V_\lambda(\theta) + (M_\lambda(\theta) - \theta)^2 \end{cases} \quad (10)$$

分别用 $R_\lambda^S, R_\lambda^H, R_\lambda^G$ 表示软、硬和 Garrote 阈值的风险函数^[5], 软、硬和 Garrote 阈值的削减函数和风险函数的比较如图 1 所示。由图中可看出, 硬阈值和 Garrote 削减函数在 $|x|$ 足够大时趋于 x , 硬阈值和 Garrote 的风险函数在 $|\theta|$ 足够大时趋于 1, 软阈值和 Garrote 削减函数是连续的。图 1(c) 是 Garrote 函数的波形, 可以看出 Garrote 函数是连续的(同软阈值函数一样, 因此比硬阈值函数有更好的稳定性); 同时, 随着 $|U|$ 的增加, 削减量越来越小(同硬阈值函数一样, 因此比软阈值函数有更小的偏差), 所以 Garrote 函数在软、硬阈值函数中间得到了一个很好的折中。

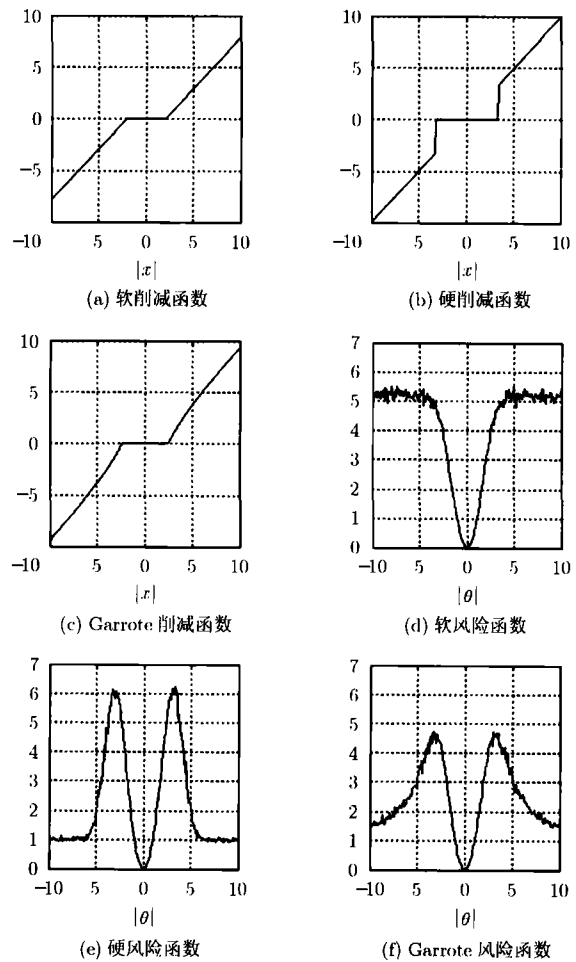


图 1 削减函数和风险函数的比较
($\lambda_S=2.045, \lambda_H=3.312, \lambda_G=2.441$)

3 嵌入式零树编码技术

嵌入式编码是近几年来随着编码技术的发展而涌现出的一种新型编码方法, 它的特点是能够在任何位置截断码流, 并获得原始图像不同分辨率的重构图像。基于此特性, 不同需求的用户可根据实际情况任意选择不同分辨率的图像, 这使嵌入式编码有了广泛的应用领域。同时小波变换系数的零树结构能使图像进行嵌入式编码更方便, 以此为基础的嵌入式零树小波编码(Embedded Zerotrees Wavelet, EZW)方法^[6,7]能使图像编码变得更有效, 且具有更高的编码效率。

零树的概念表示为:一个小波系数 x , 对于给定门限 T , 如果 $|x| < T$, 则称小波系数 x 是不重要的; 若小波系数在粗的尺度上关于门限 T 不重要, 同时在相同方向上较细的尺度关于门限 T 也不重要, 则称该小波系数形成了一个零树。此时, 粗尺度上的系数被称为母体, 较细尺度上的系数被称为子体, 母体和子体在方向上的关系如图 2 所示。如果一个小波系数关于门限 T 不重要, 但它的子体中存在关于门限 T 的重要系数, 则称该小波系数为孤立零点。图中 L 表示对应的低频段, H 表示对应的高频段, LL_3 表示第 3 层的低频子图像, HL_3 表示第 3 层垂直方向的高频和水平方向的低频子图像, LH_3 表示第 3 层垂直方向上的低频和水平方向上的高频子图像, HH_3 表示第 3 层的高频子图像, 以此类推。

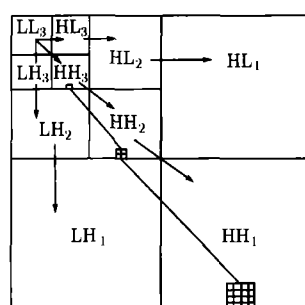


图 2 小波系数零树结构

在进行嵌入式零树小波编码时, 要对小波系数进行扫描, 且在扫描的过程中要判断小波系数是否为重要系数, 由此判断是否存在零树。利用嵌入式零树小波编码对图像进行编码的原理如下:

(1)选择小波基和小波分解层数;

(2)设置压缩比 $\text{bpp}(\text{bit per pixel})$, 用以计算编码的终止条件;

(3)选择判断系数是否为重要的门限 T :

通常初始门限的选择符合关系: $T_0 = C \cdot 2^N$, 其中 C 为一常数(一般取 1), N 为整数, 满足: $N \leq \log_2 \text{MAX}(|X_i|) < N + 1$, X_i 为小波变换系数。

(4)主扫描: 按先扫描低频带子图像系数, 后扫描高频带子图像系数, 对小波系数进行符号化;

(5)辅助扫描: 对主扫描放入辅助结构列表中的重要系数进行量化, 形成码流输出;

(6)门限 T 减半, 循环步骤(3)、步骤(4)和步骤(5), 直到符合编码终止条件后, 门限为 0 止。

以上就是嵌入式零树小波编码的基本原理, 下面将结合相干斑去噪方法, 讨论采用基于相干斑抑制技术的 SAR 图像原始编码的方法。

4 基于相干斑抑制的 SAR 图像编码方法及其实现结果

上节讨论了 SAR 图像处理中的相干斑抑制技术和嵌入

式零树小波编码方法, 倘若将这两种方法相结合, 形成基于相干斑抑制技术的图像编码方法, 用于对 SAR 图像进行压缩编码处理, 这既可实现对图像中相干斑噪声的抑制, 又可实现对图像的压缩编码。图 3 示意了该方法的工作流程。

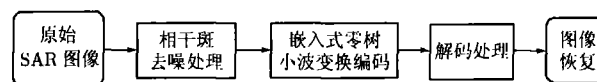


图 3 基于相干斑抑制的 SAR 图像编码流程

由图 3 知, 首先将获取的 SAR 原始图像进行相干斑去噪处理, 即采用前面所讨论的基于软阈值、硬阈值和 Garrote 函数对图像中的相干斑进行去噪, 而后将去噪后的图像数据用嵌入式零树小波变换方法进行压缩编码, 完成对 SAR 原始图像的压缩编码处理。利用基于软阈值、硬阈值和 Garrote 函数去噪实现对 SAR 原始图像进行压缩编码的成像结果如图 4 所示, 对比数据如表 1 所示。

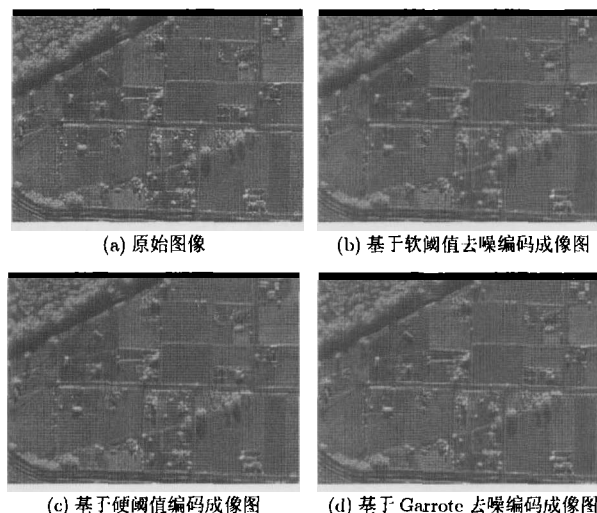


图 4 基于相干斑抑制技术的 SAR 图像编码成像结果

表 1 基于相干斑抑制技术的 SAR 图像编码处理结果

处理方法	编码率(bpp)	恢复图像 PSNR
基于软阈值去噪的压缩编码	1.0	35.3768
	0.4	29.2185
基于硬阈值去噪的压缩编码	1.0	35.2541
	0.4	29.1156
基于 Garrote 去噪的压缩编码	1.0	35.5107
	0.4	29.3851

由表 1 结果分析知, 采用基于 Garrote 去噪的 SAR 图像编码方法比采用基于软阈值或硬阈值去噪的 SAR 图像编码方法的效果好。

5 结束语

本文通过对 SAR 图像特性的分析, 提出采用了基于相

干斑去噪技术的 SAR 图像编码方法对 SAR 原始图像进行压缩编码处理。从实验结果看,采用该方法在对 SAR 图像进行相干斑抑制处理的基础上实现了图像的压缩编码,取得了较理想的结果,这既实现了相干斑噪声的抑制,又实现了图像的压缩编码。

参 考 文 献

- [1] Donoho D L and Johnstone I M. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage. *Biometrika*, 1994, 81(1): 425-455.
 - [2] Donoho D L and Johnstone I M. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage. *Journal of the American Statistical Association*, 1995, 90(8): 1200-1210.
 - [3] Donoho D. De-noising by soft-thresholding. *IEEE Trans. on Inform. Theory*, 1995, IT-41(2): 613-627.
 - [4] Breiman L. Better subset regression using the nonnegative garrote. *Technometrics*, 1995, 37(1): 373-384.
 - [5] Bruce A G and Gao H-Y. Understanding waveshrink: Variance and bias estimation. *Biometrika*, 1996, 83(2): 727-745.
 - [6] Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 1993, 41(12): 1645-1663.
 - [7] 赵松年, 熊小芸. 子波变换与子波分析. 北京: 工业出版社, 1996: 35-123.
- 杨云志: 男, 1967 年生, 博士, 研究员, 研究方向为航空电子与通信、系统工程、数字信号处理、图像及数据压缩等。
- 黄顺吉: 男, 1933 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为系统工程、数字信号处理、图像处理等。
- 王建国: 男, 1955 年生, 教授, 研究方向为系统工程、数字信号处理、图像处理等。