

采用小波 SAR 算法的船舶监测系统设计

王海昕¹, 张云峰², 王加科¹, 李晓冰²

(1. 长春理工大学, 吉林 长春 130022; 2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130000)

摘 要: 根据小波变换和 Teagar 算子的优良特性, 设计出一种基于 SAR 图像的船舶检测算法, 并且基于该算法设计出了一套监测系统。该系统能够准确、高品质的实时对船舶进行跟踪监控。此监控系统的核心是这一套新的算法, 该算法对 SAR 图像进行小波变换, 然后针对小波变换的低频分量采用 Teagar 算子进行增强和去噪处理, 再将低频分量和高频分量利用逆小波变换获得高品质的 SAR 图像。并通过实验验证本系统的适用性和优越性。

关键词: 小波变换; Teagar 算子; SAR 图像; 船舶监测

中图分类号: TN959.72 文献标识码: A

文章编号: 1672-7619(2017)1A-0177-03 doi: 10.3404/j.issn.1672-7619.2017.1A.060

Design of ship monitoring system by using wavelet SAR algorithm

WANG Hai-xin¹, ZHANG Yun-feng², WANG Jia-ke¹, LI Xiao-bing²

(1. Changchun University of science and technology, Changchun 130022, China; 2. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130000, China)

Abstract: According to the excellent characteristics of wavelet transform and Teagar operator, a ship detection algorithm based on SAR image is designed, and a set of detection system is designed based on the algorithm. The system can be accurate and high quality real-time tracking and monitoring of the ship. This new algorithm is the core of this system, the algorithm transform SAR image by wavelet, then the low frequency components in wavelet transform be used to enhance the signal and reduce noise by wavelet transform and Teagar operator. The high quality SAR images are obtained by using the inverse wavelet transform of low frequency component and the high frequency component at last. The applicability and superiority of the system are verified by experiments.

Key words: wavelet transform; Teagar operator; SAR image; ships monitoring

0 引 言

船舶的监测系统主要是指船舶管理机构(港口、水利局、船舶航运公司等)通过相关的技术手段(如沿海 CDMA 网络、卫星、AIS 等)对船舶的位置进行实时监控, 从而能够实时掌握船舶的航行信息, 同时针对特殊情况能够对船舶进行实时调度^[1]。

得益于合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar, SAR)成像的全天候、全天时、监测范围广、分辨率高等优点, SAR 被广泛应用于需要监测和识别的各个领域, 比如城市交通、船舶运输、自然灾害的检测等。但是 SAR 图像的目标监测如果由人工来监视, 需要耗费大量的时间而且辨识度不高, 容易忽视目标。

因而针对 SAR 图像的自动检测目标成为 SAR 图像研究的一个重点内容, 目前国内外对此方面的研究如火如荼, 纷纷针对不同的算法进行研究和实验。

SAR 图像系统在检测过程中使用发射微波, 然后记录返回的扫描和信号等信息。在船舶检测中, 由于船舶相对于海水的反射的信号更强, 因而用 SAR 成像进行船舶的监测的性能非常优秀。但是同时由于海上天气情况复杂, 在海面容易形成暗流、飓风等恶劣的天气条件, 这对于 SAR 的成像形成了严重的干扰。

小波变换是最近新兴的一种信号处理算法, 在图形处理中因其独特的优点而被广泛应用。小波变换能将数据进行分解, 分解到不同的方向和频率的子带上。具有良好的对称性、紧支性、消失矩和正则性等

收稿日期: 2016-12-12; 修回日期: 2016-12-29

基金项目: 吉林省自然科学基金资助项目(201105027)

作者简介: 王海昕(1992-), 男, 研究方向为传统光学系统成像。

数学特性的小波函数对编码性能的提升有着重要意义^[2]。

因而针对 SAR 船舶检测的优良特性和存在的缺憾，本文应用小波变换对 SAR 成像的处理进行探索和研究。

1 基于小波变换的 SAR 算法

SAR 成像的主要目的是获得一个关于目标区的散射系数的二维分布，这是一个二维处理过程，一般包括距离向和方位向 2 个处理部分。在这一处理过程中，针对怎样处理雷达与目标的距离和距离-方向的耦合这 2 个方面各个算法各有千秋，而这 2 个方面问题的处理效果也关系到成像的质量和计算量的差异。下面介绍基于小波变换的 SAR 算法。

小波变换是傅里叶变换思想上的拓展，它既继承了傅里叶变换的频率分析的方法，又描述了信号的局部时间上的特征，因而既有频率分辨率又有时间分辨率。

对于信号函数 $f(t)$ ， $\forall f(t) \in L^2(R)$ ， $f(t)$ 的连续小波变换的定义为^[3]：

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\overline{\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)}dt \quad (a \neq 0) \quad (1)$$

其内积形式为： $W_f(a,b) = \langle f, \Psi(a,b) \rangle$ ，其中的 $\Psi(a,b) = |a|^{-1/2}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ，其中 $\Psi(t)$ 是小波函数。

其逆变换存在的条件为：

$$C_\Psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\Psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (2)$$

其中 $\hat{\Psi}(\omega)$ 是 $\Psi(\omega)$ 的傅里叶变换。此时，式 (1-1) 的逆变换为：

$$f(t) = C_\Psi^{-1} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi_{a,b}(t) W_f(a,b) db \frac{da}{|a|^2} \quad (3)$$

由逆变换存在条件式 (1-2) 可以得到 $\int_R \Psi(t)dt = 0$ ，也就是说小波函数 $\Psi(t)$ 是局部非零的紧支函数。小波变换可以理解成一种高频滤波器。由上式 (1) 可知，小波系数的极值在信号 $f(t)$ 在突变时，利用小波系数的这种局部特性，来监测 SAR 图像信号的突变，用于船舶跟踪监测。

另一方面，由于由目标船舶反射回来的信号比较微弱，难以完全捕捉到我们需要的信息，因此需要对信号进行增强放大处理。在此，本文利用 Teagar 算子^[4]这一工具，其具体理论如下：

$$E(f(n)) = f^2(n) - f(n+1)f(n-1) \quad (4)$$

式中 $E(\cdot)$ 就是 Teagar 算子，由此式可知，它能对信号 $f(t)$ 的高频信号进行非线性增强，而对一些噪音引起的低频信号进行了适当的抑制。因而该算子具有很好的信号增强和去噪效果。

图 1 是基于小波变换和 Teagar 算子增强效果的一个仿真，其中图 1 (a) 是需要处理的原信号数据，图 1 (b) 是将信号进行小波变换，图中可以看出此时信号出现了 2 个极值，图 1 (c) 是运用 Teagar 算子对图 1 (a) 中的信号进行增强处理。而对图 1 (b) 进行 Teagar 算子处理之后可以得到图 1 (d)。对比图 1 (a) 和图 1 (d) 可以看出信号的效果会好很多。

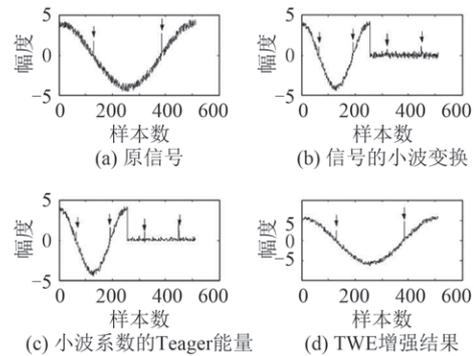


图 1 基于小波变换和 Teagar 算子的信号处理

Fig. 1 Signal processing based on wavelet transform and operator

2 船舶监测系统的设计

本文主要针对 SAR 成像技术对船舶实时监测跟踪。其监测系统示意图如图 2 所示。通过 SAR 对目标水域的目标船只进行实时监测。

当 SAR 对目标水域的船舶进行图像采集之后，需要对 SAR 图像进行处理，检测其中的船舶位置信息。船舶的目标检测算法包括对信号增强处理和检测处理。其流程图如图 3 所示。对 SAR 图像进行小波变换

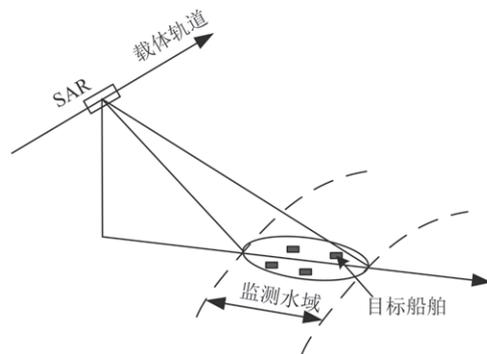


图 2 船舶监测系统示意图

Fig. 2 Monitoring system diagram of ships

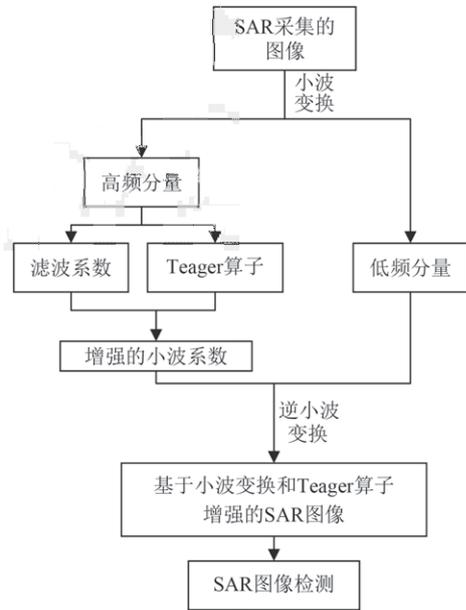


图 3 目标检测算法流程图

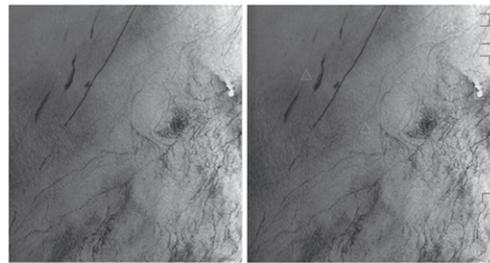
Fig. 3 Flow chart of target detection algorithm

之后得到低频分量和几个高频分量, 为简化计算, 本设计方案中的小波函数采用可分离函数对图像的行和列分别变换。对得到的高分量用 Teagar 算子进行处理, 得到增强的小波系数, 将处理过的高频分量和低频分量进行逆小波变换得到增强的 SAR 图像, 再对该图像进行检测。在最后的图像检测部分, 采用双参数 CFAR 检测。

3 仿真实验结果与分析

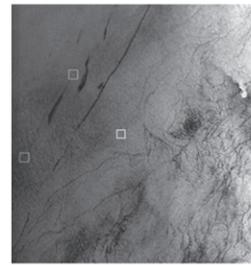
为验证本文提出的基于小波变换的 SAR 图像处理算法的适用性, 采用 SAR 图像作为处理对象, 进行仿真实验。实验结果如图 4 所示, 其中图 4 (a) 是需要进行检测 SAR 原始图像, 为对比算法性能优劣, 本文采用 K-分布检测算法^[5]与小波变换算法进行对比, 图 4 (b) 是采用 K-分布检测的结果, 图 4 (c) 是利用小波变换和 Teagar 算子检测的结果。

由图 4 的实验结果可以看出, 运用本文提出的基于小波变换的 SAR 成像处理能够获得更准确、更清晰的图像信息。



(a) SAR图像
可视船舶数为3

(b) K-分布算法检测
检测船舶数为2



(c) 小波变换算法检测检测船舶数为3

图 4 两种不同算法实验结果对比

Fig. 4 Comparison of experimental results of two different algorithms

4 结 语

本文设计出了一种基于小波变换同时利用 Teagar 算子进行优化处理的 SAR 图像处理算法, 并基于此, 设计了用 SAR 对船舶进行跟踪监控的监测系统。通过仿真实验对比了本文提出的新算法与传统算法, 验证了新算法对于 SAR 图像处理的可行性和优越性。

参考文献:

- [1] 郑永安, 陈玉春, 宋建社, 等. 基于提升机制小波变换的SAR与多光谱图像融合算法[J]. 计算机工程, 2006(6): 195-197.
- [2] 李莎, 黄琳, 周剑奇, 等. 基于小波变换的SAR图像压缩算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2012(8): 2310-2312+2316.
- [3] 郭焯文. 一种基于小波变换的SAR图像舰船尾迹检测算法[D]. 上海交通大学, 2009(8): 44-45
- [4] 秦蕾. 高倍数SAR原始数据压缩算法的研究[D]. 中国科学院研究生院(电子学研究所), 2004(1): 173-180.
- [5] 李霆, 王东进, 刘发林. 小波变换的SAR原始数据网格编码量化压缩算法[J]. 现代雷达, 2008(5): 53-56.