

# 一种基于小波多尺度分析的水天线检测方法

裴立力,史泽林,罗海波

(中国科学院 沈阳自动化研究所,中国科学院研究生院,辽宁 沈阳 110015)

**摘要:**提出一种基于小波多尺度分析的水天线检测方法。该方法针对海面背景图像的特点,利用小波变换的多尺度分析特性,依据小波变换模极大值在多尺度上的变化规律,综合了各尺度信息,对水天线进行检测。仿真实验验证了其有效性。

**关键词:**小波变换;多尺度分析;边界检测

中图分类号:TN 957.52 文献标识码:A

所谓水天线是海面背景图像中自然区分天空和海面两大区域的分界线,水天线检测是研究反舰导弹自动寻的成像末制导技术的一项重要内容。为了在复杂的海背景中实现自动目标捕获(AT A),首先要对水天线进行准确定位。因为在远距离捕获目标时,舰船目标通常出现在水天线附近,有了水天线信息便可以缩小搜索范围,同时能有效抑止海面杂波干扰,提高捕获概率。

典型的海背景中包含云层、战场烟雾、海杂波、鱼鳞光反射等干扰因素,还有大气能见度对水天线清晰程度的影响,这些复杂的情形客观上给水天线检测带来了难度。采取经典的边缘检测方法检测水天线是十分困难的。

小波变换具有良好的时频局部分析特性,其多尺度分析将信号分解到不同分辨率下进行研究,可以聚焦到信号的任意细节,有数学显微镜之称。本文就是利用小波变换的多尺度分析特性,依据小波变换模极大值在多尺度上的变化规律,综合各尺度信息,对水天线进行检测,并通过仿真实验验证了其有效性。

## 1 利用小波多尺度奇异点检测原理检测图像边缘

由于图像的边缘对应于图像中的灰度奇异点<sup>[1]</sup>,小波奇异点检测原理适用于二维图像的边缘检测<sup>[2]</sup>,这种边缘检测与二维小波变换的关系如下:

设  $\phi(x, y)$  是一个平滑的二维函数,并满足条件

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \phi(x, y) dx dy = 1$$
$$\lim_{x^2+y^2 \rightarrow \infty} \phi(x, y) = 0 \quad (1)$$

二维小波函数为

$$\Psi(x, y) = \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial x}$$

$$\text{和 } \Psi_\phi(x, y) = \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial y} \quad (2)$$

则二维小波基为

$$\Psi_{1,j}(x, y) = 2^{-j/2} \Psi_1(2^{-j}x, 2^{-j}y)$$

$$\text{和 } \Psi_{2,j}(x, y) = 2^{-j/2} \Psi_2(2^{-j}x, 2^{-j}y) \quad (3)$$

对于任何函数  $f(x, y) \in L^2(R^2)$ ,其小波变换表示为

$$W_{1,j} = f \times \Psi_{1,j}(x, y)$$

$$\text{和 } W_{2,j} = f \times \Psi_{2,j}(x, y) \quad (4)$$

则

$$\begin{bmatrix} W_{1,j} \\ W_{2,j} \end{bmatrix} = 2^{-j} \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f \times \phi_j)(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f \times \phi_j)(x, y) \end{bmatrix} =$$
$$2^{-j} \nabla (f \times \phi_j)(x, y) \quad (5)$$

此时,在尺度  $2^j$  下,  $f(x, y)$  梯度的模正比为

$$M(f(x, y)) = \sqrt{|W_{1,j}(x, y)|^2 + |W_{2,j}(x, y)|^2} \quad (6)$$

其中  $W_{1,j}$  和  $W_{2,j}$  分别表示  $f(x, y)$  沿  $x, y$  方向的梯度,梯度与水平方向的夹角为

$$A(f(x, y)) = \tan^{-1} \left[ \frac{W_{2,j}(x, y)}{W_{1,j}(x, y)} \right] \quad (7)$$

$M(f(x, y))$  和  $A(f(x, y))$  都是空间坐标  $(x, y)$  的函数。 $M_j(x, y)$  沿与  $A_j(x, y)$  垂直方向的极值位置,即标明了图像边缘。

## 2 模极大值变化规律与边缘奇异度

信号的突变点在不同尺度  $2^j$  上都会产生相应的模极大值 ,小波理论表明<sup>[3]</sup> 模极大值的幅值随着尺度的变化规律 ,是由信号在该突变点的局部 Lipschitz 指数  $\alpha$  决定的 ,即

$$|M(x, y)| \leq k(2^j)^\alpha \quad (8)$$

当  $\alpha > 0$  时 ,小波变换的模极大值将随  $j$  的增大而增大 ;当  $\alpha < 0$  则随  $j$  的增大而减小 ;阶跃情况 ,对应于  $\alpha = 0$  此时 ,小波变换的极大值不随尺度而改变 .

平滑的图像边缘可看作是原始边缘与高斯函数卷积的结果 ,此时 ,两者的关系表示为

$$|M(x, y)| \leq k2^js^{\alpha-1} \quad (9)$$

式中  $s = \sqrt{2^{2j} + \sigma^2}$  , $\sigma$  为平滑因子 ; $k$  为常数 .

Lipschitz 指数  $\alpha$  和平滑因子  $\sigma$  是表征边缘特性的重要参数 ,它们分别刻划了边缘的奇异度和平滑边缘的光滑度 ,模极大值的幅值随着尺度的变化随  $\alpha$  和  $\sigma$  的不同而呈现不同的规律 ,从而区别了不同类型的边缘 .

### 3 基于小波多尺度分析的水天线检测方法及步骤

根据以上分析 ,本文提出了一种基于小波多尺度分析的水天线检测方法 ,其算法步骤如下 :

1) 对原始图像进行小波分解 ,生成多个尺度下的梯度模图像 ;

2) 原始图像在垂直方向 ,比在水平方向具有明显的不连续性 ,在实际检测中 ,将  $M(x, y) =$

$\sqrt{|W_1(x, y)|^2 + |W_2(x, y)|^2}$  简化为  $M(x, y) = |W_2(x, y)|$  ;同时 ,由于监视系统保证了水天线与水平方向的夹角一般较小 ,故将模极大的搜索方向也限制在垂直方向 ,这样就压缩了梯度方向角的计算 ,节省了计算时间 ;

3) 在最大尺度  $2^j = \text{Max Scale}$  下 ,寻找模图像中沿垂直方向的模极值点 . 由于小波多尺度分析在较大尺度下 ,具有一定的噪声抑制能力<sup>[4]</sup> ,并

且 ,根据边缘的模极大值在多尺度上的分布规律 ,水天线边缘随着尺度的增加梯度模值逐渐增大 ,使其在较大尺度上 ,具有比其它边缘更为显著的模极值 ,而且该尺度下图像较小 ,检测计算量也相对较小 ;

4) 在模极值图像中进行直线检测 ,确定该图像中水天线的位置 . 水天线边缘在海面图像中具有的直线特性 ,使其区别于图像中的其它边缘 . 实验中采用 Hough 变换进行直线检测 ,确定直线方程 . 但是 ,由于此时选择了较大的尺度 ,定位精度较差 ,需要结合  $2^{j-1}$  尺度下的信息对结果进行修正 ,算法采用如下面 5) 6) 的修正方法 ;

5) 设  $2^j$  尺度下检测到的直线为  $y = kx + b$  ,  $x, y \in [0, N]$  ,依据在相同分解方向上各级小波系数具有的相似性<sup>[5]</sup> ,若将坐标原点分别选在各级分解图像的左上角 ,则可预测  $2^{j-1}$  尺度下模值图像中的直线为  $y = kx + 2b$  ,  $x, y \in [0, 2N]$  ;

6)  $2^{j-1}$  尺度下 ,在预测位置附近寻找梯度模的局部极值点 ,对其进行直线检测 ,即可确定  $2^{j-1}$  尺度下的直线方程 ,由于预测方程的存在 ,此时的直线检测更为简单、精确 ,这里 ,对找到的局部极值点运用最小二乘法进行直线拟合 ,从而确定该尺度下的直线位置 ;

7) 可以根据不同检测精度的要求 ,在多个尺度下依次进行上述的修正过程 ,最终得到综合了多个尺度下相关信息的水天线位置及表征其特性的直线方程 .

### 4 实验结果

选取  $512 \times 512$  的海面图像作为原始图像 ,采用二次样条小波对其进行多个尺度上的小波分解 ,由于考虑了有较强鱼鳞光干扰如图 2a 的情况 ,在小尺度下算法容易受到干扰的影响 ,因而选取了较大的分解尺度 ,来抑制海杂波、鱼鳞光 ,突出水天线边缘 .

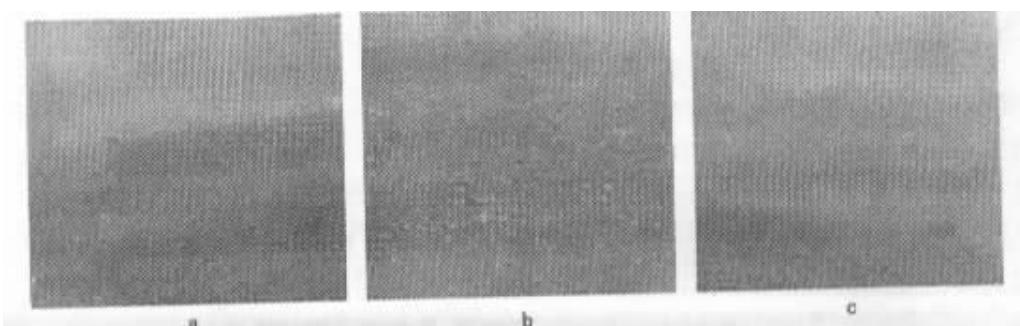


图 1 三种不同海况下的海面原始图像

Fig. 1 Three initial sea images under different situations

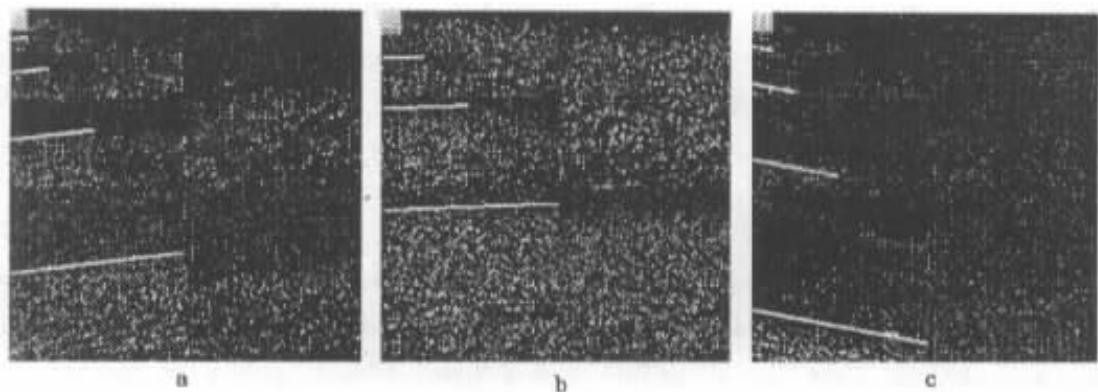


图2 4个尺度下垂直方向分解的直线检测结果

Fig.2 Upright decomposed results of line detection under 4 scales

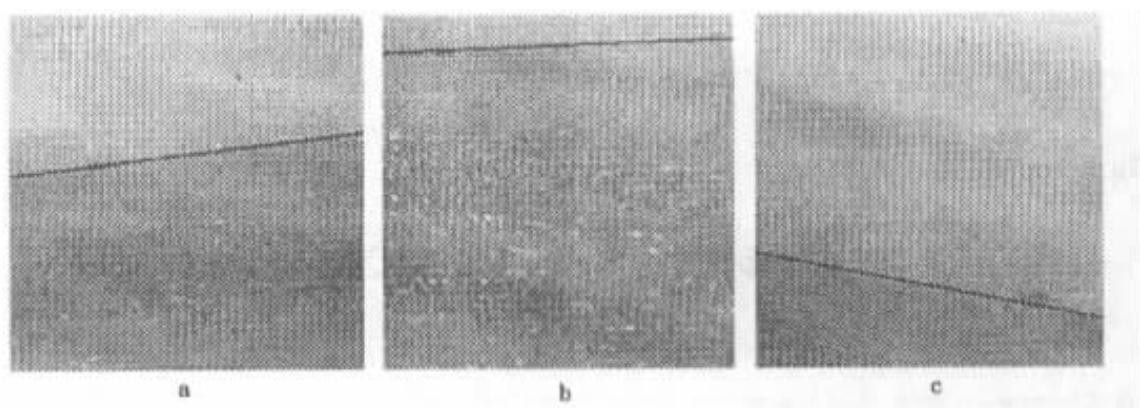


图3 最终的水天线检测结果

Fig.3 Final results of sea - level detection

实验中设定最大分解级数为  $j_{\max} = 4$ , 相应的最大分解尺度为  $2^{j_{\max}}$ , 取得的各个尺度下的直线检测及最终的水天线定位结果如下:

## 5 结 论

基于小波的多尺度分析体现了由粗到精的思想。仿真实验表明,采用逐级细化的检测方法,对于较为模糊的图像能以较少的分解次数得出正确的检测结果。对具有一定鱼鳞光和较强海杂波干扰的图像,算法依然有较好的检测效果,由此得到的水天线直线方程可为进一步目标检测和识别提供有用的参考,今后将在此基础上对检测和识别算法进行研究。

参考文献:

[1] 章国宝,叶桦,陈维南. 基于正交小波变换的多尺度边缘提取[J]. 中国图像图形学报,1998,3(8):651-

654.

(Zhang G B, Ye H, Chen W N. A multiscale edge detector based on orthonormal wavelet transform[J]. Journal of Image and Graphics,1998,3(8):651-654.)

[2] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用[M]. 北京:科学出版社,2000.

(Yang F S. The analysis and application of wavelet transform on engineering[M]. Beijing: Science Press, 2000.)

[3] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京:科学出版社,2000.

(Peng Y H. Wavelet transform and Its application on engineering[M]. Beijing: Science Press, 2000.)

[4] Lee Y, Kozaitis S P. Improved wavelet-based multiresolution edge detection in noisy image[M]. SPIE Visual Information Processing, 1999.

[5] 黄应清,李向琦,张智诠. 图像小波系数的分布规律及其对图像质量的影响[J]. 红外与激光工程,2000,29(3):15-18.

(Huang Y Q, Li X Q, Zhang Z Q. Distribution of wavelet coefficients and the effect to the Image Quality[J]. Infrared and Laser Engineering, 2000, 29(3):15-18.)

## Detection of sea-level based on wavelet multi-scale analysis

PEI Li-li , SHI Ze-lin , LUO Hai-bo

( Shenyang Institute of Automation ,Chinese Academy of Sciences Graduate School of Chinese Academy of Sciences ,Shenyang 110015 , China )

**Abstract :** In this paper , is an effective approach of detecting sea-level proposed. In the approach , based on multi-scale analysis of wavelets , the features of the images and the rule of variation of the modul maximum in different scales are analysed. Then the various information of each scale to achieve the detection is integrated . Simulation experiments are given to verify the validity of the approach .

**Key words :** wavelet transform ; multi-scale analysis ; edge detection

（上接第 100 頁）

## Multi-methods of copying data between SQL servers in PB

XU Quan-sheng , REN Li-bin

( School of Information Science and Engineering Shenyang University of Technology , Shenyang 110023 , China )

**Abstract :** This paper mainly researches how to transfer data between two or more SQL Server DBMS and lists several methods. More attention is paid to introduce two methods : Data Pipeline and Linked Server ;mainly introducing some distinct question , giving the resolving method .This paper also analyse the difference between the two methods .

**Key words :** data pipeline ; linked server ; DBMS ; OLE DB ;

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>