

文章编号: 1006-1088(2005)01-0054-05

基于水天线检测的数字图像处理算法研究

赵凝霞, 刘维亭, 朱志宇

(江苏科技大学 电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

摘要: 重点讨论了天文导航中水天线图像的处理算法。先通过小波变换的阈值法分割对图像进行分割, 然后利用中值波消除图像中的噪声, 再通过小波变换提取出图像中的水天线, 最后通过 Hough 变换得到图像中水天线的具体位置信息, 从而计算出舰船的摇摆角。

关键词: 图像处理; 小波变换; 水天线

中图分类号: TN919.8

文献标识码: A

Study on Algorithms of Digital Image Processing Based on Water-sky-line Examination

ZHAO Ning-xia, LIU Wei-ting, ZHU Zhi-yu

(School of Electronics and Information, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract: The algorithms to process the image of water-sky-line are discussed. Firstly, the threshold method based on wavelet transform is applied to the partition of the original image. Then the median filter is used to remove the noise and the water-sky-line is extracted from image through wavelet transforms. At last, the Hough transform is adopted to calculate the specific position of water-sky-line. As a result, the swing angle of ship is acquired.

Key words: image processing; wavelet transform; water-sky-line

0 引言

天文导航以天体作为导航信标, 用天文望远镜测出天体相对于水平基准平面的张角(即天体高度)和它相对北极的正北方位, 同时记下相应的观测时间来确定航行位置和航向。实际应用中, 由于天气原因, 舰船在航行过程中总是有一定的摇摆。为了提高导航系统的精确性, 必须实时检测出舰船在大海中的摇摆角, 从而控制其航行。在舰船上看到的一条水天交接的亮线, 称之为水天线。在风平浪静的时候水天线是水平的直线, 通常以此为基准称作基准水天线。当舰船摇摆时采样到的水天线与基准水天线有一夹角, 这一夹角就是舰船的摇角。可以利用图像处理技术对采集到的水天线进行处理, 采用先进的处理算法快速得出舰船的摇角, 从而实现导航。在采集原始图像(水天线图像)时, 由于光学系统失真、

相对运动、大气对流以及其它天气原因,或者在传输过程中噪声污染图像,引起图像质量下降,因此在从水天线图像中解算舰船摇角之前,首先要对图像进行有效的处理。这里所涉及的图像处理主要是关于图像分割方面的算法。本文研实了利用小波变换技术,对水天线图进行分割,并从中提取出水天线基准。

1 小波变换理论

基本小波函数 $\psi(x)$ 是一个具有零均值且持续时间有限的衰减振荡波形,其傅立叶变换 $\psi(\omega)$ 具有带通性质,即满足 $\Psi(\omega = 0) = 0$,也称为母小波。

小波基是由一个基本小波 $\psi(x)$ 经过伸缩和平移产生的一簇函数:

$$\psi_{ab}(t) = (a)^{\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

式中, a 为伸缩因子, b 为平移因子。 $\psi(x)$ 经过平移和伸缩变换后,即可以生成不同的频率成分。其二进制离散化形式为:

$$\psi_{m,n}(x) = 2^{\frac{-m}{2}} \psi(2^{-m}x - n), (m, n \text{ 为实数}) \quad (2)$$

小波变换的基本思想是将原始信号通过伸缩及平移,分解为一系列具有不同空间分辨率、不同频率和不同方向特性的子带信号。这些子带信号具有良好的时域、频域局部特性,可以用来表示原始信号的局部特性,进行实现对信号时间、频率的局部化分析,克服了 Fourier 变换在分析非平稳的复杂图像时存在的局限性。

2 水天线图像的处理算法

2.1 小波变换的阈值法分割

小波变换的阈值法分割是由二进制小波变换将图像的直方图分解为不同层次的小波系数,然后依据给定的分割准则和小波系数选择阈值门限,再利用阈值标出图像分割的区域。

下面是直方图的多分辨率分析^[1]。

对于每个整数 $j \in \mathbb{Z}$ (\mathbb{Z} 为整数集合), $d_j = \left\{ \frac{k}{2^j}; k \in \mathbb{Z} \right\}$ 表示在 j 分辨率下的二进制有理数。对于任何 $j \in \mathbb{Z}$, d_j 是一组在实轴上等间隔采样点集合。

如 f 表示一幅图像,图像 f 中灰度最大值为 g ,则直方图表示为

$$h_f(k) = \left| \{(x, y) : f(x, y) = k\} \right|; k \in [0, g] \quad (3)$$

式中,“ $|\cdot|$ ”表示计数操作, $h_f(k)$ 是离散函数。令 $h_f(x) = h_f(k)$, $x \in [k, k+1]$, 将离散函数 $h_f(k)$ 表示成连续函数 $h_f(x)$, h_f 看作是由几个分段常数函数组成。对于 $j \in \mathbb{Z}$, h_f 按采样点 $\{d_j\}$ 采样, 则 h_f^j 表示在 j 分辨率下的直方图。 h_f^j 可用 Harr(正交基的小波) 尺度函数 $\varphi(x)$ 的平移与伸缩表示, 即 $\varphi(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$ (4)

$$h_f^j(x) = \sum_{n \in \mathbb{Z}} h_f(2^{-j}n) \varphi(2^jx - n) \quad (5)$$

采用小波变换,将曲线 $h_f(x)$ 表示成:

$$h_f(x) = \sum_{k \in \mathbb{Z}} a_k \varphi_{0,k} + \sum_{i=0}^j \sum_{k \in \mathbb{Z}} b_{j,k} \psi_{j,k} \quad (6)$$

这里 $\{a_k\} = \{\langle h_f, \varphi_{0,k} \rangle\}$, $\{b_{j,k}\} = \{\langle h_f, \psi_{j,k} \rangle\}$, $\{a_k\}, \{b_{j,k}\}$ 统称为小波系数。

根据(6)式对水天线的阈值分割,先对直方图进行小波分解,然后利用小波系数 $\{a_k\}, \{b_{j,k}\}$ 按式(6)重

建直方图,从近似直方图中选择阈值,完成阈值分割。具体算法如下:

1) 预设分割区域为 M (为了有效对水天图进行分割,取 $M = 4$),分解级数 $J = \log_2(g)$, g 为图像中最大灰度值;

2) 应用小波分解曲线 h_f ,得到 $\{\{a_k\}\{b_{j,k}\}\}$,令 $j = 0$, $\{d_{j,k}\} = \{b_{j,k}\}$;

3) $\{b_{j,k}\} = \{d_{j,k}\}$,将大于 j 分解层次的 $\{b_{j,k}\}$ 系数置为零,用式(4)重建,在重建直方图 \tilde{h}_f 中,找出满足 $\tilde{h}_{f,l+1} > \tilde{h}_{f,l}$ 和 $\tilde{h}_{f,l-1} > \tilde{h}_{f,l}$ 条件的标号 l (灰度),并且统计标号 l 的个数 n ;

4) 如果 $n < M$,则 $j = j + 1$,当 $j < J$ 时,转向步骤 3;

5) 从重建直方图 \tilde{h}_f 中,找到多阈值 $\{\delta_i\}_{n \geq i \geq 1}$, $\delta_i = l_i$;

6) 像素值与阈值 $\{\delta_i\}_{n \geq i \geq 1}$ 比较,标出其所在区域。小波变换阈值分割的结果如图 1 所示。

对小波变换阈值分割后的图像再进行中值滤波去噪,然后采用小波变换的边缘检测算法提取出图像中的水天线。

2.2 小波变换提取出图像中的水天线

图像中边缘是其灰度级不连续点,具有奇异性,基于小波变换的边缘检测,实际上是利用小波系数的模极大值^[2]。边缘检测中离散小波变换比连续小波变换更为有利,为了有效提取出图像中的水天线,采用离散小波变换法。在离散小波变换设计中,运用 Mallat 算法^[3]对图像进行小波变换。

2.2.1 离散小波变换的设计^[4]

1) 设计或寻找一个满足规定条件的序列 $h_0(k)$, $h_0(k)$ 称为低通滤波器或尺度向量。

2) 由尺度向量构造相应的尺度函数 $\varphi(t)$

$$\varphi(t) = \sum_k h_0(k) \varphi(2t - k) \quad (7)$$

即尺度函数可以通过自身半尺度复制后的加权和加以构造, $h_0(k)$ 为权重。

3) 由 $h_0(k)$ 构造高通滤波器 $h_1(k)$

$$h_1(N - 1 - k) = (-1)^k h_0(k) \quad (8)$$

式中, N 为滤波器的长度。

4) 由 $h_1(k)$ 和 $\varphi(t)$ 生成基本小波 $\psi(t)$, 随之得到正交归一小波集。

$$\psi(t) = \sum_k h_1(k) \varphi(2t - k) \quad (9)$$

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}} \psi(2^j t - k) \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (10)$$

2.2.2 应用小波模极大值^[2]来进行边缘检测的具体算法^[5,6]:

定义 $\theta(x, y)$ 为二维平滑函数,它在整个平面上的积分为 1 并且它在 x 或 y 为无限远处收敛到 0。现定义两个小波函数 $\psi^{(1)}(x, y)$ 和 $\psi^{(2)}(x, y)$ 为:

$$\psi^{(1)}(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial x} \quad (11)$$

$$\psi^{(2)}(x, y) = \frac{\partial \theta(x, y)}{\partial y} \quad (12)$$

图像 $f(x, y)$ 的小波变换的两个分量在尺度为 S 时定义为:

$$W_S^{(1)}[f(x, y)] = f * \psi_S^{(1)}(x, y) \quad (13)$$

$$W_S^{(2)}[f(x, y)] = f * \psi_S^{(2)}(x, y) \quad (14)$$

对于二进小波变换,有

$$\begin{cases} W_{2^i}^{(1)}[f(x, y)] \\ W_{2^i}^{(2)}[f(x, y)] \end{cases} = 2^i \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f \otimes \theta_{2^i})(x, y) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f \otimes \theta_{2^i})(x, y) \end{bmatrix} = 2^i \nabla (f \otimes \theta_{2^i})(x, y) \quad (15)$$



图 1 原始图像

Fig. 1 Original image

可以看出小波变换的两个分量正比于梯度矢量 $\nabla(f \otimes \theta_{2^i})(x, y)$ 的两个矢量。在任一尺度 2^i , 梯度矢量的模等于:

$$M_{2^i}[f(x, y)] = \sqrt{\left|W_{2^i}^{(1)}[f(x, y)]\right|^2 + \left|W_{2^i}^{(2)}[f(x, y)]\right|^2} \quad (16)$$

梯度矢量与水平轴的夹角为:

$$A_{2^i}[f(x, y)] = \arg(W_{2^i}^{(1)}[f(x, y)] + jW_{2^i}^{(2)}[f(x, y)]) \quad (17)$$

$f(x, y) \otimes \theta_{2^i}(x, y)$ 上变换剧烈的点就是沿着梯度方向 $A_{2^i}[f(x, y)]$ 上的模 $M_{2^i}[f(x, y)]$ 为局部极大值的那些点。这些点即为边缘点, 按一定规则连接边缘点成边界。对中值滤波处理后的图像进行小波变换的结果如图 2 所示。

2.3 Hough 变换^[7] 得到图像中水天线的具体位置

Hough 变换方法是利用图像全局特性而直接检测目标轮廓。基本思想是通过在参数空间确定参考点来检测图像空间的目标, 当所需检测的曲线或目标轮廓没有或不易用解析式表达时可以利用表格来建立曲线或轮廓点与参考点间的关系, 从而可利用 Hough 变换进行检测。具体算法如下^[2,8]:

① 对图像(任意形状如图 5 所示), 在其轮廓内部取一个参考点 (p, q) , 对任意一个轮廓点 (x, y) , 建立参考点与轮廓点的联系。 r 是 (x, y) 到 (p, q) 的矢量, ϕ 是 r 到 X 轴正向的夹角, θ 是法线与 X 轴的夹角。

$$\begin{aligned} p &= x + r(\theta) \cos[\phi(\theta)] \\ q &= y + r(\theta) \sin[\phi(\theta)] \end{aligned} \quad (18)$$

② 以 θ 为自变量, 根据 r, ϕ 为 θ 的函数关系可作出一个参考表— R 表(其中 r 的大小和方向都会随轮廓点不同而变化), 如表 1 所示。

R 表本身与轮廓的绝对坐标无关, 只是帮助描述轮廓形状。如设轮廓上共有 m 个点, 表中 r 和 ϕ 的下标与 θ 分别一一对应, 它们的上标是具有相同 θ 的轮廓点数。

③ 在判断被测图像中是否有已知某物时, 对该图像某物各点在内存中建立一个存储区, 存储内容是累加的。把 (p, q) 从最小到最大用步进表示, 并作为地址记作 $A(p_{\min} : p_{\max}, q_{\min} : q_{\max})$ 。

④ 对轮廓上的每个点先算出它的梯度角 θ , 再由式(16)算出 p 和 q , 据此对 A 进行累加。

⑤ 根据 A 中的最大值得到所求轮廓的参考点, 确定整个轮廓的位置。得到倾斜角 $\alpha_{\text{Theta}} = 3.7430$, 截距 $h_{\text{Int}} = -73$ 。水天线图像的 Hough 变换结果如图 4 所示。

表 1 R 表

Tab. 1 Table of R

梯度角	矢径 $r(\theta)$	矢角 $\phi(\theta)$
$\theta_a = \frac{\pi}{2}$	$r_1^1, r_1^2, \dots, r_1^{m1}$	$\phi_1^1, \phi_1^2, \dots, \phi_1^{m1}$
$\theta_b = \frac{2\pi}{2}$	$r_2^1, r_2^2, \dots, r_2^{m2}$	$\phi_2^1, \phi_2^2, \dots, \phi_2^{m2}$
$\theta_c = \frac{3\pi}{2}$
$\theta_d = \frac{4\pi}{2}$	$r_m^1, r_m^2, \dots, r_m^{mm}$	$\phi_m^1, \phi_m^2, \dots, \phi_m^{mm}$

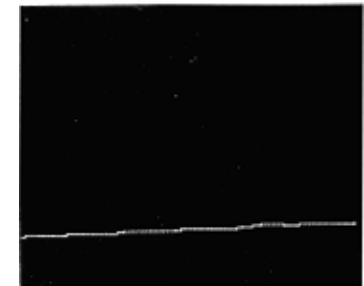


图 2 小波变换滤值分割结果图

Fig. 2 Result of threshold method based on wavelet

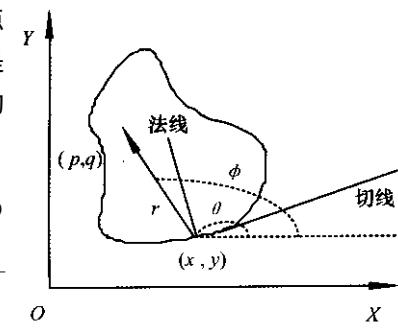


图 3 任意形状图形

Fig. 3 Anomalous figure

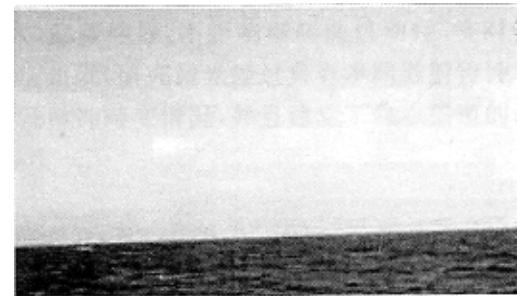


图 4 水天线图 Hough 变换的结果图

Fig. 4 Result of Hough transform

3 试验结果与分析

图 5 为原始受噪声污染的水天线图像,图 2 为采用本文算法对受噪声污染的水天线图像处理后的结果图,图 6 为对原图像采用传统的 Otus 阈值分割^[9]后的结果图。

由仿真试验结果可以看出,对受污染的原始图像采用传统的分割算法提取水天线图像时,噪声信号的污染仍然严重,图像边缘不清晰。而采用本文提出的算法可有效地弥补传统的边缘检测算法的不足,在有效地抑制噪声影响的同时,提供了较高的边缘定位精度,通过小波变换算法处理得到了一个清晰的水天线图像。然后对此检测后的水天线图像通过 Hough 变换即得到图像中水天线的具体位置信息快速地得到舰船的倾角和截距,为舰船导航提供了较高的定位精度。

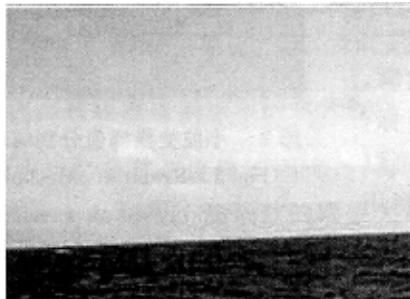


图 5 原始图像

Fig. 5 Original image

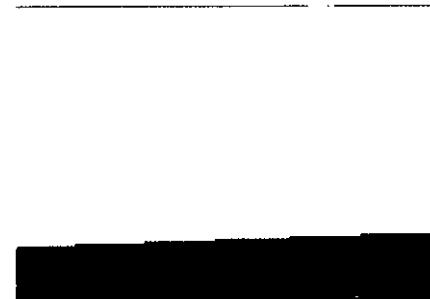


图 6 Otus 阈值分割图像

Fig. 6 Otus's threshold segmentation image

参考文献:

- [1] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [2] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [3] MALLAT S. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE-PAMI, 1989, 11(T): 647—693.
- [4] 霍宏涛. 数字图像处理[M]. 北京:北京机械工业出版社,2003.
- [5] YAO Y R, ZHANG Y J. Shape-based image retrieval using wavelets and moments[C]. Proceedings of International Workshop on Very Low Bitrate Video Coding, 1999, 71—74.
- [6] 姚玉荣,章毓晋. 利用小波和矩进行基于形状的图像检索[J]. 中国图像图形学报,2000,5A(3):206—210.
- [7] BALLARD D H. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes[J]. Pattern Recognition, 1981, 13: 111—122.
- [8] 贾永红. 数字图像处理[M]. 武汉:汉大学出版社,2003.
- [9] 温佩芝,史泽林,于海斌. 复杂海面背景红外小目标自动检测方法[J]. 红外与激光. 2003,32(6):590—593.

(责任编辑:邵仁蔚)

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)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)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),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>