

# 小波变换在水声定位数据后置处理中的应用

沈亚东<sup>1</sup>, 张玉涛<sup>1</sup>, 程淑萍<sup>2</sup>

(1. 辽宁大连 91439 部队, 辽宁大连 116041; 2. 中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

**摘要:** 水声定位系统在工作过程中由于受到环境噪声和多途信号的干扰会导致定位结果出现异常跳变点即野值。提出一种水声定位数据后置处理方法, 该方法首先对目标原始定位轨迹进行预处理, 然后利用小波变换的方法对预处理后的轨迹进行野值剔除和滤波平滑, 得到新的目标轨迹。利用该方法对某长基线水声定位系统海上试验数据进行轨迹平滑, 并与卡尔曼滤波轨迹平滑结果对比, 对比结果证明了该方法的有效性。

**关键词:** 水声定位; 野值剔除; 小波变换

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2011)-02-0193-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2011.02.017

## Application of Wavelet Transform in back data processing of acoustic positioning system

SHEN Ya-dong<sup>1</sup>, ZHANG Yu-tao<sup>1</sup>, CHENG Shu-ping<sup>2</sup>

(1. Unit 91439, PLA, Dalian 116041, Liaoning, China;

2. Shanghai Acoustics Laboratory, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China)

**Abstract:** Outliers will appear in the acoustic positioning system because of the interference from background noise and multi-path signal. A method of back data processing of acoustic positioning system is given in this paper. The original trace is pretreated firstly, then the wavelet transform is used to remove the outliers in the pretreated trace and smooth the trace then the new trace is generated. The method is used in processing the experiment data of a long base line acoustic positioning system and compared with the result using Kalman filter trace smoothing method. The result of processing proves the validity of this method.

**Key words:** acoustic positioning; outliers eliminating; wavelet transform algorithm

## 0 引言

由于受到多途信号的影响和环境噪声的干扰, 水声定位系统的定位结果中会出现异常跳变点即野值。野值又称跳点, 是指那些由测量仪器精度之外的因素引起的不正确测量或计算结果, 其特点是与正常值相差很大, 而且一般不符合统计规律, 幅值相差比较大, 且点数少。野值不但会导致统计滤波的结果失真, 甚至会使滤波器发散<sup>[1]</sup>。要得到准确的定位结果, 提高系统的定位精度, 就要对这些包含有野值的测量数据进行必要的处理。

由于水声信道环境的复杂多变使得在时间域上对信号进行判别和处理的传统野值剔除方法在处理水声数据时受到很大的局限。

小波变换的一个重要性质就是具有在时间、频

率上突出信号局部特征的能力。在对信号进行表示和描述中, 通常信号的奇异点, 如过零点、极值点等, 更能刻画信号的细节并在对信号进行区分中起着重要作用。因此, 可利用信号在多尺度上的综合表现来描述信号, 特别是它的突变点或瞬态特征。同样, 对于存在野值的测量数据, 通过小波分解后, 野值数据存在于小波的细节分量中, 通过一定的准则, 辨别细节分量, 提取出野值并对其置零, 然后重构原信号, 达到剔除野值和数据平滑的目的。

本文的数据处理方法主要从两方面入手, 首先对原始数据进行预处理, 剔除跳变较大的野值; 然后对数据进行多层小波分解剔除细节分量中的野值, 最后重构信号得到新的目标轨迹。

## 1 数据预处理

在采用小波变换剔除野值点之前, 对原始定位数据进行了预处理: 采用门限检测的方法剔除跳变较大的野值, 并采用内插法补上相对合理的数值<sup>[2]</sup>。

定位开始后, 选择有 5 个连续测量数据足够接

收稿日期: 2010-09-02; 修回日期: 2010-12-15

作者简介: 沈亚东(1978-), 男, 湖北安陆人, 工程师, 研究方向为测控技术。

通讯作者: 程淑萍, E-mail: chengshupin@mail.ioa.ac.cn

近的数据段作为预处理的起始数据段，并从此处开始进行门限检测。

设目标的最大运动速度为  $V_{\max}$ ，信号的发射周期为  $T$ ，则定义检测门限  $D$  为：

$$D = V_{\max} T \quad (1)$$

记第  $i$  点目标坐标为  $(x_i, y_i)$ ，则第  $i$  点与第  $i+1$  点之间的距离为：

$$R(i) = [(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2]^{1/2} \quad (2)$$

若  $R(i) \leq D$ ，则认为原测量值有效，保持不变。否则进行一次  $n$  步门限检测， $n$  为检测步长，设：

$$R(k) = [(x_{i+k+1} - x_i)^2 + (y_{i+k+1} - y_i)^2]^{1/2}, k=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

若  $R(k) > kD$ ，则该点为野值，继续进行检测，直到检测到  $R(k) \leq kD$ 。否则认为从  $i$  点到  $i+k$  点均为野值，全部予以剔除，然后采用线性内插的方法补上合理的数值，检测过程中对野值个数(设为  $N$ )进行统计，则线性内插后目标的坐标值为：

$$\begin{cases} x_{i+k} = x_i + (x_{i+k} - x_i)k/N \\ y_{i+k} = y_i + (y_{i+k} - y_i)k/N \end{cases}, k=1, 2, \dots, N$$

针对预处理后的数据再采用小波变换对野值进行进一步的剔除。

## 2 小波变换基本原理<sup>[2]</sup>

设  $x(t)$  是平方可积的函数，记  $x(t) \in L^2(R)$ ，其连续小波变换的定义为

$$WT_x(a, b) = \int x(t) \psi_{a,b}(t) dt \quad (4)$$

式(4)中， $\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$  为基小波， $a \neq 0$  为尺度因子， $b$  为平移因子。尺度因子压缩或者伸展小波波形，平移因子使小波在  $t$  轴进行平移。

将小波分解的过程进行迭代，可以获得多层小波分解，称为多分辨率分析或多尺度分析，具体说，就是把平方可积的函数  $x(t) \in L^2(R)$  描述为一系列近似函数的极限函数，这些近似函数是在不同的尺度上得到的，每一个近似函数都是用某一个低通函数  $\psi_{a,b}(t)$  对  $x(t)$  的平滑，而且是越来越精细的近似函数。工程上为了计算方便，将  $a$  按幂级数离散， $b$  在尺度内均匀离散，简化为离散小波变换。

利用小波变换对信号进行多分辨率分析包括两个过程：信号分解和信号重构<sup>[3]</sup>。本文采用 Mallat 快速算法实现信号小波分析。利用 Mallat 算法对信号分解和信号重构的过程如下：

### (1) 信号分解

设  $H$  和  $G$  分别为低通滤波器和高通滤波器， $C_j$ 、 $D_j$  分别为原始信号在分辨率  $2^{-j}$  下的近似分量

和细节分量，则：

$$\begin{cases} C_{j+1} = HC_j \\ D_{j+1} = GC_j \end{cases}, j=1, 2, \dots, n$$

塔式分解算法结构如图 1 所示。

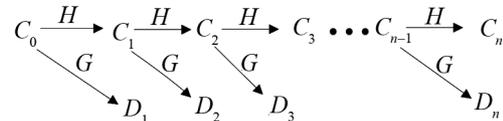


图 1 塔式分解算法结构示意图

Fig.1 The structure of decomposition algorithm

### (2) 信号重构

设  $H^*$  和  $G^*$  分别为  $H$  和  $G$  的对偶算子，则  $C_j = H^*C_{j+1} + G^*D_{j+1}$ 。塔式重构算法如图 2 所示。

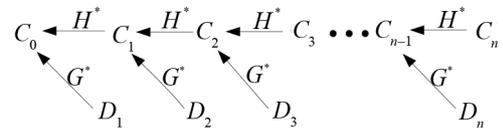


图 2 塔式重构算法结构示意图

Fig.2 The structure of reconstruction algorithm

通过小波的分解和重构可以看出小波变换相当于组滤波器，近似分量为分解出的信号低频成分，而细节分量则对应了信号的高频成分。信号中的突变跳点即野值对应于高频成分，所以小波分解后野值数据应该包含在小波分解的细节分量中，在小波分解后观察细节分量，对包含野值的细节分量置零，然后重构信号就能够达到剔除野值的目的<sup>[4]</sup>。

## 3 海试数据处理结果

在长基线定位系统某次海上试验过程中，在试验船上将目标换能器采用刚性杆吊放于水中，换能器上方布放 GPS 天线，在试验船实时航行过程同时记录 GPS 测量结果和换能器水声定位结果<sup>[5]</sup>。采用上述轨迹平滑算法对换能器水声定位结果进行平滑处理，将 GPS 测量结果作为换能器位置的真值，计算平滑后换能器定位偏差。

为了对比该算法的有效性，首先给出水声定位数据的卡尔曼滤波平滑处理结果。在采用卡尔曼滤波进行平滑之前同样先采用本文第 1 节介绍的预处理算法对数据进行预处理，剔除跳变较大的野值，然后再采用卡尔曼滤波对水声定位数据进行平滑。卡尔曼滤波器的参数设定为：收敛控制参数为 2000，滤波增益下限因子为  $10^{-8}$ 。将平滑后得到新的轨迹数据与 GPS 定位结果作比较，计算定位偏差。

图 3 显示的是原始定位轨迹与卡尔曼滤波平滑

后的目标轨迹;图 4 显示的是原始定位结果及卡尔曼滤波平滑处理后的定位结果与 GPS 测量结果之间的定位偏差。由图 3 和图 4 可见,卡尔曼滤波法能在一定程度上对目标运动轨迹起到平滑作用,但计算得到的定位偏差仍有较大的起伏。

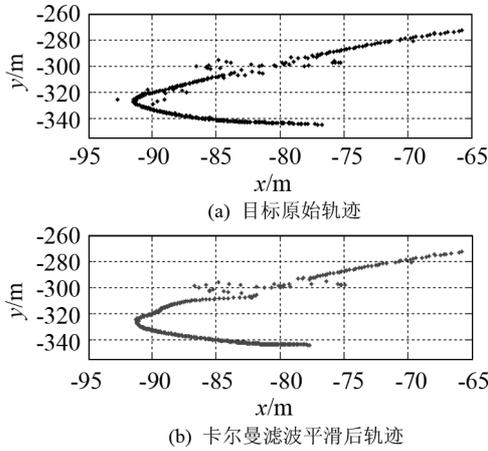


图 3 卡尔曼滤波法平滑结果

Fig.3 The smoothing result of Kalman filter method

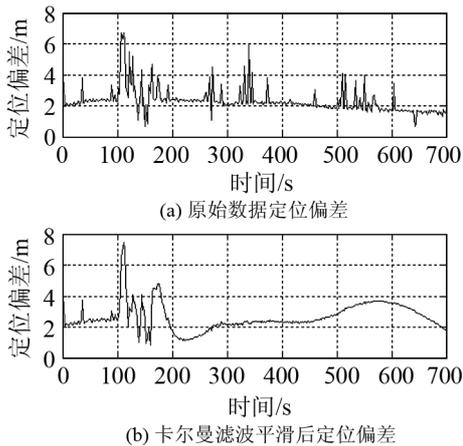


图 4 卡尔曼滤波法定位偏差

Fig.4 The position deviation of Kalman filter method

下面采用本文介绍的小波变换对数据进行平滑处理。首先对数据进行预处理,剔除跳变较大的野值,然后采用 db5 小波函数对定位数据进行 5 层小波分解。由于野值点对应于高频成分,分布于细节分量中,信号对应于低频成分,分布于近似分量中,因此将 5 层分解中的细节分量全部置零,仅用小波变换中的近似分量进行重构,得到新的目标轨迹数据,将新数据与 GPS 定位结果作比较,计算小波变换平滑后的定位偏差。

图 5 显示的是原始定位轨迹与小波变换平滑后的目标轨迹;图 6 显示的是原始定位结果及小波变换平滑处理后的定位结果与 GPS 测量结果之间的定位偏差。对比图 3 和图 5、图 4 和图 6 可以看出,本文介绍的基于小波变换的数据后置处理方法在

长基线定位系统数据后置处理中对剔除野值、平滑目标轨迹具有较好的效果,且不会损失有用信息。

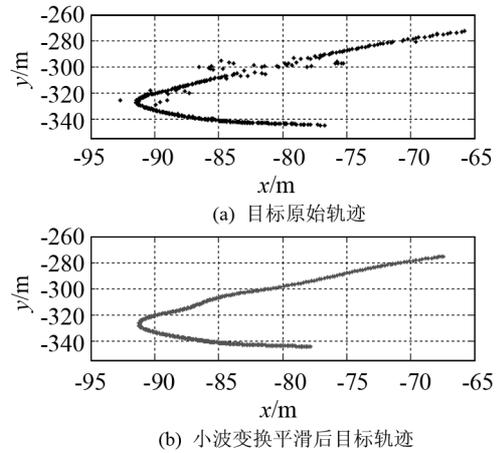


图 5 小波变换平滑结果

Fig.5 The smoothing result of wavelet transform method

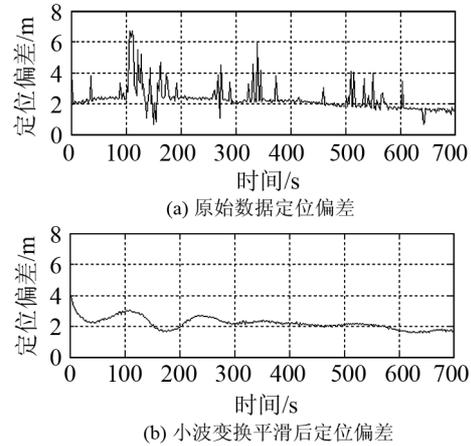


图 6 小波变换法定位偏差

Fig.6 The position deviation of wavelet transforming method

## 4 结论

本文介绍了一种基于小波变换的水声定位数据后置处理方法,并利用该方法对长基线水声定位系统的海试数据进行后置平滑处理。数据处理结果表明:该方法能有效地剔除水下运动目标轨迹中的野值,同时可对运动目标定位结果起到平滑作用。通过处理前后定位结果与 GPS 实测结果的对比,表明该方法降低了定位偏差的离散度,定位结果得到了明显的改善。通过对小波变换平滑处理结果与卡尔曼滤波平滑处理结果的对比,表明小波变换对连续跳变数据的平滑处理效果优于卡尔曼滤波。

### 参 考 文 献

[1] 赵圣占,高成文,吴晓琳,杨若红. 遥测数据处理的野值剔除方法研究[J]. 强度和环, 2005(1): 59-63.  
ZHAO Shengzhan, Gao Chengwen, WU Xiaolin, Yang Ruohong.

- The research of eliminating the outlier in data processing of remote measurement[J]. Structure and Environment Engineering, 2005(1): 59-63.
- [2] 丁育中, 刘伯胜, 梁国龙. 短基线水声定位系统的后置处理[J]. 声学与电子工程, 1990(3): 13-20.  
DING Yuzhong, LIU Bosheng, LIANG Guolong. Back data process in the short base line system[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 1990(3): 13-20.
- [3] 徐长发, 李国宽. 实用小波方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 83-93.  
XU Changfa, LI Guokuan. Practical wavelet method[M]. Huazhong University of Science and Technology Press, 2004: 83-93.
- [4] 李振兴, 张慧娟. 小波变换在遥测数据野值剔除中的应用[J]. 航空兵器, 2008(5): 45-47.  
LI Zhenxing, ZHANG Huijuan. Application of wavelet transform in telemetry data outliers eliminating[J]. Aero Weaponry, 2008(5): 45-47.
- [5] 张明磊, 黄敏燕, 冯海泓. 长基线水声定位系统中一种迭代声速修正算法[J]. 声学技术, 2010, 29(3): 253-257  
ZHANG Minglei, HUANG Minyan, FENG Haihong. Iteration Algorithm of Revising the Sound Velocity in the Long Baseline Acoustic Positioning System[J]. Technical Acoustics, 2010, 29(3): 253-257.



## • 简 讯 •

### “全国建筑声学与噪声振动控制工程暨配套装备研讨会” 在武汉成功召开

由北京国建信文化发展中心及噪声与振动控制网主办、中国环保产业协会噪声与振动控制专业委员会为支持单位, 武汉市建设设计院、V.V.C 工作室、武汉宏森环保技术工程公司协办及承德天工建材公司的“全国建筑声学与噪声振动控制工程暨配套装备技术研讨会”于 4 月 16 日~18 日在武汉市召开, 来自全国各地从事建筑声学、环境声学和噪声振动控制技术相关的高等院校、设计院所、环保科研、管理及行业企业、声学材料、设备生产及环保工程业主和施工单位等共 140 余人出席会议, 噪声与振动控制专业委员会主任委员章奎生教授应邀参会并在开幕式上致了开幕词。

会议安排了“厅堂音质设计技术的发展与应用”(华南理工大学建筑学院)、“环保噪声控制研究新趋向”(中国科学院声学研究所)、“演艺建筑场馆建声设计实例”(北京市院声学组)、“室内设计与建筑声环境”(深圳中孚泰文化建筑建设公司)、“民用建筑隔声设计新规范解析”(北京建科院物理所)、“轨道交通路网工程噪声振动控制技术”(铁四院)、“电梯噪声振动控制技术现状与发展”(北京劳保所)等 10 个特约专题报告。会议安排了建筑声学和噪声与振动控制两个专场学术交流报告会并进行了互动答疑活动。大会还组织与会代表集体参观 07 年竣工的从建筑、声学、舞台工艺到室内装修全部由国内专家设计建造的现代化高水平的武汉琴台大剧院。顺道也参观了 09 年建成的武汉琴台音乐厅, 章奎生教授还在琴台大剧院 1800 座观众厅内为代表们做了大剧院的音质设计特点、音质测量结果及音质效果评价的介绍, 受到与会代表们的欢迎。会议期间还有多家企业设台展示了不少吸声、隔声、消声、减振产品及监测装备等, 受到代表欢迎。会议开得圆满成功。

上海现代建筑设计集团章奎生声学设计研究所 章奎生