

doi: 10.7690/bgzdh.2013.03.020

## 基于小波变换的光纤陀螺信号去噪方法

陈涛<sup>1</sup>, 王伟<sup>1</sup>, 吉清<sup>2</sup>

(1. 中国兵器工业第五八研究所军品部, 四川 绵阳 621000; 2. 中国兵器工业第二零九研究所, 成都 610041)

**摘要:** 为提高光纤陀螺的使用精度, 提出一种基于小波变换的光纤陀螺信号去噪方法。根据小波变换的原理, 使用四阶 Daubechies 小波对光纤陀螺信号进行分解, 选择改进阈值法对小波系数进行重构。该方法能有效滤除噪声并保留有用信号, 克服了硬阈值与软阈值的缺陷, 能有效地提高光纤陀螺的使用精度。

**关键词:** 光纤陀螺; 小波变换; 改进阈值; 降噪

**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

## De-Noising Method of Fiber Gyro Signal Based on Wavelet Transform

Chen Tao<sup>1</sup>, Wang Wei<sup>1</sup>, Ji Qing<sup>2</sup>

(1. Department of Military Products, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;  
2. No. 209 Research Institute of China Ordnance Industries, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** For improving fiber gyro efficiency, put forwards a de-noising method of fiber gyro signal based on wavelet transform. According to wavelet transform theory, use 4-steps Daubechies wavelet to decompose fiber gyro signal, select improved threshold method to reconstruct wavelet coefficient. The method can effectively de-noise and keep useful signal. Overcome the shortcoming of hard threshold and soft threshold and effectively improve useful accuracy of fiber gyro.

**Key words:** fiber gyro; wavelet transform; improvement threshold; de-noising

### 0 引言

光纤陀螺是基于萨格奈克光学效应的一种新型惯性陀螺仪, 其原理是检测由光纤环路转动引起环路中沿不同方向传播的激光束产生的相位差, 从而计算出环路转动的角速度, 具有体积小, 重量轻, 启动时间短, 寿命长, 成本低等优点。光纤陀螺在近几年得到了广泛的应用, 通过去除噪声来提高光纤陀螺的使用精度变得越来越重要<sup>[1]</sup>。目前处理陀螺数据的方法主要有 2 类: 第一类是对陀螺随机漂移进行建模, 再使用卡尔曼滤波、维纳滤波等方法进行滤波去噪; 第二类是直接对陀螺数据进行滤波去噪, 如低通滤波、小波变换阈值滤波等。

小波变换在时域和频域都有很好的分辨率, 特别适用于信号的分析与处理, 能很好地观测信号的时频特性, 去除噪声。基于此, 笔者提出基于小波变换和改进阈值降噪方法处理光纤陀螺数据, 并通过实验进行验证。

### 1 小波变换

小波变换是一种工具, 它把数据、函数或算子分割成不同频率的成分, 然后用分解的方法研究对应尺度下的成分<sup>[2]</sup>。小波变换与加窗傅里叶变换相都是时-频描述方法, 但其具有独特的多分辨率的

特点, 在时域和频域都具有表征信号局部特征的能力, 是一种窗口大小固定, 但其形状可变, 时间窗和频率窗都可以改变的时频局部化分析方法<sup>[3]</sup>。小波也可以理解为经过伸缩和平移的一族函数:

$$\psi_{f(a,b)}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a, b \in R; a \neq 0 \quad (1)$$

其中  $a$  为伸缩因子,  $b$  为平移因子。对于任意的函数  $f(x) \in L^2(R)$  的连续小波变换为

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2} \int_R f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2)$$

将含有噪声的原始信号在某一尺度函数  $\psi$  下分解至不同频带, 然后将噪声所在频带的小波系数置零(或直接提取目标信号所在频带的小波系数), 最后进行小波重构, 重构出的信号只包含目标信号的频带, 因此达到了去噪的目的。

笔者选用 Daubechies 小波(db 小波)分解陀螺信号。db 小波是一种正交小波, 选择合适的分解层数, 可以很好地对信号进行分解和重构。

### 2 阈值去噪

#### 2.1 小波变换阈值滤波

根据小波变换的原理, 噪声的小波系数和有用信号的小波系数因幅值随小波变换尺度的增加会减

收稿日期: 2013-01-01; 修回日期: 2013-03-05

作者简介: 陈涛(1988—), 男, 四川人, 在读研究生, 从事信号处理、自动控制研究。

小, 而信号的方差和幅值与小波变换的尺度变化无关, 因而可选择适当的小波门限阈值对小波系数进行处理, 将他们分开, 重构信号后可有效滤除噪声和保留低频信息。传统阈值有硬阈值和软阈值<sup>[4-5]</sup>。

硬阈值即保留较大的小波系数, 将门限以内的小波系数置零。

$$W'_{(j,k)} = \begin{cases} W_{(j,k)}, & |W_{(j,k)}| \geq \lambda \\ 0 & |W_{(j,k)}| \leq \lambda \end{cases} \quad (3)$$

软阈值将较大的小波系数做收缩, 把门限以内的小波系数置零。

$$W'_{(j,k)} = \begin{cases} \text{sign}(W_{(j,k)})(|W_{(j,k)}| - \lambda), & |W_{(j,k)}| \geq \lambda \\ 0, & |W_{(j,k)}| \leq \lambda \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $\text{sign}(W_{(j,k)})|W_{(j,k)}| = W_{(j,k)}$ 。

硬阈值在  $W'_{(j,k)}$  在  $\lambda$  处不连续, 使用该阈值重构的信号会产生振荡。软阈值产生的  $W'_{(j,k)}$  连续性较好, 但  $W'_{(j,k)}$  大于  $\lambda$  时与实际  $W_{(j,k)}$  存在恒定的偏差  $\lambda$ , 在重构时会去除部分有用信号, 增大重构信号与真实信号的差异。

### 2.2 改进阈值滤波

为克服硬阈值与软阈值的缺陷, 笔者采用一种改进阈值算法来处理陀螺的信号。该阈值在大于  $\lambda$  时逐渐逼近到真实值  $W_{(j,k)}$ 。

$$W'_{(j,k)} = \begin{cases} \text{sign}(W_{(j,k)})(|W_{(j,k)}|^2 - \lambda^2)^{1/2} / (1 + e^{-|W_{(j,k)}|}), & |W_{(j,k)}| \geq \lambda \\ 0, & |W_{(j,k)}| < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

改进阈值与硬阈值, 软阈值的比较如图 1 所示 (阈值  $\lambda=0.3$ )。

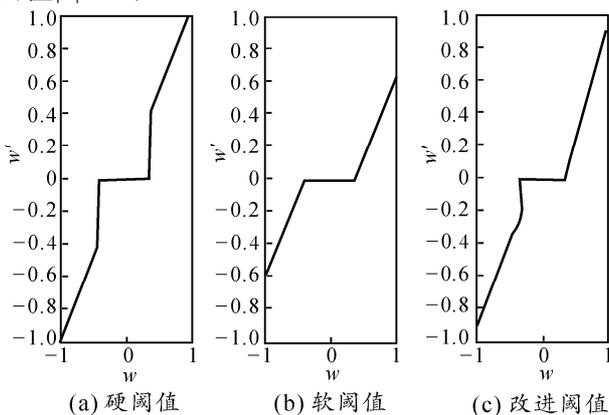


图 1 改进阈值、硬阈值和软阈值

如图 1 所示, 改进阈值是一种介于硬阈值与软阈值之间的阈值函数,  $W'_{(j,k)}$  在  $\lambda$  处是连续的, 而在大于  $\lambda$  时逐渐逼近实际  $W_{(j,k)}$ , 克服了硬阈值与软阈值的缺陷, 保证了重构信号和真实信号的逼近程度。

### 3 仿真分析

对光纤陀螺信号处理的仿真分析如下:

1) 采集光纤陀螺的输出信号, 使用 Daubechies4 小波对信号分解, 如图 2 所示。

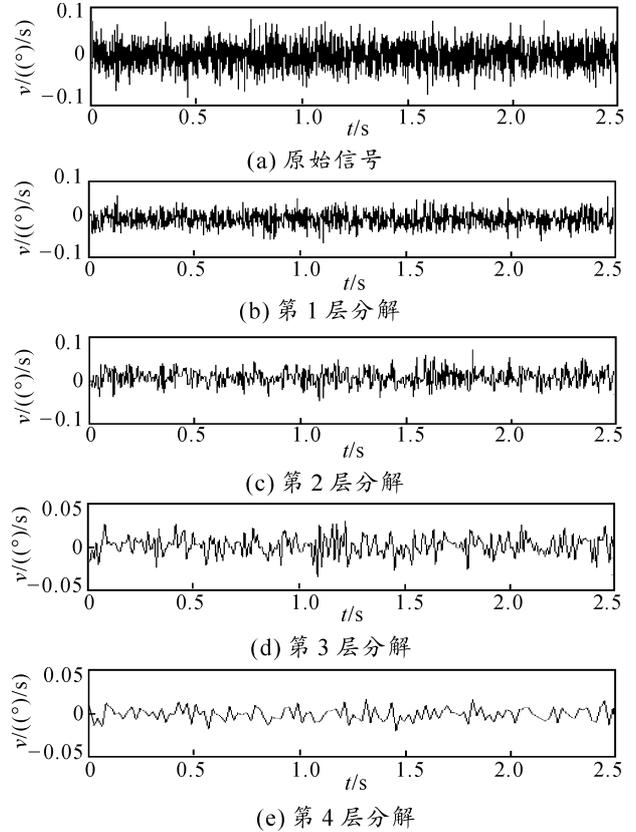


图 2 信号的小波分解

2) 分析变换后的小波系数, 确定分解层数, 分解层数过低会影响去噪效果, 分解层数过高会产生不必要的计算, 笔者分解至 4 层。

3) 选取 Stein 无偏阈值, 分别使用硬阈值, 软阈值和改进阈值方法对分解后的小波系数做阈值处理, 去除噪声。

4) 重构不同阈值去噪后的小波系数。其结果如图 3~图 5 所示。

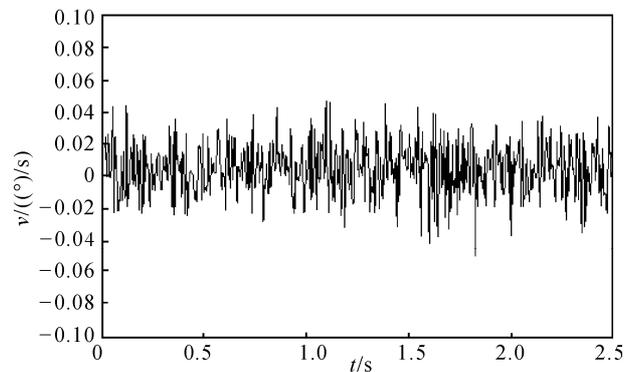


图 3 硬阈值去噪