

Method of Processing Gyro Noise Signal Based on Wavelet Denoising Under Strong Noise

HU Bai-qing^{1,2*}, WEI Zheng², WANG Bo-xiong¹, LI An³

1. State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments,
Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
2. Electrical Engineering and Information Engineering College, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China;
3. College of science, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

Abstract : To imply noise diagnosis technology to the analysis of gyro performance, a new method based on wavelet denoising was presented considering the character of lower SNR of the gyro noise. The needed signal was picked up with noise mostly removed by comparing the wavelet scale coefficients, and the analysis of gyro performance is ensured. The experiment results demonstrate the effectiveness of the presented methods.

Key words : gyro; noise; scale coefficient; wavelet denoising

EEACC:7630;5230

强噪条件下基于小波降噪的陀螺仪声信号处理方法

胡柏青^{1,2*}, 魏 峥², 王伯雄¹, 李 安³

1. 清华大学精密仪器与机械学系精密测试技术与仪器国家重点实验室, 北京 100084;
2. 海军工程大学电气与信息工程学院, 武汉 430033; 3. 海军工程大学理学院, 武汉 430033

摘 要 : 为了将噪声诊断技术应用于陀螺仪性能分析, 针对陀螺仪声音信号信噪比较低的特点, 提出了一种小波降噪的新方法, 通过尺度系数的比对有效地在复杂强噪声条件下提取出所需的陀螺仪音频信号, 为性能分析提供了保证。实验验证降噪取得了较好的效果。

关键词 : 陀螺仪; 声信号; 尺度系数; 小波降噪

中图分类号: U666.163

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)06-1007-03

机械噪声蕴含着设备状态的重要信息, 可用来进行状态检测和故障诊断^[1], 同时噪声诊断技术具有信号测量方便灵活, 不影响设备工作的优点。陀螺仪作为核心的惯性器件, 其性能优劣决定着整个惯性导航系统的性能, 从陀螺仪的声音信号出发来研究其性能是一种新的思路, 但由于在实际测量中存在着干扰噪声强度大, 环境噪声复杂等不利因素, 致使采集得到的原始信号中包含了大量不确定的噪声信号, 信号信噪比很低。

小波分析是在傅立叶分析基础上推广而来的一种时频分析方法, 能够灵活有效地同时表征信号在时域和频域的信息, 在信号分析和处理领域有着广泛的应用。将小波降噪的各种方法用于陀螺仪信号

的处理取得了良好的效果^[2]。本文提出的尺度系数偏差比对法, 在选定合适的小波基后, 分别对采集到的环境和平稳运行阶段的声音信号进行小波包分解, 通过对分解后两种信号在不同尺度系数上的偏差进行比对, 找出在平稳运行阶段陀螺仪音频信号信息集中的尺度系数, 并以这些尺度系数为基础重建信号, 达到降噪目的。

1 声信号采集

音频信号采集系统硬件由声望 MPA201 型号 ICP 传声器、NI USB-6251 数据采集设备以及便携计算机等组成, 软件设计以 LabVIEW8.0 为开发平台。MPA201 传声器的频率测试范围为 20 ~ 20

kHz,灵敏度高达 50 mV/Pa,动态范围为 130 dB (3%失真),同时具有优异的相位匹配特性,适应多变的外界环境,满足测试需要。数据采集设备利用 A/D 模块把外部电压信号转成计算机能够识别的数字信号,可采集 16 路单端或 8 路差分模拟输入信号,采样精度为 16 bit,最大采样率可达到 1.25 MSample/s。实验中数据系统的采样率设定为 20000 Sample/s,实验对象是某型平台罗经单自由度液浮积分陀螺仪,在实验室条件下采集了陀螺仪从启动前、启动过渡过程到平稳运行阶段的声信号。图 1 为数据采集系统采集得到的原始声信号和平稳运行阶段的功率谱。

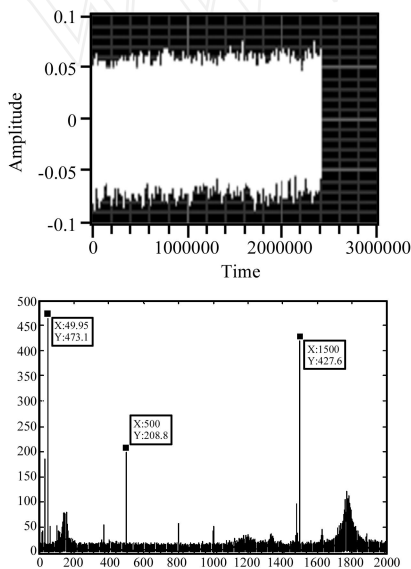


图 1 原始声信号和功率谱

从图中可以看出,原始信号中含有大量不确定的信号成分,功率谱中频率成分复杂并且难以区分,噪声频率覆盖了整个频带。图中有几个明显的频率峰带,考虑陀螺仪运行环境,初步分析,50 Hz 是电子机柜冷却风扇的供电电源频率,因此可能为风扇工作产生的噪声;500 Hz 有可能是陀螺电机运行的音频信号频率;而 1500 Hz 有可能是陀螺电机音频信号的三倍频,或者由陀螺仪内其它部件产生,这里无法判断。

2 小波降噪

2.1 原理

小波降噪以小波分析的基本理论为基础,是小波分析的重要应用。下面以一维信号模型为例简述其原理:

$$S(k) = f(k) + e(k) \quad k = 0, 1, \dots, n-1$$

其中: $S(k)$ 为含噪信号, $f(k)$ 为有用信号, $e(k)$ 为噪声信号。考虑到一般的工程实际,在假设 $e(k)$ 为

高频白噪声信号, $f(k)$ 表现为低频较平稳信号的前提下,按如下方法进行降噪处理:

首先选用合适的小波基对信号进行小波分解,根据噪声信号多包含在细节系数中的特点,利用门限、阈值等形式对分解所得的小波系数进行处理,然后对信号进行小波重建即可达到降噪的目的。其中的关键步骤是对小波系数的处理,直接关系到降噪的质量。

传统的小波降噪方法如相关性法、模极大值法等都是根据信号和噪声的不同特征信息来确定门限或阈值对小波系数进行处理的^[3-4]。如相关性去噪就是利用尺度间小波系数中信号和噪声的相关性不同的特点(信号的小波变换在各尺度间有较强的相关性,噪声的小波变换在各尺度间没有明显的相关性),在大尺度下将信号的小波变换系数保留,在较小尺度下保留高相关系数,舍去弱相关系数,然后重构信号,能够取得稳定的去噪效果。此外,传统的降噪过程是基于如下基本假设,即携带信息的原始信号在频域或小波域的能量相对集中,表现为能量密集区域的信号分解系数的绝对值比较大,而噪声信号的能量谱相对分散,所以其系数的绝对值比较小,这样我们就可以通过作用阈值的方法过滤掉绝对值小于一定阈值的小波系数,从而达到降噪的效果。

2.2 尺度系数比对法降噪

前面提到,实验中采集的原始信号非常复杂,包含大量不确定的噪声,种类多,强度高,频谱覆盖范围广,能量也比较大。此外,所需的声信号也没有低频平稳的特征。图 2 给出了通过传统傅立叶变换得到的陀螺仪启动前采集环境的频谱图,和图 1 对比可以看出:陀螺仪启动平稳运行后,50 Hz、500 Hz 和 1500 Hz 频率峰带明显加强,其它各频段能量改变微小。如前所述,无法肯定地判断陀螺电机平稳运行的音频信号特征频率,传统傅立叶降噪方法提取陀螺仪音频信号存在技术障碍。

陀螺仪启动后,采集环境的其他条件没有改变,得到的声音信号仅仅增加了陀螺仪的运行声音,基于以上考虑,本文提出的尺度系数比对法的基本思路是:采集陀螺仪未启动前的环境信号、陀螺仪启动过程信号及其稳定运行后的信号。将启动前和稳定运行后的两种音频信号分别做小波包分解,比对对应尺度节点的分解系数,找出偏差量相对较大的节点系数,陀螺仪音频信号的信息就主要集中在这些系数当中。结合偏差较大的节点系数信息,对原始信号小波包分解后的系数重建,完成降噪过程,其流程如图 3 所示:

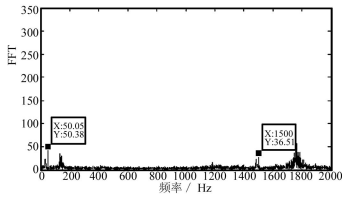


图 2 环境功率普图

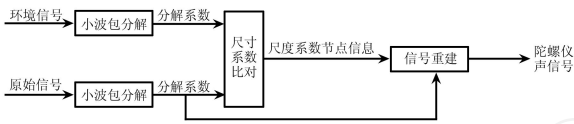


图 3 尺度系数比对降噪流程图

2.3 处理结果及分析

由于对陀螺仪声信号信息掌握较少,数据处理过程中选择了小波包分解,即对小波分解的细节系数也进行分解,保证了比对的全面性,避免了有用信息的遗漏,有效滤除掉了噪声。分解时小波基选用了双正交样条小波 *bior1.5*。*bior1.5* 属于 Biorthogonal (*bioeNr. Nd*) 小波族,其特点是在信号的相移之间保留了一部分冗余,可以精确的重建信号。同时,实验验证具有对称性的 *bior1.5* 小波对信号的降噪也有明显的优势^[5]。小波包分解时进行了多尺度分解,保证了对低频信号的有效滤除^[6]。

对环境信号和原始信号进行 6 层小波包分解后的尺度系数偏差如图 4 所示,表 1 列出了偏差较大的节点和偏差值。

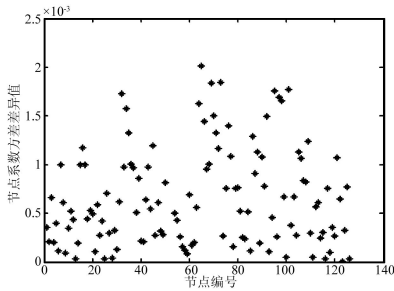


图 4 节点尺度系数方差距离

表 1 较大方差节点和偏差值

节点编号	(6,2)	(6,6)	(6,10)	(6,32)	(6,32)	(6,34)	(6,35)
系数偏差	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7
($\times 10^{-3}$)							

以偏差较大的节点系数为基础重建小波系数,

得到降噪后的陀螺仪声信号,重建信号及其功率谱如图 5 所示。对比图 1 可以看出,经过降噪后只有 500 Hz 的信号没有被明显削弱,冷却风扇转动等其它强噪声都被有效滤除,降噪取得了良好的效果,后证实 1 500 Hz 频率为输出轴压电支撑装置中压电陶瓷振动所致,从而本文最初对噪声信号成分的初步推断是基本合理的。

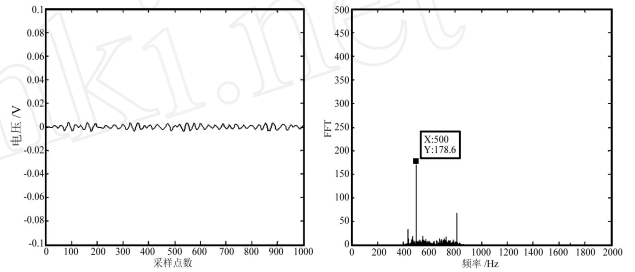


图 5 重建信号和功率谱

3 结论

由于系统工作环境的复杂性,陀螺仪音频信号的特征湮没在低信噪比的原始采集信号当中,传统的降噪方法难以提取所需的陀螺仪声信号,对其分析更无从谈起。文中通过尺度系数比对的方法,在陀螺仪工作环境不变的情况下,有效地去除了大部分噪声,为对陀螺仪的性能进行分析奠定了基础。同时,在系统工作环境不变的前提下,该方法还为强噪声条件下弱信号的提取指出了一个可行的方向。

参考文献:

- [1] Lyon R H. Machinery Noise and Diagnostics [M]. Butterworths: Boston, 1987: 2-8.
- [2] 董永生, 羿旭明. 基于四种改进阈值的小波去噪方法[J]. 数学杂志, 2006, 5: 473-477.
- [3] 冉启文, 谭立英. 小波分析与分数傅立叶变换及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 56-64.
- [4] 成礼智, 王红霞. 小波理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 77-84.
- [5] 汤巍, 李士心, 等. 关于陀螺信号处理中小波基选取的研究[J]. 中国惯性技术学报, 2002, 10: 28-30.
- [6] 董长虹. Matlab 小波分析工具箱原理与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 109-119.



胡柏青(1964-),男,副教授,博士研究生,主要从事惯性技术与应用的研究, hu_bq@126.com