

文章编号:1672-058X(2013)06-0024-05

基于最大重叠离散小波变换的油中 颗粒污染物特征信号提取

彭娟, 李川

(重庆工商大学 废油资源化技术与装备教育部工程研究中心, 重庆 400067)

摘要:油液中的金属颗粒物是液压系统重要的健康指标,利用颗粒污染物的相关参数,实现对故障的诊断,可以提前预防事故的发生;介绍了基于最大重叠离散小波变换的油中颗粒污染物特征信号提取技术,并分别使用仿真信号和真实信号对该方法进行了验证,以期能够以此提高油液中颗粒污染物监测精度。

关键词:油中颗粒物;最大重叠离散小波变换;信号处理

中图分类号:TN701

文献标志码:A

油液中金属颗粒物可有效的反映油润滑系统的磨损状况^[1],对润滑油系统中的金属颗粒物进行监测可以实现对故障的诊断,及时有效地预防事故的发生^[2]。将油中颗粒物传感器安装在回油线路上,作为油液的流动通道,当金属颗粒通过时将会产生类似脉冲的非平稳信号^[3],但由于在监测环境中不可避免的振动噪声和环境噪声,会对监测结果产生干扰,因此对油液中金属颗粒污染物监测的关键是在被噪声污染的传感信号中提取出颗粒信号,进而获取颗粒特征。

典型的特征信号提取方法有传统阈值法、小波峭度结合法、分数算子法、经验模态分解法等,这些方法为油液中金属颗粒物的监测技术的发展做出了重要贡献,但是也各自存在自己的弊端,如传统阈值法需要预先设定阈值范围,且只有在信噪比较高时,该方法才能有效的区分出颗粒信号^[4];而在使用小波峭度结合法时,当油液中有粒径相同的颗粒连续通过时,所监测到的颗粒信号将会被作为噪声去除掉^[5];分数算子法和经验模态分解方法都存在计算量大,不利于实时运行的缺点^[6,7]。针对上述问题,在此提出了使用最大离散小波变换方法对油液中的颗粒物进行监测,并对仿真信号进行了分析,结果表明了该方法的有效性。在将该方法应用于油液中颗粒污染物的监测中,对真实环境中监测到的混合信号的分析结果表明,基于最大离散小波变换方法能够有效的提取出微弱的颗粒信号,提高油液中颗粒监测精度。

1 最大重叠离散小波变换提取油中颗粒污染物特征信号

最大重叠离散小波变换是从离散小波变换进化而来的,但又与传统离散小波变换有所不同。最大重叠离散小波变换是一个高度冗余的非正交小波变换,它对样本容量没有要求。最大重叠离散小波变换中的尺

收稿日期:2012-12-12;修回日期:2013-01-25.

* 基金项目:教育部科学技术研究重点项目(212143);重庆市自然科学基金(2010BB4261);重庆市教委科学技术研究项目(KJ120720,KJ120727);重庆工商大学研究生创新型科研项目(YJSCXX201203712).

作者简介:彭娟(1987-),女,重庆市人,硕士研究生,从事油液污染检测技术研究.

** 通讯作者:李川(1975-),男,博士,研究员,硕士生导师,E-mail:chuanli@21cn.com.

度滤波器(\tilde{f}_j)和小波滤波器(\tilde{k}_j)与离散小波变换的尺度滤波器(f_j)和小波滤波器(k_j)有如下关系: $\tilde{f}_j = \frac{f_j}{\sqrt{2}}$,

$\tilde{k}_j = \frac{k_j}{\sqrt{2}}$ 。为了避免离散小波变换当中由于抽采而导致变换后数据点减少的情况,最大重叠离散小波变换采

用在滤波器系数中插零的作法,即在尺度 i 下的 $\{\tilde{f}_j\}$ 和 $\{\tilde{k}_j\}$ 中插入 $2^{i-1} - 1$ 个零^[8]: $\{\tilde{f}_j\} = \{\tilde{f}_0, 0, \dots, 0, \tilde{f}_1, 0, \dots, 0, \dots, \tilde{f}_{l-2}, 0, \dots, 0, \tilde{f}_{l-1}\}$, $\{\tilde{k}_j\} = \{\tilde{k}_0, 0, \dots, 0, \tilde{k}_1, 0, \dots, 0, \dots, \tilde{k}_{l-2}, 0, \dots, 0, \tilde{k}_{l-1}\}$ 。根据 Mallat 的多分辨率金字塔算法^[9],可以计算出尺度 i 下的尺度变换系数(概貌特征系数)和小波变换系数(细节特征系数)分别如

下: $w_{i,t} = \sum_{j=0}^{l-1} \tilde{f}_j w_{i-1, (t-2^{i-1}) \bmod(n)}$, $z_{i,t} = \sum_{j=0}^{l-1} \tilde{k}_j w_{i-1, (t-2^{i-1}) \bmod(n)}$, ($t = 0, \dots, n-1$)。

最大重叠离散小波变换用于颗粒信号提取时包含了以下几个步骤:对采集到的原始信号进行分解,此时将获得原混合信号的尺度变换系数(概貌特征系数)和小波变换系数(细节特征系数);采用自适应阈值对每一层次进行收缩,如果信号强度高于阈值,即认为是颗粒信号,保存下来,反正则认为是噪声进行去除;对收缩后的分层信号进行重构,最后保留下来的即是去除噪声后的颗粒信号。

通过最大重叠小波变换的原理和信号提取步骤可以得知,它具有小波系数和尺度系数的平移不变性、所有分解层数都保持相同的时间分辨率、无相位扭曲等突出优点,在分解后,信号长度不会减少,因此具有良好的分解和还原效果,并且因为该方法所采用的阈值是自适应确定的,避免了传统方法提前设置阈值所造成的误差,同时因为最大重叠小波变换计算量少而具有可以实时运行的优势,在信号处理领域有巨大的使用潜力。

2 使用仿真信号评价最大重叠离散小波变换方法

本节中,用仿真的油中颗粒物传感器输出信号来评估最大重叠离散小波变换的提取能力。先将仿真的一个颗粒信号与仿真的噪声混合,得到一个仿真的混合信号,然后再采用最大重叠离散小波变换对颗粒信号进行提取,通过对提取的颗粒信号与原信号进行对比,以及对提取出颗粒信号后的残余信号的观察,来证实本文所提出的最大重叠离散小波变换的有效性。

在原始颗粒信号持续时间 $[T_a, T_b]$ 内,一个理想的颗粒信号可以表示如下:

$$s(t) = \begin{cases} b \sin(2\pi f(t - T_0)); & T_0 \leq t \leq T_0 + \frac{1}{f} \\ 0; & T_a \leq t < T_0 \quad \text{and} \quad T_0 + \frac{1}{f} < t \leq T_b \end{cases}$$

其中 b 与颗粒信号的振幅成正比; $[T_0, T_0 + \frac{1}{f}]$ 为颗粒信号的有效时间范围。使用如下信号模拟一个颗粒信号被背景噪声和振动干扰污染的信号: $x(t) = s(t) + 0.2 \sin(987\pi t) + 0.3 \sin(817\pi t) + x_0(t)$ 。其中 $x_0(t)$,是指范围在 $[-0.5, 0.5]$ 之间的随机环境噪声, $s(t)$ 是中给出的颗粒信号,其中 $b=0.6, f=80, T_0=0.25$ 。公式中的最后两项是指振动干扰,模拟采样频率为8 000 Hz。混合仿真信号 $x(t)$ 如图1所示。使用最大重叠离散小波变换对仿真信号 $x(t)$ 进行处理,并将提取出的颗粒信号和原始颗粒信号进行对比,所得结果如图2所示。颗粒信号提取后,如若信号提取不干净,将会在的残余信号中以明显的尖峰形式表现出来,所以观察残余信号可以判断颗粒信号是否提取干净。混合仿真信号 $x(t)$ 提取颗粒信号后的残余信号由图3所示。由图2可以看出,采用最大重叠离散小波变换在仿真混合信号中提取出的颗粒信号与原仿真颗粒信号具有极高的相似性;并由图3可以看出,在残余信号中并没有明显的尖峰,说明颗粒信号提取效果较为理想。由此可以推断采用最大重叠离散小波变换可以有效的从被噪声污染的信号中提取出颗粒信号,这证明了该方法的有效性。

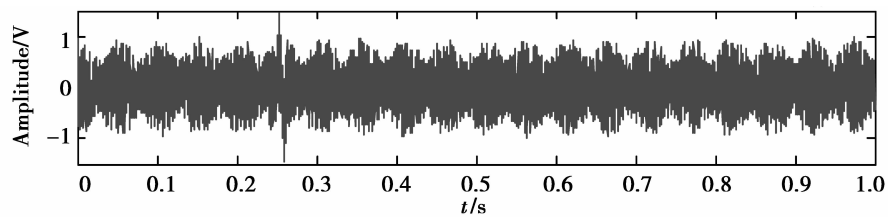


图 1 仿真混合信号

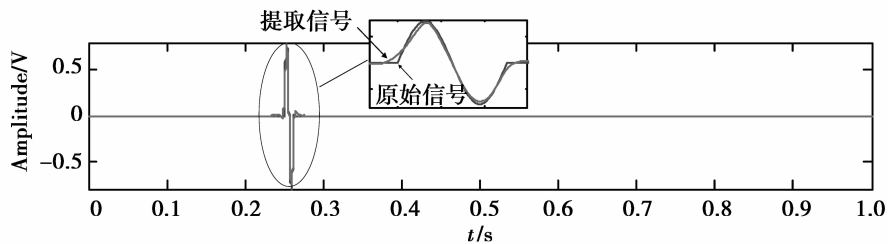


图 2 原始仿真颗粒信号和提取颗粒信号对比

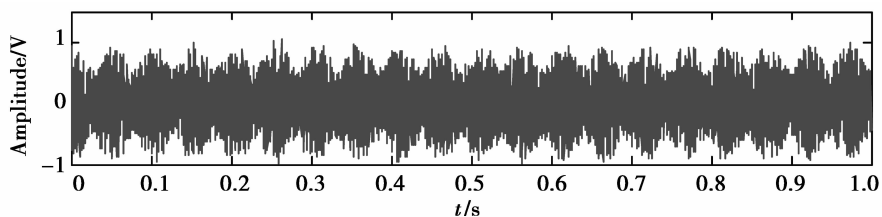


图 3 提取出颗粒信号后的残余信号

3 最大重叠离散小波变换在真实信号中的提取效果

在本部分,将使用最大重叠离散小波变换对真实信号进行提取。该真实信号是使用传感器在混合了环境噪声和振动噪声的环境中监测到的,采样频率为 8 000 Hz,共包含了 8 000 个样本,如图 4 所示。采用最大重叠离散小波变换对采集到的混合真实信号进行提取,可以成功提取出颗粒信号,如图 5 所示。颗粒信号提取后的残余信号如图 6 所示。由图 5 可以看出,采用最大重叠离散小波变换可以成功的在被噪声污染了的信号中提取出颗粒信号;同时在图 6 中并没有明显的尖峰,由此可以得知颗粒信号提取的较为干净。因此同时对混合仿真信号和混合真实信号的提取效果可以证实,此处所提出的最大重叠离散小波变换可以有效的提取出颗粒信号,提高了油液中金属颗粒污染物的监测精度。

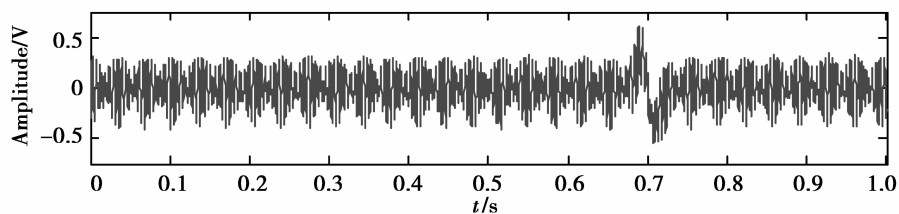


图 4 实际环境中监测到的真实混合信号

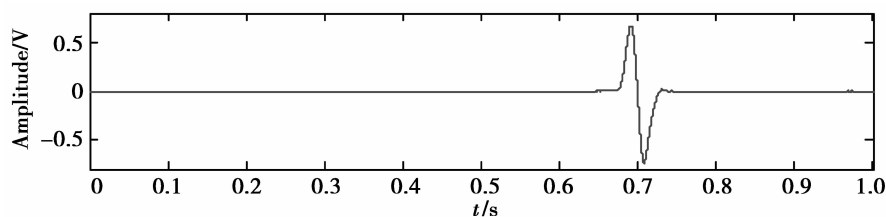


图5 使用最大重叠离散小波变换提取出的颗粒信号

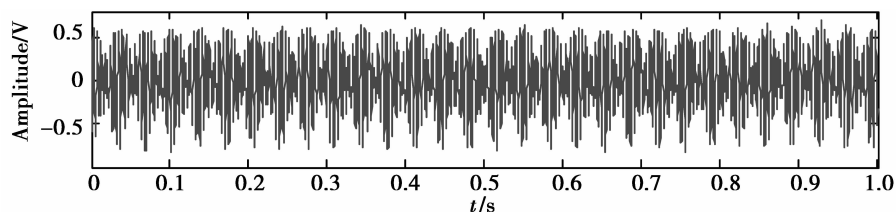


图6 混合真实信号提取出颗粒信号后的残余信号

4 结 论

提出了一种基于最大重叠离散小波变换的油中颗粒污染物监测技术。通过对混合仿真信号的处理,验证了该方法的有效性。并使用真实环境中监测到的信号验证了该方法提取颗粒信号的能力。该方法不但能够有效的减小计算量,节省反应时间,同时也保证了颗粒信号的最小失真。因此,能够满足实际的要求。

参考文献:

- [1] DEMPSEY P J. A comparison of vibration and oil debris gear damage detection methods applied to pitting damage[J]. National Aeronautics and Space Administration Technical Manual,2000,210371
- [2] CHIOU Y C, LEE R T, TSAI C Y. On-line Hall-effect device for monitoring wear particle in oils[J]. Wear,1998,223:44-53
- [3] YIN Y Y, WANG W, YAN X, et al. An integrated on-line oil analysis method for condition monitoring[J]. Measurement Science and Technology,2003,14:1973-1977
- [4] 赵新泽,刘纯天. 油液分析中传感器应用及评述[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2002,24(2):12-16
- [5] FAN X, LIANG M, YEAP T. A joint time-invariant wavelet transform and kurtosis approach to the improvement of in-line oil debris sensor capability[J]. Smart Materials and Structures,2009,18(4):085010
- [6] 彭娟,喻其炳,高陈玺,等. 全油流颗粒检测技术研究进展[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2012(3):24-28
- [7] LI C, LIANG M. Extraction of oil debris signature using integral enhanced empirical mode decomposition and correlated reconstruction[J]. Measurement Science and Technology,2011,22(5):085701
- [8] YANG Y H, CHENG Y J, YU D. A gear fault diagnosis using Hilbert spectrum based on MODWPT and a comparison with EMD approach[J]. Measurement,2009,42:542-551
- [9] MALLAT S A. Theory for multiresolution signal decomposition; the wavelet representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1989,11(6):74-93

Feature Signal Extraction for Particle Pollutants in Oil Based on Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform

PENG Juan, LI Chuan

(Engineering Research Center for Waste Oil Recovery Technology and Equipment of MOE,
Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Metal particles in oil are an important healthy indicator for hydraulic systems. Accident prevention can be achieved by using particle-related parameters to diagnose system faults. In this paper, a feature signal extraction technique for the particles contaminants in oil using maximal overlap discrete wavelet transform is presented. Both simulated and real signals are employed to evaluate the proposed approach, in order to improve the measurement precision of the metal particles in the oil.

Key words: particle in oil; maximal overlap discrete wavelet transform; signal processing

责任编辑:代小红

(上接第 20 页)

Analysis of Overall Planning Chart under Uncertainty of Process Time

ZHENG Wen

(Department of General Knowledge, Chongqing College of Electronic and Engineering, Chongqing 401331, China)

Abstract: As a complex engineering project, the time for finishing every process of the project is uncertain. By using β distribution and normal distribution, this paper makes scientific and rational analysis of some relatively complex projects, uses overall chart to try to find the key lines of the projects and uses bigger probability to ensure the rationality for the finishing time of the whole projects. The research in this article is of scientific guiding significance to the management of relatively complex projects.

Key words: process; β distribution; normal distribution; overall chart; finishing time

责任编辑:李翠薇