

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.05.007

基于 LMD 的包络谱特征值在齿轮箱故障诊断中的应用研究

王鹏飞, 胡建中*

(东南大学 机械工程学院, 江苏 南京 211189)

摘要:针对齿轮箱故障振动信号大多是分量的调幅-调频信号,而传统包络分析法又太依赖经验值选取参数的问题,对齿轮箱振动信号的分解方法、包络分析方法以及提取特征值等方面进行了研究,提出了一种基于局部均值分解(local mean de-composition, LMD)的包络谱特征值的方法。该方法首先利用局部均值分解对齿轮箱信号进行了处理,获得了包含有不同频率特征的 PF(product function)分量,最后对包含有主要故障信息的第一级 PF 分量进行了包络分析,提取了包络谱的特征频率,以此来判别齿轮箱的工作状态和故障类型。利用齿轮箱正常状态、局部损伤、磨损故障 3 种齿轮箱振动信号的实例进行了验证。研究结果表明,利用 LMD 分解后求取包络谱特征频率的方法能够较为准确地判别齿轮箱的工作状态和故障类型。

关键词: 齿轮箱; 局部均值分解; 包络谱特征值; 故障诊断

中图分类号: TH132.41; TH113.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)05-0542-05

Application of envelope spectrum characteristics based on LMD to gearbox fault diagnosis

WANG Peng-fei, HU Jian-zhong

(School of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: Aiming at the problems that most gearboxes fault vibration signals were always multi-component amplitude-modulated and frequency-modulated (AM-FM) signals and the selection of parameters usually depend on experience in conventional envelope analysis method. Decomposition of gearbox vibration signal, envelope analysis and extracting the characteristic value were researched and a gearbox fault diagnosis approach of envelope spectrum characteristic based on LMD (local mean decomposition) was proposed. Firstly, the vibration signal of gearbox could be decomposed into a set of product functions (PF) through LMD method, which covered different frequency characteristics. Secondly, the first stage PF component including dominant fault information was analyzed by the envelope spectrum and the characteristics frequency was obtained, according to this method working condition and fault patterns of gearboxes were classified. The LMD method was verified by three types of gearbox vibration signals including the normal state, the local damage and the abrasion. The results indicate that the proposed method can be used to classify working condition and fault patterns of gearboxes.

Key words: gearboxes; local mean de-composition (LMD); envelop spectrum characteristics; fault diagnosis

0 引言

齿轮箱作为一种通用型的零部件,除了减速功能之外,还能够改变传动方向和传动力矩,并且具有分配

动力和离合功能,在机床设备、航空航天、石油电力、农业机械、运输机械、冶金和采矿等近现代工业领域中得到了广泛应用和发展。^[1]

当齿轮箱发生故障时,会出现意想不到的后果,甚

收稿日期:2015-12-17

作者简介:王鹏飞(1991-),男,山东滨州人,硕士,主要从事机电测控系统方面的研究. E-mail:wenzhu002@126.com

通信联系人:胡建中,男,江苏扬州人,副教授,主要从事机电设备远程监控与故障诊断方面的研究. E-mail:hjz@seu.edu.cn

至有可能引起整套设备的失效。齿轮故障诊断策略主要是从齿轮振动信号中提取特征频率,然后对其分析判断故障,而齿轮箱振动信号往往是不平稳、非线性的时变型信号,传统的时频分析方法大多基于傅立叶变换,针对非平稳非线性信号的处理又各有不足。在1998年,N. E. Huang 等人^[2-4]提出了一种具有自适应性的信号处理方法—EMD(经验模态分解),该方法适合于分析非线性、非平稳信号。它可以将复杂的信号自适应地分解成若干个IMF(Intrinsic mode function)分量之和,然后运用希尔伯特(Hilbert)变换求取IMF分量的瞬时频率和幅值,便可得到原始信号的时域和频域的分布情况。因此,EMD在海洋、地震、机械故障诊断等若干领域得到了广泛应用^[5-6],但目前该方法仍存在一些不足,比如会存在端点效应及模态混叠的情况,这些问题没有得到完美解决。近期由Jonathan S. Smith学

者^[7-9]提出的一种新的信号处理方法—局部均值分解(LMD)。

本研究将对齿轮箱振动信号的分解方法、包络分析方法及提取特征值等方面进行研究。

1 局部均值分解

LMD方法本质是从原始信号中将包含有不同频率特征的PF分量分离出来,而每个PF分量都是两种信号的乘积,这两种信号分别为纯调频信号和包络信号,其中由纯调频信号可以求得瞬时频率,而瞬时幅值即为包络信号。因此,要得到包含有不同频率成分的PF分量,需要先得到这两种信号,然后可以把两者结合得到原始信号完整的时频分布。

LMD分解为各级PF分量的过程如图1所示。

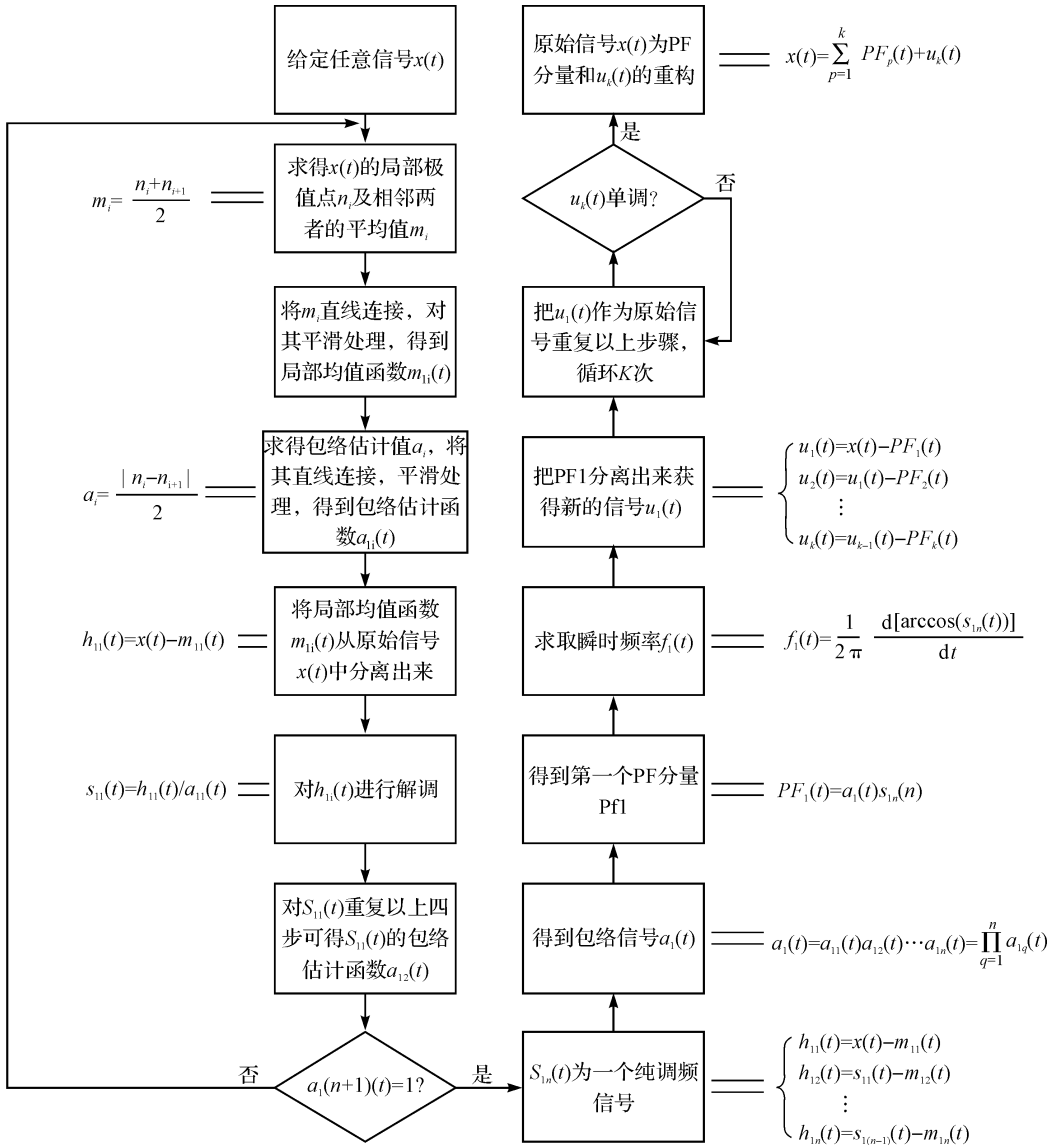


图1 LMD分解流程图

对上述流程有几点说明:

(1)在实际应用中,为了减少迭代次数并且降低运算时间,一般用 $a_{1n}(t) = 1$ 作为终止迭代的条件;

(2)瞬时幅值函数即为 $a_1(t)$,瞬时频率函数为 $f_1(t)$;

(3)一级 PF 分量 PF1 主要包含原始信号中最高的频率成分,为一个单分量的调幅调频信号;

(4)最终原始信号 $x(t)$ 能够被其分离出来的所有 PF 分量和 $u_k(t)$ 重构,说明 LMD 分解后的 PF 分量和 $u_k(t)$ 重构没有造成原始信号的丢失。

2 实例分析

齿轮在发生故障时,其振动信号往往表现出齿轮本身的转动频率啮合频率及其倍频的调制。正是因为齿轮啮合频率的振动受到齿轮转动频率的调制而产生边频带,它的频率分布包含了丰富的齿轮故障信息。通过分析其特征频率及其倍频即可判断齿轮箱相应的故障信息。

该实验研制了齿轮箱的数据采集系统,通过该系统分别采集到了正常和具有故障(局部损伤或磨损状态)的齿轮振动信号。该数据单位为 mm/s^2 ,采样频率为 383 8.77 Hz,采样点数为 4 096 点,齿轮啮合频率为 307 Hz,转轴 I 和转轴 II 的频率分别为 10 Hz、7 Hz。

齿轮箱正常信号和磨损故障信号的时域波形如图 2 所示。

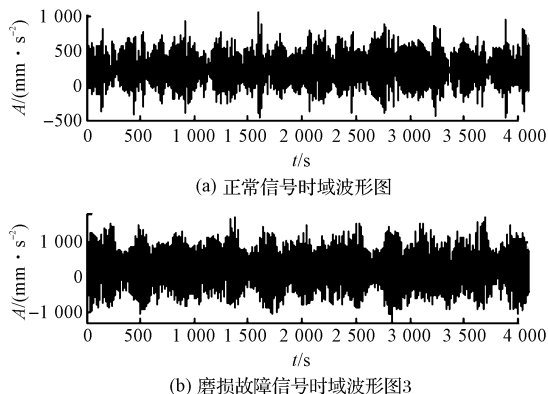


图 2 正常信号和磨损故障信号时域波形图

单从两者的时域波形图来看,只能显示齿轮箱当前振动的幅值随时间的变化情况,虽然磨损故障信号的幅值整体比正常信号幅值波动大一些,但对于判别齿轮是否出现故障以及故障大小无帮助,需要做进一步的分析。

针对正常信号,本研究利用传统的时频分析方法—傅里叶变换(FFT 变换),结果如图 3 所示。

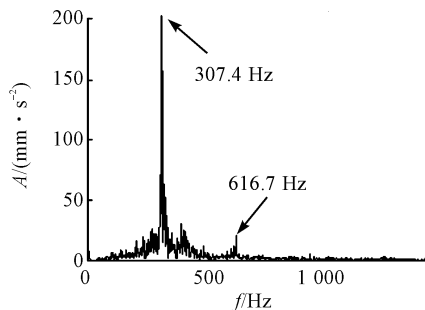


图 3 正常信号 FFT 谱图

由图 3 可知,正常信号经 FFT 变换后主要存在一个 307.4 Hz 的特征频率,近似为齿轮啮合频率 307 Hz,无法从中得知该信号存在故障信息。

对正常信号进行 LMD 分解,各级 PF 分量图如图 4 所示。

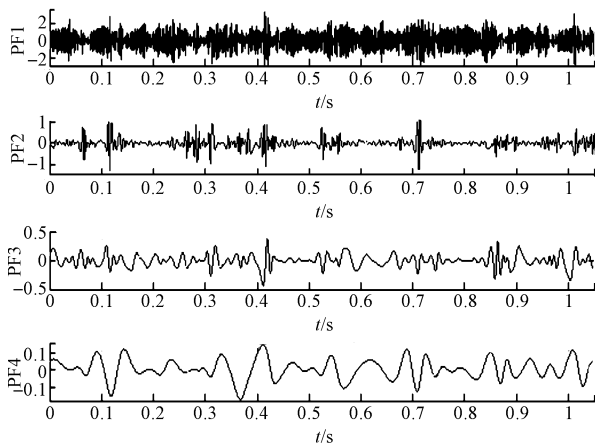


图 4 正常信号 LMD 分解图

由图 4 可知,经 LMD 分解出来的各级 PF 分量的时域分布是逐渐稀疏的,这说明经过 LMD 分解后得到的各级 PF 分量包括了不同频段的信号特征,大致表现为从高频到低频的一个过程。

由于前两级 PF 分量包含了大多数的信息,本研究进一步对分解出来的前第一级 PF 分量(PF1)进行包络谱分析^[10-13],正常信号 PF1 包络谱图如图 5 所示。

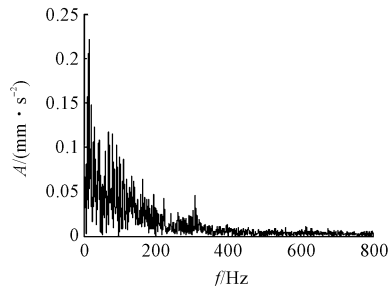


图 5 正常信号 PF1 包络谱图

从图 5 可以看到,在啮合频率 307 Hz 附近只有 308.3 Hz 的单峰,且幅值不大,并没有出现明显的调

制峰群,并且其边频带也没有明显的调制现象,不能确定有故障存在。

对齿轮磨损故障信号进行傅里叶变换(FFT 变换),齿轮磨损故障信号 FFT 谱图结果如图 6 所示。

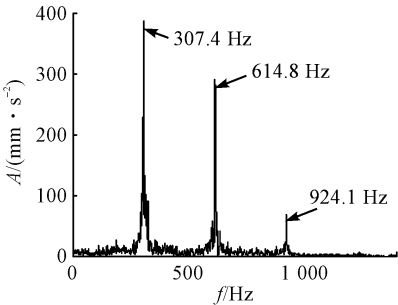


图 6 齿轮磨损故障信号 FFT 谱图

由故障信号的 FFT 谱和正常信号的 FFT 谱图(即图 3)对比可知,故障信号中存在 307.4 Hz、614.8 Hz 和 924.1 Hz,3 个主要频率成分,并且 3 个主要频率对应的幅值比正常信号的幅值大近一倍,而 307.4 Hz 近似为齿轮啮合频率 307 Hz,614.8 Hz 为两倍啮合频率,924.1 Hz 为 3 倍啮合频率,从以上分析可得,该信号存在故障,但故障大小无法得知,需要进一步分析。

本研究将时域信号用 LMD 方法进行分解,得到各级 PF 分量,然后进一步对 PF 分量进行包络谱分析。齿轮磨损故障信号的 LMD 分解结果如图 7 所示。

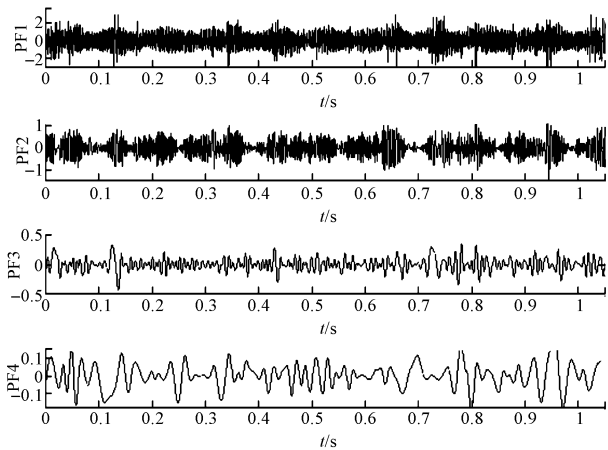


图 7 齿轮磨损故障信号 LMD 分解图

由图 7 可知,齿轮磨损故障信号的 LMD 出的各级 PF 分量同正常信号一样,存在时域分布逐渐稀疏的特点,对 PF1 分量进行包络分析的结果显示,包络谱中

存在 10.31 Hz、307.4 Hz、622.3 Hz 等几个主要频率成分,其中 10.31 近似为转轴 I 的一倍转频以及其形成的边频带,307.4 Hz 和 622.3 Hz 分别近似为齿轮啮合频率的一倍、两倍频及其形成的边频带。这对应说明,这组数据为转轴 I 上的齿轮磨损故障。

齿轮磨损故障信号 PF1 包络谱图如图 8 所示。

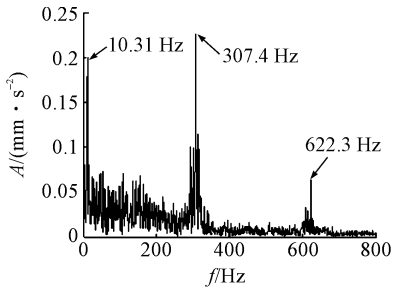


图 8 齿轮磨损故障信号 PF1 包络谱图

从图 8 可以看到,在 PF1 级出现较多的围绕啮合频率形成的齿轮磨损故障特征边频带,从而与理论分析相吻合。

下面对照上面的分析思路用齿轮局部损伤数据进行验证该方法的可行性。

对齿轮箱局部损伤的数据进行 LMD 分解之后对第一级 PF 分量(PF1)进行包络分析的结果如图 9 所示。

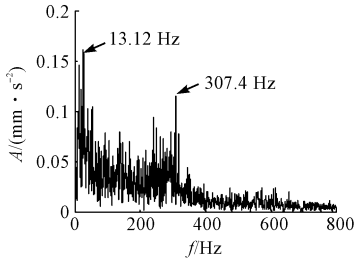


图 9 齿轮局部损伤信号 PF1 包络谱图

由图 9 可知,存在 13.12 Hz、307.4 Hz 两个主要频率成分,其中 13.12 Hz 近似为转轴 II 的两倍转频以及其形成的边频带,307.4 Hz 近似为齿轮啮合频率的一倍及其形成的边频带(这里的边频带效果不是很好,需要进一步改进)。

但是相对于磨损故障来说,对应倍频处的幅值又小得多。这说明,这组数据为转轴 II 上的齿轮局部损伤故障。

(下转第 550 页)

本文引用格式:

王鹏飞,胡建中. 基于 LMD 的包络谱特征值在齿轮箱故障诊断中的应用研究[J]. 机电工程,2016,33(5):542-545,550.
WANG Peng-fei, HU Jian-zhong. Application of envelope spectrum characteristics based on LMD to gearbox fault diagnosis[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(5):542-545,550.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>