

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.06.021

嵌入式智能滑动轴承研究

任达千^{1,2}, 张耀^{1,2}, 张伟中^{1,2}, 赵光良³

(1. 浙江机电职业技术学院 电气工程学院, 浙江 杭州 310053;
2. 浙江省滑动轴承工程技术研究中心, 浙江 杭州 310053; 3. 申发集团有限公司, 浙江 诸暨 311800)

摘要:针对目前的滑动轴承状态监测系统传感器在现场安装位置受限, 离信号源头较远, 不容易获得可靠的状态信息, 文章提出一种新型的智能轴承结构, 在滑动轴承上嵌入温度、转速、振动等传感器, 并在 DSP 上实时处理轴承的工作状态信息。嵌入式的智能传感器安装在轴承外圈, 更接近于信号的源头, 因此智能轴承的传感器能获得比滑动轴承更准确的状态信息, 因 DSP 信号处理部件与传感器紧密配合, 在实时处理信号方面更有优势。经实验验证, 智能轴承比传统的轴承状态检测系统更能有效地提取状态信息和故障诊断信息。

关键词:智能轴承; 滑动轴承; 嵌入式系统; 故障诊断

中图分类号: TP212.6 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2015)06-0088-04

Embedded Intelligent Sliding Bearing Research

REN Daqian^{1,2}, ZHANG Yao^{1,2}, ZHANG Weizhong^{1,2}, ZHAO Guangliang³

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China;
2. Zhejiang Province Engineering Technology Research Center of Sliding Bearing, Hangzhou 310053, China;
3. Shenfa Group Co., Ltd., Zhuji, Zhejiang 311800, China)

Abstract: Due to the limit of installation site, the sensors are far away from the signal source and the state information can't be acquired validly. To solve this problem, a kind of embedded intelligent bearing was studied. Temperature, speed and vibration sensors were embedded in the sliding bearings. The state information of the bearing was processed in real time by DSP equipment. A novel structure of bearing was developed. The embedded intelligent sensors were installed on the out ring of the bearing and approached to the signal source. So the sensors can get the signal more validly. The DSP chip was configured just for the intelligent bearing so the signal can be processed rapidly. The result of the experiment and simulation show that the intelligent bearing can extract the state information and diagnosis information more valid than the tradition bearing monitor system.

Key words: intelligent bearing; sliding bearing; embedded system; fault diagnosis

轴承是机械设备中的关键零部件, 轴承的健康状况直接关系到机械设备能否正常运行。因此, 对轴承早期的故障监测与诊断分析具有重要意义。

随着科学技术的发展, 传感器和微处理器的体积越来越小, 性能指标不断提高。这些发展为传感器和微处理器嵌入到各种设备中做了很好的技术准备。高航等^[1]最早提出嵌入式智能轴承概念。嵌入式智能轴承是通过改变传统轴承结构来实现的, 即在轴承上开槽, 嵌入微传感器模块。与传统的轴承故障诊断技

术相比较, 传感器和轴承融合得更紧密, 可采用各种更有针对性的传感器和微处理器来处理轴承的各种状态信息。刘浩等^[2]对智能轴承的受力情况进行了有限元分析, 得出开槽的尺寸对轴承最大变形和应力的影响关系。王辉^[3]设计了应用于滚动轴承运行状态监测与故障诊断的新型应变式三轴加速度传感器, 并与其他传感器集成, 形成多参量传感器与轴承结合的智能轴承结构。

目前能检索到的文献中智能轴承的本体均为滚动

收稿日期: 2015-05-22; 修回日期: 2015-07-22

基金项目: 浙江省工程技术研究中心建设项目(2012E10028); 浙江省博士后择优资助项目(BSH1301020)

作者简介: 任达千(1974), 男, 浙江嵊州人, 博士, 讲师, 主要从事智能检测技术研究。E-mail: rendq74@126.com

轴承,在滑动轴承基础上的智能轴承尚不多见。本文对智能滑动轴承进行了深入研究。

1 智能滑动轴承结构

传统的轴承故障诊断系统,一般将温度、压力、振动和转速等传感器安装在轴承座上;测量得到的信号,已经过轴瓦的传递,不可避免地会发生失真。智能轴承技术能有效地减少这种失真。

图1所示为智能轴承的结构,轴承本体为球面可倾瓦结构,这是大型滑动轴承的常见结构,在轴与轴承内孔有一定的倾斜度时,轴承可绕球形配合面自动调整位置。智能轴承是在传统轴承的基础上嵌入不同用途的传感器,如振动传感器、转速传感器、温度传感器等。这些传感器安装在轴承的外圈上,在轴承制造时,即已设计了传感器安装位置。与传统的轴承故障系统相比较,传感器安装位置更接近于轴瓦与轴的接触油膜,因此能更快速、直接地得到轴承的工作状态信息。

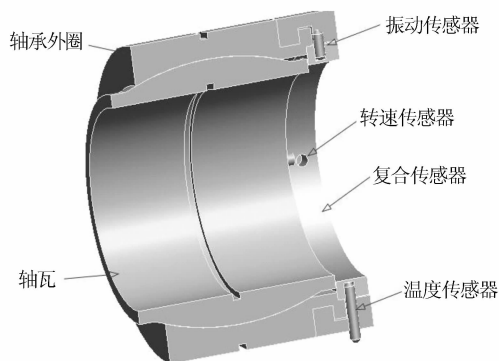


图1 智能轴承结构

Figure 1 Structure of intelligent bearing

智能轴承样机如图2所示,在320 mm直径的汽轮机轴承上进行改装。在滑动轴承上嵌入安装了温度传感器、转速传感器和压电式振动传感器。这些传感器由电缆连接到DSP处理器,对轴承的状态信息作出实时的处理,有利于提取出正确的信息。

2 硬件和软件结构

智能轴承系统的硬件主要包括传感器、处理电路和DSP处理芯片3部分,如图3所示。原型系统用到2个热电偶式温度传感器,1个磁电式转速传感器和2个压电式振动传感器;处理电路对信号进行放大、补偿等信号预处理,提高信号的信噪比。DSP处理器采用TI公司的C6000系列芯片,具有A/D转换、信号智能化处理与在线诊断等多种功能,处理能力较强,能实时处理各类信号。

智能轴承的软件主要处理传感器采集得到的信



图2 智能轴承样机

Figure 2 Model machine of intelligent bearing

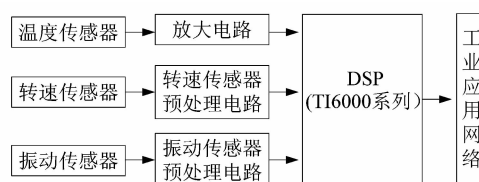


图3 智能轴承系统结构

Figure 3 Structure of intelligent bearing system

号,并基于综合信息进行轴承运行状态的判定,最后是故障分类和报警,流程如图4所示。智能轴承的软件针对轴承的信号采集和故障诊断功能进行了优化,能完成实时信号处理和快速的故障分类和报警,可以处理各种突发故障,也能应用各种复杂度较高的信号处理方法。

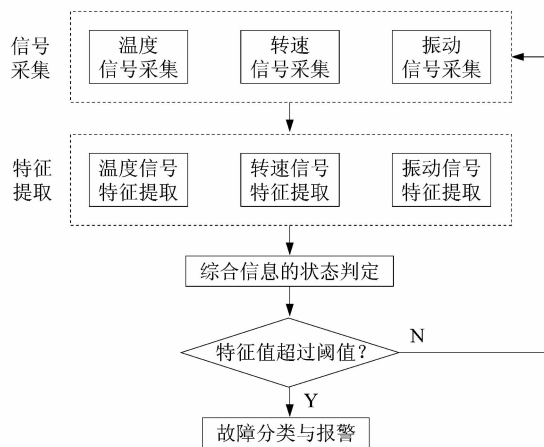


图4 故障诊断软件流程图

Figure 4 Flow diagram of diagnosis software

3 智能轴承与传统轴承的诊断能力

目前,轴承信号的处理和故障诊断技术已有长足的发展,各种先进的分析方法不断涌现。J. B. Ali等^[4]介绍了一种方法用于预测轴承的使用寿命,应用

Weibull 分布提取轴承的故障特征,人工神经网络用于故障分类。Feiyun Cong 等^[5]提出一种基于奇异值分解的矩阵构造方法用于滑动轴承的故障特征提取,能很好地在存在背景噪声的环境发挥作用。吴小涛等^[6]将 EEMD 及改进方法用于轴承的故障诊断。杨文志等^[7]研究了轴承故障诊断的降噪方法。Dong Wang 等^[8]研究了小波变换在轴承故障诊断中的应用。

局域均值分解(local mean decomposition, LMD)方法,最早由 Smith 提出^[9],任达千等^[10]做了进一步研究。其基本要点是应用自适应的方法,将一个复杂的信号分解为若干个乘积函数(product function, PF)分量之和,即

$$x(t) = \sum_{p=1}^k P_{FP}(t) + u_k(t) \quad (1)$$

式中: $x(t)$ 为原始信号; $P_{FP}(t)$ 为第 p 个 PF 分量; $u_k(t)$ 为信号分解的残余量。

每一个 PF 分量是包络信号和纯调频信号的乘积,而 PF 的瞬时频率可以由纯调频信号求得,即

$$P_{F1}(t) = a_1(t)s_{in}(t) \quad (2)$$

式中: $P_{F1}(t)$ 为 PF 分量; $a_1(t)$ 为信号的幅值分量; $s_{in}(t)$ 为信号的纯调频分量。

LMD 的突出优点是能处理非平稳信号,LMD 分析的结果已经是一系列的调频调幅信号,可以应用 Hilbert 变换等方法进一步求得瞬时频率,用于故障诊断信号的时频特征提取是非常适合的。

智能轴承因工业现场的限制,无法在现场进行实验。为此,设计了小型试验系统,进行了实验研究。此实验系统利用小型的电机带动轴转动,在轴承位置附近设置了振动传感器。

图 5 所示是智能轴承检测信号。从图中可以看到轴承的状态信号淹没在噪声中,但是从信号的细节可以看到高频成分的存在。图 6 所示是智能轴承采集的信号的 LMD 分析结果, P_{F1} 和 P_{F2} 集中了振动信号的高频成分。

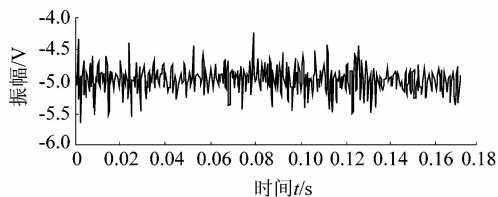


图 5 智能轴承振动检测信号图

Figure 5 Vibration signal of intelligent bearing

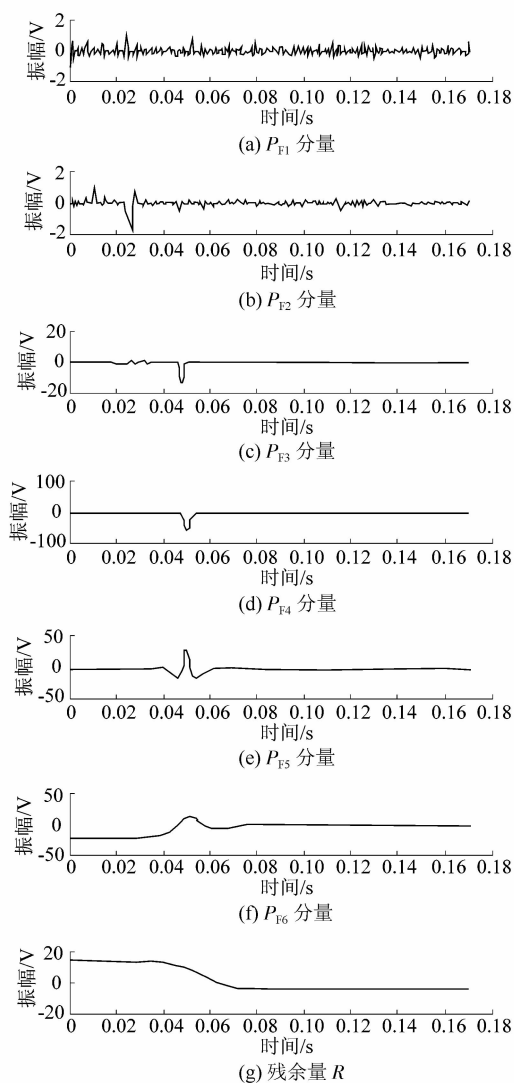


图 6 智能轴承振动信号的 LMD 结果图

Figure 6 LMD result of intelligent bearing

图 7 所示为传统的轴承故障诊断系统采集得到的振动信号,采样频率为 1 000 Hz,其振幅已经过零均值处理。图 8 所示为传统诊断系统振动信号的 LMD 分析结果。从图中也可以看出信号最右边的端点附近有较大的波动,这主要是受到 LMD 端点效应的影响。

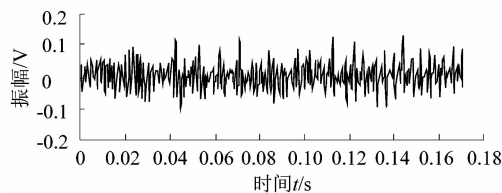


图 7 传统轴承故障诊断系统的振动信号

Figure 7 Vibration signal of traditional bearing fault diagnosis system

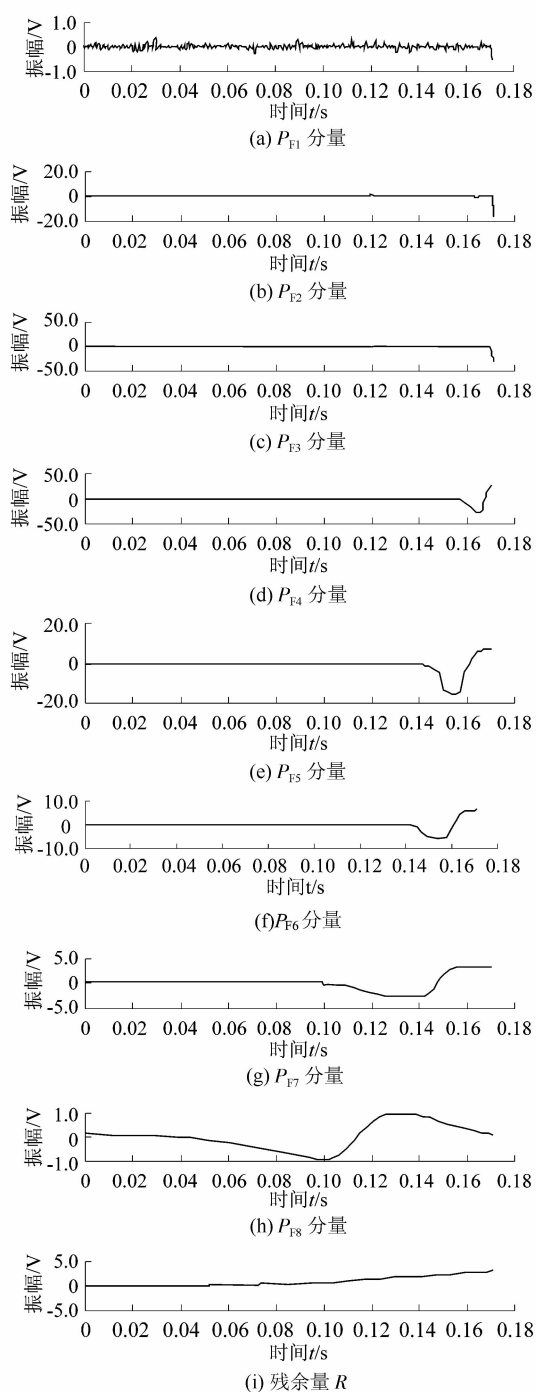


图8 传统诊断系统振动信号的LMD分析结果

Figure 8 LMD result of traditional diagnosis system vibration signal

比较图5~6和图7~8,智能轴承采集得到的振动信号,频率成分比较丰富,LMD分析结果也比较容

易解释,为故障特征提取和判断故障类型创造了很好的条件。

4 结语

文章提出一种嵌入式智能滑动轴承,在滑动轴承中嵌入式振动、温度和转速等传感器,并由DSP处理器实时采集、处理信号,提取滑动轴承的状态信息和故障诊断信息。经过实验验证,应用LMD方法能处理轴承故障信号,智能滑动轴承比传统的滑动轴承故障系统能更精确的提取滑动轴承故障诊断信息,更加实时地处理状态信息,并快速得出故障诊断结论。

智能轴承的提出为滑动轴承的故障诊断技术提供了另一种选择的可能性,将推动轴承故障诊断技术的发展,具有较高的实用价值和一定的理论价值。

参考文献:

- [1] 高航,吕青.基于微传感器的智能轴承技术[J].中国机械工程,2003,14(21):1883-1885.
- [2] 刘浩,杨拥民,陈仲生.基于嵌入式传感器的智能轴承结构分析[J].先进制造技术,2006,25(6):43-45.
- [3] 王辉.基于应变式三轴加速度传感器的智能轴承设计与实验研究[D].重庆:重庆大学,2012:55-59.
- [4] AIR J B, CHEBEL-MORELLO B, SAIDI L, et al. Accurate bearing remaining useful life prediction based on Weibull distribution and artificial neural network [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2015, 56/57: 150-172.
- [5] CONG Feiyun, ZHONG Wei, TONG Shuiguang, et al. Research of singular value decomposition based on slip matrix for rolling bearing fault diagnosis[J]. Journal of Sound and Vibration, 2015, 344: 447-463.
- [6] 吴小涛,杨猛,袁晓辉,等.基于峭度准则EEMD及改进形态滤波方法的轴承故障诊断[J].振动与冲击,2015,34(2):38-44.
- [7] 杨文志,马文生,任学平.小波包降噪方法在滑动轴承故障诊断中的应用研究[J].噪声与振动控制,2009,29(4):50-53.
- [8] WANG Dong, MIAO Qiang. Smoothness index-guided Bayesian inference for determining joint posterior probability distributions of anti-symmetric real Laplace wavelet parameters for identification of different bearing faults [J]. Journal of Sound and Vibration, 2015, 345: 250-266.
- [9] SMITH J S. The local mean decomposition and its application to EEG perception data [J]. Journal of the Royal Society Interface, 2005, 2(5): 443-454.
- [10] 任达千,杨世锡,吴昭同,等. LMD时频分析方法的端点效应在旋转机械故障诊断中的影响.中国机械工程,2012,23(8):951-956.