

# 机床健康诊断小型分体式系统的设计

谢潮<sup>1</sup>, 孙翔宇<sup>1</sup>, 盛一<sup>2</sup>, 左敦稳<sup>1</sup>, 陈山鹏<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016;

2. 南京星合精密智能制造研究院有限公司, 江苏 南京 210016)

**摘要:**针对生产现场对机床健康诊断实际需要,提出机床健康诊断小型分体式系统的设计思路,并设计一款基于STM32微控制器和蓝牙传输技术的信号采集与分析诊断系统。整个系统分为信号发射器和信号接收处理器两个模块。信号发射器采集振动传感器的信号,通过蓝牙传输出去;信号接收处理器通过蓝牙接收数据,实现数据的存储、显示和分析功能。最后设计两个试验对整个系统进行实际应用能力验证,验证了装置对机床部件信号的采集传输能力和接收处理器端对数据的接收与处理能力。

**关键词:**机床;健康诊断;系统设计;数据采集;无线传输

**中图分类号:**TP274+.2 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2021)06-0060-04

## Design of Divided Miniature System for Machine-tool Health Diagnosis

XIE Chao<sup>1</sup>, SUN Xiangyu<sup>1</sup>, SHENG Yi<sup>2</sup>, ZUO Dunwen<sup>1</sup>, CHEN Shanpeng<sup>2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautic, Nanjing 210016, China; 2. Nanjing Xinghe Precision Intelligent Manufacturing Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210016, China)

**Abstract:** To meet the actual need of machine tool health diagnosis at the production site, the design idea of a small split system for machine tool health diagnosis is proposed, and a signal acquisition, analysis and diagnosis system based on STM32 microcontroller and Bluetooth transmission technology is designed. The whole system is divided into two modules: signal transmitter and signal receiving processor. The signal transmitter collects the signal of the vibration sensor and transmits it through Bluetooth. The signal receiving processor receives data through Bluetooth to realize the functions of data storage, display and analysis. The two tests are conducted to testify the actual application ability of the entire system, which verifies the ability of machine parts signal collection and transmission of the device and capacity of data acquisition and process of the receiving processor side.

**Keywords:** machine tool; health diagnosis; system design; data collection; wireless transmission

## 0 引言

我国作为制造大国,数控机床的应用越来越广泛。在实际生产制造过程中,机械加工技术正朝着高速、高精、复合的方向发展,对机床的要求也越来越高;复合化使得机床结构更加复杂,同时生产节奏也越来越快,一旦机床出现故障会对生产效率产生严重影响。另一方面,随着智能制造技术的发展,对于制造设备的运行可靠性和设备的维护管理提出了更高要求。因此,传统的“事后”故障诊断模式已难以满足实际生产需求,具有“实时、预报”特点的健康诊断技术应运而生。

现阶段,在企业的生产加工车间,一般对机床均采用定期维护维修以及故障诊断等方式,不能满足智能制造对设备状态实时监测诊断的需求,急需设计开发实用的数控机床健康诊断系统。

## 1 健康诊断技术研究现状

机床健康诊断技术指采用传感器监测参数与数控机

床内置信息等参数获取机床的总体状态信息,借助各种智能算法与推理模型实现机床状态的监测、预测等,实现对机床健康程度进行评估,并最终实现生产车间的智能任务规划及基于设备状态的智能维护,以取代传统的基于事件的事后维修或定期维修。

目前国内外对于设备诊断技术开展了大量的研究。龙玺宇<sup>[1]</sup>采用振动、温度和声发射传感器,安装在诊断部件上,选择高速数据采集卡进行数据传输,对采集的信号经过时域、频域和时频域分析,提取敏感特征值并输入到BP神经网络进行训练来进行模式识别,并设计了一套智能化数控机床故障诊断系统对机床故障进行有效预测。单东利<sup>[2]</sup>全面、系统地研究分析滚动轴承的振动信号特征以及故障机理,应用小波包技术对轴承振动信号进行降噪处理,综合选取时、频两域部分适当无量纲参数作为故障诊断特征参数,从而有效且全面地体现出故障特征,为故障的准确诊断奠定基础。利用神经网络的自学习、自适应以及强大的非线性能力,对轴承故障模式进行识别。卓仁雄等<sup>[3]</sup>针对信号特征进行优化,采用改进的基于添加

第一作者简介:谢潮(1997—),男,湖北天门人,硕士研究生,研究方向为机床健康诊断。

自适应白噪声的完备集合经验模态分解 (CEEMDAN) 与支持向量机进行电动机的轴承故障诊断,并试验对比了总体平均经验模态分解 (EEMD) 方式,证明其方法的诊断效果更好。刘茵<sup>[4]</sup>针对数控机床的不同部位采用不同诊断方法,伺服系统采用基于区间三角模糊多属性灰色关联决策方法,变速箱采用基于流形学习的故障特征提取方法,滚动轴承采用基于深度神经网络的故障分类方法,构建了数控机床健康状态诊断与故障辨识系统,并设计实验验证。罗勇<sup>[5]</sup>针对立式加工中心和数控卧式车床两种典型数控机床设计了一种状态监测系统,通过小波阈值降噪和特征提取方法获得机床关键部件的状态数据,从而基于模糊灰色聚类和组合赋权法结合健康评估方法对机床整体状态评估,最终达到预测性维护和降低机床故障率的目标。DAN S<sup>[6]</sup>将主轴功率、转速等参数输入神经网络模型,构建了一套数控机床主轴状态实时监测系统,得到了数控机床主轴的磨损监测结果。KOBAYASHI Y 等<sup>[7]</sup>提出了一种结合遗传算法和禁忌搜索算法的混合遗传算法搜索高通滤波器最优截止频率的方法,并以峰度比作为遗传算法的适应度,同时使用专用于轴承诊断的特征参数和模糊推理的隶属函数依次准确地识别轴承故障的类型。通过该方法可以将位于距诊断轴承较远位置的加速度计测量的信号用于简单、准确的轴承故障自动检测。KHORRAM A 等<sup>[8]</sup>将从加速度计中收集的原始数据用作新型时间序列预测算法的输入,以提出端到端的故障检测方法,之后使用等效的时间序列作为新型卷积长期记忆递归神经网络的输入,以在尽可能短的时间内以最高的精度检测轴承故障,通过将故障诊断方法应用于两个常用的基准真实振动数据集,并将结果与其他智能故障诊断方法进行比较,验证了该方法的有效性和可行性。

机械诊断的先决条件是利用传感和测量技术准确获取设备运行状态。在已有的诊断研究中,在信号采集方面大部分采用的是数据采集卡的模式,采集流程如图 1 所示。该模式一般需要传感器采集信号,信号经过信号调理装置后,传输到数据采集卡中。数据采集卡需要上位机配合使用,将数据传输到上位机端,进行信号的存储和下一步处理。在这种模式下,信号在各个环节通过线缆传输,现场布线不便,且存在安全隐患。实际应用时,对于每台数控机床都需要配置一套重量级的设备,不易迁移监测,便携性有所不足。为解决现阶段存在的问题,本研究提出了机床健康诊断小型分体式系统的设计思路。

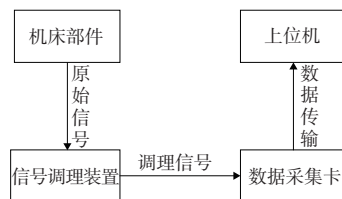


图 1 数据卡采集模式采集流程

该系统包含两个模块,即信号发射器以及信号接收处理器。两个模块通过蓝牙进行数据的无线传输,完成传感器信号的采集、处理、传输、存储以及分析功能。整个分体式系统的基本结构如图 2 所示。

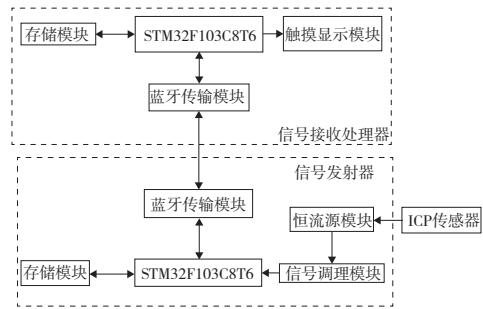


图 2 系统基本结构图

## 2 信号发射器设计

信号发射器的工作原理:发射器与传感器放置于数控机床的部件上,接收传感器的原始信号,对原始信号进行初步处理,然后使用芯片自带的 AD 转换功能实现模拟信号到数字信号的转换,将最后的数据通过蓝牙模块发出。信号发射器在整个工作过程中,需要完成对传感器的电流激励、信号的采集处理以及发送的全部任务。

### 2.1 发射器硬件设计

为了实现自身的功能,信号发射器以 STM32F103C8T6 芯片为核心,其他硬件设计主要包括如下几个模块。

#### 1) 恒流源模块

本次的装置设计中,对于振动传感器输出的电压信号进行数据采集。振动传感器选用 ICP 型的压电型加速度传感器,在使用时需要 18 V 以上 2~10 mA 的恒流源供电。因此设计了 5 V 转 24 V 电压转换模块和恒流源模块为其供电。传感器通过 M5 公转 SMA 公射频转换线接入传感器接入模块的 SMA 母头。

#### 2) 信号调理模块

传感器输出的电压信号微弱,需进行放大,以满足 AD 转换的输入电压要求。调理模块设计了一个可切换的放大倍数电路,放大倍数通过拨动开关硬件进行切换,且设计了一个 RC 低通滤波器来过滤信号,提高信号的信噪比。

#### 3) 蓝牙传输模块

信号经过初步处理,芯片自带的 ADC 转换成数字信号后,通过蓝牙模块向外传输,蓝牙模块选用 TI 公司的 CC2541 作为主控芯片设计,蓝牙传输模块与 STM32 之间通过串口通信。信号发射器的蓝牙通过 AT 指令配置成从模式。主板上设计电路接入蓝牙模块,蓝牙模块连接原理如图 3 所示。

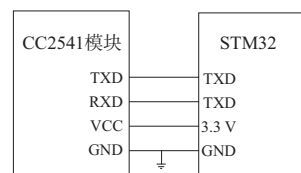


图 3 蓝牙模块连接原理图

#### 4)TF 卡存储模块

信号发射器通过硬件设计,可实现通过按键功能切换模式。一种模式为采集完数据后通过蓝牙传输出去,另一种模式则为采集完数据后存入插入的 TF 卡中。存储模块基于 FatFs 文件系统的存储设计,通过 SPI 总线与主芯片通信,可完成数据的任何格式写入。TF 卡连接原理如图 4 所示。

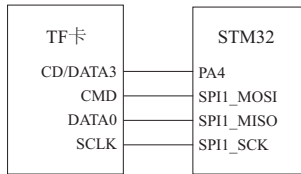


图 4 TF 卡连接原理图

### 2.2 发射器软件设计

信号发射器具备发送信号数据同时可选择将数据存储到外插的 TF 卡中,集合了数据传输和数据存储功能。系统上电后,进行一系列初始化工作,系统时钟设置,LED、按键端口初始化,ADC 初始化,串口 UART 初始化等,其中串口初始化函数包含对蓝牙模块进行默认设置为从模式,为后续蓝牙的连接建立基础。初始化工作完成后,在主要功能的函数体中,进行按键的检测,检测到按键按下,则启动存储功能,否则信号发射器只具备发送数据功能,不进行数据的存储。主函数中通过 while 循环体循环执行数据采集、转换、存储、传输。信号发射器的软件流程如图 5 所示。

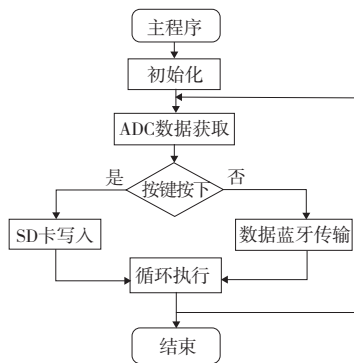


图 5 信号发射器软件流程图

## 3 信号接收与处理器的设计

信号接收处理器设计为手持式的接收仪器,接收发射器的信号,对信号进行统计分析,同时软件功能实现 FFT 功能,对于信号进行频谱分析。

### 3.1 硬件设计

硬件设计以 STM32F103C8T6 为核心,其他方面主要包括如下几个硬件模块。

#### 1) 蓝牙传输模块

接收与处理仪器的蓝牙模块与信号发射器的蓝牙模

块配对,接收端设置为主模式。诊断仪开机后会自动去寻找从蓝牙设备即发射器,并自动连接。连接完成后,两者间建立通信,信号发射器发送数据,诊断仪接收数据。

#### 2) 显示模块

选用集成 4.3" 电容触摸屏,可实现显示功能,同时提供人机交互的功能。触摸屏外接模块属于集成模块,与主芯片通过串口连接,连接原理如图 6 所示。+5 V 为触摸屏供电,串口 2 和串口 4 用来通信,完成信息传输至触摸屏显示。

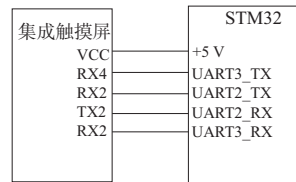


图 6 触摸显示模块连接图

#### 3) TF 卡存储模块

为了保存采集数据,便于后续做进一步的分析,设计了数据存储模块。诊断仪接收到信号后,通过人机交互功能选择记录数据到 TF 卡中,点击记录按键,采集到的信号数据以 CSV 格式存储在 TF 卡中。TF 卡移植了 FatFs 文件系统,便于数据读写。

### 3.2 软件设计

信号接收与处理器具备接收数据、存储数据、对数据进行分析的功能,且提供了显示和触控功能进行操作。系统上电后,进行一系列初始化工作,系统时钟设置,LED、按键端口初始化,串口 UART 初始化等。其中串口初始化函数包含对蓝牙模块进行设置为主模式,为搜索从设备进行连接,初始化工作完成后,先对从设备进行时间同步,对屏幕显示内容进行初始化,接着接收信号数据和监测触摸动作,对于相应触碰,执行相应操作。软件流程如图 7 所示。

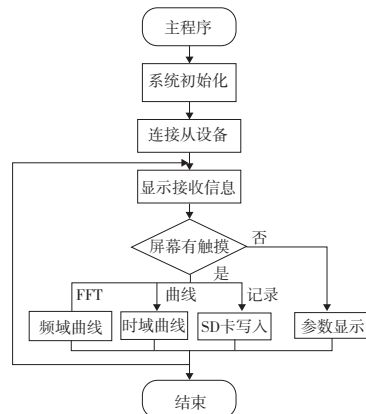


图 7 信号接收与处理器软件流程图

## 4 初步通信试验

分体式系统的实际装置如图 8 所示。为了验证整体



装置在实际应用中的可行性,利用信号发射器发射内置的一段数据在实际加工车间进行通信试验,验证整个装置蓝牙传输的可靠性以及接受处理器端对于数据的处理能力。

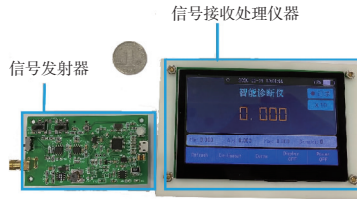


图8 系统装置实物图

内置在信号发射器的数据由3个正弦信号组成,分别为频率2 kHz 幅度128、频率10.5 kHz 幅度192、频率19 kHz幅度255。 $i$ 取0~255共256个数据。测试数据表达式如下:

$$X = 128\sin(2\pi \times 2000i) + 192\sin(2\pi \times 10500i) + 255\sin(2\pi \times 19000i)$$

实际测试时,诊断仪端的FFT实时界面显示如图9所示。图中频域曲线分别在相应频率出现较高幅度,且实际的信号显示值基本上与原信号相同,可知整套装置具备较好的信号采集能力以及频域分析能力。



图9 信号采集实时频谱图

## 5 实际应用试验

装置的数据传输以及信号接收处理器的数据处理能力已在上述试验中验证,针对本次装置实际应用场景为机床部件的振动信号采集与处理,故设计本次试验。传感器以及信号发射器布置在主轴箱上,布置如图10所示。

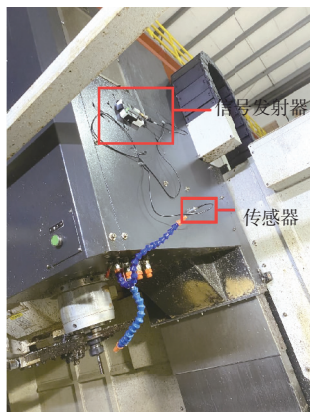


图10 传感器与信号发射器布置图

信号接收与处理器接收到信号数据后以CSV格式文

件存储至TF卡中,在PC机上使用matlab对于信号数据进行处理,处理结果如图11所示。本次试验验证了整个装置对于部件振动信号的采集能力。

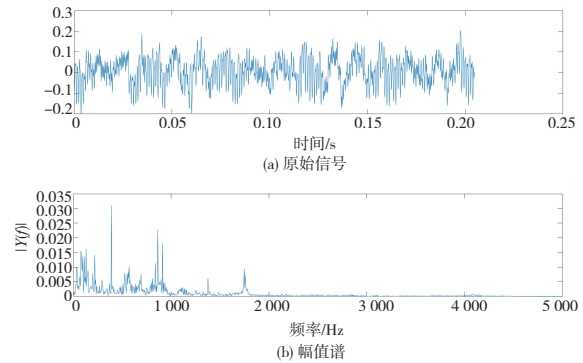


图11 采集信号处理后的时频图

两次试验验证了本装置对于实际加工时部件信号的采集传输能力以及信号接收处理器端对于数据的处理能力。

## 6 结语

本文介绍了机床健康诊断技术的研究现状,针对目前存在的主流诊断方式的不足,提出采用无线传输方式进行信号的获取以及在信号接受端即诊断仪侧进行初步的诊断,同时数据存储至TF卡,可在PC端进行进一步的数据分析和健康诊断。本文采用的方式较数据采集卡模式现场布置更方便、安全性更高、成本更小,具有实际工程应用价值。

后续工作会对实际加工时机床状态信号进行采集与分析,根据分析结果,在信号接收处理仪器上设计合适的诊断算法,对诊断功能进行完善。

### 参考文献:

- [1] 龙玺宇. 智能化数控机床故障诊断系统研究[D]. 成都:西南交通大学,2014.
- [2] 单东利. 基于多域特征融合的滚动轴承故障诊断研究[D]. 邯郸:河北工程大学,2018.
- [3] 卓仁雄,肖金凤. 基于改进的集合经验模态分解的电动机滚动轴承故障诊断研究[J]. 机械制造与自动化,2019,48(1):36-39.
- [4] 刘茵. 面向健康状态诊断的数控机床故障辨识方法研究[D]. 泰安:山东农业大学,2019.
- [5] 罗勇. 典型数控机床状态采集监测及健康评估方法研究[D]. 成都:电子科技大学,2020.
- [6] DAN S. Monitoring and control system design for tool wear condition of CNC machine based on artificial neural networks[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014 (556/557/558/559/560/561/562):3251-3254.
- [7] KOBAYASHI Y, SONG L Y, TOMITA M, et al. Automatic fault detection and isolation method for roller bearing using hybrid-GA and sequential fuzzy inference [J]. Sensors (Basel, Switzerland), 2019,19(16):E3553.
- [8] KHORRAM A, KHALOOEI M, REZGHI M. End-to-end CNN+LSTM deep learning approach for bearing fault diagnosis [J]. Applied Intelligence, 2020,45(1):1-16.

收稿日期:2020-12-01