

# 基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统设计

贾勇<sup>1</sup>, 陈晓飞<sup>1</sup>, 翟旭<sup>2</sup>

(1. 新疆工程学院 信息工程学院, 乌鲁木齐 830023;

2. 中国铁路乌鲁木齐局集团有限公司 科学技术研究所, 乌鲁木齐 830023)

**摘要:** 目前提出的数控机械在线监测诊断系统温度采集准确度较低, 导致诊断过程稳定性及准确性较差, 为此基于 CRIO 设计了一种新的数控机械在线监测诊断系统, 以期更好地分析数控机械的运行状态; 通过数控机床在线监测模块、远程设备管理模块及故障诊断模块组成系统总结结构, 硬件设备包括 NTI CRIO 驱动器、新型伺服电动机、采集卡、传感器以及 PC 上位机, 设计多参数在线监测模块、网络控制模块、设备管理模块和故障诊断模块; 在采集信号中提取数控机械运行状态数据, 通过格拉布斯准则估算标准偏差, 去掉误差数据后, 输出有效数据, 完成数据的采集及存储, 实现数控机械在线监测诊断系统设计; 实验结果表明, 基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统的温度采集准确率为 99%, 振动信号采集准确率为 95%, 可以有效提高采集精度, 增强数控机械在线监测诊断系统的准确性及稳定性。

**关键词:** CRIO; 数控机械; 在线监测; 诊断系统

## Design of Online Monitoring and Diagnosis System for CNC Machinery Based on CRIO

Jia Yong<sup>1</sup>, Chen Xiaofei<sup>1</sup>, Zhai Xu<sup>2</sup>

(1. Department of Information Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023, China;

2. China Railway Urumqi Group Co., Ltd., Urumqi 830023, China)

**Abstract:** The currently proposed online monitoring and diagnosis system for CNC (computerized numerical control) machinery has low temperature acquisition accuracy, resulting in poor stability and accuracy of the diagnosis process. For this reason, a new online monitoring and diagnosis system for CNC machinery is designed based on CRIO in order to better analyze the CNC The operating state of the machine. The overall structure of the system is composed of CNC machine tool online monitoring module, remote equipment management module and fault diagnosis module. The hardware equipment includes NTI CRIO driver, new servo motor, acquisition card, sensor and PC upper computer. Multi-parameter online monitoring module and network control module are designed. Equipment management module and fault diagnosis module. Extract the operating state data of CNC machinery from the collected signals, estimate the standard deviation according to Grubbs criterion, remove the error data, output valid data, complete the data collection and storage, and realize the design of the CNC machinery online monitoring and diagnosis system. The experimental results show that the temperature collection accuracy rate of the CRIO-based CNC machinery online monitoring and diagnosis system is 99%, and the vibration signal collection accuracy rate is 95%, which can effectively improve the collection accuracy and enhance the accuracy and stability of the CNC machinery online monitoring and diagnosis system.

**Keywords:** CRIO (NI Compact RIO); CNC machinery; online monitoring; diagnosis system

## 0 引言

数控机床是一个由机、电、液组成的一个结构复杂的机电系统, 相比较于传统机床, 数控机床的机电系统自动化性能更好<sup>[1]</sup>。因为数控机床结构的复杂性, 不同数控机床的结构点可能会引起同一个故障, 因此数控机床发生故障时, 机床故障监测诊断结果往往都是错误的。近年来, 数控机床领域的发展越来越好, 带来的经济效益越来越高, 如果数控机床因为故障停止工作, 引发的后果很难弥补, 所以解决以上问题是数控机床领域的重中之重<sup>[2-3]</sup>。设备故障诊断技术是认识和掌握设备运行过程的状态, 判断其整

体或局部的正常或异常, 及早发现故障及其原因, 并预测故障发展趋势的技术。机器故障诊断技术属于信息技术范畴, 是利用被诊断对象提供的各种有用信息, 对其进行分析处理, 以获取设备状态的特征参数, 从而作出正确的诊断结论。利用实时检测到的状态信息便可及早发现加工误差, 并尽快进行修正, 从而达到降低产品废品率, 节约企业成本的目的。

目前我国数控机床领域故障监测诊断功能单一并且故障诊断结果准确率低, NI CompactRIO (本文题目和下文简称为 CRIO) 是美国 NI 公司最新研究出基于计算机技术和

收稿日期: 2021-01-04; 修回日期: 2021-03-03。

作者简介: 贾勇(1981-), 男, 安徽宿州砀山人, 硕士, 讲师, 主要从事物联网方向的研究。

引用格式: 贾勇, 陈晓飞, 翟旭. 基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 14-18.

网络技术的嵌入式系统, 应用该系统进行故障监测, 其工作原理是根据监测和采集数控机床的运行参数, 利用远程上位机对数控机床的加工状态进行合理的分析和诊断, 加大数据分析的精度以便达到提高机床的故障诊断能力的目的, 减少故障对数控机床工业带来不必要的损失<sup>[4-5]</sup>。

综上所述, 本文提出基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统。基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统的硬件平台是由可重复配置的 IO/FPGA 核底板、数据处理器、模块、接口组成的嵌入式系统。利用数据处理器采集数据信息, 通过核底板进行分析和离线处理, 完成数控机床故障监测诊断操作, 工作人员可以访问硬件平台的任意模块, 完成相应需求。

### 1 基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统总体框架设计

基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统由数控机床在线监测模块和远程设备管理及故障诊断模块组成, 数控机床在线监测模块是放置在数控机床的工作车间内, 完成 32 通道的机床运行数据参数的采集, 并对机械运行过程进行实时的监测; 远程设备管理及故障诊断模块主要完成的工作任务一方面是将数控机床数据传输到远程计算机内, 为数据分析提供基础, 另一方面是根据数据参数完成机床故障诊断操作<sup>[6]</sup>。具体的系统总框架如图 1 所示。

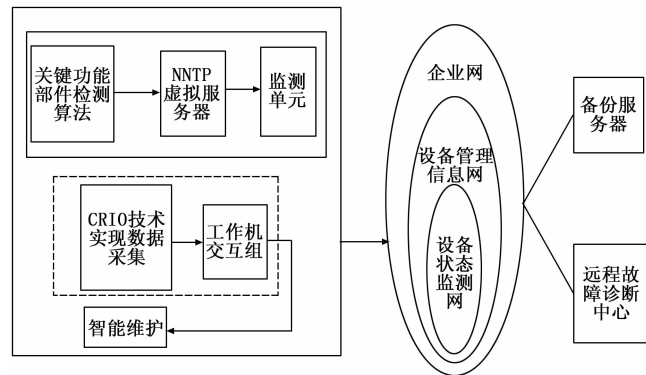


图 1 基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统总体框架

### 2 基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统硬件设计

基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统的硬件区域由 NTI CRIO 驱动器、新型伺服电动机、采集卡、传感器以及 PC 上位机组成<sup>[7]</sup>。在线监测诊断系统的区域组成结构如图 2 所示。

#### 2.1 多参数在线监测模块

多参数在线监测模块的工作原理是采用多线程编程, 解决数据硬件区域的数据采集卡出现数据溢出的故障问题。主要面向的对象是较大数据量的信息点, 避免多参数在线监测模块在数据缓存时, 出现数据丢失的问题。多参数在线监测模块由非分页环形内存池、用户缓存区数据采集板卡组成<sup>[8-9]</sup>。非分页环形内存池是多参数在线监测模块内部

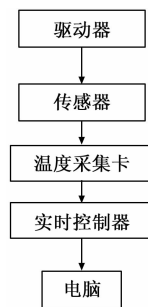


图 2 基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统硬件结构

唯一一个独立的区域, 用来存储在线监测模块采集到数控机床的数据, 为了防止数据中断, 在每一次的数据传输结束后系统会自动生成一个指针, 读取数据空间。如果内存池的存储空间满了, 那么内存池 1 中的最后一次数据会映射到重新开启的另一个内存池中, 完成数据的存储, 具体的多参数在线监测模块结构如图 3 所示。

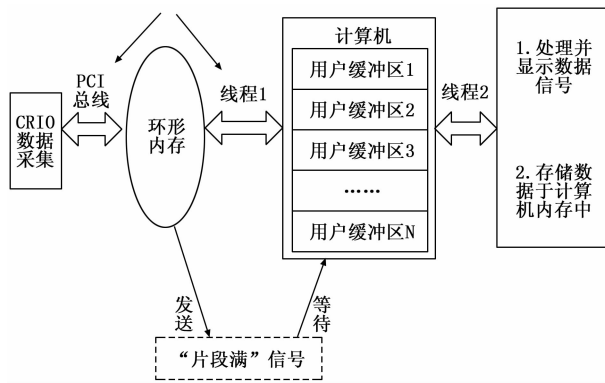


图 3 多参数在线监测模块

观察图 3 可知, 多参数在线监测模块为了提高报警被发觉的效果, 采用两级声光报警模式对 32 通道的数控机床进行在线监测, 当监测模块监测的数据值大于设定标准值时, 存储实时的数据信息发出声光警报并对当前运行的数控机床的工作状态进行锁死, 不允许继续工作, 存储的数据为数控机床故障分析提供有效的数据。因为数控机床涉及到的结构较多, 为此基于 CRIO 的在线监测诊断系统提取出代表的数控性能, 分别为机械运行的加速度、速度、压力、浓度、PH 值及电涡流, 通过对以上结构点数据参数进行特殊记录, 为机械故障监测诊断过程奠定基础<sup>[10-11]</sup>。

#### 2.2 网络控制模块

基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统的硬件区域的网络控制模块的工作任务是实现管理机械各个终端性能诊断数据的传输操作<sup>[12-13]</sup>。CRIO 系统可以根据机械生产不同产品的规格, 实时设定不同标准的服务器内核, 设置相对合理的并发机械数量, 网络控制模块一方面可以随时对在线监测诊断系统的任意设备终端进行断开和闭合的操作, 用于危险时, 断开操作, 避免大的损失; 另一方面对于网络控制模块传输的数据信息, 在运输过程中都会进行二次加密操作, 保证机械参数信息的安全性<sup>[14-15]</sup>。

### 2.3 设备管理模块

数控机械在线监测诊断系统的设备管理模块主要负责完成后台机械管理人员对机械运行监测信息的管理以及数控机械的管理。机械信息点数据存储的方法是交叉树存储法，设定 6 个根节点，根据根节点的属性设置若干个分支，构成一个树状，依次对数控机械运行监测信息点进行分级管理，在管理过程中，设备管理模块可以对机械数据点进行删除和增加，完善各个数控机械的分析参数。

### 2.4 故障诊断模块

基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统硬件区域的核心模块是故障诊断模块，故障诊断模块的工作是通过随机共振技术和现代信号处理技术实现的。随机共振技术通数控机械共振操作将机械运行过程中的噪音进行百倍放大，解决数控机械故障诊断特征信号微弱的问题，提高特征数据的真实可靠性，有利于故障诊断模块的工作；现代信号处理技术通过信号预处理、信号时域和信号频域分析以及其信号的时频分析完成数控机械故障信号的采集和分析。诊断工作人员会根据以上的分析结果数据得出诊断报告，经过二次核实，将报告传到维修部门进行维修处理。

## 3 基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统软件设计

本文设计的基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统软件区域的控制语言选择图形化编程语言 java，图形化编程语言能够突破计算机编程语言的局限性，提高编程结果的可变性，更好地完成在线监测诊断系统软件区域的调用。具体的监测诊断系统软件区域结构框架如图 4 所示。

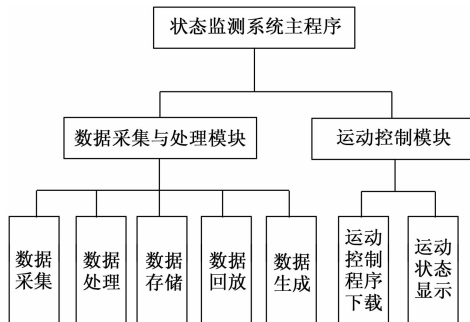


图 4 软件设计框图

### 3.1 温度信号采集程序

数控机械在运行生产过程中由于工作强度和外界环境的干扰，机械设备各个结构会产生切削热，影响数控机械的产品生产的质量并减少机械设备的使用寿命，所以软件区域设计了温度信号采集程序，目的是实时监测数控机械的温度。采集机械温度传感器的输出信号，通过串口通信的方式完成机械温度传感器数据的采集。图 5 为软件区域温度信号采集程序的框图，程序调用控制机械温度信号和模块之间的相互传递。

### 3.2 数据采集存储程序的实现

数据采集存储程序是软件区域的重要调用程序，实现方法采用叠层式顺序调用方法，此方法是将各个结构的数

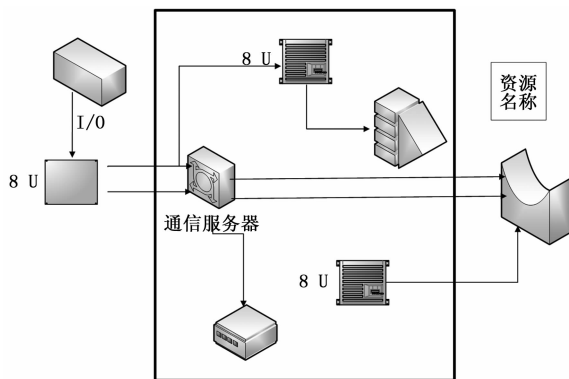


图 5 温度信号采集程序

据参数进行顺序存储，完成数控机械结构点帧与帧之间数据的运输，数据采集存储程序实现模拟图如图 6 所示。

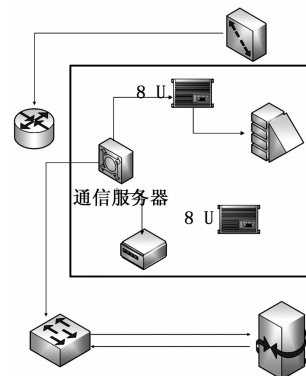


图 6 数据存储于程序操作模拟图

选用格拉布斯准则对采集的数据进行统计，确定样本，估算标准偏差，计算公式为：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \tag{1}$$

其中： $s$  为得到的标准偏差； $n$  为样本数； $X_i$  为所选的样本； $\bar{X}$  为样本平均值。

通过概率论进行计算，计算公式为：

$$P = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right]} \tag{2}$$

其中： $P$  为数控机械各结构数据参数的概率值，若该值小于 0.5，即超出标准值要求范围，表示该结构存在隐形故障。

通过上述公式获取采样数据，判断数控机械的各个结构的性能，本文通过分析机械主轴、工作台、电柜、液压系统、油箱液压、铣削齿轮各个结构的数据参数以及状态，完成数控机械在线监测诊断。工作台的振动频率、工作一段时间内的位移和温度差，可以体现数控机械工作的状态，如果 3 类数据的标准值不在要求范围内，那么机械就存在一定的隐形故障。对信息进行分析，确定有效数据后，将得到的有效数据显示出来。

### 3.3 数据显示子程序

数据显示子程序的主要任务是通过 NI 设计方法将数据

采集存储程序和温度信号采集程序调用控制的结果展示出来。数据显示子程序会执行工作人员的调用命令, 完成各个结构数据的调用, 具有实时性, 对于数控机械在线监测诊断的效率有促进作用, 采集的信息利用数据采集卡输送到硬件区域的数据显卡内, 完成存储记录。

数控机械在线监测诊断系统软件流程如图 7 所示。

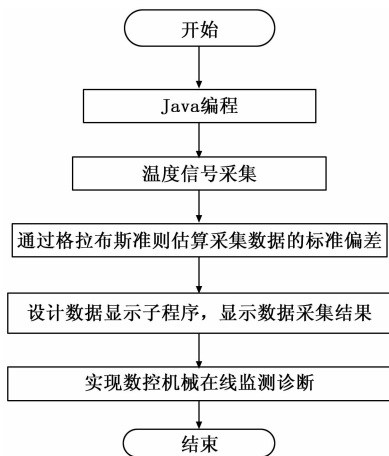


图 7 数控机械在线监测诊断系统软件流程图

如图 7 所示, 数控机械在线监测诊断系统软件编程采用 Java 编程语言, 通过温度信号采集程序采集温度信号, 通过格拉布斯准则统计数据, 并计算各参数概率值, 判断其是否存在隐性故障, 最后通过数据显示子程序实现监控诊断结果的显示, 完成软件设计。

#### 4 实验研究

为验证提出的基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统的有效性, 以基于数据挖掘的数控机械在线监测诊断系统及基于数据参数的数控机械在线监测诊断系统作为实验对比方法, 验证系统诊断的准确性及诊断过程的准确性。

选用的实验设备主要有如下几个: CRIO、数据采集卡、AKD 驱动器、PC 上位机、伺服电动机。设置实验参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

项目	参数
测试环境温度	22 °C
数控机床速度	50 m/min
数控机床润滑方式	脂润滑
测量距离	1 000 mm
操作系统	Windows10
运行加速度	1.5 g

根据上述参数, 进行对比实验, 在丝杠螺母上固定传感器, 并将传感器与 CRIO 连接, 启动运动控制程序, 在保证设备连接状况没有异常的情况下开始工作。同时, 使用提出的基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统、传统的基于数据参数的数控机械在线监测诊断系统以及基于数据挖掘的数控机械在线监测诊断系统同时进行检测, 采集数控

机械温度数据。利用 LabVIEW 软件将 3 种系统采集到的结果写入显示面板, 得到的实验结果如图 8 所示。

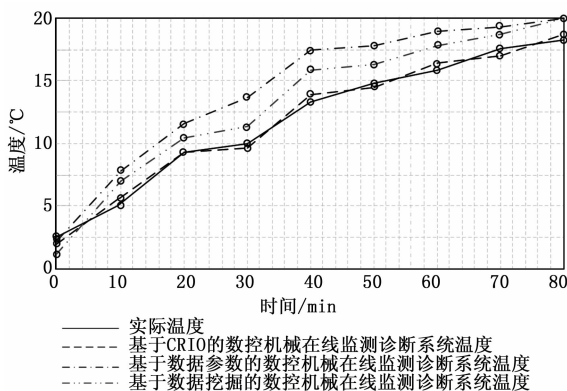


图 8 温度采集结果实验图

通过均匀采集法获得图像内部数据, 得到的结果如表 2 所示。

表 2 温度采集结果

时间/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80
CRIO/ °C	2.3	5.5	8.1	8.2	13.3	15.0	16.2	16.5	18.9
数据挖 掘/°C	2.4	7.3	11.0	11.4	14.0	16.8	18.3	18.8	20.0
数据参 数/°C	2.5	7.6	11.9	13.5	16.2	17.9	18.7	18.9	20.0
实际温 度/°C	2.4	5.5	8.2	8.3	13.5	15.4	16.3	16.4	19.0

如图 8 及表 2 所示, 可以看出, 所提方法采集到的温度信息与实际温度值相差较小, 而其他两个对比方法与实际温度值存在较大的误差, 实验结果表明, 所提基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统能够有效提高温度采集精度, 提升检测准确性。

数控机械振动信号采集结果如图 9 所示。

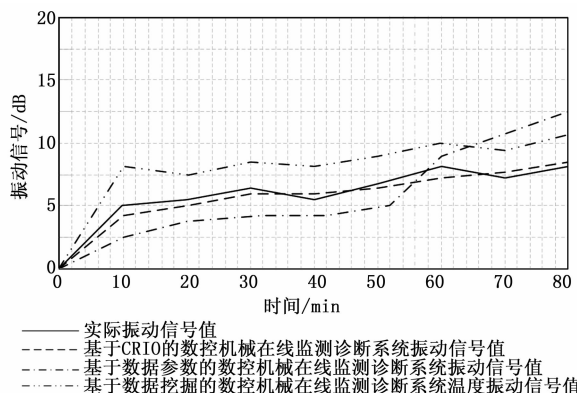


图 9 振动信号采集结果实验图

分析图 9 可知, 基于 CRIO 的数控机械在线监测诊断系统的振动信号采集结果与实际值较为接近, 而基于数据挖掘的数控机械在线监测诊断系统及基于数据参数的数控机

械在线监测诊断系统的采集结果与实际值偏差较大。由此可以看出,基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统能够准确监测数控机床的共振信号,提升故障监测准确性。

采集过程的稳定性如图 10~12 所示。

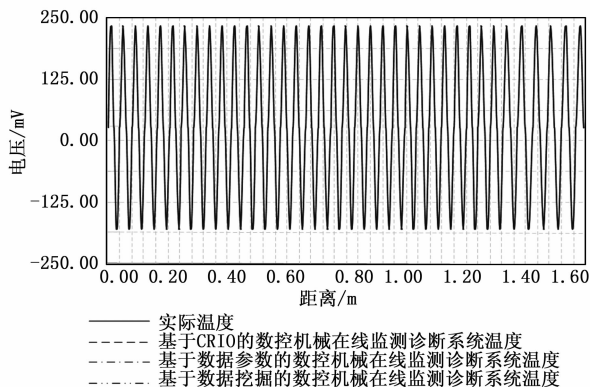


图 10 基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统稳定性

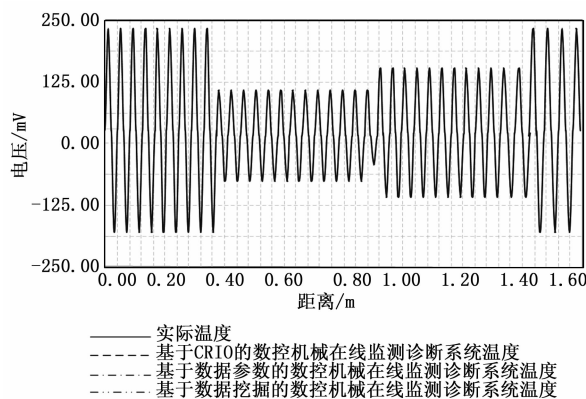


图 11 基于数据挖掘的数控机床在线监测诊断系统稳定性

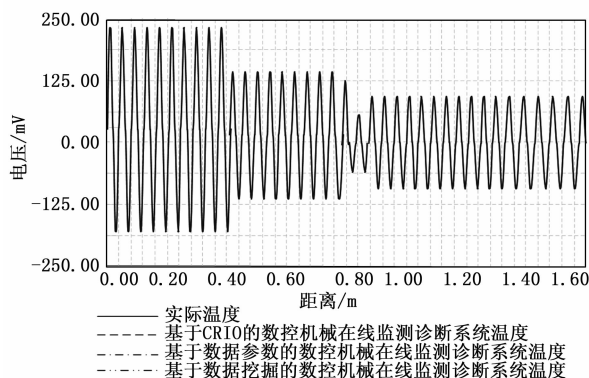


图 12 基于数据参数的数控机床在线监测诊断系统稳定性

如图 10~12 所示,基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统的电压波动一直遵循一定的规律,而基于数据挖掘的数控机床在线监测诊断系统及基于数据参数的数控机床在线监测诊断系统则存在较大波动误差,本文提出的在线监测系统是以计算机自动控制为基础,将检测系统安装在数控机床上,利用检测系统提供的检测程序,实现对零件

的自动检测,使数控机床既是加工设备,也是检测设备,因此该系统可在线监控下实时检测加工过程中零件的状态信息,有效提升了数控机床在线监测诊断系统的稳定性。

## 5 结束语

本文通过分别研究基于 CRIO 的数控机床在线监测诊断系统的硬件区域和软件区域的各个组成模块和编程程序,作为一种功能强大的虚拟仪器开发平台,CRIO 的硬件驱动和方便的编程设计为自动测量和仪器控制提供了良好的环境。其模块可有效地实现曲线拟合和数据分析功能。实验证明,该系统的数据采集和数据分析模块不仅具有友好的人机交互界面和强大的数据处理功能,而且能够快速、实时地完成不同工况下的机床运行状态数据监测与分析。将该方法运用在实际工程中,能够快速准确地实现数控机床监测诊断,满足实际工作的需求。

## 参考文献:

- [1] 吕跃刚,邓文玉,刘俊承. 基于云服务器的旋转机械在线监测诊断系统设计 [J]. 测控技术, 2018, 37 (9): 108-110.
- [2] 胡泽民,施洪生,亢凯,等. 基于光学法的油液磨粒在线监测系统 [J]. 电子技术应用, 2018, 44 (8): 58-61.
- [3] 杨一晴,马宏伟,樊红卫,等. 煤矿旋转机械在线故障诊断及预警系统设计 [J]. 工矿自动化, 2019, 45 (10): 104-108.
- [4] 孙军,崔楠,张鹏,等. 基于 CRIO 的机床温度数据采集系统设计 [J]. 制造技术与机床, 2018 (9): 81-85.
- [5] 李红斌,王嘉伟. 基于多源信息的数控机床故障诊断系统的设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (18): 78-82.
- [6] 孙抗,刘永超,郭景蝶,等. 基于振动信号的高压断路器在线监测系统 [J]. 传感器与微系统, 2018, 37 (1): 110-113.
- [7] 杨永. 电子回旋共振加热系统中央控制器异常诊断设计与仿真 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (5): 46-50.
- [8] 崔志新,陈学军,沈军. 基于 CAN 和 LabVIEW 的风机在线监测系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2020 (1): 75-78, 82.
- [9] 杨露霞,姚杰,钱依祎. 机泵远程在线监测与智能诊断系统设计 [J]. 自动化仪表, 2019, 40 (7): 29-32.
- [10] 徐元军,高登强,郝林,等. 高度传感器自动测试系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (5): 57-61.
- [11] 宋丹,梁睿君,李伟,等. 数控机床远程智能故障诊断系统设计 [J]. 数据采集与处理, 2020, 35 (1): 177-184.
- [12] 童成文,兰珊,李胜,等. X 线对早发型先天性骨梅毒的诊断价值 [J]. 湖北医药学院学报, 2019, 38 (6): 580-582.
- [13] 吴开武,徐晶,余志强,等. 水电站低频振荡在线监测系统应用研究与实践 [J]. 水电站机电技术, 2019, 42 (12): 57-60.
- [14] 赵国桦,吴亚平,郝惠惠,等. 基于 IPv6 的医学影像在线诊断系统设计 [J]. 计算机应用与软件, 2019, 36 (12): 12-18.
- [15] 陈明,马宏忠,徐艳,等. 基于数据采集卡的变压器有载分接开关监测系统 [J]. 变压器, 2019, 56 (12): 36-40.