

嵌入式系统在数控设备故障诊断系统中的实现

吕善国, 陈红丽

(华东交通大学 信息工程学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 分析传统数控机床故障诊断弊端, 结合现代数控机床的特点, 将嵌入式系统引入到传统的电机故障领域, 并将其作为数控机床一个组成部分, 以改进诊断系统的实用性、结构紧凑性和智能性。

关键词: 数控机床; 故障诊断; 嵌入式系统

中图分类号: TP273

文献标识码: A

随着现代大生产的迅猛发展, 工业机械设备在生产中的作用越来越重要。其结构也变得越来越复杂, 目前的数控设备已发展成为包含多个子系统的复杂系统。由于其结构复杂, 所以一旦发生故障, 原因很难确定, 结果难以及时排除, 往往造成严重的经济损失。如何快速准确的查明故障原因成为急待解决的问题。数控设备故障诊断技术已成为当今科技研究的热点之一^[1]。

数控机床设备故障诊断系统均是建立在通用计算机的基础上, 也就是将采集的信号数据通过串行或并行通信传递到主机, 然后再进行分析处理, 或者是将现场采集的信号通过 Internet 网络传递到远程的故障诊断系统上, 然后通过远程的故障诊断专家系统来判断设备的故障类型, 数控机床的故障诊断系统大多采用由机床、传感器、A/D 采集卡、工业 PC、工业以太网、远程专家组成的诊断模式。在实际应用中使用往往不是非常便利, 随着计算机技术的发展, 小型化和智能化将是数控机床故障诊断系统的发展方向。嵌入式系统, 作为一种专用计算机系统, 以应用为中心, 以计算机技术为基础, 软硬件可裁减, 可适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等的特殊要求。嵌入式系统这些特点正能满足数控机床故障诊断系统的小型化、智能化等要求。基

于 ARM9 处理器, 将嵌入式系统引入到传统的电机故障领域, 并将其作为数控机床一个组成部分, 以改进诊断系统的实用性、结构紧凑性和智能性。

1 数控机床故障诊断特点分析

数控机床作为一种精密加工设备, 其自动化程度日益提高, 相应系统结构的复杂程度也逐渐增加。在实际生产中, 机床的工作环境复杂多变, 使用情况各不相同, 这就使得数控机床故障原因的不确定性明显增加^[2]。

与一般机床相比, 数控机床在故障诊断方面, 有其自身特点。

(1) 故障原因复杂。现代数控机床结构复杂、零部件数量巨大。在结构上, 数控机床一般由数控系统、电路系统、液压系统、车头、砂轮架、床身、工作台、尾架和其他辅助部件组成。故障现象与故障原因之间的对应关系往往不是一一对应, 而且这种复杂程度因机床零部件众多而显得尤为突出。

(2) 诊断知识要求广泛。数控机床涉及计算机控制技术、通信技术、液压技术、机械传动技术等多方面应用技术。在应用现场, 加工工时短、批量大的加工特点也会使得数控机床的故障损失较为严重。

收稿日期: 2008-05-06

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目(2007GZS0886)

作者简介: 吕善国(1976-), 男, 江西都昌人, 实验师, 主要研究方向为人工智能。

数据采集速度要求高,数量大.根据采样定理和工业实际测量要求,一般需要 4~5 倍频率的采样频率读取传感器信号.同时,要求测量的振动位置和方向较多,传感器应用数量大.因此,对于现代数控机床而言,必然提出采样速度和采样通道数量两方面较高的处理要求.

(3) 分析的综合性高.在数控机床中,目前采用的主控系统一般都含有的基本故障诊断功能是有限的.在数控机床这种复杂设备中,存在着大量内部控制系统无法诊断的故障.例如主轴轴承磨损、磨头过磨损、磨头不平衡、主轴轴承与轴颈偏心、油膜振荡等原因引起的不同频谱特性的振动现象,就要借助于机床外围的传感器测量技术加以分析和诊断^[3].因此,故障诊断既要考虑机床内部的状态,又要分析机床的外观特性,综合分析,才能判断故障原因,也就是一个综合诊断过程.这一诊断过程主要包括机床内部的硬件故障、软件故障、编程操作故障诊断以及机床外部的刚度、主轴回转精度、振动、噪声、热变性等诊断.

2 ARM 嵌入式系统性能优势

嵌入式系统,作为一种专用计算机系统,其特点是以应用为中心,以计算机技术为基础,软件硬件可裁剪,以适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等的特殊要求^[4].系统这一特点能满足数控设备的专业化、小型化、智能化等要求.以前,8/16 位单片机的应用曾经非常广泛,但这只是嵌入式系统的初级阶段.现代数控设备对嵌入式设备的运算速度、运算量和网络通讯等方面又提出新的要求.在这些方面,32 位 RISC 芯片显示了明显优越的性能,典型的如 32 位 RISC(reduced instruction set computer)芯片—ARM 处理器.现在,ARM 处理器以其运算快、存储量大、功耗小、成本低、功能强等特点^[5],在 PDA、STB、GPS、发动机控制、网络设备、工业机器人、航空、勘探、测量等产品中正得到日益广泛的应用.目前,在数控机床领域,广泛使用的诊断系统有 8/16 位单片机系统和工业 PC 系统.现将 ARM 系统在满足现代数控机床诊断性能要求方面与这两种常用系统进行简要的比较,如表 1 所示.

由以上性能可以看出,ARM 内核处理器具有高性能、低功耗、低成本、低开发难度等一系列优点,是测控系统由 8 位机升级到 32 位机的理想选择.此外,在满足诊断技术要求的基础上,系统成本仅为相

近功能的 PC 系统的 1/3,而且系统元件集成度高,即可以把目前的电荷放大器等元件通过信号整定电路集成到一块 PCB 板上.由对比分析可见与现有诊断系统相比,ARM 系统具有较高的性价比,ARM 系统较适合作为开发现代数控机床现场诊断的低端实时测控系统平台的硬件基础.

表 1 3 种硬件系统的性能比较表

参数	单片机	ARM 系统	工业 PC 系统
A/D 速度	中低速、单通道	高速、多通道	高速、多通道
运算速度	较慢	较快	快
存储容量	≤2 MB	≥16 MB	≥1 GB
时域性能	简单门限报警	统计、报警、损坏程度分析	统计、报警、损坏程度分析
频域性能	不能	频域转换计算	频域转换计算
接口类型	串口 RS232	串口 RS232、以太网、红外线等	串口 RS232、以太网、红外线等
集成度	低	高	低
成本	0.2	0.3	1.0

注:以工业 PC 系统成本为参考,假定其值为 1.0

3 ARM 诊断系统的设计

3.1 系统硬件结构

本系统由两大部分构成,一是下位机数据采集系统,另外一部分是上位机数据处理系统,下位机是用 16 位 MSP430F149 作为微处理器的数据采集系统,承担多路现场快变或缓变信号的采集,并通过 USB 传给上位机.上位机是选用 Samsung 公司 ARM920T 内核的 S3C2410 芯片作为微处理器的数据处理系统,通过 USB 口接收下位机上传的数据,并承担实时数据处理、快变或者缓变数据的实时动态分析显示及专家系统故障诊断等工作;也可以通过 USB 口或者以太网口上传到 PC 机上进行进一步的故障趋势分析.本系统实际结构就是将模拟信号的采集、AD 转换以及简单的数据处理由下位机实现,以控制系统的硬件规模及能耗,充分利用 MCU 的事务控制能力;将数据的进一步处理、现场需要实时的实现构件、历史数据重现及专家系统放在上位机上实现,以充分利用 ARM9 的处理能力和交互能力.以国产数控车床 TAC-16A 为诊断对象,构建系统硬件结构如图 1 所示.

将 ARM 嵌入式系统与车床绑定,安装在控制柜内,将常用传感器嵌入车床被检测元件或是捆绑安装,使得诊断系统成为车床的固有组成部分.这与现有的 PC 机系统在结构上有着本质的区别,使得现有的外部诊断成为广义的内部诊断,省去了现场

连接、整定等环节,提高了诊断系统的稳定性,实现了系统小型化.对于即发故障,起到现场诊断、远程

传输的作用,对于未发故障,起到预警的作用.

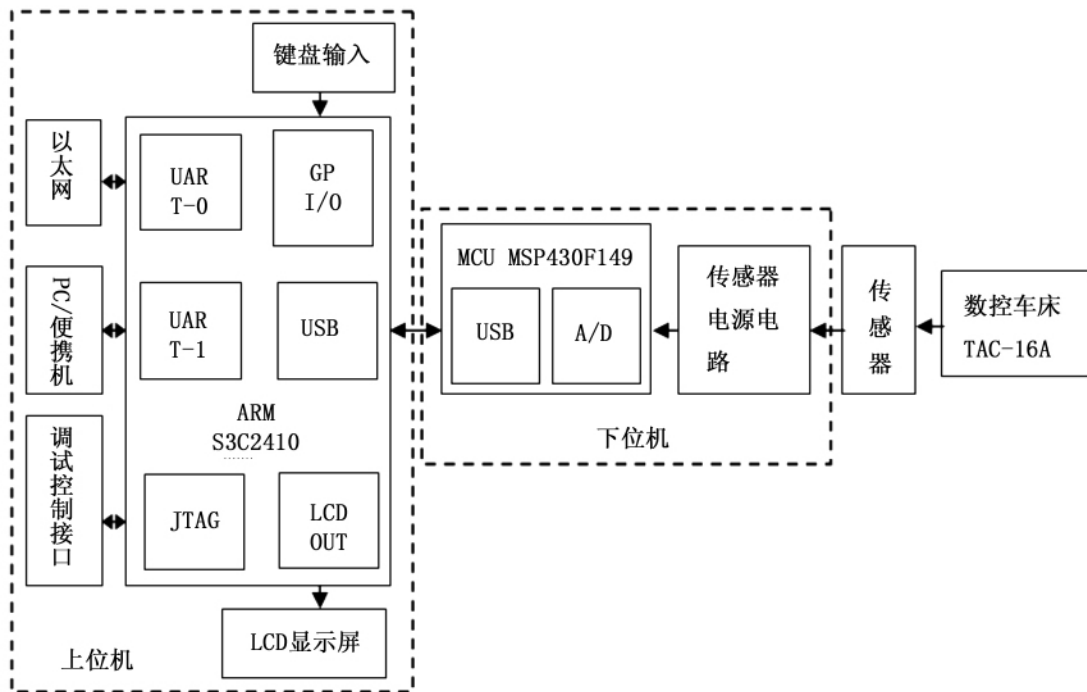


图1 系统硬件结构图

3.2 系统软件设计

为了保证系统功能的前提下,尽量减少系统诊断功耗,采用中断方式完成主要功能.在设计过程中,采用模块化设计方法,对每一中断服务模块进行独立设计,软件结构划分清晰,模块任务明确,保证了设计的合理性和开发效率.在众多实时操作系统中,我们选择了 $\mu C/OS-II$. $\mu C/OS$ 是一个实时操作系统内核,其性能完全可以与商业操作系统竞争.十几年来全世界成千上万的开发者已经成功地将 $\mu C/OS$ 应用于各种系统.由于其具有公开源代码、可移植性强、可固化、可裁减、稳定性和可靠性等特点^[9],所以选择它作为本系统的操作系统.

4 系统实现的关键技术

4.1 诊断模型的建立

诊断模块是整个诊断软件的核心.对于诊断算法设计,根据数控机床故障诊断的特点,不仅要求在时域进行信号采样、处理和诊断,而且要求进行实时地频域转换、处理和诊断.这样,才能根据振动能量谱的分析方法,确定振动能量超标的元、部件的位置,从而确定故障原因.这里采用短时快速傅立叶变换(SFFT),对时域采样数据点进行频域变换,然后确定频域功率谱,进而由各频段能量的参考值确定

故障的位置和程度.

该断模型采用时域发现故障、频域确定原因的原则,进行现场诊断,具体过程如下:

(1) 时域统计计算,比较判断故障.对所采集的时域数据进行统计,确定在绝对值超过正常参考值且超过规定时间的数据段的位置和数值,得出时域故障是否存在和故障损坏程度的结论,然后由频域程序确定故障原因.若无故障发生,考虑到某些频段能量可能的潜在超标问题,仍然进行以下的频域诊断过程,目的是起到故障预警作用.

(2) 时域到频域的SFFT变换,变换过程如图2所示.

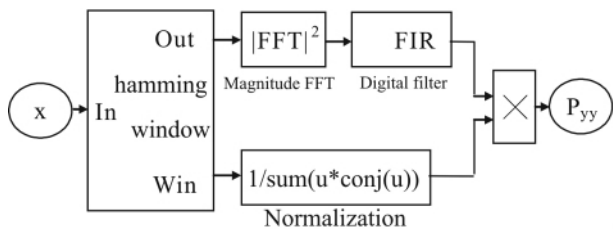


图2 SFFT变换

输入 In 为点数 N 的一段连续的时域采样点数据组成的输入向量

$$X = \{x_i(t)\} \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

经过加窗、FFT、取模的平方、数字滤波^[9]、消窗等步骤,最后得到频域内功率频谱图,输出向量为

$$P_{yy} = \{y_i(f)\} (i=1, 2, \dots, N)$$

其数学表达式为:

$$P_{yy} = DF(\|X \times \text{WIN}(N)\|^2) \times \{\text{WIN}(N) \times \text{conj}[\text{WIN}(N)]\}^{-1}$$

其中 $DF()$ 为数字滤波函数; $\text{WIN}()$ 为 hamming 窗函数; $\text{conj}()$ 为共轭函数。

(3) 频域特征提取. 将检测频率 f 作为基准, 在 $0 \sim 2f$ 内分成 8 个频段, 对每个频段内的能量和功率最大点、归一化数值进行统计计算. 将各变量的正常统计参考值进行比较, 可找出故障原因和故障损坏程度等数据。

(4) 神经网络(NN)综合诊断. 待数据量和故障特征积累到合适的程度, 可以进一步通过神经网络的学习特点, 进行非线性和无明显变量参考情况下的诊断. 该过程需建立在大量数据和案例的基础之上, 才能体现其优越性。

4.2 模型主要参数的选择

(1) SFFT 转换点数 N 的确定. 这里根据公式,

$$N = \frac{f_{\text{sample}}}{\Delta f} \quad (1)$$

其中 f_{sample} 表示信号的采样频率, 单位 Hz; Δf 表示系统要求的频率分辨率, 一般为 1 Hz; N 取大于等于 N 的最小的 2 的整数幂即可。

(2) 频段边界的划分. 由文献 [6] 可以发现, 以往机械设备的故障诊断中, 对于频谱图的频段划分多采用监测频率及其倍频处的功率值作为特征值. 这样, 由于设备的实际转速的波动性而容易造成测量的误差, 特别在干扰很小时, 这样误差将明显增大, 难以获得可靠的频段内的真实数据. 这里, 考虑以上影响因素, 以监测频率 (即设备工作频率) f 为参考, 以主要检测频率 ($0.50f, 1.0f, 1.50f, 2.0f$) 为中心, 将 $0 \sim 2f$ 频率范围划分为 8 个频段: ($0 \sim 0.375f$)、($0.375 \sim 0.625f$)、($0.625 \sim 0.875f$)、($0.875 \sim 1.125f$)、($1.125 \sim 1.375f$)、($1.375 \sim 1.625f$)、($1.625 \sim 1.875f$)、($1.875 \sim 2.125f$), 确保了能量的集中性和数据的有效性。

(3) 诊断模型的验证. 在 MATLAB 环境下, 建立诊断系统的模型, 运行仿真, 并验证 C 语言编程的正确性. 将实际采集的数据保存成 mat 文件, 在 MATLAB 环境中读入数据, 并运行仿真程序, 给出诊断结果. 以此为依据, 结合实际故障情况, 确定诊断有关的参考变量的数值, 验证 ARM 系统运行结果的正确性、稳定性, 并确定优化环节。

(4) 网络实现. TCP/IP 协议栈使得嵌入式系统

可以通过 Internet 将通信距离无限扩展. 这里, 将 ARM 开发板的 UART-0 串口与以太网转换板相连, 实现与工业以太网的连接. 这样, 除了可以充分利用上位 PC 机上各种资源, 完成数据的存储、分析、统计工作外, 还可以实现测控系统间的数据交换, 为智能化、模块化的嵌入式设备集群的实现, 提供了另一种途径。

5 应用实例

首先为验证该采集信号正确与否, 采用 B&K 公司的 PL202 型频谱分析仪对数控车床 TAC-16A 加工状态时的主轴振动情况进行了测试, 结果如图 3 所示; 然后将该系统装在同一车床上, 进行主轴振动测试, 把数字信号在各采样点的值传给 MSP430F149, 经过 SFFT 变换; 最后把处理的结果传给 ARM9, 在 LCD 显示屏上显示, 根据两套系统所采集的信号数据所做出的幅值谱和频谱吻合得很好, 证明系统可以应用于实际。

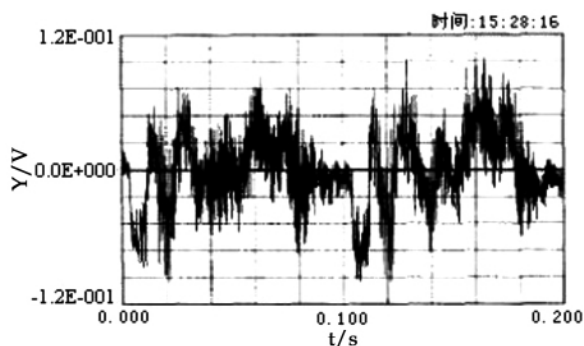


图3 车床主轴振动信号图

6 结论

在数控机床故障诊断领域, 引入 ARM 嵌入式系统, 该系统适合现场检测, 能对数控机床的故障进行预见, 能有效排除故障, 减少经济损失, 同时, 在满足性能要求的基础上, ARM 嵌入式系统成本较低, 具有较高的性价比, 由此将 ARM 嵌入式系统用于数控机床故障检测具有很好的应用前景。

参考文献:

- [1] 黄文虎, 夏松波, 刘瑞岩, 等. 设备故障诊断原理、技术及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [2] Lee Man Hyung. Real time and an in-process measuring system for the grinding process cylindrical workpieces using Kalman filtering [J]. IEEE Transactions on Industrial Elec-

- tronics,2000,47(6):1 326-1 333.
- [6] 陈日暇. 金属切削原理(第2版) [M]. 北京: 机械工业出版社,1993.
- [7] 马忠梅. ARM 嵌入式处理器结构与应用基础 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社,2002.
- [8] Labrosse Jean J,邵贝贝. $\mu C/OS-II$ 源代码公开的实时嵌入式操作系统 [M]. 北京: 中国电力出版社,2001.
- [9] 朱永生,王成栋,张优云. 基于证据加权调整方法的神经网络机器在故障诊断中的应用 [J]. 机械工程学报,2002,38(6):66-71.
- [10] 王田苗. 嵌入式系统设计与实例开发 [M]. 北京: 清华大学出版社,2003.
- [11] 叶敦范,薛国将. 基于嵌入式操作系统的数据采集系统 [J]. 微计算机信息,2007,23(2-4):7,8,82.

The Implementation of Embedded - system in Fault Diagnosis for the NC Machine

LV Shan - guo, CHEN Hong - li

(School of Information Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: After analyzing the problems in the traditional fault diagnosis system of numerical control machine, combining the characteristics of the modern NC machine, the embedded - system, as a part of the NC machine, is introduced into the field of fault diagnosis for the traditional electrical machine. The practicability and the structure compaction and the intelligence of diagnosis system are improved.

Key words: NC machine; fault diagnosis; embedded - system

(责任编辑: 刘棉玲)