

# 基于物联网技术的数控机床 运行监视预警系统研究\*

王国强<sup>1</sup>, 张根保<sup>2</sup>, 陈家焱<sup>1</sup>, 洪涛<sup>1</sup>

(1. 中国计量学院 质量与安全工程学院, 杭州 310018; 2. 重庆大学 先进制造技术实验室 机械工程学院, 重庆 400030)

**摘要:** 在分析目前数控机床可靠性监控局限性的基础上, 将一种新的方法——物联网技术引入到数控机床可靠性监控研究中, 建立了基于物联网的数控机床运行监视预警系统的体系结构。介绍了系统硬件和软件的组成, 详细阐述了系统硬件的设计过程, 并建立了硬件各组成部分的电路; 对系统软件各部分的功能及使用技术进行了介绍, 研究了系统的实现方法并开发出原型系统。系统的开发与应用表明, 该方案是解决数控机床的可靠性监控问题的一种有效手段。

**关键词:** 物联网; 数控机床; 可靠性; 体系结构

**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)12-3682-04

**doi:**10.3969/j.issn.1001-3695.2013.12.042

## Research of running maintenance-alarm system of NC machine based on Internet of things technology

WANG Guo-qiang<sup>1</sup>, ZHANG Gen-bao<sup>2</sup>, CHEN Jia-yan<sup>1</sup>, HONG Tao<sup>1</sup>

(1. College of Quality & Safety Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China; 2. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Based on analysis of the current limitations of reliability maintenance-alarm of NC Machine, this paper analyzed a new method based on information technology-application of Internet of things technology in reliability maintenance-alarm. It introduced the structure of hardware and software of system, expatiated processes of design of hardware particular, founded hardware circuit of part of system. It introduced the function and technology of software, researched the method of implement of system, exploited the archetype system. The developed system and its application demonstrate that the method is a good solution to the of NC machine.

**Key words:** Internet of things; NC machine; reliability; architecture

## 0 引言

数控机床是一类异常复杂的机电一体化高科技产品, 是装备制造业的“工作母机”, 是振兴制造产业的关键设备。在数控机床的众多指标中, 用户对数控机床的可靠性指标的要求极高。目前国产高档数控机床在可靠性上与西方国家还有较大差距, 且被西方国家将其列为战略物资, 对我国实行严格的禁运政策。如果数控机床不可靠, 高性能不能维持, 则会失去其可用性。因此, 可靠性技术已成为我国数控机床发展的瓶颈, 提高国产数控机床的可靠性水平已成为行业的一致呼声<sup>[1,2]</sup>。数控机床可靠性不高的原因大多数源于设计和装配阶段, 但是运行过程好与坏是数控机床的可靠性最直接的反映, 因此要提高可靠性, 必须对数控机床加工时的可靠性进行控制。从

2008年起, 我国已成为金属切削机床第一生产国, 并连续八年成为世界第一机床消费大国。而现有的维修人员已无法满足数控机床定期检验需求, 由于使用不当或保养不及时造成的故障时有发生。再加上现有监管体制尚不健全, 管理维护的水平也有欠缺, 如何能保证机床使用过程的可靠性, 最大限度减少损失, 已经成为企业管理者工作的关键。传统的机床管理维护方式已远远不能适应当前形势需要, 将新兴物联网技术应用于机床运行监控, 实现机床运行监控管理自动化、信息化势在必行。为此, 本文拟开发基于物联网技术的数控机床运行监视预警系统。

物联网(Internet of things)<sup>[3,4]</sup>是通过红外感应器、射频识别(RFID)和全球定位系统等信息传感设备, 按约定的协议把任何物品与互联网相连接而成, 并在新网络中进行信息交换和

**收稿日期:** 2013-04-25; **修回日期:** 2013-06-02 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(51305418, 51175527, 50835008); 浙江省自然科学基金资助项目(LQ12E05019); 国家质检公益类资助项目(20120101); 国家科技重大专项基金资助项目(2010ZX04014-015, 2011ZX04003-031, 2012ZX04011-031)

**作者简介:** 王国强(1979-), 男, 山西新绛人, 讲师, 博士, 主要研究方向为设备可靠性、产品质量工程和企业质量信息化(wgq@cjl. edu. cn); 张根保(1953-), 男, 山西新绛人, 教授, 博导, 主要研究方向为质量管理、企业信息化、零传动机床、面向成本的设计等; 陈家焱(1979-), 男, 江苏宿迁人, 讲师, 博士, 主要研究方向为产品振动控制等; 洪涛(1970-), 男, 陕西安康人, 实验室主任, 副教授, 主要研究方向为产品质量控制、在线监控仪器。

通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。

基于物联网技术的数控机床运行监视预警系统是通过数控机床运行中的各种动态参数进行实时采集,并通过无线网络方式传输至信息系统,完成对数据的实时显示和处理,并将处理结果反馈给生产厂家、用户和政府管理部门,从而实现对机床的实时监控和预警。建立机床安全监控系统,首先可实现故障预警和报警,降低机床故障发生率,提高故障机床的修复速度;其次可实时获得机床运行可靠性数据,同时对机床实时可靠性水平进行准确的评估提供了数据和技术保证。

## 1 系统体系结构

### 1.1 系统概述

数控机床运行监视预警系统主要是对数控机床的运行情况、加工过程的参数以及影响数控机床运行可靠性的各种参数进行实时检测,并将这些检测参数通过无线传输技术传输至后台信息管理系统,由信息管理系统对数控机床运行过程的状态和维护情况进行协调统一的管理。其中:数控机床的运行情况包括数控机床的开机时间、加工时间、维修时间、维护时间、关机时间、故障时间等;加工过程的参数包括加工时的进给量、主轴转数等;影响数控机床运行可靠性的各种参数包括主轴温度、液压油温度、切削液温度、系统压力、回油压力、平衡压力、液压油颗粒、电源电压、气源湿度、环境温湿度等。

### 1.2 系统体系结构

数控机床运行监视预警系统由数控机床识别、数据传输和运行监控系统应用三层组成,其系统体系结构如图 1 所示。

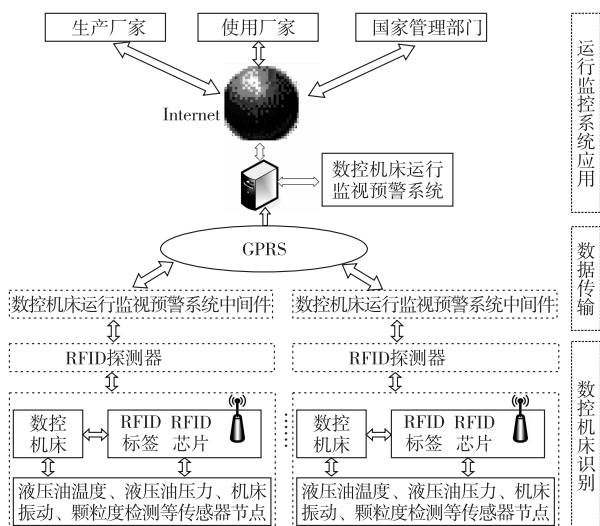


图1 数控机床运行监视预警系统体系结构

数控机床识别层也称为感知层,其核心是数控机床的编码、识别以及各种参数的获取。该层由安装在数控机床各功能部件上的各类传感器、RFID 标签以及 RFID 探测器组成。影响数控机床运行可靠性的各种参数由安装在数控机床各功能部件上的各类传感器采集,采集过程中,传感器信号与数控系统的运行信号互相独立,避免影响;数控机床的运行情况和加工过程的参数由二次开发的数控系统实时采集,并由数控系统参数采集电路进行实时传输。RFID 标签与数控机床一一对应,具有全球唯一的编码。RFID 探测器为在数控机床运行现场布置的 RFID 检测点,它们可以在 24 h 内不间断地向数据传

输层传输信息,这些信息为数控机床的运行监控提供支持。

数据传输层即网络层,主要由系统中间件和通用无线分组业务(general packet radio service, GPRS)部分组成。数控机床运行监视预警系统中间件是一个程序,主要实现 RFID 硬件设备与运行监视预警系统之间的数据传输、过滤、数据格式转换等功能,其基本结构如图 2 所示,主要将数控机床识别层传来的各类信息进行初步整理。该层主要是通过通用无线分组业务技术将数据传输到应用层平台,利用互联网络实现各相关方的管理维护。

监控系统应用层即应用层,该应用层主要实现数控机床的运行监控、实时报警及数据处理功能。其任务之一是接收来自各机床用户厂家的实时数据;任务二是对数控机床运行过程中的各种数据进行分析处理,以便判断数控机床实时运行是否可靠并得到可靠性的各种指标;任务三是将这些分析结果分别反馈给不同的用户,使得相应人员采取不同方法控制数控机床运行过程使其处于受控状态。

数控机床运行监视预警系统主要由硬件和软件构成。硬件部分包括汇聚站点设计;它包括监测终端和 RFID 电子标签设计,软件部分是运行监视预警系统设计,它由基本信息管理模块、数据分析模块和监控模块三大模块组成。

## 2 系统硬件实现

数控机床运行监视预警系统硬件部分由传感器数据与数控系统交互电路、传感器与 RFID 交互电路、总控制电路、GPRS 通信电路、RFID 电子标签和电源构成,如图 3 所示。硬件电路能实时采集各类信息,对数控机床运行状态实现不间断监控,对出现的安全隐患及时报警。限于文章篇幅,对系统硬件的实现不是每个都详细阐述,只选其中重要的进行详细阐述。

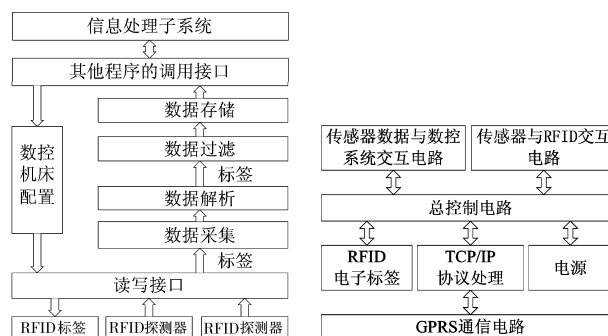


图2 数控机床运行监视预警系统中间件基本结构

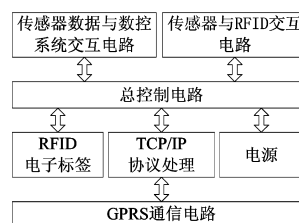


图3 系统硬件功能结构

### 2.1 总控制电路

数控机床运行监视预警系统需要监控的参数有多个,这些参数又分属不同的传感器或数控系统部分,这些数据要传入硬件系统就必须与多个 I/O 接口相连接,同时为给系统后续升级留下一定的裕度,本文系统的总控制电路选用的处理器是 STM32F103。STM32F103 属于中等容量增强型单片机,32 位,基于 ARM 核心的带 64 KB 或者 128 KB 闪存的微控制器 USB,使用了 ARM32 位的 Cortex-M3 内核,工作频率为 72 MHz,具有丰富的增强 I/O 端口,其内部包含 2 个 12 位的 ADC 和 9 个通信接口。该处理器完全满足系统的设计。

### 2.2 传感器数据与数控系统交互电路

传感器数据采集电路主要完成对影响数控机床运行可靠

性的各种参数的采集,在采集模块设计中,首先需对传感器传递过来的信号进行信号调理,使之变换成为合适的电压信号,对于其中一些强电信号还需要进行光耦隔离电路设计,以提高系统的抗干扰性,电路设计如图4所示。

模拟量输入模块(1)安装在西门子 PLC 的机架上,其工作电源(L+,M)接入 PLC 电源模块(11);对于两线制传感器(2,3,4,5,6,7,8),其正极接入模拟量输入模块通道的正极(M\*+),负极接入模拟量输入模块通道的负极(M\*-);对于四线制传感器(9,10,12),除了与模拟量输入模块连接外,还要将工作电源输入端接入外接电源(13)的输出端,同时将模拟量输入模块的 COMP 端和 MANA 端接入模块负极;对于电压传感器(9)的检测信号输入端分别接入动力电源的 A 相、B 相和 C 相。

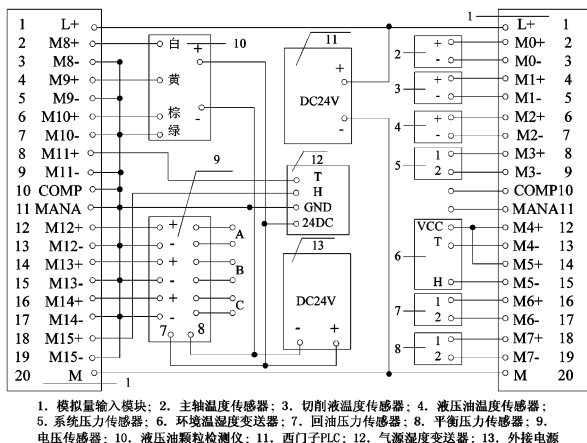


图4 传感器数据与数控系统交互电路

## 2.3 传感器与 RFID 交互电路

无线传感网络节点和 RFID 识别器交互模块是由无线传感器网络节点和 RFID 识读器组成。其中无线传感器节点包含各种传感器,一个数据处理单元即单片机、存储器、天线、无线射频模块和供电单元五个部分,RFID 识读器由单片机、无线射频模块、天线、串口接口模块和供电单元组成。

## 2.4 GPRS 通信电路

数控机床中密布的各类传感器和数控系统二次开发获取的各种参数需要不断地传输给后台数控机床运行监视预警信息系统,由于数据较多且是不断更新,因此,就需要较快的传输速度。GPRS 是以封包(packet)式来传输的,且传输速率可提升至 56 Kbps 甚至 114 Kbps;同时用户在数据通信过程并不固定占用无线信道,因此对信道资源能够更合理地应用;再者,TCP 和 IP 协议与 GPRS 实现了无缝对接,因此,本文硬件通信系统选用了支持 GPRS 的 SIM900A 器件。SIM900A 模块是一款尺寸紧凑的 GSM/GPRS 模块,采用 SMT 封装,基于 STE 的单芯片,采用工业标准接口,工作频率为 GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz。SIM900A 采用省电技术设计,扩展的 TCP/IP 命令让用户使用 TCP/IP 协议更容易,其性能稳定,非常适合本文系统硬件的要求。图5为本文系统的 GPRS 电路图。

## 2.5 RFID 电子标签和电源

RFID<sup>[3,4]</sup>,即无线射频识别技术,由标签、天线和阅读器三个部分组成。当标签进入天线的工作范围内,就可以接收到从阅读器发出的射频信号,标签内内置的射频耦合元件凭借感应电流激活内置芯片,最后将存储在芯片内的编码信息以射频信

号的形式发回给阅读器,实现对电子标签的读写操作。具体组成如图6所示。

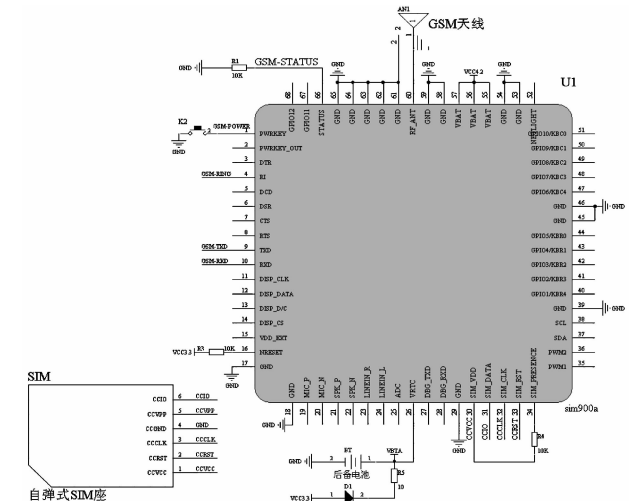


图5 GPRS 电路图

本文硬件系统采用奥地利 Micro Systems 公司生产的射频标签读写芯片 AS3991。AS3991 芯片是一款用于超高频的 RFID 读写器专用芯片,是一个综合模拟前端和协议处理的系统,完全支持 ISO18000-6C(EPC Gen2)空中接口协议,兼容 ISO18000-6A/B 协议。该芯片集成度高,采用了 64 脚的 QFN 封装形式,具有并行和串行两种数据接口方式。

## 3 系统软件实现

系统软件包括登录信息模块、基本信息模块、数控机床运行信息模块、数控机床维修保养模块、数控机床运行监控模块和数据处理模块,如图7所示。

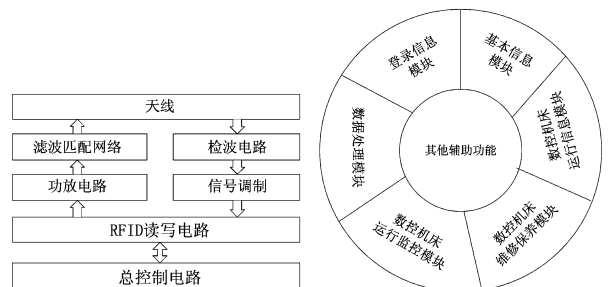


图7 数控机床运行监视预警系统软件功能模块图

### 3.1 登录信息

登录信息,即软件使用用户管理模块。用户包括生产厂家、用户厂家和国家管理部门,针对不同使用人员赋予不同的权限,显示用户的基本信息,如用户名称、密码等,也可对用户信息进行添加、修改、删除等操作,可设置用户的使用权限,并且提供了分级查看、分权查看等使用模式,只有具备相应权限的用户才可以查看符合其权限的信息。

### 3.2 基本信息模块

该模块是软件系统的基础,包括数控机床的统一编码、基本信息、用户厂家信息。数控机床编码主要采用原有标签附加 NSI 标签标志的编码技术,主要由承载 NSI 信息的条码、Ecode 的 LOGO 和 NSI 的十六制信息共三部分组成,如图8所示。该编码不仅实现了物联网中的一码一物,还有利于对物联网中每个物品的管理,同时实现了对物品的实时追踪的功能;基本信

息包括数控机床型号、生产厂家、数控系统、轴数、联动情况、耗电量等;用户厂家信息包括用户厂家名称、单位地址、操作人员信息等。



图8 数控机床编码结构图

### 3.3 数控机床运行信息模块

该模块主要实现数控机床的运行情况数据的收集存储和统计分析。这些数据主要包括数控机床的开机时间、加工时间、维修时间、维护时间、关机时间、故障时间等,是实现数控机床可靠性评估的基础。系统采用文献[5~7]所述评估方法对这些数据进行处理,得到数控机床的各种可靠性指标。由于数据是不断更新的,所以本文系统所得到的可靠性指标也不断更新,随着数据的不断增多,所得结果也越来越准确,实现了数控机床可靠性指标的实时评价。

### 3.4 数控机床维修保养模块

数控机床的各个零部件都需要定期维修保养,然而事实上许多用户忽略了机床维修保养的重要性,使得机床由于维修保养不良而引发大大小小的故障<sup>[8,9]</sup>。该模块通过对数控系统的二次开发,构建了维修保养监控系统,对维修保养项目进行全程实时监控,将检测到需要维修保养的项目显示在维修保养界面上。只有用户对所有维修保养项目(包括:液压油液位、润滑油油位、空调通风口、整机、油冷机温度、液压表压力、润滑油压力、气动系统压力、液压泄漏、切削清洗和清扫卫生等)进行维修保养活动后,数控机床才能继续正常运行。具体实现内容如图9所示。

### 3.5 数控机床运行监控模块

该模块实现了对加工过程参数和影响数控机床运行可靠性的各种参数的实时监控,并对这些参数进行判断,判断是否超过预先设置的界限,如果超过,则证明数控机床运行过程处于非可靠状态,此时就将该信息分别发送给相关单位和人员。并以语言形式提示给值班人员。如图10所示:在运行条件监控界面中显示所有监测项信息,如主轴温度为11.60℃,环境湿度为53.27%RH;在界面上方显示报警信息,如系统压力此时为0Mpa,系统显示报警700049,系统压力过低;在界面正文可以点击Horizontal softkey-text对应的水平按钮,进入相应界面,如点击环境可以查看环境湿度报警记录。

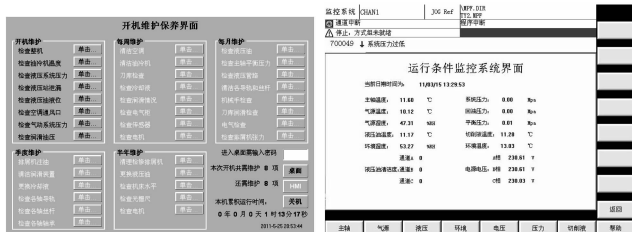


图9 开机维修保养界面



图10 运行条件监控系统界面

### 3.6 数据处理模块

该模块主要实现系统涉及的所有数据的存储、查询、修改、删除等操作。

## 4 系统实现

### 4.1 实现技术

该系统的开发环境主要包括网络结构、操作系统和开发平台几个方面,综合考虑了系统的功能需求及开发特点,其具体开发环境如下:

a)该系统以Internet为硬件环境。

b)B/S结构可以很好地实现数据服务和实用程序的共享,而且系统易扩充、很灵活,简化了该系统的开发,B/S结构满足了系统需求,系统将采用B/S开发模式。

c)Java语言的“一次编程,到处可用”的特点使其成为网络环境下编程的最佳选择,具有高度的可移植性、稳定性和安全性等优点,这些使它一经推出就获得了广泛的支持,所以选择Java作为本系统的开发语言,利用Eclipse开发工具实施。

d)客户端采用Windows 2000操作系统,数据库服务器和Web服务器端选用Windows 2000 Server操作系统。

该原型系统以开放性、可拓展性和可移植性为目标进行了开发,实现了预定功能。

### 4.2 应用实例

利用上述开发的数控机床运行监视预警系统,对国内某机床企业进行了实际试用。试用过程中,系统实现了该企业的数控机床的实时监控,主要包括:a)实现了机床用户厂家的加工数据和运行数据的实时收集;b)实现了数控机床可靠性指标的不断更新;c)实现了数控机床运行过程中的强制性维护;d)实现了数控机床运行过程的实时监控。

## 5 结束语

本文详细地介绍了在国家自然科学基金资助下所开发的原型系统,该原型系统以物联网技术为工具,以开放性和可拓展性为目标进行了开发,同时在系统中第一次应用了新的编码方法,系统应用结果表明该系统为数控机床企业的信息化管理,提供了一个可行的解决方案和途径,对提高国产数控机床的可靠性有积极的现实意义。

### 参考文献:

- [1] 贾亚洲,杨兆军. 数控机床可靠性国内外现状与技术发展策略[J]. 中国制造业信息化:学术版,2008(8):35-37.
- [2] 贾亚洲. 可靠性向国产数控装备提出挑战[J]. 机电国际市场,2001(4):14-16.
- [3] 张峰,张晓鹏,吴商成. 基于物联网的机场集成行李处理系统及其应用研究[J]. 计算机应用研究,2010,27(10):3771-3774,3778.
- [4] 黄冬梅,方的苟,张明华,等. 物联网技术在救灾物资配送管理系统中的应用[J]. 计算机应用研究,2011,28(1):189-191.
- [5] 杨建国,王智明,王国强,等. 数控机床可靠性指标的似然比检验区间估计[J]. 机械工程学报,2012,48(2):9-15,22.
- [6] 王智明,杨建国,王国强,等. 多台数控机床的时间截尾可靠性评估[J]. 哈尔滨工业大学学报,2011,43(3):85-89.
- [7] 王智明,杨建国,王国强,等. 多台数控机床最小维修的可靠性评估[J]. 哈尔滨工业大学学报,2011,43(7):127-130.
- [8] 唐贤进. 数控机床运行可靠性控制技术[D]. 重庆:重庆大学,2011.
- [9] 张根保,唐贤进,崔有志. 数控机床功能部件可靠度建模与维护预警系统开发[J]. 计算机应用研究,2011,28(8):2946-2948.