

文章编号:1671-251X(2013)12-0103-04 DOI:

刘朴,付胜. 嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统设计[J]. 工矿自动化,2013,39(12):103-106.

# 嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统设计

刘朴, 付胜

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100124)

**摘要:**针对现有的矿井通风机在线监测与预警系统存在体积大、维护成本高,采用 Windows 操作系统缺乏专用性、易误操作等问题,设计了一种嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统。通风机和电动机的振动、温度、负压、电压和电流等监测量由对应的传感器和智能仪表传入到 PLC 数据采集系统,PLC 数据采集系统将数据送入以太网模块,系统通过协议解析得到相应数据,显示在嵌入式设备上,并进行实时诊断和故障报警;带有 RS485 通信接口的振动传感器、温度巡检仪、智能电表,通过 ModBus 协议将采集的数据传送给嵌入式总线模块,实现监测与诊断功能。测试结果表明,该系统满足矿井通风机在线监测的各项技术指标,同时实现了监测设备的小型化和多样化。

**关键词:**矿井通风机;嵌入式系统;在线监测;故障诊断

中图分类号:TD635 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of embedded online monitoring and fault diagnosis system of mine ventilator

LIU Pu, FU Sheng

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology,  
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** In view of problems of big volume, high maintenance cost, lacking specificity and easy to error operation by use of Window operating system in current online monitoring and pre-warning system of mine ventilator, an embedded online monitoring and fault diagnosis system of mine ventilator was designed. Monitored quantities such as vibration, temperature, negative pressure, voltage and current of ventilator and motor are sent to PLC data collection system through corresponding sensors and intelligent instruments, and the PLC data collection system sends data to Ethernet module. The system can get the corresponding data through protocol analysis, display the data on embedded device and make real-time diagnosis and fault alarming. Vibration sensor, temperature patrol instrument and intelligent electric meter with RS485 communication interface send collected data to embedded bus module through ModBus protocol to realize monitoring and diagnosis functions. Test result shows that the system meets each technical index of online monitoring of mine ventilator and realizes miniaturization and diversification of monitoring device.

**Key words:** mine ventilator; embedded system; online monitoring; fault diagnosis

## 0 引言

现有的矿井通风机在线监测与预警系统主要采

用 PLC 和工控机通过 TCP/IP 通信协议传输给软件系统,软件系统平台一般是 WinCC、组态王 KingView、InTouch、ForceControl 等工业化组态软

收稿日期:2013-08-14。

基金项目:北京市教育委员会资助项目(KM20081005008)。

作者简介:刘朴(1987—),男,河北石家庄人,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式系统设计,E-mail:parks324@163.com。

件<sup>[1]</sup>。这种技术方案基本满足通风机状态监测的实时性要求,但缺点是体积大、安装调试复杂、后期维护成本高;采用 Windows 操作系统缺乏专用性、易误操作、不稳定因素多。鉴此,笔者开发了一种嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统。

## 1 系统整体结构

嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统结构如图 1 所示。该系统提供 2 种方式实现数据采集:采用以太网采集数据时,通风机和电动机的振动、温度、负压、电压和电流等监测量由对应的传感器和智能仪表传入到现场 PLC 数据采集系统,PLC 数据采集系统将数据送入以太网模块,系统通过协议解析得到相应数据,显示在嵌入式设备上,并进行实时诊断和故障报警;采用 RS485 总线采集数据时,带有通信接口的振动传感器、温度巡检仪、智能电表等智能仪表,通过 ModBus 协议将数据传送给嵌入式总线模块,实现监测与诊断功能。

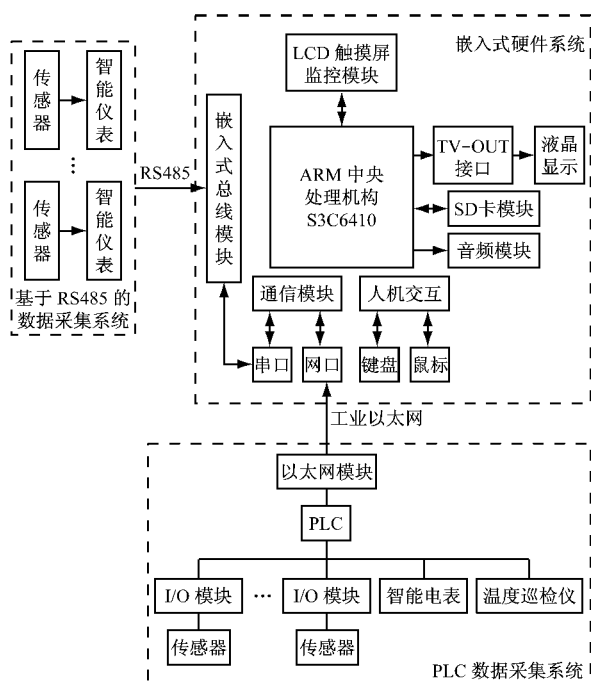


图1 嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统结构

## 2 系统硬件设计

嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统采用分层控制结构,包含现场信号采集机构、中央处理机构和显示与诊断机构。显示与诊断机构又包含一般嵌入式系统的底层硬件层、系统引导层、系统内核层及监测与诊断层(UI层)。

通风机监测的主要参数是通风机和电动机的定

子、轴承的温度,电动机的电压、电流,通风机的振动幅值,风道内  $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$  气体体积分数及负压等。信号采集针对 2 套通风系统(即 2 台通风机和 2 台电动机)。正常工作情况下,保持一套通风系统正常运转,另一套通风系统处于备用状态。现场信号采集采用 RS485 通信方式和工业以太网通信方式实现。

### 2.1 RS485 通信方式

采用 RS485 通信方式的数据采集系统主要通过带有 RS485 通信接口的智能仪表和传感器配合来完成,RS485 总线通信规约为 ModBus 通信协议<sup>[2]</sup>,其硬件结构如图 2 所示。

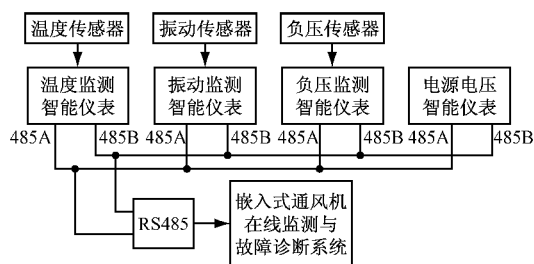


图2 采用 RS485 通信方式的数据采集系统硬件结构

### 2.2 工业以太网通信方式

采用工业以太网通信方式的数据采集系统由现场设备和传感器组成,现场设备全部安装在监控柜中,传感器布置在通风机的各个监控点。如图 3 所示,每个分站均有 1 个 PLC 和若干个 I/O 模块、传感器。I/O 模块接入本地 PLC 控制器,现场传感器采集的数据通过 I/O 模块存储于 PLC 中,PLC 接入以太网模块,所有的监测数据可进入环网进行远程传输。

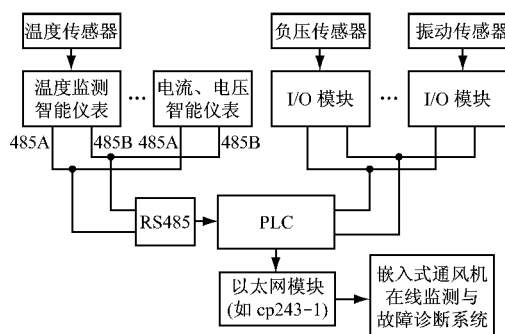


图3 采用工业以太网通信方式的数据采集系统硬件结构

## 3 系统软件设计

### 3.1 底层软件设计

嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统软件采用上位机/目标机的开发模式。为保证嵌入式系统应用程序图形监控诊断界面正常运行,需要 Linux 操作系统内核和文件系统及设备驱动程序的

支持,系统内核和文件系统都需要底层引导即 BootLoader(引导装载程序),因此,嵌入式 Linux 系统软件分为 5 个层次<sup>[3-5]</sup>,如图 4 所示。

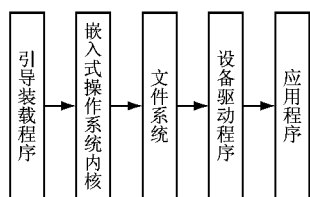


图 4 嵌入式 Linux 系统软件结构

(1) 引导装载程序(BootLoader)。它是系统上电启动所执行的第一段代码,是操作系统和硬件的枢纽,负责初始化硬件,从而引导操作系统内核,获取各种系统参数给内核使用,是保证系统正常运行的第一步。

系统实现过程中,BootLoader 的移植采用 U-Boot 2.0.1,修改 U-Boot 顶层 Makefile 文件,设置 U-Boot 中与硬件相关的初始化,如针对不同 Flash 启动的修改,支持 S3C6410 内核启动参数的设置;移植 U-Boot 的最后一步就是实现与硬件相关驱动,包括串口驱动、网卡驱动及 Flash 驱动和 SD 卡驱动,并设置串口参数,波特率为 115 200 bit/s。

(2) 嵌入式操作系统内核(Operation System Kernel)。它是嵌入式 Linux 系统的核心部分,主要负责管理系统进程、内存、设备驱动程序、文件系统、网络系统等任务。

Linux 内核的移植过程就是针对内核的配置与裁剪,裁剪掉不必要的文件和目录,得到一个最简单而又能够满足开发的操作系统。

(3) 文件系统(File System)。它是构成嵌入式操作系统所有数据的基础,包括文件和目录,是嵌入式系统最重要的资源。

系统选用的是 MLC Nand Flash(简称 MLC2)文件系统,其格式为 UBIFS。在 Linux 主机下,使用 BusyBox 构建根文件系统,并利用 MKTools 工具制作成适合某种 Nand Flash 型号使用的文件格式。需要注意的是在构建文件系统过程中,需要加入 glibc 库。glibc 库是 Linux 系统底层的 API,是应用程序运行的基础。

(4) 设备驱动程序(Device Driver)。Linux 操作系统通过设备驱动程序完成对硬件的操作、数据读取等。

(5) 应用程序(Application)。它用于实现系统设计的最终目的,解析 TCP/IP 和 ModBus 协议,显示通风机状态参量,并提取特征信号进行故障诊断

分析。

### 3.2 应用程序设计

嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统人机界面基于 Qt 图形界面库开发,采用 QtE 4.7.2 版本,可针对不同的开发应用环境进行编译<sup>[6-8]</sup>。

#### 3.2.1 通风机状态监测

通风机状态监测包括通风机运行状态模拟显示界面、趋势曲线、报警监视界面、实时参数表格、RS485 参数和网络配置界面等。

#### 3.2.2 通风机故障预警与诊断

在嵌入式系统上实现故障诊断,要根据嵌入式系统资源相对有限的特点,选择运算简便、对嵌入式系统稳定性影响小、结果准确、可靠的算法。本系统采用一种基于神经网络和 D-S 证据理论的信息融合技术,实现对通风机的故障预警和诊断<sup>[9-10]</sup>。

(1) 信号特征提取。信号处理过程中,对于温度、风量和负压等信号进行简单的平滑处理,而对于振动信号,除振动值大小和方向外,利用小波分析将非平稳的振动信号分解在不同的频段内,根据 Parseval 积分恒等式提取出各频段内的能量构造特征向量(不同故障状态所对应的能量特征不同)。

(2) 子神经网络构建。诊断网络划分为通风机和电动机 2 个部分,信号由信息分配网络完成定位。每个诊断网络均由 NN1 和 NN2 两个子神经网络组成,NN1 以振动信号小波频带分解能量为特征向量,共有 8 路输入,10 种故障诊断,如图 5 所示;NN2 则以温度变化率、振动方向、振动烈度为输入,5 种故障诊断,如图 6 所示。NN1 以时频信号为输入,NN2 以时域信号为输入,并完成故障定位。NN1 和 NN2 的输出包含故障的基本概率分配。

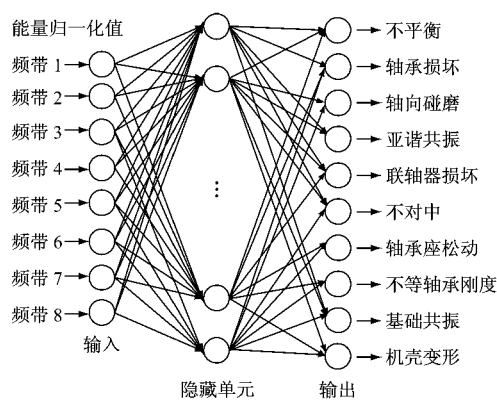


图 5 NN1 结构流程

(3) 通风机和电动机诊断模型。通风机诊断模型经过 NN1 得到一个 10 维输出向量,经过 NN2 得到一个 6 维向量,两者在融合决策网络内进行融合,

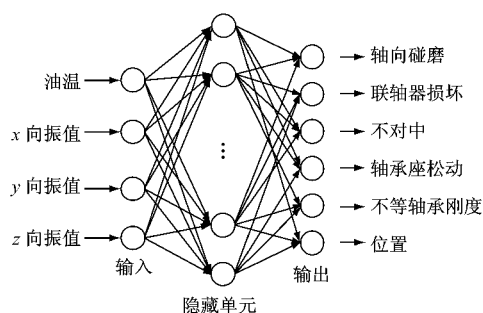


图6 NN2 结构流程

给出融合诊断结果。通风机诊断模型的流程如图7所示。

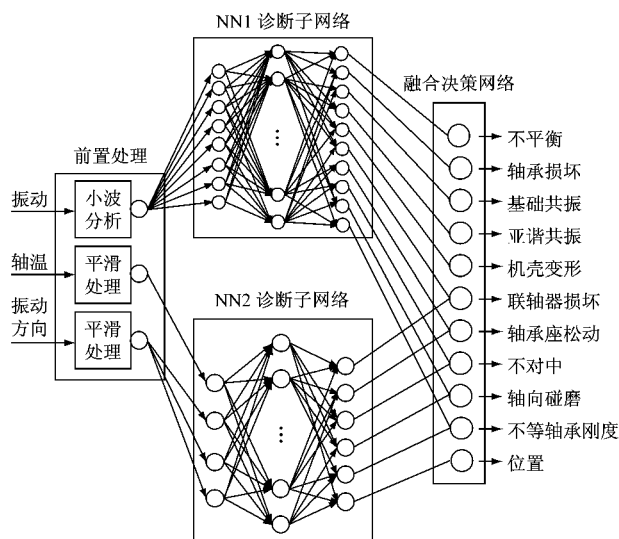


图7 通风机诊断模型的流程

电动机诊断模型与通风机诊断模型类似,这里不再赘述。将通风机和电动机的子神经网络合并,两者在融合决策网络内进行融合,输出结论,这种处理不仅减少了计算量,适合嵌入式设备,同时也保证了神经网络系统具有较强的鲁棒性。

嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统是基于C++实现的,工作模式分为监测状态、诊断状态和预警状态3种。正常工作状态下,系统软件处于监测状态。经实验测试,采用RS485通信方式时,系统每100 ms采集1次数据,能够实时响应并显示数据,符合通风机在线监控要求的实时性;采用工业以太网通信方式时,系统采样间隔最快可达50 ms。在实际应用中,通风机的各种监测参数均有一定的限值,系统以监测参数的限值作为故障诊断系统开启的标识,当参数发生异常时,系统立刻给

出报警,并自动开启故障诊断状态,由于嵌入式系统的运算速度较低,保存采集的数据后,系统将退出监测状态,诊断完毕再自动开启监测状态;同时设置系统每隔1 h诊断1次,根据诊断结果系统自动报警,同时进入预警状态。在预警状态下,系统驱动音频和显示来提醒操作人员,同时提示报警出现的位置,给出维护建议,并将报警记录备份到SD卡。

#### 4 结语

嵌入式矿井通风机在线监测与故障诊断系统能够对电动机和通风机轴承和定子的温度、振动、电量参数及通风机的风量和负压等参数进行监测,设备运行出现异常后,即自动进行诊断,并及时给出诊断结果和维护建议。经测试,该系统满足矿井通风机在线监测的各项技术指标,同时实现了监测设备的小型化和多样化。该系统既可以单独用来实现监测和传输,又可以融入现有的工业控制网络中替代工控机的位置,具有一定的开放性。

#### 参考文献:

- [1] 付胜,朱全.煤矿主通风机运行状态远程监测与故障预警的研究[J].中国煤炭,2008,34(4):44-46.
- [2] 张洋,姜楠.基于485总线的嵌入式Web远程监控系统研究[J].机械设计与制造,2006(12):148-150.
- [3] 李庆诚,刘嘉欣,张金.嵌入式系统原理[M].北京:北京航空航天大学出版社,2007:26-33.
- [4] 张大波,吴迪,郝军,等.嵌入式系统原理、设计与应用[M].北京:机械工业出版社,2004:42-45.
- [5] 王旭峰.基于嵌入式技术的风机运行状态在线监测系统开发[D].北京:北京工业大学,2012:31-55.
- [6] 孙弋,卢建军,高理,等.基于S3C2440的嵌入式Linux开发实例[M].西安:西安电子科技大学出版社,2010:1-14.
- [7] 孙高鑫.基于Linux QT/E的工业温控仪HMI的设计与实现[D].上海:上海交通大学,2010.
- [8] 丁林松,黄丽琴.Qt4图形设计与嵌入式开发[M].北京:人民邮电出版社,2009.
- [9] 朱全,付胜.基于小波包和神经网络的矿用通风机故障预警研究[J].中国矿业,2008,17(3):51-54.
- [10] 付胜,李海涛,朱全.矿用主通风机故障预警及其软件开发[J].北京工业大学学报,2007,33(8):809-812.