

文章编号: 1005-8451 (2009) 10-0035-04

基于嵌入式技术的机车轴承故障在线监测系统设计

智 鹏¹, 邱海波², 张宏林²

(1. 中国铁道科学研究院 电子技术研究所, 北京 100081;

2. 兰州交通大学 机电技术研究所, 兰州 730070)

摘 要: 从机车安全运行角度出发, 分析现有机车轴承故障诊断系统中存在的弊端, 介绍机车轴承故障在线监测系统的工作原理和主要构成, 论述系统的软硬件设计, 系统的数据采集与数据处理2大模块的设计, 系统采用数据融合技术对多传感器采集的数据进行实时处理, 在硬件装置的基础上移植 $\mu C/OS-II$ 实时操作系统, 并由应用软件完成机车的 CAN 总线通信, GPRS 通信, 车载显示, 语音报警等功能。该系统经过半年多的实际运行, 结果表明该系统结构设计合理, 实用性强。

关键词: 机车轴承; 嵌入式技术; 多传感器融合; $\mu C/OS-II$; CAN 总线

中图分类号: U264.55 **文献标识码:** A

Design on On-line Monitoring System for locomotive bearing fault based on embedded technology

ZHI Peng¹, QIU Hai-bo², ZHANG Hong-lin²

(1. Institute of Computing Technology, China Academy of Railway, Sciences, Beijing 100081, China;

2. Mechanical and Electrical Technology Institute, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: From the perspective of locomotive safe operation, it was analyzed the defects of the existing Locomotive Bearing Fault Diagnosis System, described the working principle and main components of the Locomotive Bearing Fault On-line Monitoring System, detailed the hardware and software design of the System, expatiated on the two major module design of the data collection and data-processing, the System used data fusion technology for multi-sensor data acquisition in real-time processing, transplanted $\mu C/OS-II$ Real-time Operating System on the basis of the hardware device, and completed the locomotive CAN bus communication, GPRS communication, automotive display, voice alarm, and other functions by the user application software. The System was more than six months after the actual operation, the result showed that the System architecture designs reasonable, and was a strong practicality.

Key words: locomotive bearing; embedded technology; multi-sensor fusion; $\mu C/OS-II$; CAN bus

铁路运输提速对机车行车安全提出了更高的要求, 而机车轴承运行状况直接关系到机车的安全与性能。目前机车轴承检测装置中, 主要采用单一的温度检测法或振动信号检测法等, 由于影响机车轴承故障因素比较多, 如温度、压力、振动和噪声等, 而用单一的特征参数进行故障诊断具有固有的不确定性, 有时甚至导致错误的诊断结果^[1]。另外, 在现有机务系统中开发和推广使用的多种诊断技术产品, 如机车电线路检测仪、机车轴承故障诊断仪等设备, 主要是采用静态检测手段来检测轴承状态的, 由于轴承状态是在设备运转中表现出来的一种综合动态特性, 必须采用静态和动态联合检测才能全面地诊断轴承的质量^[2~4]。针对以上问题的基础上, 综合应用多传感器

数据融合技术、嵌入式技术、现场总线技术、GPRS通信技术, 研发的嵌入式机车轴承故障在线监测系统, 其中数据采集模块应用决策级数据融合技术对多传感器采集的数据进行实时处理, 嵌入式数据处理模块在移植 $\mu C/OS-II$ 实时操作系统的基础上完成机车轴承数据的融合处理, 并将采集处理的数据以 USB 转存, 或 GPRS 通信的方式, 将数据实时传送到地面计算机专家系统, 由此完成对机车轴承运行状态的进一步专家理论分析和故障诊断。

1 系统工作原理

在机车行驶过程中, 由安装在机车轴承上的各种传感器, 如振动、压力、温度传感器负责采集轴承的各种信号, 经过调理电路把数据传送到数

收稿日期: 2009-02-25

作者简介: 智 鹏, 研究实习员; 邱海波, 在读硕士研究生。

据采集模块，嵌入式数据采集模块通过决策级数据融合技术对数据进行融合处理，最后将机车轴承数据通过 CAN 总线方式进行数据传输到处理模块。嵌入式数据处理模块主要对机车轴温、压力、振动等数据参数进行在线分析、存贮、车载显示及语音报警等功能，并通过 GPRS 无线通信的方式，把数据实时传送到地面计算机。地面计算机专家系统完成机车轴承性能及运行参数的进一步分析，以及机车运行状态建模，判断轴承状态，找出故障原因及部位，预防故障及预测轴承寿命和状态判断。机车轴承故障在线监测系统结构如图 1。

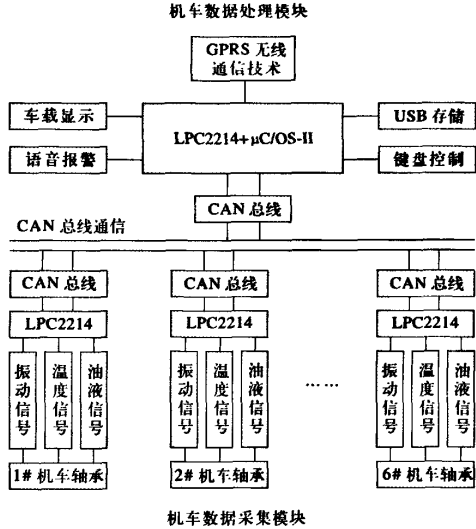


图 1 机车轴承故障在线监测系统结构图

2 系统硬件设计

系统硬件设计主要完成机车轴承的数据采集、传输、存贮、GPRS 通信、显示和报警等功能，它主要由以下几部分组成：嵌入式单片机 LPC2214 最小系统、数据采集、CAN 传输、USB 存贮、GPRS 通信、ISD 报警、车载显示和看门狗等模块组成。其中数据采集的各种传感器安装在机车轴承座上，与轴承外圆柱面垂直接触，与装置采用屏蔽电缆线连接，在接近振动区域处用树脂将其固定，以避免由于轴承振动所引发的信号干扰造成有用信号的扭曲。本文主要介绍数据采集模块、CAN 数据传输模块、GPRS 通信模块和 USB 存贮模块。

2.1 数据采集模块

轴承数据采集模块主要由振动、压力、温度传感器来采集机车轴承数据，经过调理电路传送到数据采集模块，该模块通过决策级数据融合技术对数据进行融合处理，最后将数据通过 CAN 总线传输。机车轴承的振动信号属于高频信号，系统采用 ADXL202 加速度传感器拾取信号。该加速度传感器所测得的信号较弱，必须经过电荷放大器、滤波等电路处理后才能进入 A/D 转换电路，温度信号采用单总线数据温度计 DS18B20，处理器与 DS18B20 之间仅需连接一条线就可以完成机车轴承温度的采集，不需要外接电源。压力信号采用 MPX700 力敏传感器，该传感器所测压力与输出压力是精确的线性关系。机车轴承振动信号采集电路如图 2。

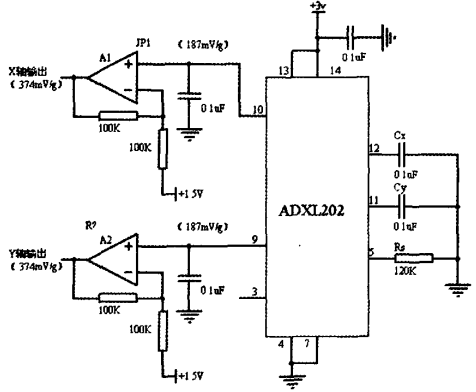


图 2 振动信号采集电路图

2.2 CAN 数据传输模块

CAN 总线通信电路由微处理器 LPC2214、控制器 MCP2515、驱动器 TJA1050 和光耦 6N137。在图 4 中，LPC2214 通过串行外设接口 SPI 与 MCP2515 直接相连，控制器 MCP2515 内部含有丰富的 SPI 指令集，包括读、写、读 RX 缓冲器、装载 TX 缓冲器、读状态、位修改等指令，这使得 LPC2214 对 MCP2515 控制会非常方便。MCP2515 控制器含有 /TXnTRS 和 /RXnBF 引脚，非常有利于 CAN 总线的的数据发送接收。当数据被存放到发送寄存器以后，只要将相应的 /TXnTRS 引脚置为低电平便可以轻松实现 MCP2515 报文的发送；当有数据进入到接收缓冲器时，只要通过硬件设置中断方式就可以检测到数据信息。TJA1050 是 CAN 总线驱动器，它是连接 CAN 控制器和物理总

线之间的接口,提供了CAN控制器向总线的差动发送和差动接收的能力。为了进一步提高CAN总线节点的抗干扰能力,MCP2515的TX0和RX0通过光耦6N137与TJA1050相连。

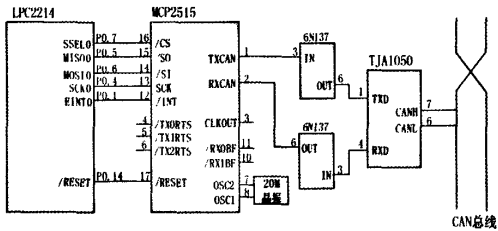


图3 CAN总线通信图

2.3 GPRS 通信模块

GPRS通信部分选用GR47新型高性能工业级GSM/GPRS通讯模块。该模块工作电压为3.6 V,工作频段为900/1 800 MHz,工作环境要求很宽,通过异步串口与ARM微处理器相连。由于GPRS通讯模块安装在机车上,工作环境温度高、振动大、油污大及电磁环境恶劣等因素影响,因此,尽管GR47型通讯模块产品价格相对较高,但该模块内嵌TCP/IP协议栈,并有效地简化了系统软件的编程,提高了设备运行的可靠性。

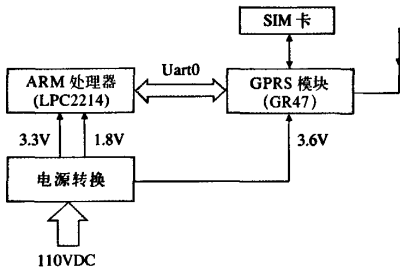


图4 LPC2214与GPRS模块连接图

3 系统软件设计

系统软件设计包括:μC/OS- II的移植、μC/GUI的移植和底层驱动等,在此基础上编写的用户应用程序。软件采用模块化设计,分成若干相对独立模块功能,并为各模块安排适当的入口和出口参数,并且各模块在嵌入式μC/OS- II实时操作系统的调度下协调工作,这样模块之间的相互连接、组合灵活方便。

3.1 μC/OS- II的移植

软件采用μC/OS- II实时操作系统对各个任务模块进行调度,简化了复杂系统的程序设计,提高了系统的可靠性。由于μC/OS- II只提供了实时操作系统内核,所以系统设计包括操作系统移植,底层驱动程序的修改,用户程序编写等部分。

μC/OS- II实时操作系统的编写,首先要根据系统功能划分出一些相对独立的子功能模块,多个模块任务之间有一个实时的调度算法,按照任务的优先级调度执行。任务优先级由高到低顺序依次为数据采集,GPRS通信,GPRS通信,USB存储,语音报警,车载显示,看门狗和空闲任务。各任务之间以及任务与中断服务程序之间可以调用信号量、消息邮箱、消息队列和延时等系统服务来实现彼此通信和同步。在本系统中,主要采用了消息邮箱队列机制来完成任务间的通讯。消息邮箱队列可以使一个任务或者中断服务程序向另一个任务发送以指针方式定义的变量。

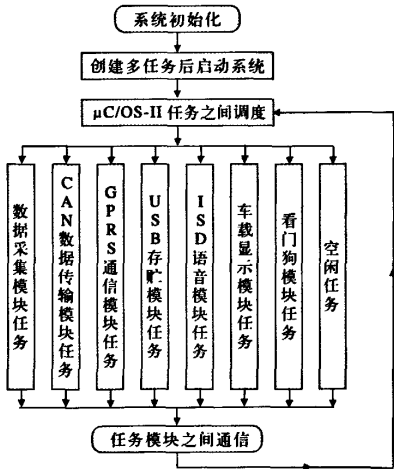


图5 μC/OS- II任务调度流程图

3.2 数据融合模型

多传感器数据融合是指对来自多个传感器的数据进行多级别、多方面、多层次的处理,从而产生新的有意义的信息。信息融合就是利用计算机技术对按时序获得的若干传感器的观测信息在一定准则下加以自动分析、优化综合,为完成所需要的决策和估计任务而进行的信息处理过程。

该系统由3个传感器构成,分别是压力传感器,振动传感器和温度传感器,所以需要对3个信

息进行融合。多传感器集合用 $S=\{s_1, s_2, s_3\}$ 表示, 对应于每个传感器的输出用 $Z=\{z_1, z_2, z_3\}$ 表示, 其中 z_i ($i=1, 2, 3$) 代表的是传感器 i 对某一物理量的量测或该传感器的局部决策, 则多传感器数据融合可用下式来进行描述: $X=F(z_1, z_2, z_3)$, 其中 X 和 F 分别代表融合结果和融合函数。

对于某个传感器 s_i 而言, 信息的获取是一个测量的过程, 其中包含着不确定的信息。所以需要为测量系统建立一个数学模型, 该模型可以用来描述系统输入与输出之间的关系, 另外, 还要考虑包含合理的不确定性模型。

测量模型的数学表达式如: $z=f(x)+v$, z 为观测变量, x 是根据观测变量所要估计的状态变量, $f(x)$ 为传感器的理想模型, v 为试验误差、模型误差以及噪声等不确定因素, 是一个变量。 $f(x)$ 不受环境的影响, v 是对周围环境的近似描述, 一旦确定也不会随环境的变化而改变。

对 $z=f(x)+v$ 公式求条件概率, 可得:

$$P(x|z_1, z_2) = \frac{P(x|z_1) \times P(x|z_2)}{P(x)} \times \frac{P(z_1)P(z_2)}{P(z_1, z_2)} \quad (1)$$

其 (1) 式中, $P(x)$ 、 $P(z_1)$ 、 $P(z_2)$ 和 $P(z_1, z_2)$ 是验前信息, 与工作环境有着密切的关系, 但在静态环境下, 这些信息被认为是不变的, 为数据融合结构如图 6。

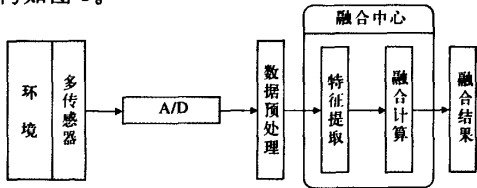


图 6 数据融合结构图

3.3 GPRS 模块软件设计

GPRS 模块是微处理器通过 Uart0 控制 GR47 模块接收服务器相应的的命令并做出反应, 将报警或记录数据等信息通过 GPRS 网络发送给中心服务器。GPRS 模块软件流程如图 7。

4 结束语

本文综合应用多传感器数据融合技术、嵌入式技术、现场总线技术、无线通信技术, 研发了一套嵌入式机车轴承故障在线监测系统, 本文的创

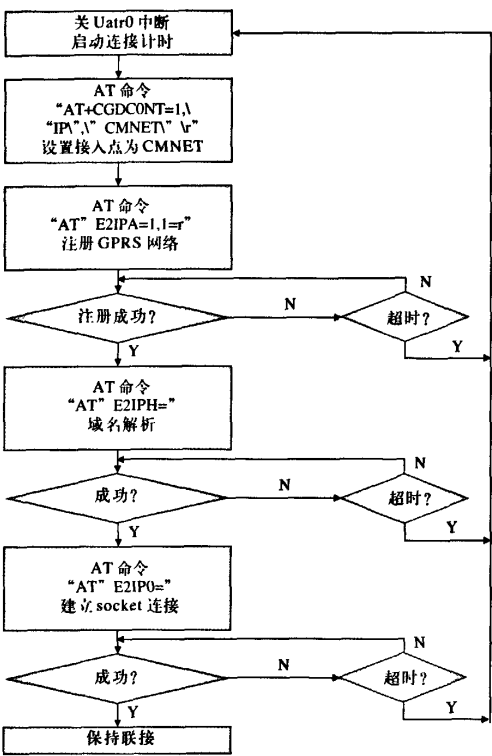


图 7 GPRS 模块流程图

新点在于系统应用决策级数据融合技术对多传感器的数据信息进行实时的处理, 以及各个任务模块在嵌入式 $\mu C/OS-II$ 实时操作系统的调度下协调工作。由于系统采用 CAN 总线数据传输和 GPRS 无线通信方式, 增强了系统的稳定性和实时性。该系统经过半年多的实际运行, 结果表明该系统结构设计合理, 实用性强。

参考文献:

[1] 王宏强, 杨江天, 赵明元. 基于 CAN 总线的车载机车轴承监测系统[J]. 铁道机车车辆, 2004, 24 (4): 31-33.
[2] 江 伟, 危初勇, 余 璿. 多智能传感器技术在机车轴承故障诊断中的应用分析[J]. 工业控制计算机, 2006, 19 (10): 37-38.
[3] 陈 阳, 付 敏, 刘 泊. 用声学共振解调技术检测列车轴承损伤的研究[J]. 信息技术, 2004, 28 (1): 27-29.
[4] 徐文明, 张海军, 唐 建, 等. Morlet 小波在振动信号包络检测中应用[J]. 内燃机车, 2002, 23 (2): 31-34.
[5] Jean J.Labrosse. 嵌入式实时操作系 $\mu C/OS-II$ [M]. (2 版) 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.