

文章编号:1671-6833(2012)01-0093-05

# 一种新型泵车监测系统的设计与开发

吴运新, 石文泽

(中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083)

**摘要:**针对现有泵车监测系统中传感器布置不灵活、走线多、监测效率低等问题,利用CAN总线和ZigBee技术,在LabVIEW开发环境下设计了一套可对泵车的运行状态进行实时监测、故障报警提示、历史数据自动记录和数据分析的监测系统,实现了数据采集传输模块的CAN总线标准化和即插即用。实验表明,该系统性能稳定,传输速率快,扩展灵活,可以提高泵车的作业安全性和使用寿命。

**关键词:**泵车;监测系统;ZigBee;CAN;LabVIEW

**中图分类号:**TP339;TH17;TM930.12 **文献标志码:**A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.01.023

## 0 引言

混凝土泵车是一种移动式的工程机械,结构复杂,工作环境恶劣,维护难度大,是一个典型的承受交变动载荷的悬臂梁结构<sup>[1]</sup>。由于泵送系统的换向冲击和臂架回转的惯性冲击引起泵车的抖动和共振,钢结构易产生疲劳裂纹<sup>[2]</sup>;且液压泵始终在高压大流量状态下工作,双缸换向频繁,液压系统常出现系统故障(油温过高、内部泄露)和元件故障(油泵轴扭断、电磁铁烧坏)。因此采取恰当的健康监测手段,准确把握泵车的运行状态信息,对泵车的安全使用、预防性地安排维护计划具有重要的意义<sup>[3]</sup>。

易小刚等采用虚拟仪器PXI-1052采集平台及SCXI-1520信号调理卡,在LabVIEW中实现了信号的采集和处理<sup>[1]</sup>,虽然具有很高的采样频率和信号精度,但是成本很高、线路繁多、测点布置困难。郭文川等采用ZigBee技术设计了基于无线传感器网络的温室环境信息监测系统<sup>[4]</sup>,虽然解决了布线复杂、节点功耗大等问题,但是却忽视ZigBee传输速率相对较慢、传输稳定性较差等缺点。为此,笔者研究开发了一套混凝土泵车监测系统,在易布置测点和走线灵活的部件采用CAN总线传输,否则采用ZigBee无线发送,既解决了测点布置不灵活和线路复杂等问题,又最大限度地满足了采样频率的要求,提高监测效率,降低成

本。

## 1 系统总体设计

### 1.1 数据传输方案

CAN总线采用短帧结构,借助接受滤波的多址接受滤波传送,受干扰概率低,最大传输速率达1 Mbit/s,最大传输距离达10 km,而且可以减少连接线的数量,避免连接线信号相互干扰,大大减少出错机率和维护难度<sup>[5-6]</sup>,故本系统在方便布线的测点优先采用CAN总线的数据传输方式,例如布置在泵车的转塔和转塔处的加强筋板等易开裂处的测点。对于布置在泵车4节臂架的连接销子、主焊缝、U型板和顶板母材等易开裂处的测点,不方便布线,采用具有近距离、低功耗、低成本、时延短、方便路由、网络容量大及高可靠性等特点的无线ZigBee传输方式<sup>[7-8]</sup>。

### 1.2 系统的构成

如图1所示,监测系统主要由数据采集传输和状态监测两部分组成。数据采集传输部分负责对臂架倾角及加速度、开裂故障频发及对泵车安全影响大的部位的应变和各个油缸压力及温度进行采集、调理并转换,通过无线ZigBee和CAN总线上传至工控机,实现对泵车状态信息的统一采集和管理。主要由:泵车结构、姿态、振动以及泵送油路等信息传感器;数据采集与ZigBee发送模块;ZigBee接收与转CAN模块;CAN总线采集模

收稿日期:2011-09-20;修订日期:2011-10-20

基金项目:国家“863”基金资助项目(2008AA042801,2008AA042802)

作者简介:吴运新(1963-),男,广东兴宁人,博士,中南大学教授,博士生导师,研究方向:机械结构动力学,机电控制,冶金机械。

块4部分组成. 状态监测和危险预警部分主要由运行于工控机和数据库管理软件组成, 状态监测软件负责总线适配器的配置和泵车状态数据的读取; 实时数据的分析计算, 以动态曲线及特征量的形式对各状态量进行显示; 对超出系统设定警戒值的状态量进行预警判断; 将各状态量通过GPRS上传至本地或者统一的维护监控中心进行管理; 通过RS485总线将状态量送到现场显示屏, 供施工人员参考; 实现历史数据的查询、回放、时域分析、频域分析和相关性分析。

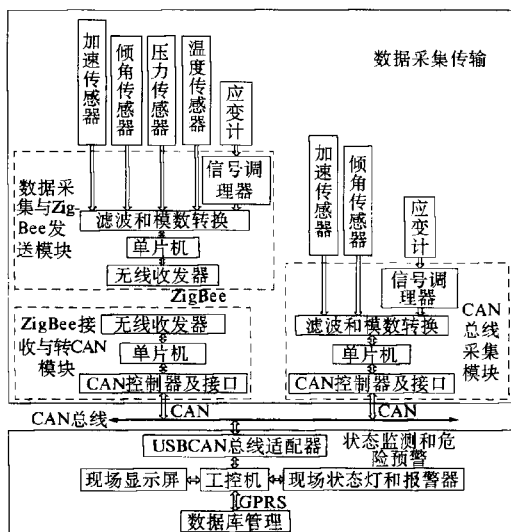


图1 系统构成框图

Fig. 1 The system composing block diagram

### 1.3 应变的获取

应变信号主要通过应变片来捕捉, 动静态应变仪精度虽很高, 但体积大、价格昂贵、操作复杂, 因此本系统采用四片具有高精度低功耗特点的350  $\Omega$ BHF系列箔式电阻应变片组建惠斯通电桥. 相邻的两片分别作为测量片和温度补偿片, 另外两片作为比较臂. 通过电路电桥将应变及电阻的变化转换为电压的变化, 再经过MAX4196 ( $A_v = 10$ )将其放大10倍, 最后通过MAX1452对其进行信号的调理和补偿, 最终输出0~5 V的标准电压输出. MAX1452的信号调理与补偿原理如图2所示.

MAX1452是一款高度集成、可优化阻型元件的模拟传感器信号处理芯片, 具有放大、校准和温度补偿功能. 由图2可知

$$U_{OUT} = (U_{INP} - U_{INM} + U_{IRO}) \cdot PGA + U_{OFFSETDAC} + U_{OFFSETCDCAC} \quad (1)$$

式中:  $U_{OUT}$  是 MAX1452 模拟输出电压;  $U_{INP}$  和

$U_{INM}$  分别是电桥的正输入端和负输入端电压;  $U_{IRO}$  为传感器输入端粗调偏移电压; PGA 为增益放大倍数;  $U_{OFFSETDAC}$  和  $U_{OFFSETCDCAC}$  分别是偏移量校准 DAC 和偏移量温度系数 DAC 电压.

采用 YE1940A 型动态电阻应变仪和等强度梁对该应变调理传感装置进行校准和标定, 根据泵车钢材的屈服应力和易开裂部位的应力水平, 结合精度要求确定  $(-7\ 000) \sim (+7\ 000) \mu\epsilon$  的可测范围, 该量程下的最大误差低于总量程的 8‰.

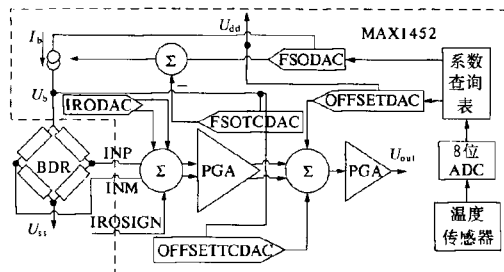


图2 MAX1452 补偿原理图

Fig. 2 The principle diagram of MAX1452 compensating

## 2 系统硬件

### 2.1 数据采集与 ZigBee 发送模块

该模块包括信号调理提取电路、模数转换器、单片机、无线收发器和电源稳压电路, 主要完成物理信号的调理、采样和转换并接收 ZigBee 接收与转 CAN 模块的命令帧, 回复相应的数据帧或状态帧.

信号获取调理电路包括电桥和信号调理芯片, 主要用于应变信号的调理. 模数转换器采用低功耗、8 通道、4 MHz 输出带宽、200 ksp/s 转换速率、16 位精度的芯片 MAX1168. 单片机采用最高 8 MIPS 处理能力、低功耗、集成 SPI 串行外围接口和 SCI 串行通讯接口的 8 位芯片 ATmega128L-8AU. 无线收发器采用专注于 20~250 kbps 低传输速率并具有 ZigBee 技术的 2.4 GHz 射频收发器 CC2420. 电平转换利用 8 位双向电平转换芯片 NH245 来实现 3.3 V 数据总线和 5.0 V 数据总线之间的相互通信. 电源稳压电路采用 1 块大容量锂电池和 2 片带线性稳压器的升压型 DC-DC 变换器 MAX1706, 为 MAX1452 的供电电压. MAX1168 和 ATmega128-16AU 的模拟参考电压提供线性稳压 5.0 V, 并分别为 CC2420、MAX1168 和 ATmega128-16AU 数字供电电压提供 DC-DC 直流升压 3.3、5.0 V. 当锂电池电压低

于设定的报警阈值时,将产生中断信号到 ATmega128 的中断引脚,停用所有耗电设备,防止锂电池的过度损耗。

该模块工作过程主要包括以下内容。

(1) 调理器初始化,当 MAX1452 需要调整时,将其 UNLOCK 引脚置为高电平,进入配置模式,ATmega128 通过串行通讯接口 USART 向其 EEPROM 中写入相关的配置参数;若不需要,将其 UNLOCK 引脚置为低电平,上电后自动加载配置参数,进入工作模式,ATmega128 则通过串行外围接口 SPI 向 CC2420 写入初始化参数,使其处于接收状态。

(2) 接收指令启动采集,当收到 ZigBee 接收与转 CAN 模块的请求该节点发送指令后,ATmega128 由 SPI 接口向 MAX1168 的 DIN 引脚写入带转换通道的指令,随后通过其 DOUT 引脚返回转换后的数字量,并由 EOC 引脚产生中断到 ATmega128,保证转换快速高效进行。

(3) 发送数据帧,将源节点、目的节点和转换后的数字量等打包成 IEEE802.15.4 数据帧后,ATmega128 经由 SPI 接口将该帧通过 CC2420 的 SI 引脚写入 TXFIFO 发送寄存器中,通过 SFD、FIFO、FIFOP 和 CCA 4 个引脚返回其数据收发状态,在成功建立通信连接且发送通道空闲时,再将 TXFIFO 中数据帧发送出去。

## 2.2 ZigBee 接收与转 CAN 模块

该模块包括电源稳压电路、无线收发器、单片机、CAN 控制器和 CAN 控制器接口。

电源稳压电路:泵车主要使用 +12V/+24V 的直流电源,通过直流降压电压调节芯片(LM2575-5.0T)降压得到 +5V 的稳定电压,再通过线性降压器(REG1117-3.3)可以输出 +3.3V 的稳定电压。

CAN 控制器:采用 MCP2515,它是一款独立控制器局域网络协议控制器,完全支持 CAN V2.0B 技术规范,最高通讯速率达 1 Mbps。

CAN 控制器接口:采用 PCA82C250,它是一种提供 CAN 控制器和 CAN 物理总线之间互联接口,能够兼容不同类型的总线数据包发送和 CAN 控制器数据帧接收。

多个数据采集与 ZigBee 发送模块与 ZigBee 接收与转 CAN 模块之间的通信采用分时技术将点对多点的通信方式转为点对点的通信。当 ZigBee 接收与转 CAN 模块收到来自 CAN 总线的请求该节点发送指令后,将建立与所有数据采集与

ZigBee 发送模块无线通信地址列表,并为每个数据采集与 ZigBee 发送模块分配唯一地址,然后依次轮询每个数据采集与 ZigBee 发送节点模块,发出相应带地址信息的请求发送指令,启动该数据采集与 ZigBee 发送模块的数据采集和发送子程序,而终止与其他数据采集与 ZigBee 发送模块的通信。

## 2.3 CAN 总线采集模块

该模块直接将采集的物理量转换成数字量并打包成 CAN 帧,完成信号的有线采集和总线传输。包括信号调理提取电路、模数转换器、单片机、CAN 控制器和 CAN 控制器接口。

单片机 ATmega128 首先完成 MAX1452 和 MCP2515 初始化设置,并使其处于工作模式。当从 CAN 总线收到请求该节点发送指令后,将启动 MAX1168 的采集转换子程序,将模数转换后的数字量打包成 CAN 数据帧,送入 CAN 总线。

## 3 系统软件

系统软件由控制系统硬件完成数据采集与发送的 C 语言程序与负责数据接收与处理的泵车监测软件两部分组成。

### 3.1 系统硬件 C 程序

在 AVR STUDIO 开发环境中,按照用户程序开发思想编写相应的 C 语言,通过 JTAG 调试口下载到单片机中,主要完成芯片初始化设置、物理信号的采样和模数转换、帧的封装和解包、帧的接收和发送,实现系统硬件模块的数据采集传输功能。

### 3.2 监测界面

应用 LabVIEW 为平台,以 USBCAN 按口卡为纽带,构建了泵车实时监测界面。

#### 3.2.1 总线适配器与设备驱动

采用 GY8508 的 USB CAN200 总线适配器,通过 LabVIEW 中的调用库函数节点 CLFN(Call Library Function Node)访问生产厂商提供的动态链接库(VCI\_CAN.DLL)的方法来驱动该总线适配器。

#### 3.2.2 上位机软件设计

监测界面主要采用基于生产者消费者和基于事件结构的两种设计模式。基于事件结构的设计模式具有高效,避免循环压力过大的优点;而基于生产者消费者的设计模式能保证数据无失真保存,解决几个循环程序间数据共享,避免采用局部变量的数据传输模式而导致数据丢失。

如图 3 所示,左流程框图为生生产者循环.在生产者循环中采用事件结构,用于总线适配器的参数设置、打开和关闭、缓冲区清空、监测网络节点列表的建立、CAN 帧的发送和接收.首先,向 CAN 总线发出 CAN 节点查询指令,连接到 CAN 总线的每个 CAN 总线采集模块节点在收到该指令后回复其 CAN 节点编号,而连接到 CAN 总线的 ZigBee 接收与转 CAN 模块在收到该指令后会向处于同 PAN ZigBee 网络的每个数据采集与 ZigBee 发送模块发出 ZigBee 节点查询指令,数据采集与 ZigBee 发送模块节点在收到该指令后将回复其 ZigBee 节点编号.接着,统计所有回复的节点编号,建立监测网络节点列表.然后,判断是否有节点的增减.若有,则重新发送节点查询指令,修改监测网络节点列表;否则根据监测网络节点

列表记载的节点,依次向每个节点发出请求该节点发送的指令.若收到数据帧,则直接将其送入队列,否则重新发出请求该节点发送的指令.当重新发送次数超过 N 时,表明该节点已经不存在或者出故障,需要重新发送 CAN 节点查询指令,以更新监测网络节点列表.生产者循环将接收到的数据帧放入队列中,等待消费者循环处理.

图 3 右流程框图为消费者循环.在消费者循环中也采用事件结构,用于从队列中取出 CAN 帧并解包、数字量的标定、信号的实时曲线显示及结构危险点预警、数据的存储、信号特征值的提取分析和数据报表的生成.本系统采用比较高效、专门用于信号数据存储文件格式 TDMS 来记录历史数据,可以在采集数据的同时就将其保存到硬盘,在需要时还可以迅速读回所需数据<sup>[9]</sup>.

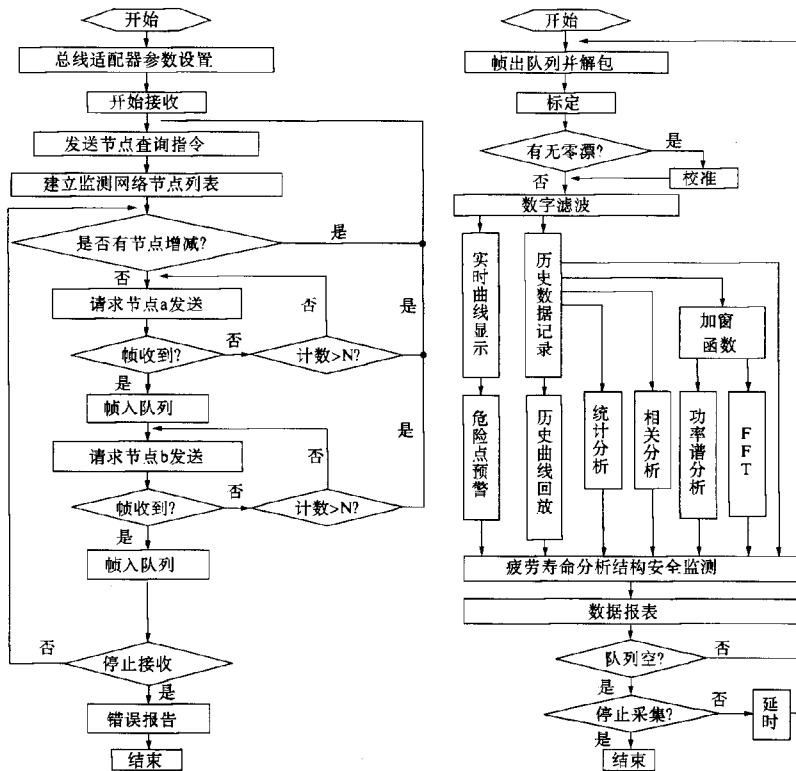


图 3 主程序流程框图  
Fig.3 Main procedure flow diagram

### 4 试验验证

以臂架在典型工况下有限元计算的应力分布结果为参考,在计算应力水平大、应力梯度变化缓慢的部位和应力梯度变化较大的部位进行应力应变测试.如图 4 所示为泵车特定工况下 1 号臂架

某危险部位应变(单位:  $\mu\epsilon$ )的历史曲线和傅立叶变换后的幅频曲线.

### 5 结论

开发了一种体积小、安装方便且满足要求的低成本、低功耗测量应变装置实现了泵车应力信

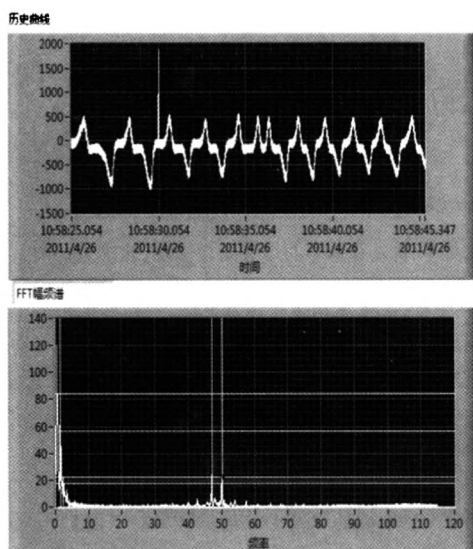


图4 实验测试时域及FFT变换频域结果  
Fig.4 The experimental measurements  
in time and frequency domains

号采集与分析;设计了基于CAN总线的信号传输方案与基于ZigBee的无线传感器网络,极大地降低了系统出错机率和维护难度,并实现了单区域内同时监测数十个无线传感器节点;在LabVIEW的开发环境中实现了对泵车的CAN网络的监测,能快捷方便地进行信号的处理分析。

实际应用表明该系统可靠地实现了泵车关键部位(特别是臂架系统)的应力、倾角和加速度以及泵送液压系统的温度和压力等信号的采集,通过提取信号中所隐含结构、姿态、振动和泵送信息可以对泵车的健康状态进行评价、危险部位的准

确预测和设备故障的预知,以便及时安排维修,提高了泵车的使用性能,同时为疲劳寿命分析和健康监测提供了可靠的依据。

#### 参考文献:

- [1] 易小刚,沈明星. 基于LABVIEW的泵车应力信号采集与分析系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(28): 187-188.
- [2] 雷新军,刘永红,张向阳,等. 混凝土泵车臂架疲劳载荷谱研究[J]. 工程机械, 2010, 41(8): 18-19.
- [3] HUA Guang-jun, WU Yun-xin. Study of concrete pump truck structural health monitoring[J]. Advanced Materials Research. 2010(139-141): 2513-2516.
- [4] 郭文川,程寒杰,李瑞明,等. 基于无线传感器网络的环境信息监测系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(7): 181-182.
- [5] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 北京:清华大学出版社, 1999.
- [6] 黄天戌,汪汝宁. CAN总线与PC机串口通信适配器的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2004(7): 34-36.
- [7] IEEE Std 802.15.4.4-2003; Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) [S]. 2004.
- [8] 王东,张金荣. 利用ZigBee技术构建无线传感器网络[J]. 重庆大学学报:自然科学版, 2006, 29(8): 95-96.
- [9] 阮奇桢. 我和LabVIEW一个NI工程师的十年编程经验[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2009.

## Design and Development of a New Type of Monitoring System in Pump Truck

WU Yun-xin, SHI Wen-ze

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** In view of the defects of inflexible layout for the sensors, complicated wiring and low efficiency of monitoring and so on in nowadays existing monitoring systems for pump truck, a monitoring system adopting CAN bus and ZigBee technology has been designed in the LabVIEW developing environment to monitor the running status of pump truck in real-time monitoring, prompt fault alarming, automatically recording and analyzing of history data, enabling standardization and plug and play of CAN bus in data acquisition and transmission module. The experimental results show that the system processes stability, high transmission rate and flexible extension, and the operation safety and service life span of concrete pump have been improved.

**Key words:** concrete pump truck; monitoring system; ZigBee; CAN; LabVIEW