

液压抓斗控制器在环仿真系统设计与测试

陈晓辉, 龚元明, 曹笑笑, 张启宇, 段明海

(上海工程技术大学 汽车工程学院, 上海 201620)

摘要: 为了解决液压抓斗控制器在实际工作应用中出现的故障问题, 也为了更好地对液压抓斗控制器进行检测, 基于有线通信、无线通信知识研究和设计了液压抓斗控制器在环仿真与测试系统, 解决了工程应用中对于液压抓斗控制器工作参数的检测, 系统实现了在线模拟液压抓斗控制器工作状态的目的; 系统由 PC 端上位机、USB-CAN、模拟量输出模块、电磁阀、单片机数据处理模块五部分组成; 系统综合运用了有线通信和无线通信的知识进行了研究设计; 通过实际验证, 研究和设计的液压抓斗控制器在环仿真与测试系统能够有效且准确的对液压抓斗控制器的工作参数进行实时检测, 工作稳定, 使用方便。

关键词: 液压抓斗控制器; 在环仿真和测试; 有线通信; 无线通信

Hydraulic Grab Controller In-loop Simulation System Design and Test

Chen Xiaohui, Gong Yuanming, Cao Xiaoxiao, Zhang Qiyu, Duan Minghai

(College of Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: To solve the failure problem of the hydraulic grab controller in practical applications and better detect the hydraulic grab controller, hydraulic grab controller in-loop simulation and test system was studied and designed based on the wired communication and wireless communication knowledge which solved the detection of hydraulic grab controller's working parameters in engineering applications and the system accomplished the goal of the online analog hydraulic grab controller working status. The system consists of five parts which are PC-side host computer, USB-CAN, analog output module, solenoid valve and single-chip data processing module. It also comprehensively used the knowledge of wired communication and wireless communication to conduct research and design. In this paper, the design of hydraulic grab controller in-loop simulation and test system is reasonable and stable after the actual verification. Acquisition and transmission of the related parameters are timely and accurate.

Keywords: hydraulic grab controller; in-loop simulation and testing; wired communication; wireless communication

0 引言

随着社会的日益发展, 液压抓斗被广泛的使用在工程应用中。液压系统是一个典型的高度非线性系统, 系统各回路之间相互干涉, 使其失效形式、故障机理复杂多样^[1]。为了更好的检测液压抓斗的工作状态, 目前市场上已经研制出了液压抓斗智能管理系统, 在液压抓斗智能管理系统中涉及到单片机数据采集电路、开关按钮以及各类传感器。由于在现场安装设备时, 时常出现由于设备本身的各种问题导致现场安装失败, 浪费大量的时间、人力和物力。目前对液压设备故障的诊断主要依靠维修人员的经验和相关仪器对设备的检测。这种诊断方式太过于依赖维修人员的主观经验, 并且诊断过程具有一定的随机性, 既费时又费力。因此设计一套液压抓斗控制器在环仿真与检测系统就显得非常重要。该系统采用有线通信、无线通信和串口通信相结合的方式, 进行模拟数据的发送、模拟数据的传输和模拟数据的接收及验证。通过上位机对收发数据的对比看是否相同或相近来判断所检测的液压抓斗控制器是否存在故障。

1 液压抓斗控制器的主要组成

液压抓斗控制器主要由安装在液压抓斗上的现场工作参数检测与处理模块, 控制室参数显示模块和 PC 机远程监控等三大部分组成。具体组成原理如图 1 所示。

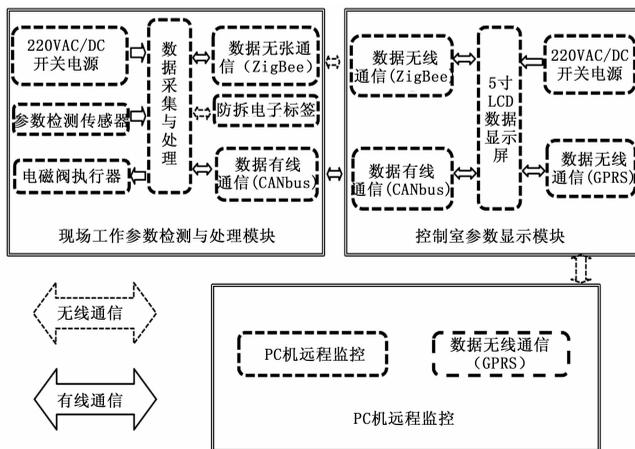


图 1 液压抓斗控制器主要组成原理图

2 液压抓斗控制器及在环仿真与测试系统工作原理

2.1 液压抓斗控制器工作原理

在抓斗工作时, 现场工作参数检测与处理模块采集液

收稿日期: 2018-04-17; 修回日期: 2018-05-10。

作者简介: 陈晓辉(1990-), 男, 河南周口市人, 硕士研究生(在读), 主要从事汽车电子控制技术方向的研究。

压系统、电机系统、环境与抓斗姿态等相关数据,通过无线或有线通讯方式,将采集的数据传输至控制室参数显示模块。通过控制室参数显示模块传输给指定的 PC 机远程监控终端,以便于对抓斗的工作状况进行及时监控;在抓斗部分系统处于故障或者不正当操作时,及时向控制室工作人员报警。

2.2 在环仿真与测试系统工作原理

在环仿真与测试系统主要由模拟量发送模块、CAN 通信模块、ICAN-4404 模拟量输出模块、ZigBee 发送模块、ZigBee 接收模块、单片机数据处理模块和数据校验等模块组成,其中模拟量发送模块、模拟量接收模块和数据接收模块都在上位机中通过 Microsoft Visual Studio 2013 编译环境中的 MFC 模块编译完成。液压抓斗在环仿真与测试系统主要用来模拟的物理量有:压力、回油温度、称重质量、油箱液位、电机温度。

在 PC 端上位机和 ICAN-4404 模拟量输出模块之间使用 CAN 总线进行模拟数据的传输,将模拟数据以高位和低位的形式发送给 ICAN-4404 模拟量输出模块,ICAN-4404 模拟量输出模块将接收到的数据转化为电压或者电流等模拟物理量,通过单片机电路中的数据采集模块处理以后再通过单片机上的 ZigBee 模块进行转发。在 PC 端上位机中编写有数据接收模块,利用串口通信对单片上 ZigBee 模块转发的数据进行接收,此时 PC 端需要连接一个 ZigBee 模块来实现该过程。在 PC 端上位机中也编写有数据验证模块,将通过 CAN 总线发送出去的模拟数据和通过 PC 端 ZigBee 接收到的模拟数据进行对比比较,当收发数据相同或是相近时,判断所检测的设备合格,在上位机界面上显示检测成功,当收发数据不同或是相差较大,判断所检测的设备不合格,在上位机界面上显示检测失败。液压抓斗控制器在环仿真与检测系统工作原理如图 2 所示。

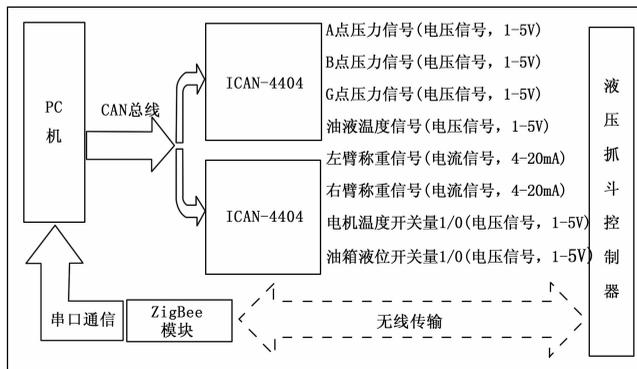


图 2 系统工作原理图

3 CAN 总线通信技术

CAN 总线技术是当今自动化领域技术发展的热点,液压系统工作参数的实时监测依靠稳定和可靠的数据传输^[2]。CAN 总线是一种高性能、高可靠性、易开发且成本低的串行通信现场总线,由于其优越的性能被广泛用于各个领

域^[3]。液压抓斗控制器在环仿真与检测系统依靠 CAN 总线技术实现数据可靠且稳定的传输。CAN 总线是一种有效支持分布式控制或实时控制的串行通信网络,CAN 总线通信速率可达到 1 Mb/s,最大通信距离可达 10 km^[4]。液压抓斗控制器在环仿真与检测系统中,上位机就是通过 USB-CAN 模块将模拟数据发送给 ICAN-4404 模拟量输出模块,最终实现模拟数据的发送。

4 ZigBee 通信技术

ZigBee 是一种短距离低速传输的无线网络协议^[5]。ZigBee 技术是近年来新兴的一种无线传感网络技术,主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输以及典型的有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据传输的应用。ZigBee 网络节点按功能分为三大类:协调器节点、路由器节点、终端节点^[6]。本次设计中所用的模块为 ZigBee 集成模块。

5 系统硬件设计

本次设计中用到的数据采集电路,有线通信模块是以英飞凌公司生产的 XC2234 微控制器为基础进行设计的。XC2234 微控制器是一种 16/32 位微控制器,含有通用串行接口、MultiCAN 接口和两个可以实现同步的 A/D 转换器,提供多达 16 个通道,可以满足本次设计要求。

5.1 电源模块

图 3 为电源电路图,为了使电源正负极接反时电路不导通,从而达到保护后续电路的目的,将一个 PMOS 管加在了电源输入端。由于硬件系统传感器的驱动电压最低为 9 V,所以选用了 LM2576 开关型降压稳压器,它的电压可调节。系统设计时加入了两个电阻进行配合,使得 LM2576 输出电压为 9 V。由公式:

$$V_{OUT} = V_{REF} (1 + R_9/R_8) \quad V_{REF} = 1.23 V$$

R8 取值在 1~5 K 之间,取 1 K,R9 的值经计算得 6.8 K。通信模块供电电压为 5 V,利用 LM1117-5 低压差线性调压器使得电压降低到 5 V 为通信模块供电;

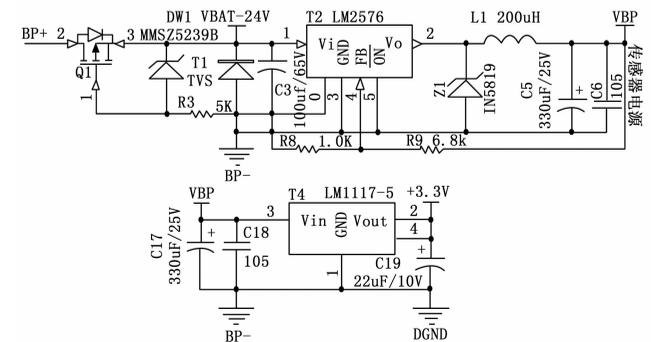


图 3 电源电路

5.2 CAN 通信电路

Infineon XC2234 微控制器上集成有 MultiCAN 模块,具有 6 个全功能 CAN 节点,各个节点均可以通过网关功能进行数据、远程帧的交换或独立工作。为了增强 CAN 总线

通信的抗干扰性和可靠性, 在 CANH 和 CANL 之间接入一只 120 Ω 的保护电阻。CAN 通信电路如图 4 所示。

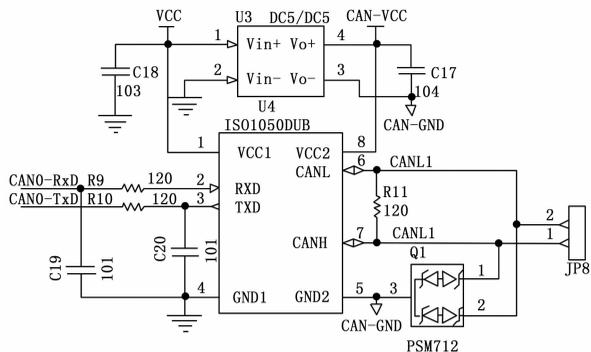


图 4 CAN 外围收发器电路

5.3 ZigBee 通信电路

系统设计时使用的 ZigBee 模块为上海顺舟电子科技有限公司的 SZ05-ADV-TTL 无线串口通信模块。该模块抗干扰能力强且通信距离较远。微控制处理器与 ZigBee 模块以异步 URTA 模式进行通信, 所以仅仅将模块的发送 (TXD) 及接收 (RXD) 引脚和控制器两端进行连接, 即可以实现通信。ZigBee 外部电路如图 5 所示。

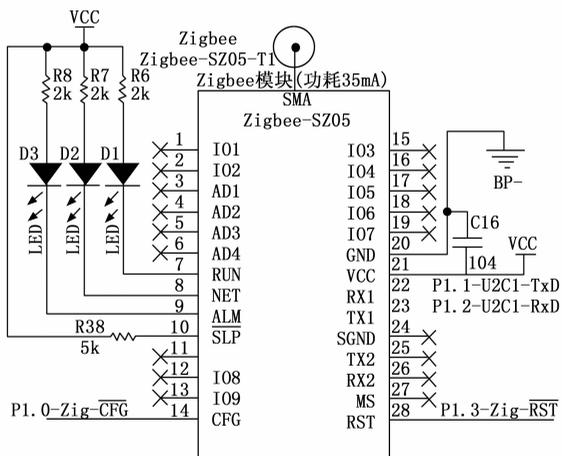


图 5 ZigBee 外围电路

5.4 油箱液位检测电路

系统设计时, 油箱液位信号发送的是开关信号, 处理电路如图 6 所示。由于 MCU 的 I/O 输入端口电压输入范围在 0~5 V 之间, 所以接入 BAT54S 肖特基二极管达到钳位处理的目的, 输入电压高于 +5 V 时, 电压被钳位在 +5 V, 电压低于 0 V 的时候, 电压被钳位在 0 V。

5.5 回油温度与压力检测电路

系统对温度和压力信号进行采集时, 选用的是 3 200 系列高压 OEM 压力变送器, 由美国 Gems 公司提供。此款传感器测温范围 -40~125 ℃, 测压范围 0~250 bar, 满足系统设计的要求。回油温度和压力采集电路中原理图如图 7 所示。传感器与电压信号输出, 所以在 AD 转换前再使用一个电压跟随器用来提高带负载的能力, 使温度和压力信号稳

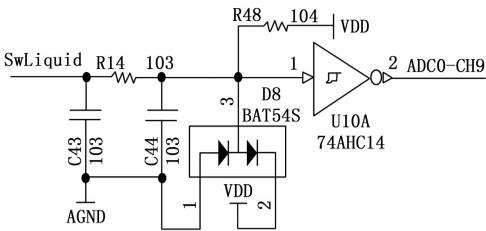


图 6 液位开关电路

定输出。

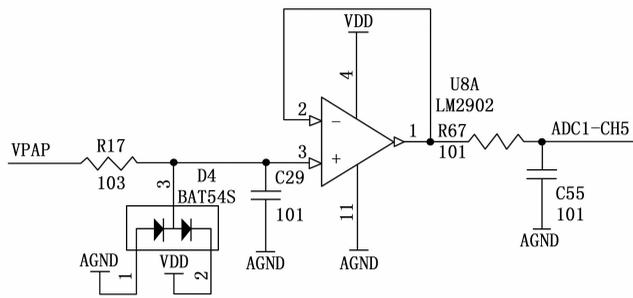


图 7 回油温度与压力采集电路

6 系统软件设计

6.1 通信协议设计

数据有线传输时, 主控制器等待 CAN 进入中断。程序进入中断以后, 通过 CAN 收发器的 CANH 和 CANL 进行数据的发送和接收。上位机中的模拟数据以 CAN 报文的形式发送给 ICAN-4404 模拟量输出模块, 报文格式见表 1, 数据帧类型采用标准帧, 帧 ID 根据 ICAN-4404 模拟量输出模块上的标准 ID 手动设置旋钮来定义为 0x201 和 0x202。不同的 ID 代表发送不同的参数。

表 1 CAN 通信中的帧格式定义

标准帧(11 位)	帧 ID(3 位)	模拟数据(8 位)
-----------	-----------	-----------

表 1 帧格式定义中的标准帧指的是所发送的数据均用标准帧, 不用扩展帧。标准帧的 ID 长度是 11 位, 也即是帧 ID 的范围是 000-7FF。在本次设计中, 发送的格式为“0X201 XX XX XX XX XX XX XX XX”共 11 位。在标准帧的 11 位长度中, 帧 ID 长度占 3 位, 模拟数据位占 8 位。由于每项数据占据两位, 分别为一个低位和一个高位。因此发送一帧数据最多发送 4 项模拟数据。

模拟数据发送模块发送的模拟数据类别分为 A 点压力、B 点压力、G 点压力、回油温度、液压抓斗左臂抓取质量、液压抓斗右臂抓取质量、油箱液位和电机温度等八项。系统中用到了两个 ICAN-4404 模块, 每个模块传输 4 路数据。一个模块传输 A 点压力、B 点压力、G 点压力和回油温度信号。另一个模块传输左臂抓取质量、液压抓斗右臂抓取质量、油箱液位和电机温度信号。按照顺序将发送的每项模拟数据经过计算转换为十六进制按照高字节在前, 低字节在后的模式通过 USB-CAN 发送给 ICAN-4404 模

拟量输出模块。

数据进行无线传输时，ZigBee 模块首先把数据写入到 TXD 中，再从 RXD 中被读出。系统设计时设定节点每隔 1 000 ms 将液压抓斗在环仿真与测试系统发送的模拟数据打包发送给上位机 ZigBee 节点，其中由于温度变化较慢，所以回油温度的模拟数据设定每隔 3 000 ms 发送一次。发送的帧格式见表 2。上位机端的 ZigBee 节点地址必须为 (0x000)，而采集端地址可为 0x0001—0xFFFF 范围中的任意数值，此处节点地址占两个字节；设备号的发送是为了帮助接收端区分所接收数据是哪台设备发送的，设备号占一个字节。为了区分不同类型的检测参数，还使用了标识码，标识码占用一个字节；发送的每一项模拟数据均采用低字节在后、高字节在前的模式，每项数据共占两个字节。数据在进行无线传输过程中，可能会受到外界环境影响，造成数据包丢失。上位机接收到数据后，首先对帧头帧尾进行判断，检测接收的数据是否是完整的，如果不完整，则舍弃接收的该帧数据，否则再根据数据的标识符和位数来判断所接收数据的类型并进行相应的解析和显示。

表 2 ZigBee 的帧格式定义

帧头	节点地址	设备号	标识码	采样数据	帧尾
----	------	-----	-----	------	----

根据表 2 中的定义，实际接收的一帧数据为“AA CC 00 08 F2 09 05 F1 05 F0 02 0D 05 AA 55”，其中 AA CC 为帧头，00 为节点地址，08 为设别编号，F2 为标识码，09 05 F1 05 F0 02 0D 05 为采样数据，AA 55 为帧尾。

6.2 软件中数据采集部分的设计

1) 要实现对传感器采集到的信号或接收到的模拟信号进行处理需要设计驱动底层电路。

2) 对采集到的数据或接收到的模拟数据进行滤波处理，然后通过 ZigBee 无线通信模块将数据转发给上位机。

数据采集系统上电后，首先对硬件电路进行初始化，进而对串口和 CAN 收发器进行初始化。数据进行无线发送时，中继路由节点 ZigBee 发出申请信号，请求加入网组，ZigBee 中心节点对接收到的申请信号进行认证，信息认证成功后，中继路由节点才被允许回复请求发送数据的命令。路由节点收到该命令后，MCU 将保存在缓冲区中的数据通过 U2C0_SSC_vSendData () 串口数据发送函数发送至中继路由节点接收端，再由路由节点通过无线传感网络发送至中心节点。数据有线发送时，CAN 接收中断收到 PC 端数据发送请求后，通过 CAN_vTransmit () 发送函数将数据缓冲区中的数据以设计好的 CAN 报文形式发送至 PC 端 CAN 节点。通信流程如图 8 所示。

6.3 液压抓斗控制器在环仿真与检测系统软件设计

液压抓斗控制器在环仿真与检测系统共模拟发送 8 项参数数据，分别为 A 点压力 PA、B 点压力 PB、G 点压力 PG、回油温度、左臂抓取质量、右臂抓取质量、油箱液位和电机温度八项。液压抓斗控制器在环仿真与检测系统中的软件程序设计主要用于通过 CAN 总线对模拟数据的发送

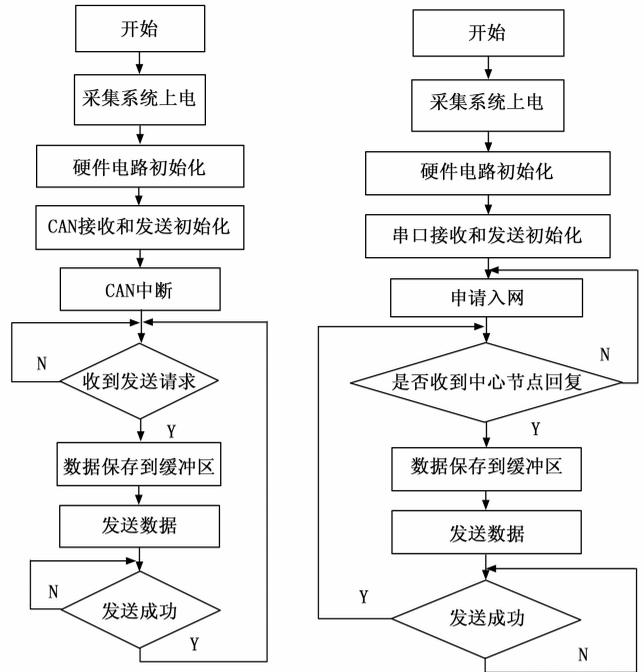


图 8 ZigBee、CAN 通信流程图

和通过 ZigBee 网络对数据的接收，在对数据的接收时使用了具有实时性的串行通信。Visual Studio 中串行通信方法的实时性体现在两个方面：通信响应的实时性即对到达串口的数据的响应快慢，以及从从串口缓冲区接收数据的快慢^[7]。上位机界面如图 9 所示。

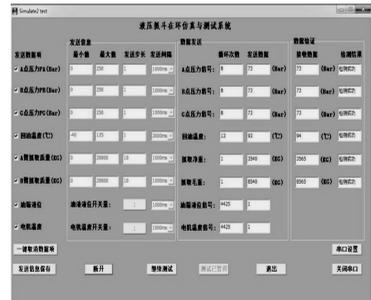


图 9 上位机界面

7 系统调试与运行

系统上位机发送信息界面如图 10 所示。



图 10 上位机发送数据界面

系统上位机数据发送数据界面如图 11 所示。

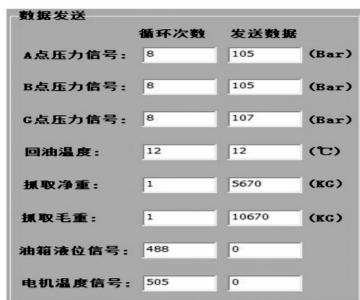


图 11 系统上位机数据发送界面

CAN 总线对经过 MCU 处理过的 ZigBee 基站解析的数据发送到上位机^[8]。系统上位机数据验证模块界面如图 12 所示。

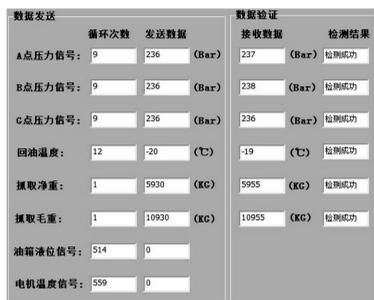


图 12 上位机数据验证模块界面

在系统调试时, 设定 A、B、G 三点的压力值最小为 0 Bar, 最大值为 250 Bar, 发送的步长 (此处步长即为每一次数据变化的增量) 为 1, 回油温度最小值设定为 -40 °C, 最大值设定为 125 °C, 发送步长也为 1, 四类数据发送的时间间隔设定为每 50 ms 发送一次。A、B 两臂的称重质量范围最小值设为 0 kg, 最大值设定为 20 000 kg, 发送步长为 10, 发送时间间隔设定为 1 000 ms 发送一次。油液液位和电机温度两者都是开关量, 设定发送低电平 (数字 0), 发送时间间隔设定为 50 ms 发送一次。由图 12 上位机数据验证模块界面可知, 对于各类发送数据的发送, 偏差很小, 由于利用了无线和有线的发送模式, 所有在时间上稍有延迟, 设计时设定压力信号数据偏差在 5 Bar 以内, 回油温度

偏差在 3 °C 以内, 抓取净重和抓取毛重在 100 kg 以内, 系统判定检测结果为检测成功。经过系统的调试与运行, 测试得到所设计的液压抓斗控制器在环仿真与测试系统运行状态良好, 工作状态稳定。

8 结束语

本文利用 XC2234 芯片设计开发了基于 ZigBee 网络和 CAN 总线的液压抓斗控制器在环仿真与检测系统。系统上位机数据验证模块界面。采用上位机发送模拟数据, 利用 CAN 总线发送给 ICAN-4404 模拟量输出模块, 之后再传输给单片机数据处理模块, 处理后的数据经过 ZigBee 无线网络打包转发出去, 通过上位机上的 ZigBee 接收, 经过上位机接收处理并显示到上位机界面。通过接收数据和发送数据的对比来检测液压抓斗智能管理系统中的设备是否合格。经过系统平台的搭建和测试, 收发数据近似相等, 相对误差在很小的范围内, 证明了液压抓斗控制器在环仿真与检测系统能很好的工作。

参考文献:

- [1] 周汝胜, 焦索复, 王少萍. 液压系统故障诊断技术的研究现状与发展趋势 [J]. 机械工程学报, 2006 (9): 6-14.
- [2] 孙鹏, 田雨, 龚元明, 等. 基于 ZigBee 与 CAN 的工程机械液压系统参数监测系统 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (1): 64-67.
- [3] 宫夏. 汽车电子测试平台 CAN 总线通信实时性与可靠性研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.
- [4] 苏晓东, 罗庆生, 李华师, 等. 仿生四足机器人控制系统设计 [J]. 机械设计与制造, 2013 (2): 16-19.
- [5] 万涛. 基于 ZigBee 无线网络智能家居系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [6] 孔维康, 陶帅, 汪祖民. 基于 ZigBee 的养老院健康监护系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2016 (1): 95-98.
- [7] 董圣友, 肖继学, 廖旋, 等. 曾强. Visual Studio 中串行通信方法实时性能测试 [J]. 中国测试, 2015, 41 (2): 124-128.
- [8] 周小波. 基于 ZigBee 与 CAN 总线技术的井下无线通信系统设计 [J]. 现代电子技术, 2011, 34 (10): 118-119+122.

(上接第 6 页)

- [30] Westervelt K. Root cause analysis of BIT false alarm [A]. Proceedings of the IEEE Aerospace Conference [C]. 2004, 6: 3782-3790.
- [31] Allen D. Probabilities associated with a built-in-test system, focus on false alarms [J]. IEEE Autotestcon, 2003: 643-645.
- [32] Havey G, Louis S, Bruska S. Micro-time stress measurement device development [Z]. Rome Laboratory Air Force Materiel Command Griffiss Air Force Base, New York. 1995.
- [33] 吕克洪. 基于时间应力分析的 BIT 虚警抑制与故障预测技术 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2008.
- [34] John Z. Smart BIT/TSMd integrate. AD-A247192 [Z].

- USA: Rome laboratory, 1991.
- [35] Malcolm J G. BIT false alarm: an important factor in operational readiness [A]. Proc. of annual reliability and maintainability symposium [C]. 1982: 206-212.
- [36] Aylstock F, Elerin L, Hintz J, Learoyd C. Neural network false alarm filter, AD-A293097 [Z]. USA: Raytheon Company, 1994.
- [37] Richards W. smart built-in test. N90-25512 [Z]. 1990: 123-126.
- [38] 张宝珍, 曾天翔. 改善电子系统故障诊断能力的神经网络虚警过滤技术 [J]. 航空标准化与质量, 2001, 3: 43-47.
- [39] 杨光, 邱静, 温熙森, 等. 机内测试系统虚警问题的数学模型分析 [J]. 西南交通大学学报, 2003, 5: 581-583.