

# 基于 STM32 的电动挖掘机信号无线传输系统<sup>①</sup>

王鸿雁, 孟祥印, 赵 阳

(西南交通大学 机械工程学院, 成都 610031)

**摘 要:** 为解决电动挖掘机驾驶室与其电源车之间有线信号传输的干扰和使用不便问题, 提供了一种信号对传的无线解决方案. 以 STM32 微控制器为核心, 利用 Modbus 协议采集电源车变频器数据, 获取电动挖掘机的用电状态和使用数据, 然后应用 ZigBee 无线双向通信协议传送给驾驶室的 STM32 微控制板以显示, 同时接收驾驶室的开机、调速等指令, 指挥电源车变频器的工作. 实验结果表明, 电动挖掘机的工作状态采集, 以及数据的无线双向传输均运行稳定可靠, 成功实现各项功能, 具有广泛的应用前景.

**关键词:** 电动挖掘机; 无线双向通信; STM32; ZigBee; Modbus

## Wireless Signal Transmission System of Electric Excavator Based on STM32

WANG Hong-Yan, MENG Xiang-Yin, ZHAO Yang

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of interference and inconvenience due to the use of wired signal transmission between the driving cab and the power supply car of the electrical excavator, the wireless signal transmission solution is proposed. With STM32 microcontroller as the core, use Modbus protocol to collect data of power supply car, and obtain the electric state and data of the electric excavator. ZigBee communication protocol is applied to transmit the data to the STM32 micro control panel in the cab for display, at the same time to receive the speed and other instructions of the cab to command the inverter of power car. Experimental results show that the working states acquisition and the wireless bidirectional data transmission is stable and reliable, and the various functions are realized successfully. It can be prospected that such a wireless bidirectional data transmission solution will be used in a wide range of applications.

**Key words:** electric excavator; wireless two-way communication; STM32; ZigBee; Modbus

近几年来, 随着国家对环境污染的重视, 纯电动机逐渐取代燃气机. 开发纯电工程机械的需求越来越大. 工程机械作为国家建设的支柱, 对国家现代化建设的作用举足轻重, 各国都对工程机械给予强烈关注, 工程机械是国家装备制造能力的重要体现. 工程机械的质量性能反应一个国家的综合国力<sup>[1]</sup>. 而挖掘机则是应用最广泛的一种工程机械, 但其发展亟需解决以下几个方面的问题: 第一, 减少对能源的消耗以及对空气的污染; 第二, 改善操作人员的工作环境; 第三, 提高机械的工作效率; 第四, 提高智能化和自动化; 第五, 对危险工作场合的适应性. 而电动挖掘机的

出现则为以上问题的解决提供了一种新思路<sup>[2]</sup>. 但是, 由于现场工作环境的限制, 目前电动挖掘机需要将驾驶室与提供动力的电源车分开, 两者之间用动力电缆和信号电缆连接. 工作中拖曳两根线十分不便, 两根线缠绕在一起或做在一个电缆里又容易发生信号干扰问题.

为解决这一难题, 设计了一种基于 STM32 的无线传输方案, 采用 ZigBee 无线双向传输技术, 在驾驶室和电源车之间传输数据和指令. ZigBee 技术可靠性高, 抗干扰性强, 且为全双工数传<sup>[3]</sup>, 从而保证数据和指令传输的稳定性和可靠性.

① 基金项目:四川省科技支撑计划(2016GZ0194)

收稿时间:2016-07-12;收到修改稿时间:2016-09-27 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005763]

## 1 功能设计与平台架构

本平台主要由电源车端控制系统与驾驶室端控制系统两部分构成。控制系统的核心为 STM32 控制器。

电源车端功能主要是：1)采集工作电机实时转速和实时直流工作电压两个信号量，并无线传输到驾驶室端。电源车内的变频器提供 4-20mA 的转速信号，直接从变频器接线端子引出，连接到平台电源车端系统的 STM32 控制器。工作电压则是控制器与变频器之间通过 Modbus 协议通信获得。控制器为通信的 Master 方，变频器为 Slave。2)控制电机的起停和转速。电源车端控制系统接收到由驾驶室端发出的开关机指令和调速指令后，控制器控制变频器工作，起停或调速工作电机。

驾驶室端控制系统则需要实现两个主要功能：1)工作电机的实时转速和工作电压的显示，以及故障信号指示。通过 LCD 显示单元对由电源车端传输过来的转速和电压信号进行实时显示。2)采集由驾驶员通过驾驶操作器发出的开关机(工作电机起停)和速度调节指令，并无线传输到电源车端控制系统。

由于两端数据的发送和接收是同时进行的，所以要求无线传输模块具有全双工通信能力<sup>[4]</sup>。本平台采用 ZigBee 无线模块实现信号的无线双向传输，系统总体设计方案如图 1 所示。

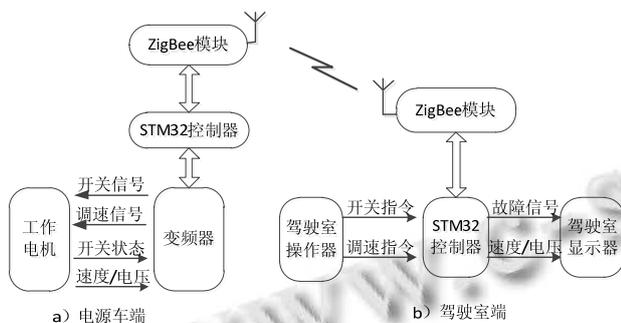


图 1 平台总体架构

## 2 平台硬软件设计

### 2.1 主要硬件电路设计

#### 1) 主控芯片最小系统

平台中主控制器使用意法半导体公司的 STM32 系列的 STM32F103VET6 芯片作为主控制芯片，该芯片是基于 ARM 公司 Cortex-M3 内核的 32 位处理器。具有高性能、低成本、低功耗等优点<sup>[5]</sup>。STM32 特点如下：

内核：ARM32 位 Cortex-M3 CPU，最高工作频率 72MHz, 1.25DMIPS/MHz。

存储器：片上集成 32-512KB 的 Flash 存储器。6-64KB 的 SRAM 存储器。

低功耗：3 种低功耗模式：休眠，停止，待机模式。为 RTC 和备份寄存器供电的 VBAT。

调试模式：串行调试(SWD)和 JTAG 接口。

DMA：12 通道 DMA 控制器。

3 个 12 位的 us 级的 A/D 转换器(16 通道)：A/D 测量范围：0-3.6V。双采样和保持能力。片上集成一个温度传感器。

2 通道 12 位 D/A 转换器：最多高达 112 个的快速 I/O 端口。

最多达 13 个通信接口：2 个 IIC 接口，5 个 USART 接口，3 个 SPI 接口(18 Mbit/s)，两个和 IIS 复用。CAN 接口(2.0B)，USB 2.0 全速接口，SDIO 接口<sup>[6]</sup>。

挖掘机信号具有多路输入输出，干扰能力较强等特性，系统工作时需要对环境较强的适应能力，满足野外工作的需求。STM32 较强的抗干扰能力能够满足该传输系统要求。

#### 2) 采集调速实时转速信号的硬件电路

驾驶室操作器给出的调速指令信号和变频器输出的实时转速信号均为 4-20mA 的电流信号，STM32 控制器采用 HCNR201 作为主芯片再结合运放电路来设计该电流信号采集的外围电路。将采集到的 4-20mA 的电流，通过硬件电路的 I/V 变换得到 0-3.3V 的电压信号。控制器通过 ADC 端口采集该电压，并进行工程量转换，从而实现对调速指令信号和实时转速信号的采集与存储。其硬件电路图如图 2 所示。

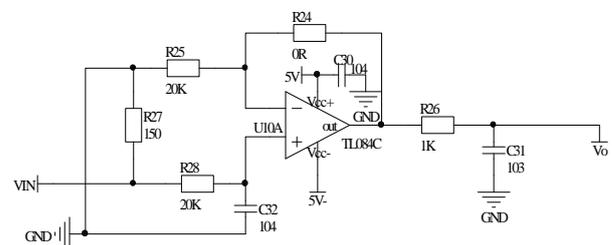


图 2 驾驶室调速信号采集电路

#### 3) 采集电机直流工作电压的 Modbus 通信

电机的直流工作电压只能通过电源车端与变频器的数字通信方法获得。STM32F103VET6 通过 UART3 和 UART-485 转换芯片构建 RS-485<sup>[7]</sup>通讯接口

的硬件电路. Modbus 的传输协议有 ASCLL 和 RTU 两种, 本系统采用 RTU 模式. 该模式下每一个完整的数据帧包含: 地址码、功能码、数据、CRC 校验码(低字节、高字节). 利用 Modbus RTU 协议采集变频器给出的电机工作直流电压的示例如图 3 所示.

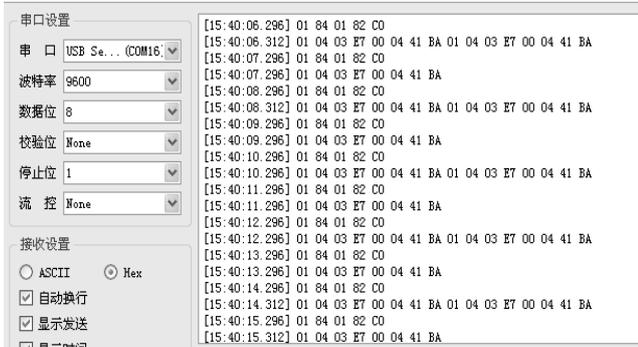


图3 Modbus RTU 通信示例

#### 4) 电机起停控制电路

电机的起停控制, 是通过变频器发出继电器触点信号实现的. 本控制器利用三极管驱动继电器线圈.

控制芯片输出电压为 3.3V, 三极管导通压降为 0.7V, 设基极电阻 2K 欧姆, 此时三极管的基极电流则为:

$$I_b = \frac{V}{R} = \frac{3.3 - 0.7}{2K} > 0.6(mA) \quad (1)$$

继电器线圈阻抗 400 欧姆, 则三极管驱动继电器的集电极电流为:

$$I_c = \frac{V}{R} = \frac{24V}{400\Omega} = 60(mA) \quad (2)$$

三极管放大倍数为:

$$V = V_0 + W \times I + W \times \frac{X - X_L}{X_H - X_L} \quad (3)$$

故可选 S8050 三极管. 其电路图如图 5 所示. 图 4 中与继电器线圈并联的是一个续流二极管.

#### 5) 电机转速控制电路

电机转速的控制室通过给变频器输出的模拟量来实现的. 模拟量的输出采用 PC817 芯片, 其应用电路如下图 5 所示. 当主控芯片的 P3 引脚输出 0-3.3V 时, J7 两端输出对应的电压.

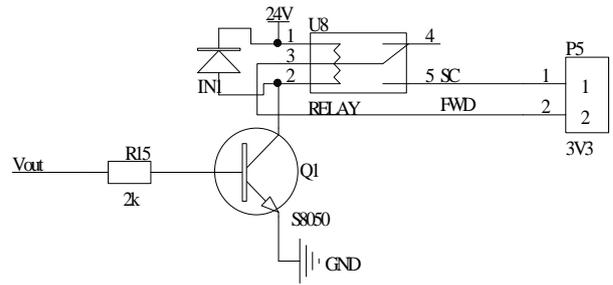


图4 电机起停控制电路

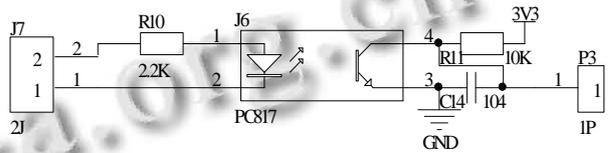


图5 模拟量输出电路

### 2.2 软件设计

根据系统所需功能, 电源车端程序流程图如图 6 所示. 系统初始化后, 检测是否发生中断, 如无中断产生, 则进入数据发送模式. 由于对只需对数值进行显示, 故数据包频率设置不需太高, 程序每隔 100ms 依次读取转速和工作电压数据 ADC 值和 Modbus 返回值, 并将所得数据存入数组中发送到驾驶室端. 当系统产生中断时, 系统会打断主程序中正在进行的程序转而进入中断程序. 中断有 Modbus 中断、故障中断以及接收到数据产生中断, 其中, Modbus 中断和故障中断都会以数据的形式通过信号量发送给主程序, 而在接收到驾驶室端的信号时所产生的中断会控制继电器产生开关机动作或者控制 DAC 输出.

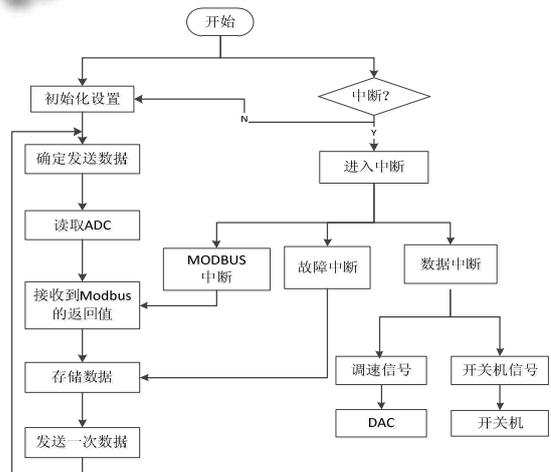


图6 电源车端 STM32 控制器程序流程图

驾驶室端程序任采用主循环+中断的模式, 系统初始化后进入主程序中循环发送数据. 由于对实时性要求相对较高, 主程序每隔 10ms 读取采集到的调速数据和开关机信号, 然后存储数据至数组中, 再以无线方式发送数据至电源车端. 系统开机即检测是否发送中断, 中断目的之一为采集开关机指令, 当接收到开关机信号时, 系统进入中断, 将开关机信号以 0x25 和 0x26 两种指令保存至发送数据帧中, 同主程序一并发送给电源车端产生电源车端的的动作中断. 当无线接收到电源车端信号时产生另一中断即数据接收中断, 接收到的数据主要包括系统工作的实时转速和工作电压, 这两个数据会通过屏幕显示给操作员. 而接收到故障信号时, 驾驶室端的警报灯受继电器操作会不断闪烁提醒查看故障原因. 驾驶室端程序流程图如图 7 所示.

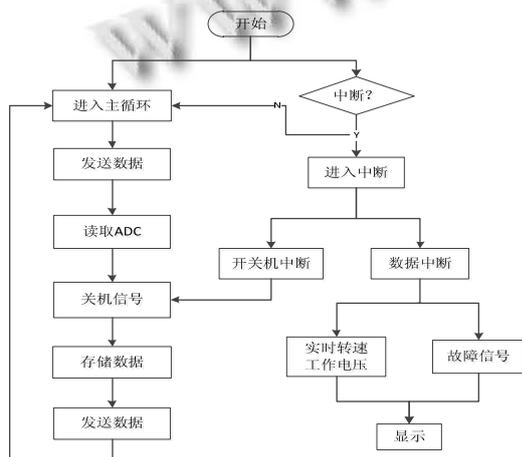


图 7 驾驶室端程序流程图

### 3 数据处理与无线通信设计

#### 3.1 全双工无线数据传输

ZigBee 技术是 ZigBee 联盟基于低功耗、低成本、全双工的目标推出的一种通信协议<sup>[8]</sup>, 主要作为嵌入式设备的通信协议, 广泛用于电子设备, 智能家居, 自动化, 工业控制中<sup>[9]</sup>. 其主要优点有: 1) 低功耗. 其内部通过降低传输数据量与帧开销, 实行严格的功率控制. 2) 低成本. ZigBee 模块的嵌入能力比较强, 适合在电路板上整合. 3) 可靠性高. 采用载波监听多址访问、冲突避免和完全握手方式, 以保证数据传输的高可靠性. 4) 工作频段灵活.

在本平台的程序设计时, 无线传输的每一帧数据

均加入了首位校验位和末位校验位; 当校验均正确时, 才开始处理数据, 从而保证数据传输的正确性<sup>[10]</sup>.

#### 3.2 数据插值处理算法

模拟量采集电路虽然经过 Multisim 软件的仿真, 并且经过了实际硬件电路的验证, 但考虑长期使用过程中硬件电路元器件的偏差以及环境影响, 电流信号从进入到模拟量采集电路中被 STM32 采集后到被模拟量输出电路输出后并不完全吻合, 存在一定的偏差. 这就需要对采集到的数据进行插值处理<sup>[11]</sup>. 典型的插值公式如下所示:

$$V = V_L + (V_H - V_L) \times \frac{X - X_L}{X_H - X_L} \quad (4)$$

考虑到输入为 4-20mA, 对公式进行变化可得到如下所示:

$$V = V_0 + W \times I + W \times \frac{X - X_L}{X_H - X_L} \quad (5)$$

式中,  $V_0$  表示初始值  $W=X-4$  表示电流从 4mA 开始,  $I$  表示单位量为 1.  $X_L, X_H$  分别代表插值的数据.

表 1 所示即为经过插值前后的数据.

表 1 插值数据处理表

输入 电流 值 (mA)	输入 端插 值	输出 端插 值	输出 电流 值 (mA)	输入 电 流 值 (mA)	输入 端插 值	输出 端插 值	输出 电 流 值 (mA)
4	32	19	4	12	1989	1944	12
5	276	252	5	13	2234	2186	12.9
6	521	493	5.9	14	2480	2428	13.9
7	765	735	7	15	2725	2671	15
8	1010	976	7.9	16	2970	2913	16
9	1255	1219	8.9	17	3215	3155	17
10	1499	1460	10	18	3460	3398	18
11	1744	1702	11	19/20	3511	3344	18.8

注: 当小于输入值 32 时返回值为 4

当大于输入值 3511 时返回值为 20

### 4 测试与结论

本平台基于 STM32 系列的 MCU, 利用嵌入式系统开发技术和 ZigBee 无线通信协议, 实现了电动挖掘机驾驶室与电源车相关信号的采集控制及两者之间的无线双向数据通信. 在成都高新西区一测试场内经过一周的连续工作测试与检验发现: 在连续工作模式下, 数据传输的丢帧率控制在 1% 以下, 当检测到系统未

能接收到信号时,通过软件过滤无用帧数据,由于系统对实时性要求不高,丢弃一帧数据对控制与显示无任何影响.平均反应时间控制在1ms以内.连续工作24h后,系统无异常,电源车与挖掘机端的缆线距离最大为50m,工作时直线距离在不超过40m时信号发送无任何错误.系统工作时,开启蓝牙、红外、ZigBee模块对其进行干扰,系统无任何异常,使用手机与对讲机时,系统也无异常反应.即人工产生信号干预时,系统正常.实际验证证明该平台实现了所有功能,电源车与平台的实物图如图8所示.

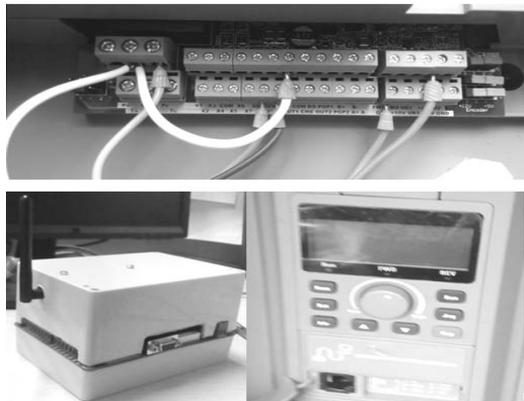


图8 电源车端与平台实物图

驾驶室端控制器收到电机工作电压和当前转速数据后的LCD显示屏如图9所示.

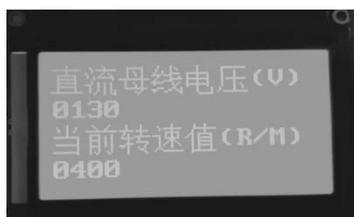


图9 驾驶室端LCD显示

实际试验表明,平台性能稳定可靠.考虑多台电动挖掘机同场地作业情况,由ZigBee搭建的无线组网传输模式在无线数据通信的数据帧中还可以增加目的地址、源地址等信息,便于信号配对.

### 参考文献

- 1 杨国永,谷侃锋,沙清泉.一种新型电动挖掘机整体.机械设计与制造,2012,(11):61-63.
- 2 宋路刚.浅谈电动挖掘机中变频调速技术的应用.科技致富向导,2015,(11).
- 3 刘绳武,范红,蔡卫峰.基于ARM+ZigBee的智能家居防盗报警系统.计算机系统应用,2015,24(2):257-260.
- 4 张卫星,张桂香,谭成午.基于STM32的环境多点监测系统.计算机测量与控制,2014,22(10):3141-3143.
- 5 Wang HW, Tian X, Du GH, et al. Wireless sensor network platform based on STM32. Advanced Materials Research, 2013, 787:1011-1016.
- 6 任顺航,吕鹏鹏,王立鹏,等.基于STM32的电能手抄系统设计与实现.电子技术应用,2014,40(1):75-78.
- 7 郝晓军,吕璠.实时监测控制系统中CRC校验结合线性插值纠错技术研究.制造业自动化,2009,31(9):192-194.
- 8 庞泳,李光明.基于ZigBee的智能家居系统改进研究.计算机工程与设计,2014,35(5):1547-1550.
- 9 Wang GW, Lu SL. Smart home gateway based on ZigBee technology.国际设备工程与管理(英文版),2015,20(4):240-249.
- 10 张猛,房俊龙,韩雨.基于ZigBee和Internet的温室群环境远程监控系统设计.农业工程学报,2013,29(z1):171-176.
- 11 郭乐,潘济猛,卢家力,等.插值算法在智能变电站中的应用.电力自动化设备,2010,30(10):103-105.