

文章编号: 2096-1618(2020)05-0487-06

基于 CANopen 的工程机械控制器设计

王紫瑞^{1,2}, 关旭^{2,3}, 冀雯馨⁴

(1. 辽宁工程技术大学研究生院, 辽宁 葫芦岛 125105; 2. 辽宁省露天矿山装备专业技术创新中心, 辽宁 阜新, 123099; 3. 辽宁瀚石机械制造有限公司, 辽宁 阜新, 123000; 4. 常熟理工学院电子信息工程学院, 江苏 常熟 215500)

摘要:针对国内中高端的工程机械控制器市场主要被国外厂商垄断,导致工程机械控制器价格昂贵、后期维护能力差、供货周期长,而传统控制器又不能够满足现代化工程机械的控制中的高速通信需求的问题,设计了基于 CANopen 的工程机械控制器。选用 Infineon 的 XC2287M 芯片作为平台的核心部件,详细说明系统中各模块的作用,并且完成系统原理图和 PCB 的设计;选择符合 IEC61131-3 标准的 CoDeSys 作为控制器的调度核心,进行 CoDeSys Runtime 的移植和 I/O 接口配置;控制器采用 CANopen 协议应用于控制系统中,使得通信更加方便快捷;对控制器进行基本功能测试和 CAN 通信测试。实验结果表明,基于 CANopen 的工程机械控制器能够实现对矿山工程机械的控制。

关键词: 工程机械; 控制器; CoDeSys; CANopen; 可靠性

中图分类号: TP273

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2020.05.001

0 引言

目前工程机械控制器已经广泛应用于矿山开采、特种车辆、工业民用建筑、高铁、交通运输、国防建设等领域^[1-3]。工程机械控制器作为工程机械设备的核心器件,能够实现对电磁比例调节阀、照明灯和电机等执行器件的控制,也能实现对油温、液位和位移等传感器信号进行采集和监测。工程机械控制器应具备通用性强和可靠性高等特点^[4-7]。然而中国对工程机械控制器的研究起步较晚,没有自主研发的核心技术,产品功能单一且通用性较差,主要依靠进口来满足工程机械领域发展的需求^[8]。传统的 PLC 已经不能满足现代化工业控制的需求,符合 IEC61131-3 标准的软 PLC 技术成为工程机械控制器发展的主流。

SIEMENS 的 S7 系列 PLC 产品种类齐全。TT Control 公司的 HY-TTC 500 系列控制器由高端安全控制模块组成。其中 HY-TTC 580 控制器的核心是 TI 公司的 32 位 TMS570 处理器,其 CPU 内核采用双核锁步 (Dual Core Lockstep) 方式,在确认得出相同结果后再运行。所有的 I/O 接口都有短路保护,并且可以通过软件对 I/O 进行配置,可监控芯片的温度、电源电压和传感器的供电情况。

三一重工的 SYMC 控制器是其自主研发的专用型控制器,可满足工程机械设备的特殊需求。已广泛应用于混凝土机械、汽车起重机、路面机械和煤炭机械等

领域。广西大学于 2007 年与柳州工程机械股份有限公司共同合作研发了基于 IEC61131-3 标准的 DSP 控制器。在控制器中实现了实时操作系统 $\mu C/OS-II$ 的移植,能够完成多任务调度。

综上所述,国外对工程机械控制器的研究水平较高,且技术比较成熟,对于接口的防护措施也比较完善,通用性好、种类多。

1 总体设计

根据工程机械设备的实际工作环境,对控制器的功能需求进行分析,设计出控制器的性能指标,进而给出总体的设计方案。通过总体方案的实施,实现工程机械控制器对电磁阀、比例阀、电机等执行器件的控制,并且通过采集相关传感器的信号实现对整机的监控,同时利用 CAN 通信实现控制器与控制器、显示器等其他设备之间的信息交换。为满足现代工业控制的要求,结合露天矿山工程机械设备工作的实际情况,对控制器应具备的功能的详细分析如下:

I/O 接口。根据工程机械控制器需要对不同种类信号进行采集,其中包括数字采集、模拟量采集和脉冲量采集。数字量采集涉及的器件有接近开关、按钮等;模拟量采集电路中可采集两种不同种类的输入信号,即 0~5 V 和 4~20 mA,以此满足工程机械控制器的不同需求;脉冲量采集主要对转速、脉冲计数等信号进行采集,实现 I/O 端口的多样性特点。输出电路主要包括开关量输出和 PWM 输出。

控制器硬件系统具体设计方案如图 1 所示,为了方便对工程机械控制器硬件电路进行模块化设计,包括基本单元模块、I/O 模块、通信模块、存储模块和监测模块。

$$C_{60} = \frac{T_{ss} \times 2}{V_{ref} \times 0.8} \quad (2)$$

TPS57140-Q 芯片的开关频率可调范围大约为100 ~ 2500 kHz,通过设置接入 RT/CLK 引脚的定时电阻 R_{39} 的大小来设置开关频率。通常会选择比较高的开关频率,但是该频率的大小受限于内部电源开关的最短接通时间、输入电压和输出电压等因素。TPS57140-Q 芯片的最短接通时间为130 ns,在电压转换电路中最大输入电压为36 V,输出电压为5 V,因此选择开关频率为1200 kHz,定时电阻

$$R_{39} = \frac{206033}{f_{sw} \cdot 1.0888} \quad (3)$$

输出电压由输出节点到 VSENSE 引脚的电阻分压进行设置,选择分压电阻时考虑到输出电压的稳定性,选择容差为 1% 的精密电阻,其计算公式为

$$R_{52} = R_{51} \left(\frac{V_{\text{out}}}{0.8} - 1 \right) \quad (4)$$

为得到5 V的输出电压,取电阻 $R_{S1} = 10 \text{ k}\Omega$, 计算出 $R_{S2} = 52.3 \text{ k}\Omega$ 。

2.2 模拟量采集电路

在 AI (模拟量信号) 采集电路中可以实现对 0 ~ 5 V 信号的采集,也可以对 4 ~ 20 mA 的采集,但是在采集 4 ~ 20 mA 信号时,需要在输入端与模拟信号地之间接入 250 Ω 电阻,具体电路如图 3 所示。选用的是 P5.0、P5.3 和 P5.5,通过控制 Pn_DIDIS 寄存器中相应位的置位和清零来禁用施密特触发器和启用施密特触发器,进而实现该引脚的 AI 与 DI 的复用,AI 采集电路可以在 DI 数量不足时配置成正向开关量采集电路。

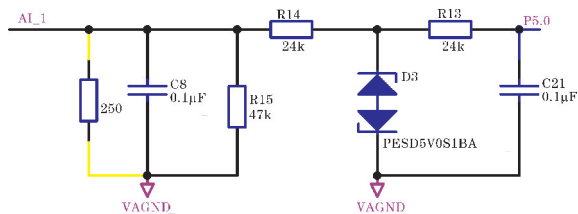


图3 模拟量采集电路

在进行 A/D 转换时,需要计算采样精度,即数字量变化一个最小量时模拟量的变化量。选择的 XC2287M 芯片中的 A/D 转换模块为 10 位,参考电压为 5 V,则检测到的模拟量的最小变化(转换精度) $\Delta r = 5/2^{10} = 4.9 \text{ mV}$ 。A/D 转换器的采样周期通过设置 GLOBCTR(全局控制寄存器)和 INPCR_x(输入组寄存器)来获得,在本设计中设置 GLOBCTR.5-0(DIVA)=03H,DIVA 指的是模拟内部时钟的分频因子,INPCR_x.7-0(STC)=00H,STC 为采样时间控制位域。

则采样时间为

$$t_s = \frac{(2 + \text{STC})}{f_{\text{ADCI}}} \quad (5)$$

其中, $f_{\text{ADCI}} = \frac{f_{\text{SYS}}}{\text{DIVA}+1}$ 。

XC2287M 芯片的系统时钟 $f_{\text{SYS}} = 80 \text{ MHz}$, 则可计算出其采样时间 $t_s = 0.1 \text{ } \mu\text{s}$ 。其转换时间 $t_{\text{cl0}} = 13 \times t_{\text{ADCl}} + 2/f_{\text{SYS}} = 0.675 \text{ } \mu\text{s}$ 。

2.3 输出模块设计

为满足控制器的通用性要求,在输出电路中设计了 PWM/DO 复用。共设计 4 路正向数字量输出和 8 路的 PWM/DO 输出,采用 Infineon BTS5215L 芯片,该芯片工作电压为 24 V,温度范围 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +150\text{ }^{\circ}\text{C}$,导通电阻为 $90\text{ m}\Omega$,额定负载电流为 3.7 A ,具有短路保护、过载保护、过压保护、静电放电保护和热关断等功能。具体的电路设计如图 4 所示。

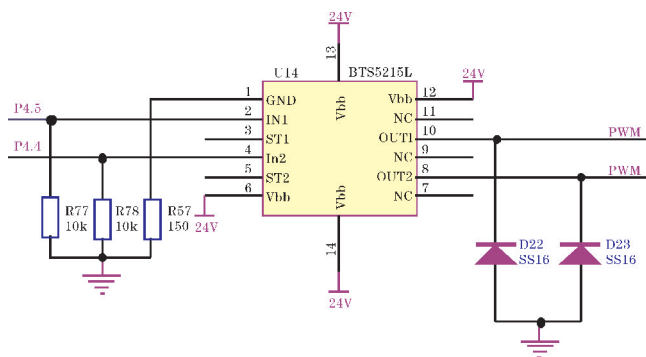


图 4 PWM/DO 输出电路

微控制器输出端口 P4.5 和 P4.4 分别与 BTS5215L 的 IN1 和 IN2 端口相连, 由 BTS5215L 的 OUT1 和 OUT2 端口输出, 输出设计为 PWM/DO 信号复用。

2.4 CAN 通信接口

CAN 总线通信方式具有实时性强、可靠性高的优点,因此已经广泛应用于工程机械领域。文中选用的 CAN 收发器是 Infineon TLE6251DS 芯片,可工作于恶劣环境,CAN 数据传输速率高达 1 Mbps,具有低功耗和过热保护等特点^[10]。

TLE6251DS 芯片有两种工作模式,可以通过 STB 引脚进行控制。STB 引脚内部有上拉电阻,所以如果没有信号施加到 STB 或 STB 置为高电平时,则待机模式被激活。要将 TLE6251DS 转换为正常模式,必须将 STB 切换至低电平,文中设计将 STB 接地,使芯片始终工作在正常模式下。分离电路在正常模式下被激活,SPLIT 引脚通过稳定 0.5VCC 电压实现稳定隐形共模信号。在 CAN1 H 和 CAN1 L 之间的共模电感

和 compact_NotImpl.h。至此运行系统的组件配置完成。

4 CANopen 协议栈

CAN 总线标准包含物理层数据链路层的服务,但 CAN 标准对应用层未做定义,本身并不完善。CiA (CAN in automation) 组织监督开发了标准的 CAN 应用层协议,即 CANopen 协议^[13]。CANopen 不仅定义了应用层协议和通信子协议,而且对接口、不同器件和可编程系统等进行了定义,因此使得不同厂商生产出来的设备具有良好的通用性。不同的 CANopen 设备是通过交换通信对象进行数据传输,对象这一概念的引用,使得设备的系统配置和运行状态的改变更加容易,只需要对这些对象的属性进行修改。

CANopen 设备的模型主要由通信接口、对象字典和应用程序 3 部分组成,通信接口主要用于为不同设备分配不同的通信对象,进而实现信息的传输和共享。对象字典是 CANopen 设备中的关键,是通信接口与应用程序的沟通桥梁,对象字典包含通信接口所有的通信对象和设备的相关参数等信息。应用程序包含设备基本参数的描述以及具体实现功能的实现代码等,主要由用户根据自己的实际需求进行编写。

为证明 CAN 通信的可靠性,使用 PCANView 软件监测 100 万次数据,让控制器以周期 $T=20\text{ ms}$,连续发送数据,在 PCANView 软件上可以监控到控制器发送的数据。

CAN 发送数据代码如下:

```
CanTxTime1(IN:=TRUE, PT:=T#20ms); (* 设置 Can 帧发送定时器 1 为 20ms *)
```

```
IF CanTxTime1.Q THEN (* 判断定时器 1 输出 *)
```

```
CanTxTime1(IN:=FALSE); (* 重置定时器 *)
```

```
PD:=ADR(MsgBuf.Can00Out_18x); (* 获取要发送的数据地址 *)
```

```
(* 发送 Can 信息,发送缓冲区 Msg1,节点 ID:16 #180+NodeID,帧类型:标准帧,长度:8Byte,数据:地址取值.Can00Out_18x 为 300 循环发送 *)
```

```
CanTx(MsgObj:=Msg1, ID:=16#180+NodeID, Id-Format:=Standard, LEN:=8,
```

```
Data:=PD^, Status=>);
```

```
END_IF
```

将程序下载后,接收的 ID 为 187 h,周期 (Cycle Time) 为 20 ms,当前为第 945 个报文,接收的数据为 2C 01 00 00 00 00 00 00,转化成十进制为 300。通过查看 Trace 能够得到历史数据。PCANView 最多能够

监测 10 万条数据,且具有数据保存功能,将每次接收的数据存储下来,便于进行误码分析。实验中共接收了 100 万条数据,且接收的每条数据均与控制器发送的数据一致,未出现误码情况。

同时所设计的控制器是针对露天矿用钻机 LWD-200C 的功能进行的定制化设计,控制功能较好地满足 LWD-200C 的控制要求,实际使用中,该控制器满足了较好的控制精度和高可靠性的 CAN 通信要求。

5 结束语

通过分析国内外工程机械控制器的发展现状和工程机械控制器的功能需求,设计了基于 CANopen 的工程机械通用控制器。采用 Infineon 的 32 位 XC2287M 作为工程机械控制器的核心,具有进行复杂数字滤波算法的 DSP 运算能力、I/O 资源丰富和低功耗等特点;为了满足工程机械控制器的通用性要求,软件系统采用符合 IEC61131-3 标准的 CoDeSys 运行系统^[14]。

对设计的工程机械控制器进行实验测试以 CAN 通信可靠性测试,实验证明设计的工程机械控制器符合设计要求。在 CAN 通信的可靠性试验中,通过监测 100 万条数据为出现误码现象,说明 CAN 通信具有较高的可靠性。

参考文献:

- [1] 李强. 基于 ARM 的挖掘机嵌入式控制系统研究与设计[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [2] 李冰,李自光. 工程机械的发展机遇和趋势[J]. 筑路机械与施工机械化,2004,21(4):4-6.
- [3] 王进. 工程机械概论[M]. 北京:人民交通出版社,2011.
- [4] 何创新,李彦明,刘成良. 工程机械远程状态信息采集方法研究与应用[J]. 仪器仪表学报,2009,30(4):728-732.
- [5] 张东宝. 工程机械控制器与控制技术[J]. 筑路机械与施工机械化,2008,25(6):72-75.
- [6] Min Jin, Zhou Xiang, Zhou Jihui. Research of Embedded Motion Controller for Construction Machinery[C]. Fifth IEEE International Symposium on Embedded Computing. IEEE Computer Society, 2008:201-206.
- [7] 王国庆,郭森,李哲,等. 基于多核异构的工程机械可编程控制器研究[J]. 长安大学学报:自然科学版,2015,35(6):141-144.

- [8] 杨文刚. 探讨工程机械控制器与其相关控制技术[J]. 装备制造技术, 2015(11):182-184.
- [9] 张晓磊. 工程机械控制器的设计与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [10] Infineon. TLE6251DSData Sheet [EB/OL]. https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-TLE6251DS-DS-v03_10-EN.pdf?fileId=5546d46259d9a4bf015a3d2d98f4606e, 2007.
- [11] Liang Quan, Li Li. The Study of Soft PLC Running System[J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 1234-1238.
- [12] 张雷. 基于 IEC61131-3 标准的 Soft PLC 技术探讨[J]. 上海船舶运输科学研究所学报, 2014, 37(4):13-17.
- [13] 包兆华, 高瑜翔, 夏朝禹, 等. 基于暗通道先验理论及其改进算法的夜晚图像增强处理[J]. 成都信息工程大学学报, 2020, 35(1):31-35.
- [14] 张东明, 马尚昌, 葛永华, 等. 手持式低功耗气象数据采集器设计与研究[J]. 成都信息工程大学学报, 2018, 33(6):654-660.

Designed on the Construction Machinery Controller based on CANopen

WANG Zirui^{1,2}, GUAN Xu^{2,3}, JI Wenxin⁴

(1. Graduate School, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China; 2. Open-pit Mine Equipment Professional and Technical Innovation Center in Liaoning Province, Fuxin 123099, China; 3. Liaoning Hans Machinery Manufacturing Co., Ltd, Fuxin 123000, China; 4. School of Electronic and Information Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu 215500, China)

Abstract: At present, the domestic middle and high level market of construction machinery controller is monopolized by foreign manufacturers, this leads to the issues that the construction machinery controller is expensive, poor maintenance ability and long supply cycle, while the traditional construction machinery controller cannot meet the requirements of high-speed communication in the control of modern construction machinery. Therefore, a construction machinery controller based on CANopen was designed for solving the above problems. Firstly, Infineon's XC2287M chip was selected as the core of the hardware platform, the hardware system design process of each module was described in detail and drawn schematic and PCB. Next, CoDeSys compliant with IEC61131-3 standard was selected as the software dispatch core, then the CoDeSys Runtime was transplanted and I/O interface configuration was implemented. Thirdly, the CANopen protocol adopted by the controller was applied to the control system so that CAN communication became more convenient and faster. Finally, the basic function test and CAN communication of the controller was carried out. The experimental results show that the construction machinery controller based on CANopen can achieve the control of mine construction machinery.

Keywords: construction machinery; controller; CoDeSys; CANopen; reliability