

基于 CANopen 总线的开关信号板卡设计

丁建业¹ 洪占勇¹ 文长明² 魏冬冬¹

(1. 合肥工业大学 工业与装备技术研究院 合肥 230009; 2. 中工科安科技有限公司 合肥 230022)

摘要:针对传统 PLC 在分布式控制系统中的弊端,设计了一种基于 CANopen 总线的开关信号板卡,实现对工业生产过程中开关信号的实时控制,给出了板卡的软硬件设计原理,并且在仔细研究设备子协议 DS401 的基础上,重点结合对象字典阐述了 CANopen 中最常用的通讯对象 PDO 的通讯机理和实现开关信号输入、输出控制流程。另外,用概率方法对开关信号的状态采集部分进行了软件消抖处理;最后对板卡进行了通讯功能测试和分析,结果表明该板卡能进行可靠的数据传输,具有一定的实用价值,并且对 CANopen 总线的推广有一定的促进作用。

关键词:CANopen 总线;开关信号板卡;对象字典;PDO;软件消抖

中图分类号: TP274+.2 TN919.3 **文献标识码:**A **国家标准学科分类代码:** 510.40

Design of switch signal board card based on CANopen bus

Ding Jianye¹ Hong Zhanyong¹ Wen Changming² Wei Dongdong¹

(1. Institute of Industry & Equipment Technology, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. China Industry Science Security Technology Co. Ltd, Hefei 230031, China)

Abstract: Focusing on the disadvantages of traditional PLC in DCS, a switch signal card based on CANopen bus is designed, which is used to control switch signal in the process of industry production. It gives the design principle of the hardware and software of the board card. On the basis of researching device profile DS-401, it emphasizes on the communication mechanism of PDO which is most common communication object in CANopen and the process of input/output of switch signal. In addition, using probabilistic method to deal with jitters of switch signal acquisition. Finally, functional test and analysis is conducted and results show that the card is reliable on data transmission, and has a positive impact on the promotion of CANopen.

Keywords: CANopen; switch signal board card; object dictionary; PDO; jitter elimination

1 引言

社会生产中需要控制大量的开关信号,如冷却泵、润滑油泵、故障报警等,以往这些开关信号主要通过 PLC 来控制^[1]。随着生产规模的不断扩大,这些信号分散、传输距离远,如果仍然采用 PLC 控制,则会存在以下问题^[2]:1) 国外 PLC 通讯协议保密,与计算机通信较为困难,不适合远程控制;2) 部分应用场合 I/O 口浪费,成本高;3) 通信实时性较差;4) 灵活性差。另一方面,工业现场环境复杂,信号长距离传输容易受到干扰,出错率高。近年来,随着现场总线应用领域的不断扩展,CAN 总线以其抗干扰性、实时性和灵活性在工业控制领域得到越来越多的应用^[3-4]。

本文设计的 CANopen 总线接口的开关信号板卡,很

好地避开了 PLC 的弊端。板卡直接与主控机通信,从而可以代替 PLC 完成对现场开关信号控制,节省成本。另外,对开关信号采集部分使用概率统计方法进行了消抖处理,可靠性高。由于其成本低、配置灵活,具有很好的兼容性,因此可以应用于数控系统、汽车、医疗等领域。

2 CANopen 协议简介

CANopen 是由 Bosch 公司开发的基于 CAN 总线的应用层协议,主要由通信协议和设备子协议组成^[5-6]。通信协议描述了通讯对象的通信方式及其特性,设备子协议对特定设备的行为规范进行了定义。CANopen 遵循主从结构,整个系统由一个主站控制,采用预定义分配 COB-ID 方案最多可以连接 127 个从节点。为了更好地描述 CAN-

open 设备,定义了 CANopen 设备模型如图 1 所示。

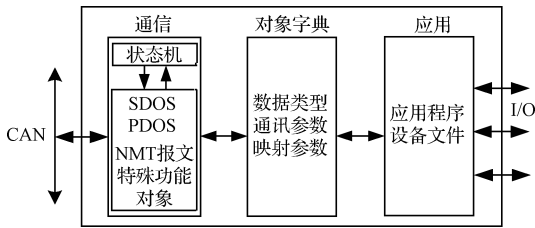


图 1 CANopen 设备模型

CANopen 设备模型中定义了 4 种通信对象(过程数据对象 PDO、服务数据对象 SDO、网络管理对象 NMT 和特殊功能对象)实现设备的 CANopen 通信、网络管理、紧急事件处理等功能^[7]。这些通讯对象与应用程序的接口是对象字典,对象字典作为 CANopen 协议的核心部分,是一系列数据结构的集合,每个对象采用 16 位索引和 8 位子索引寻址,用户可以对对象字典条目进行读写。在软件上,可以定义一个结构体数组实现。

应用主要对设备进行描述,如本文主要是依据 CANopen 子协议 DS401^[8] 实现板卡通信,并且重点阐述了 PDO 传输机理以及用 PDO 传输开关信号过程。

3 板卡硬件设计

板卡主要以 ST 公司的 STM32F103 32 位 ARM 芯片为核心(内部集成 CAN 控制器),完成 16 路开关量输入、输出控制,另外还包括开关信号调理电路、拨码开关、E² PROM 存储器、CAN 驱动接口、RS232 接口和电源模块。板卡采集现场各种开关状态信号后通过 CANopen 总线传到上位机,或者接受上位机下达的命令信息,从而控制现场继电器、接触器或者电磁阀等开关量信号。板卡整体结构如图 2 所示,其中 RS232 既可以作为程序下载接口也可以作为通讯接口直接与上位机通信。电源采用直流 24 V 供电,在内部转化为各个模块需要的电压等级;其他重要电路在下面分别阐述。

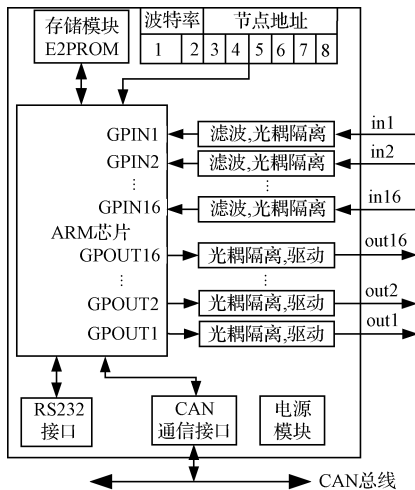
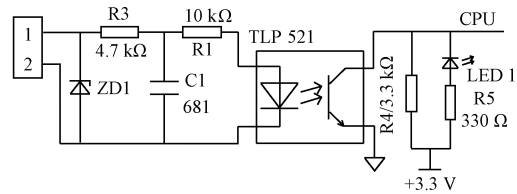


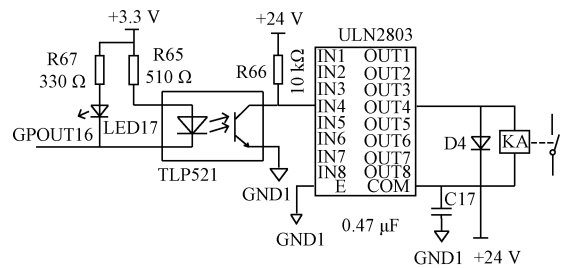
图 2 板卡整体结构

3.1 开关信号调理电路

板卡的开关信号调理电路如图 3 所示,其中图 3(a)为输入信号调理电路,图 3(b)为输出信号调理电路。板卡输入端需要处理的多为工业常用的 24 V 电压信号,但由于干扰原因会有瞬时高压、过流或开关触点抖动,因此输入电路需要通过光耦隔离器 TLP521 隔离、电平转换和 RC 滤波处理。输出电路需要驱动某些大功率设备,如把控制设备动作的信号通过继电器送到强电箱,为了更好地驱动继电器工作,每一路输出通过达林顿管 ULN2803 进行放大。为了便于观察,输入和输出都用发光二极管来显示每一路工作状态。电路中原件参数在图中都已经标出。



(a) 开关信号输入



(b) 开关信号输出

图 3 开关信号调理电路

3.2 CAN 接口电路

考虑到工业现场按钮、电机设备的频繁动作会使一些静电、浪涌等干扰耦合到总线上造成 CAN 通讯接口损坏,模块选取了 Analog Devices 公司的带隔离的 CAN 收发器 ADM3053,同时采取了保护措施。图中 R5、R6 主要限制流过 TVS 的电流,气体放电管 GDT 用于吸收大部分的浪涌能量,TVS1、TVS2、TVS3 将收发器引脚之间的电压限制在错位电压。CAN 接口电路如图 4 所示。

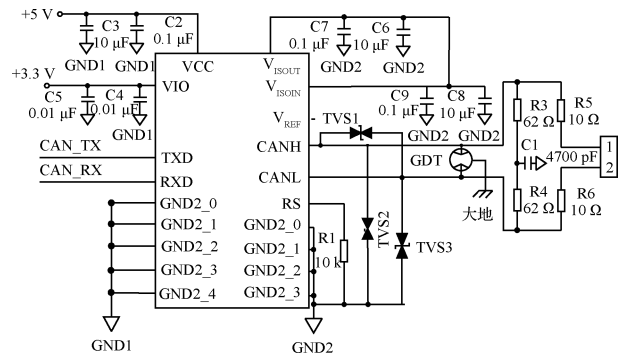


图 4 CAN 接口电路

3.3 其他电路

板卡上的 8 位拨码开关主要用来设置通信波特率和地址,其中高两位 D8 和 D7 用来设置波特率,其 4 种组态 00、01、10、11 分别代表 125、250、500 KB/s、1 MB/s 默认情况为 125 KB/s;低 6 位 D6~D1 用来设置板卡地址,最多可以设置 2^6 共 64 个模块地址;存储器 E²PROM 选用美国微芯半导体公司的 24LC02B,内存为 2 KB,采用电擦除, I²C 串口通信,主要用来存储波特率、节点地址等配置信息,板卡上电后通过读取存储器进行参数的配置。

4 板卡软件设计

4.1 主程序设计

板卡作为 CANopen 通讯的从站,主程序流程如图 5 所示。

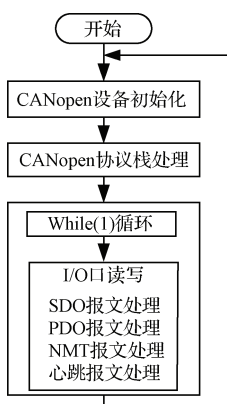


图 5 系统整体流程

每一个从节点内部定义了一个 NMT 状态机,主要有初始化、预操作状态、运行状态、停止 4 种状态。板卡通电以后首先会进行一系列初始化工作,主要对 GPIO 口、CAN 控制器等硬件部分,然后直接进入预操作状态。在预操作状态下通过 SDO 进行 PDO 参数配置工作,状态机具体代码实现如下:

```

switch ( Nmtcommand_p )
case Nmt_ResetNode:
case Nmt_ResetCommunicaton:
NmtCallback ( OldState,State_Initialisation );
case Nmt_Operational:
if (( OldState == State_PreOperational ) || ( OldState == State_Stopped ))
NmtCallback ( OldState, State_Operational )
case Nmt_PreOperational:
if (( OldState == State_Operational ) || ( OldState == State_Stopped ))
NmtCallback ( OldState, State_PreOperational );
case Nmt_Stopped:
if (( OldState == State_Operational ) || ( OldState == State_PreOperational ))
NmtCallback ( OldState, State_Stopped );

```

State == State_PreOperational)

NmtCallback (OldState, State_Stopped)

在运行状态,当 CPU 从 GPIO 口读到新数据或者收到新报文时,会触发 TPDO 报文发送或者 RPDO 报文接收,实现信号传输。

4.2 PDO 实现

由于实际应用中,90% 以上的数据都是 PDO 报文^[9],因此重点介绍 PDO 对开关信号的控制作用,其他报文实现原理类似。

PDO 报文是 CANopen 中很重要的一类通讯对象,主要用通讯参数和映射参数描述,通讯参数定义了 PDO 行为,如 COB-ID、传输类型等;映射参数存放指针指向数据存放缓冲区,规定哪个对象被映射到 PDO 中。根据数据传输方向,PDO 又分为 TPDO 和 RPDO。TPDO 发送数据时,从对象字典中取出通讯参数和映射参数组装成后发送;相反,RPDO 将接收到的数据拆分后存储到相应的对象字典中。本文根据 DS401 协议,将输入数据保存在对象字典的 6000h,通过 TPDO1 发送;输出数据保存在对象字典的 6200h,通过 RPDO1 接收。TPDO1 中通讯参数、映射参数和报文的组装过程,映射参数中的映射地址分别指向缓冲区地址,RPDO 过程与此相反不在叙述 PDO 实现开关信号传输的流程如图 6 所示。由于 PDO 报文的收发主要有同步传输、定时发送、远程请求、事件触发 4 种方式,本文采用事件触发方式。当节点处于运行状态,GPIO 读到新数据时,更新缓冲区数据且将 new_state 标志置 1,从而立刻触发 TPDO1 的发送,这样很大程度上降低了总线的负载率,提高数据传输的实时性。

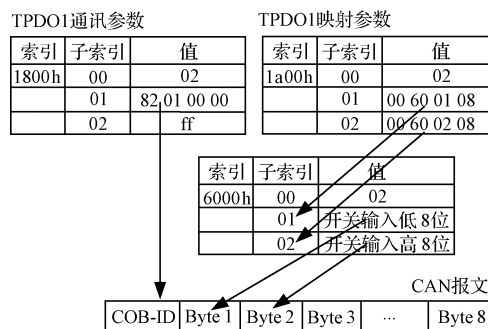


图 6 TPDO 传输机理

4.3 开关采集去抖动处理

工业过程控制的大多数开关信号由机械触点产生的,这些开关在开断或者受到干扰后会产生一定的抖动,影响信号采集的准确性。因此,需要进行开关的去抖动处理。

本文采用概率统计法处理多路开关采集的抖动问题,相比较软件延时去抖具有更好的实时性。所谓概率统计法就是在开关触点抖动期间,由于采集到的高低电平(即 0 或 1)是等概率的,通过统计 0 或者 1 的概率来判断开关状态的方法。开关触点抖动时间一般为 5~10 ms^[10],我

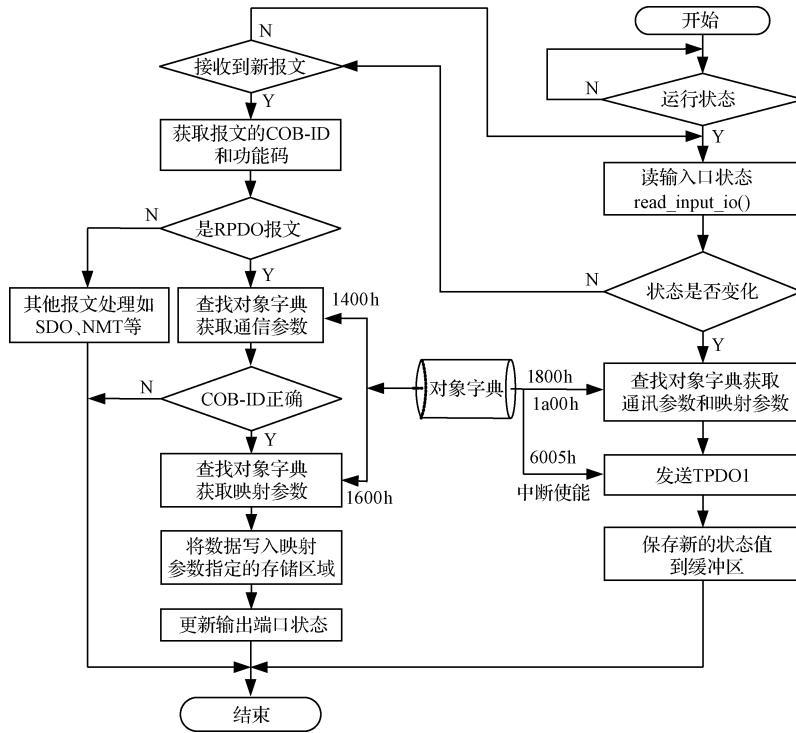


图7 PDO数据传输流程

们记采集的时间间隔为 μ , 总共采集的时间记为 t , 抖动时间为 t' , 则采集的总次数为 $n = t/\mu$, 0 或 1 个数为 m , 则 0 或 1 所占比例为 $\eta = m/n$ 。认为 $\eta > 50\%$ 则开关状态确实发生了变化, $\eta \leq 50\%$ 则是干扰信号。为了提高准确性, 一般取 $\epsilon \geq 60\%$ 。

在存储区内开辟一个队列作为状态采集区, 将第一次采集到的 16 路开关状态依次记为 $L_{1,1}, L_{2,1}, \dots, L_{16,1}$ 存放到队头, 将最后一次采集到的开关状态值记为 $L_{1,n}, L_{2,n}, \dots, L_{16,n}$ 存放到队尾, 整个开关信号去抖动流程如图 8 所示, 经过多次测试表明 ϵ 不需取值太大, 本处理中取 ϵ, t, μ 分别为 60%, 12, 0.1 ms 即可以实现对开关量信号的正确判断。

5 板卡调试与结果分析

在对板卡进行测试时, 使用公司研发的 PLC 作为主站, 本板卡作为从站, 使用 IXXAT 系列的 USB-CAN 分析仪分析 CAN 总线上的报文数据。板卡能够正确地与主站进行数据交换, 从而实现对工业现场开关信号进行控制, 表 1 所示为测试的部分 CAN 报文数据。

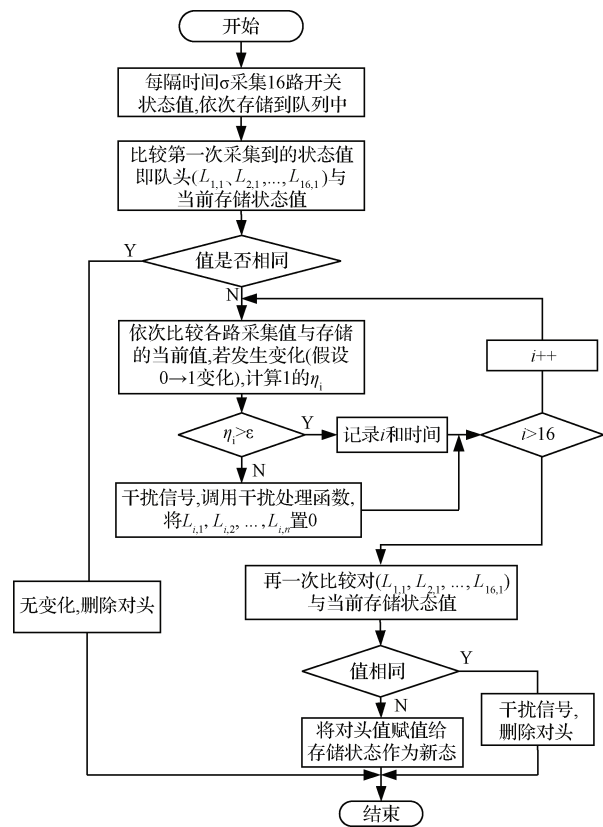


图8 开关去抖流程

表1 板卡测试的CAN报文数据

| 通讯对象 | COB-ID(hex) | 数据长度(byte) | 数据 | 说明 |
|--------|-------------|------------|-------|----------------|
| NMT 报文 | 000 | 02 | 01 02 | 2号节点即本板卡进入操作状态 |
| 心跳报文 | 702 | 01 | 05 | 从节点将息状态上传给主站 |
| RPDO1 | 201 | 02 | 05 01 | 1、3、9 通道输出 |
| TPDO1 | 282 | 02 | 00 80 | 采集 15 通道 |
| TPDO1 | 282 | 02 | 55 00 | 采集 1、3、5、8 通道 |
| RPDO1 | 201 | 02 | 05 11 | 1、3、9、12 通道输出 |
| TPDO1 | 282 | 02 | 92 09 | 采集 2、5、8、13 通道 |

由表1的数据可以看出,节点2收到NMT报文后进入操作状态,从而开始PDO报文的传输。另外本板卡每间隔时间0.9s发送一个字节的**心跳报文70205给主站,及时通知自己的运行状态。实验结果表明,板卡能够准确进行开关信号控制,并且可以兼容其他厂商的CANopen设备实现产品互联操作。

6 结 论

CANopen协议以开源、透明简单和开发周期短的特点在工业自动化领域广泛应用,现如今很多工业实时以太网的应用层都采用CANopen,因此对CANopen的研究很有必要。本文设计的基于CANopen协议的开关信号板卡具有成本低、抗干扰、灵活重组等优点。通过软硬件进行抗干扰后出错率低,可以很好地满足工业生产对开关信号的控制需求。

参 考 文 献

- [1] 王卫俊,郭庆,刘威,等. 基于PLC的数控钻床控制器的研制[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(1): 41-45.
- [2] 卫大朋,李云. 测控系统中I/O模块和PLC应用问题的探讨[J]. 工程与试验, 2015(S1): 29-31.
- [3] 王旭东,朱蕴璞. 基于ARM 多处理器的CAN总线

分布式控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2015(5): 52-55.

- [4] 杨华伟,万正权. CAN总线在船舶结构安全监测系统中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(5): 553-559.
- [5] 周立功. 现场总线CANopen设计与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [6] CANopen Application Layer and Communication Profile[S]. Cia-DS301, Version 4.02, 2002-2-13.
- [7] 赵灿,王晓年,朱劲,等. 基于CANopen协议的高效PDO传输从站设计[J]. 计算机与现代化, 2013, 12(12): 114-118.
- [8] Device Profile for Generic I/O Modules[S]. Cia-DS401, Version 2.1, 2002.
- [9] 王峰超,刘泰,赵冬玉,等. 基于CANopen的列车通信网络研究与应用[J]. 铁道机车, 2015(5): 78-82.
- [10] 白颖,李峻年. 舰炮系统开关信号抖动的分析与处理[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(9): 55-58.

作 者 简 介

丁建业,1989年出生,硕士研究生,主要研究方向为仪器智能化和网络化测控技术。
E-mail: 949317174@qq.com