

基于 ERTEC200P 芯片的 PROFINET IO 工业以太网接口开发

闫菲,李腾,韩松,牛松森,蔡保海

(天津电气科学研究院有限公司,天津 300301)

摘要:介绍了一种基于 ERTEC200P 增强型实时以太网控制器的 PROFINET IO 接口开发设计方案。该方案采用 ERTEC200P 芯片为主控单元,基于 eCos 操作系统和 PNIO 协议栈实现了 PROFINET IO 接口开发,通过 SPI 总线连接变频器控制单元,将设备无缝集成到工业以太网,并进行了实验验证。实验结果充分体现了设计的合理性,取得了良好的实用效果。

关键词:PROFINET 接口;ERTEC200P 芯片;工业以太网

中图分类号:TM461 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqed21023

Development of PROFINET IO Industrial Ethernet Interface Based on ERTEC200P ASIC

YAN Fei, LI Teng, HAN Song, NIU Songsen, CAI Baohai

(Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd., Tianjin 300301, China)

Abstract: A PROFINET IO industrial Ethernet interface development design based on the ERTEC200P enhanced real-time Ethernet controller was introduced. The ERTEC200P chip was adopted as the main control unit, the development of PROFINET IO interface based on eCos operating system and PNIO protocol stack were realized, inverter control unit was connected through SPI bus, equipment was integrated into industrial Ethernet seamlessly, and experimental verification was carried out. The experimental results fully reflect the rationality of the design and achieved good practical results.

Key words: PROFINET interface; ERTEC200P chip; industrial Ethernet

在“中国制造 2025”的背景下,数字化工厂、智能工厂的概念被人们熟知。数字化工厂的本质是信息集成。在自动化领域,通讯技术、工业以太网技术的突破是信息集成的关键。

工业以太网技术的应用进一步提高了生产效率、优化利用资源、有利于生产规模的提升。在网络连接方式上,需要更加灵活的网络拓扑结构,具备更可靠的网络冗余特性。在系统应用中,需要更强的抗干扰能力和强大的系统诊断功能。

PROFINET 是一种适用于自动化领域的开放式以太网标准,实现了更高的通讯传输速率、更强的数字化技术和灵活的网络技术^[1]。PROFINET 为用户提供了一个完整的解决方案,覆盖所有自动化领域的应用,可无缝集成现场总线系统,目前在自动化领域应用最为广泛。

本文介绍了一种基于 ERTEC200P 芯片的

PROFINET IO 工业以太网接口开发设计方案,包括硬件设计、软件实现以及通讯测试。基于该方案可快速实现 PROFINET IO 接口开发,对于拓展产品应用领域,提高产品竞争力具有很强的实际意义。

1 PROFINET 和 ERTEC200P

1.1 PROFINET 协议简介

PROFINET 基于标准以太网实现,是一种实时的自动化技术。其中,PROFINET IO 对应的中国国家标准为 GB/T 25105.1-3-2014。

PROFINET 采用 100 Mb/s 以太网,使用全双工通信,在一条电缆上实现更多应用^[2]。PROFINET 是 100% 交换网络,不需要中继器就可以实现灵活的网络拓扑结构。此外,PROFINET 网络为所有 PROFINET 设备提供设备诊断和网络诊

断,减少设备停机时间。

PROFINET采用独立的通道用于IO数据输出和TCP/IP,无需为TCP/IP准备额外网络。PROFINET包含三种数据通讯方式,数据通道图如图1所示。

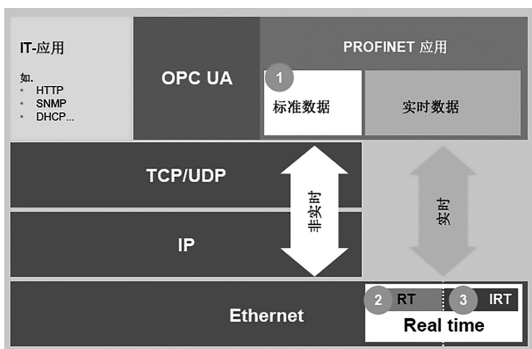


图1 PROFINET数据通道图

Fig.1 Diagram of PROFINET data channel

1)标准数据通讯。基于TCP/IP协议,实现非实时(non real-time, NRT)数据通讯。用于传递参数化与配置信息,或读取诊断数据。

2)实时(real-time, RT)数据通讯。RT通讯是非同步的,循环周期缩短至250 μs,支持100 Mb/s通信,适用于超过90%的自动化领域。PROFINET基于TCP/IP第二层协议,提供了优化的实时通讯通道,缩短数据处理时间。

3)同步实时(isochronous real-time, IRT)数据通讯。IRT技术保证确定性数据和互联网协议数据同时传输,循环周期缩短至31.25 μs。数据传输和设备周期是同步的,循环时间缩短至125 μs,满足高性能(如同步)控制系统的要求。

1.2 ERTEC200P基本介绍

ERTEC200P是由西门子公司开发的增强型实时以太网控制器。主要特点为:集成了支持IRT的双端口交换机,符合C类,循环时间可达31.25 μs。

ERTEC200P内部集成标准250 MHz ARM926EJ-S处理器,可以作为单片系统,所有应用程序都在ERTEC200P实现^[3]。其次,外部主机可以通过16/32位并行接口直接访问片内地址空间IO-RAM,相当于内置的双口RAM,将应用程序和通讯处理分开,构成双核系统。

ERTEC200P包含PROFINET IP核(PN-IP),用于实现高速PROFINET通讯。PN-IP内核包含性能升级的“快速转发”,“动态帧封装”和“碎片”机制。因此,ERTEC200P支持开发IRT等实时通

讯应用,PN-IP提供最小设备处理周期为31.25 μs的同步输出。ERTEC 200P还允许无限制地访问TCP/IP数据和服务,以便可以并行传输非时间关键数据。

ERTEC 200P适用于各种现场设备类型:快速IO设备、高精测量仪器、同步伺服驱动和编码器以及所有高性能和智能自动化设备。

1.3 PN IO协议栈

基于ERTEC200P以太网控制器专用芯片,西门子提供完整的PROFINET IO协议栈,支持全部PROFINET规范内容。用户无需关注协议栈具体实现,即可实现PROFINET IO工业以太网接口开发。

PROFINET IO协议栈实现的主要功能包括:与PROFINET IO控制器之间的周期及非周期数据交互;处理诊断和硬件中断,通讯模块动态增加、删除中断;分配以太网使用IP地址及设备名。

PROFINET IO协议栈主要技术参数包括:协议栈版本为V4.5.0;通讯模式为支持RT,IRT;支持协议包括DCP,LLDP,MRP,CLRPC等;IO数据长度为单向最大1440 B。

2 PROFINET IO硬件设计

基于ERTEC200P构建PROFINET IO设备开发方案。系统主要由基于ERTEC200P的PROFINET IO设备和TCU1变频器控制单元组成。如图2所示。

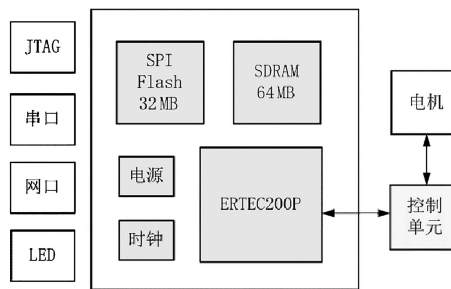


图2 硬件结构图

Fig.2 Diagram of hardware structure

图2中,ERTEC200P + SDRAM + SPI FLASH组成PROFINET IO设备核心部分,构成PROFINET协议栈和用户程序运行的最小系统。ERTEC200P和SDRAM之间通过16位数据宽度实现高速读写。SDRAM存储器容量为64 MB,SPI FLASH容量为32 MB,满足PROFINET协议栈和用户程序的需求。

PROFINET IO设备外部接口:

1)通过20针2.54 mm标准JTAG接口,为

ERTEC200P提供程序下载与调试功能。

2)通过3.3 V TTL UART,提供PROFINET协议栈系统运行调试接口。

3)通过网络变压器,RJ45接口等,实现2路100 Mb/s PROFINET以太网接口。

4)通过GPIO接口拓展3个LED发光二极管,指示协议栈和系统运行状态。

5)通过SPI接口连接ERTEC200P与变频器控制单元,兼容控制器原有接口。

3 PROFINET IO 软件设计

3.1 软件任务结构

ERTEC200P基于eCos实时操作系统创建系统任务,实现时钟处理、串口通讯、网络参数设置、通讯连接处理、PROFINET IO数据更新、通讯状态显示、控制器数据处理与交互^[4]。系统软件结构图如图3所示。

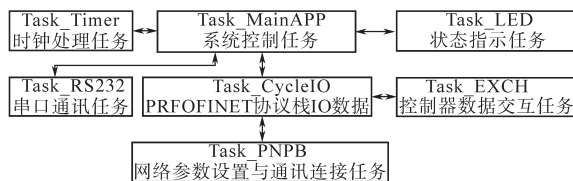


图3 软件结构图

Fig.3 Diagram of software structure

图3中,各主要组成部分功能如下:

1)Task_MainApp任务负责系统控制,创建PNIO协议栈,初始化PNIO设备信息,检测协议栈工作状态。

2)Task_PNPB是PNIO协议栈任务,用于事件处理,如通讯连接关系的建立与断开,模块与子模块的动态插入与删除,数据处理的更新。Task_PNPB任务负责处理与Task_CycleIO任务的数据交互。

3)Task_RS232任务,用于串口调试,根据串口命令执行相应操作对应的状态信息。

4)Task_LED任务,根据PROFINET协议栈运行状态和控制器通讯状态,控制指示灯的工作状态。

5)Task_CycleIO任务,根据触发信号,周期执行PROFINET协议栈与用户缓存区之间的IO数据交互。根据TRANS_END事件作为触发信号,或者是固定周期产生的触发信号,更新设备输入输出数据。

IRT通讯模式中,在周期数据的传输结束时

刻,当所有的控制器IO CR和所有用户IO CR连接全部完成时生成TRANS_END事件。

6)Task_EXCH任务,根据PROFINET IO设备输入输出模型,控制PROFINET IO数据到通讯数据区的转换。

3.2 数据存取模型

PROFINET IO设备数据存取模型如图4所示。

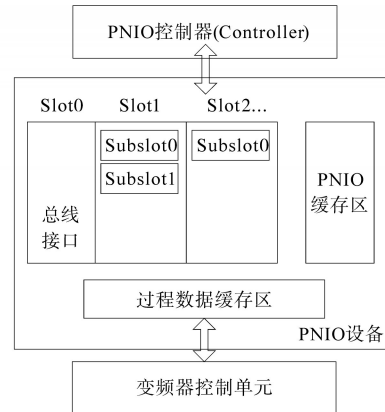


图4 数据存取模型

Fig.4 Diagram of data access model

PROFINET IO设备与PROFINET IO控制器建立通讯连接后,在PNIO_cbf_ar_ownership_ind中获取所有设备组态信息。其中,槽(slot)对应模块(module),子槽(subslot)对应子模块(sub-module)。然后通过PNIO_sub_plug添加必要的模块信息。

PROFINET IO设备调用PNIO_initiate_data_read,接收PROFINET IO控制器下发数据,将PNIO缓冲区数据,根据对应关系放到槽和子槽中。同时,调用PNIO_initiate_data_write,把槽和子槽中数据更新到PNIO缓冲区,上传给PROFINET IO控制器。

PROFINET IO设备根据通信连接关系和子模块属性,按照模块顺序、输入输出类型和IO长度,将输入输出数据存储到过程数据缓存区^[5]。子模块属性在设备GSD文件中定义,表明PROFINET IO设备支持的输入输出模块信息。通过过程缓存区,PROFINET IO设备通过SPI接口实现与变频器控制单元的数据交换。SPI为全双工通信。PROFINET IO设备将基于PROFINET IO控制器产生的输出数据传送到控制单元,同时将控制单元返回数据传送到PROFINET IO控制器。

3.3 SPI通信协议

PROFINET IO与变频器控制单元通过SPI通信方式实现数据交换。一方面ERTEC200P提供

SPI外设,开发方便;另一方面,兼容控制器原有接口,根据不同应用场合,可以实现外部通讯模块无缝替换。

SPI通信协议根据传输类型分为两类,一种是周期性传输的通信数据帧,一种是非周期传输的通信参数帧,SPI通信协议如图5所示。

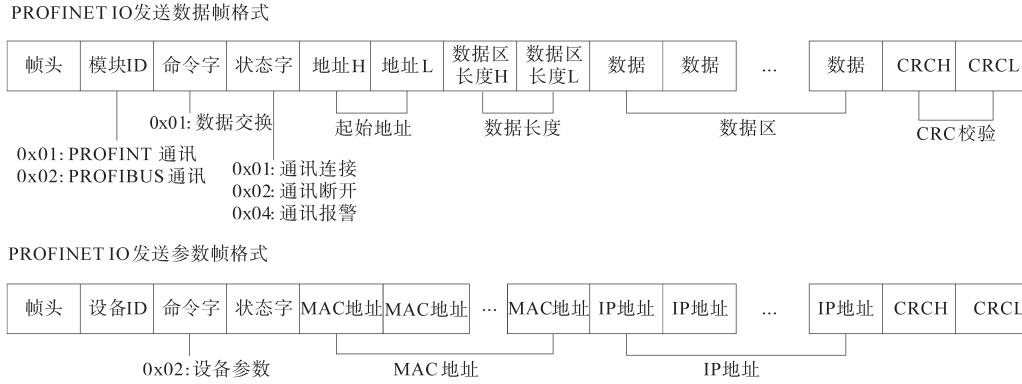


图5 SPI通信协议

Fig.5 SPI communication protocol

3.3.1 通信数据帧

命令字为0x01,表示当前传输为数据帧。

模块ID说明当前通讯模块类型,SPI协议设计兼容原有通讯模块,如PROFIBUS DP,对于底层设备而言,可实现无缝替换。

状态字指示PROFINET IO设备与PROFINET IO控制器的通讯连接状态。连接关系建立后,从通讯断开状态切换到通讯连接状态。根据数据有效性,在通讯连接状态,当数据传输内容不符时,切换到通讯报警状态。

根据模块属性计算数据区长度,根据过程数据填充数据区内容。通信数据帧为周期性传输,当PROFINET IO数据更新后,立即发起和控制单元的数据交换。控制器回复的数据帧格式与发送格式一致,除了模块ID对应为设备ID,表明当前连接的底层设备信息。

3.3.2 通信参数帧

命令字为0x02,表示当前传输为参数帧。

参数帧为非周期数据帧,当PROFINET IO设备初始化,或设备参数信息发生变化时发起传输。

参数帧的数据传输内容固定,包含6个B的MAC地址和6个B的IP地址,因此无需额外说明数据区长度。

控制器解析到有效数据后,通过外部接口显示PROFINET设备信息,方便观测与配置。

4 PROFINET 通信测试

通过PROFINET IO控制器到底层设备之间

的通信测试,验证PROFINET IO接口开发功能。测试环境硬件结构图如图6所示。

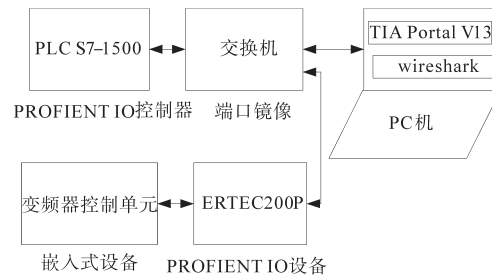


图6 测试环境结构图

Fig.6 Diagram of test environment

测试环境由PLC S7-1500(PROFINET IO控制器)、PROFINET IO接口设备(ERTEC200P)、TCU1控制板、具备端口镜像功能的交换机以及安装TIA Portal V13软件和wireshark软件的PC机组成。

首先,将PROFINET IO控制器(PLC S7-1500)经交换机连接ERTEC200P与TCU1控制单元。然后将交换机右侧两个端口配置为镜像端口,其中一个端口连接到PC机,以便通过wireshark软件抓取PROFINET通信报文,分析网络数据包。

通过博图软件配置设备组态信息,将PLC S7-1500的IP地址设置为192.168.0.1,PROFINET IO设备的IP地址设置为192.168.0.2,设备通讯模块Slot1Subslot1选择64 B输入,输入地址IW0-63;Slot2Subslot1选择64 B输出,输出地址QW0-63;如图7所示。

设置TCU1控制单元,将PLC-1500下发数据回传。通过博图软件在线观测,比较输出数据

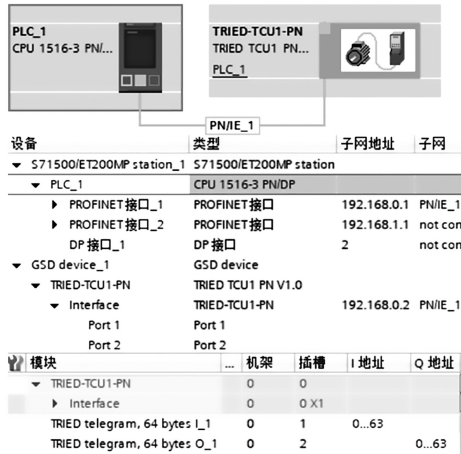


图7 设备组态图

Fig.7 Diagram of device configuration

(强制参数值表)与输入数据(观测参数值表)二者对应关系,如图8所示。

地址	显示格式	监视值	修改值
%IW8	十六进制	16#5566	
%IW10	十六进制	16#7788	
%IW12	十六进制	16#99AA	将监视地址 '%IW10'。
%IW14	十六进制	16#BBCC	

地址	显示格式	监视值	强制值
%QW8.P	十六进制	16#5566	<input checked="" type="checkbox"/>
%QW10.P	十六进制	16#7788	<input checked="" type="checkbox"/>
%QW12.P	十六进制	16#99AA	<input checked="" type="checkbox"/>
%QW14.P	十六进制	16#BBCC	<input checked="" type="checkbox"/>

图8 输入数据与输出数据

Fig.8 Diagram of input data and output data

图8中,将输出参数值QW8~QW14依次强制为0x5566,0x7788,0x99AA,0xBBCC。输入参数值与下方的输出参数值是一致的,说明PLC到TCU1控制器之间数据交互正常,PROFINET IO设备的协议转换功能实现。

通过wireshark软件抓取PROFINET通信报文,如图9所示。

分析抓取数据包,前6个字节0x28,0x63,0x36,0x8b,0xc5,0x66为目的MAC地址,是西门子PLC的MAC地址。接下来的6个字节0x80,0x20,0xcb,0x30,0x06,0xfc为目的MAC地址,是PROFINET IO设备的MAC地址。表明当前数据传输方向为从PROFINET IO设备到PLC。接下来的两个字节0x88,0x92表明当前数据帧为PROFINET协议帧。中间的0x55,0x66,0x77,

```
> Frame 3927: 90 bytes on wire (720 bits), 90 bytes captured on interface 0
Ethernet II, Src: 80:20:cb:30:06:fc (80:20:cb:30:06:fc)
  Destination: Siemens_8b:c5:66 (28:63:36:8b:c5:66)
  Source: 80:20:cb:30:06:fc (80:20:cb:30:06:fc)
    Type: PROFINET (0x8892)
  PROFINET cyclic Real-Time, RTC1, ID:0x8000, Len: 70, (
    FrameID: 0x8000 (0x8000-0xBBFF: Real-Time(class=1 un
    CycleCounter: 14848
    DataStatus: 0x35 (Frame: Valid and Primary, Provider
    TransferStatus: 0x00 (OK)
  )
PROFINET IO Cyclic Service Data Unit: 70 bytes
0000 28 63 36 8b c5 66 80 20 cb 30 06 fc 88 92 80 00
0010 80 80 80 80 00 00 00 00 00 00 00 55 66 77 88
0020 99 aa bb cc 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0030 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0040 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
0050 00 00 00 00 80 80 3a 00 35 00
```

图9 数据包分析

Fig.9 Packet analysis

0x88,0x99,0xaa,0xbb,0xcc对应输入数据。同样,说明RPFOIENT IO设备转换功能正常。

5 结论

本文从开发的角度介绍了一种基于ERTEC200P的PROFINET IO接口的快速实现方案,包括硬件设计、软件实现与通信测试。本通讯模块及其配套应用产品TAC1系列变频器已委托中国PROFIBUS & PROFINET协会(PI-China)进行检测并顺利通过认证测试,充分验证了方案设计的合理性。通过该设计方案将TAC1变频器产品快速集成到PROFINET网络,满足了现场应用的需求,具有很强的实际意义。

参考文献

- [1] Fabio Mallet Ribeiro, Tulio Sousa Costa, Alexandre Baratella, et al. Comparative analysis of industrial Ethernet networks: Profinet, Ethernet/IP and HSE[J]. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2014, 10(5): 1931-1948.
- [2] 陈雷. 基于PROFINET通信协议的IO设备研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2016.
- [3] 谢兴全, 张学东, 李潮, 等. 基于NetX片上系统的PROFINET IO设备的实现[J]. 微计算机信息, 2010, 26(35): 97-98.
- [4] 王华. 基于ERTEC400的PROFINET IO设备板的研发[J]. 中国教育技术装备, 2013(12): 44-46.
- [5] 张国栋, 王有春. PROFINET的实时性及其协议分析[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(3): 187-190.

收稿日期: 2019-10-21

修改稿日期: 2019-11-28