

Profibus-DP 协议转 EtherCAT 协议通信网关设计

鹿海霞, 王丹麟, 杨卫民, 蔡一磊

(国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘 要: 工业自动化现场存在着多种现场总线智能设备以及电气综合自动化设备装置, 实现设备的控制信息和状态信息与系统中央控制层安全快速高效的传递尤为重要。本文通过对实时工业以太网通信协议EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology)的研究, 设计了Profibus-DP主站协议转EtherCAT从站协议的通信网关设备, 解决了工业自动化现场Profibus-DP通信设备与EtherCAT主站控制系统的互连互通问题, 从而可以保证工业自动化现场Profibus-DP设备数据更加快速、高效地传递到中央监控系统。

关键词: EtherCAT从站; Profibus-DP主站; 通信网关

0 引言

工业自动化现场存在着多种现场总线智能设备以及电气综合自动化设备装置, 信号采集的模式正在向采用各种分布于就地的智能设备通过通信传递到中央控制层的模式发展。在某些需要快速跟踪响应、精确位置控制的场合(比如大型气动/电动阀门控制系统、汽轮机、水轮机多调节门控制系统等), 需要对设备信号进行高速采集与控制反馈, 以提高系统的动态响应特性。

工业以太网是当前工业控制现场总线技术的一个重要发展方向。EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology)是德国倍福自动化有限公司提出的实时工业以太网技术。它基于标准的以太网技术, 具有配置简单、有效数据率高、数据传输容量大、传输速度快、实现成本低、开放性好等特点。EtherCAT使用全双工100Mb/s以太网, 系统由一个通信主站和若干从站通信节点组成, 主站发送以太网帧给各从站, 从站从数据帧中抽取数据或将数据插入数据帧。EtherCAT充分利用了IO层的带宽, 采用EtherCAT协议进行数据传输, 可用的数据传输速率可达90%以上, 以太网100Mbit/s的全双工特性完全得以利用。采用EtherCAT通信, 处理分布于100节点的1000个数字量I/O只需30 μ s, 处理12000 数字量 I/O (以太网满帧1500字节) 只需350 μ s。这种实时工业以太网协议非常适合要求实现快速控制的应用场合。

Profibus是由西门子公司推出的一种现场总线

标准, 已纳入国际标准IEC61158中。Profibus-DP作为自动化智能设备的通信协议, 在工业自动化系统中有大量的应用, 通信速率一般设置为1.5Mbit/s, 通信多采用短消息报文, 每一帧有效数据字节数为8个。由于其报文为短消息报文和通信速率、通信距离的限制, 在需要大容量、远距离信息快速传递时存在瓶颈, 需要通过通信网关转换数据传输。

本文设计了Profibus-DP主站协议转换为EtherCAT从站协议的通信网关设备(下文简称通信网关), 实现了工业自动化现场Profibus-DP通信设备与EtherCAT主站控制系统的互连通信。

1 系统网络架构

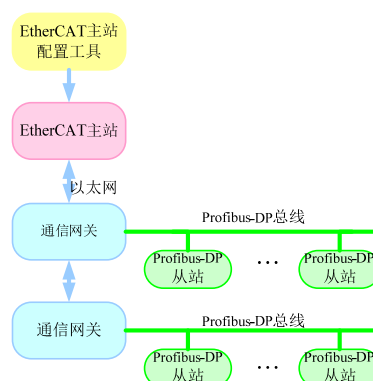


图1 系统网络架构

通信网关存在两个外部通信网络接口, EtherCAT从站通信接口和Profibus-DP主站通信接口。EtherCAT从站通信接口通过以太网与通过EtherCAT主站配置工具配置好的EtherCAT主站进行数据交换, 实现周期性数据和非周期性数据通

信; Profibus-DP 主站通信接口与 Profibus-DP 从站设备连接, 实现周期数据通信、读取设置从站参数、报警处理、故障诊断恢复等功能。系统网络架构如图 1 所示。

2 通信网关硬件设计

2.1 通信网关主要器件

通信网关主要硬件包括EtherCAT从站协议控制器、从站MCU和Profibus-DP主站协议芯片。EtherCAT从站协议控制器实现EtherCAT从站物理层与数据链路层的协议。从站MCU主要负责运行应用程序, 实现EtherCAT从站和Profibus-DP主站之间的协议及数据转换。Profibus-DP主站协议芯片实现Profibus-DP主站协议, 实现与Profibus-DP从站之间的数据通信。

EtherCAT从站协议控制器通过ASIC芯片或者FPGA芯片都可以实现。倍福公司在提出EtherCAT工业以太网总线的同时, 推出了一套十分完善的从站控制器ESC(EtherCAT Slave Controller)。考虑开发成本及软硬件设计实现复杂度, EtherCAT从站协议控制器选用倍福公司的ET1100。ET1100是一款强大的EtherCAT从站控制器专用芯片, 具有丰富的接口资源。它具有物理设备接口PDI, 4个数据收发端口(使用EBU或MII模式)、8个FMMU单元、8个SM、4KB控制寄存器、8KB过程数据存储、16KB EEPROM, 支持64位的分布时钟。

从站MCU选用LPC2292芯片, LPC2292是一款基于16/32位ARM7TDMI-S, 可实现高达60MHz工作频率的MCU。带有多达32位定时器、8路10位ADC、PWM输出以及多达9个的外部中断, 适合自动化等应用领域。

实现PROFIBUS-DP主站, 主要有三种方案: 1. 完全由软件来实现PROFIBUS协议; 2. 专用ASIC芯片外加扩展固化程序Firmware; 3. 嵌入式模块主站。前2种方案实现比较困难, 需要送欧洲进行协议一致性测试和认证。

通信网关Profibus-DP主站协议芯片采用嵌入式模块主站, 使用的是德国赫优讯(Hilscher)公司的嵌入式模块COM-CN-DPM, 该模块内部集成专用的ASIC芯片和固化程序Firmware, 实现了Profibus-DP主站协议, 协议已经通过了一致性测试和认证。模块具有8KB的双端口内存(Dual-Port

Memory), 主机通过该双端口内存与模块进行数据通信, 用户不需要关心Profibus-DP主站协议的具体实现, 只需通过读/写双端口内存来访问该嵌入式主站模块。

2.2 通信网关的硬件设计

通信网关主要由通信控制回路、EtherCAT通信回路、Profibus-DP通信回路3部分电路构成。如图2从站硬件框图所示。

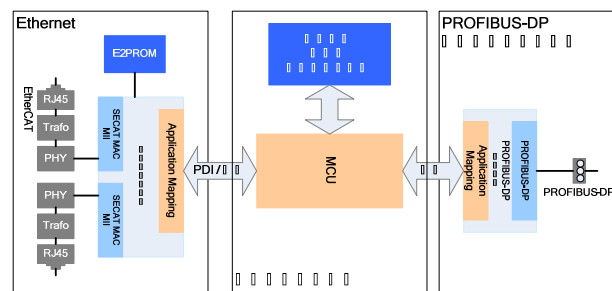


图2 通信网关硬件框图

通信控制回路由MCU(LPC2292)、电源、状态显示电路、外部存储器及单片机外围电路等构成。通信网关的配置信息、通信数据使用256K外部RAM或F-RAM存储, 状态显示可以显示运行状态和通信状态等信息。

EtherCAT协议控制器ET1100使用8位总线与LPC2292连接。ET1100初始化运行的相关信息保存在EEPROM中。数据收发端口使用PORT0和PORT1, 采用MII方式, 连接PHY芯片, 经过网络变压器隔离, 通过RJ45接口与主站或其他从站连接。

COM-CN-DPM模块使用8位总线与LPC2292连接, COM-CN-DPM模块具有专用配置串口, 配置信息可通过串口与通用PC连接进行配置, 也可利用LPC2292通过8位总线对COM-CN-DPM模块进行配置。模块配置完成即可根据配置信息与下面连接的从站进行通信, MCU只需要通过模块双端口内存与模块进行数据交换。为了提高Profibus-DP通信的电磁兼容性EMC, 使用高速光耦对Profibus-DP通信信号进行隔离。

3 通信网关软件设计

通信网关软件由EtherCAT从站通信处理模块和Profibus-DP主站通信处理模块组成, 实现Profibus-DP主站通信数据转换为EtherCAT从站通信数据的功能。通信网关软件采用标准C语言开发,

可以方便移植到其它嵌入式控制平台中。

3.1 EtherCAT 从站通信处理模块

EtherCAT 从站通信处理模块实现与 EtherCAT 主站之间的通信，EtherCAT 从站通信处理模块以 EtherCAT 从站协议控制器为核心，从站协议控制器实现 EtherCAT 数据的接收、发送以及错误处理。从站 MCU 操作 EtherCAT 从站协议控制器，实现应用层协议。

EtherCAT 协议有 2 种数据交换形式，一种是周期性过程数据通信，一种是非周期性数据通信。周期性数据通信用来传输数据刷新率要求较高的输入输出数据，通常使用 FMMU (Fieldbus Memory Management Unit, 现场总线内存管理单元) 进行逻辑寻址，主站可以使用逻辑读、写或读写命令同时操作多个从站。EtherCAT 从站周期性过程数据通信通常采用中断模式实现，可以保证对主站数据通信请求的快速响应。非周期性数据通信用来配置或读取参数信息及设置从站运行状态等，它可以双向进行一主站到从站和从站到主站。非周期性数据通信流程图如图 3 所示。

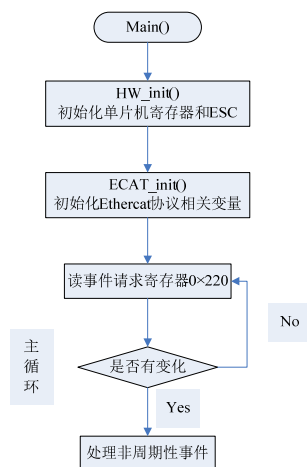


图 3 非周期性数据通信流程图

3.2 Profibus-DP 主站通信处理模块

Hilscher 公司的 COM-CN-DPM 模块已经实现了 Profibus-DP 主站协议，主机只需要通过该模块提供的双端口内存直接与模块进行数据读/写通信即可。由于 MCU 和模块内集成的 Profibus-DP 主站协议随机的操作模块双端口内存，为避免双方同时操作时产生的数据错误，需要采用合适的握手保护机制，保证双对端口内存操作的安全性。

模块的双端口内存状态数据区中设置了 2 个 bit 位：PdAck 和 PdCom。当 PdAck 和 PdCom 位相等

时，Profibus-DP 主站协议端可以操作双端口内存，操作完毕把 PdAck 位取反；当 PdAck 和 PdCom 位不等时，MCU 端可以操作双端口内存，操作完毕把 PdCom 位取反。图 4 为 Profibus-DP 主站通信处理模块通信流程图。

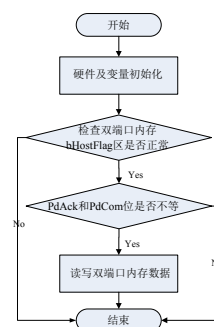


图 4 Profibus-DP 主站通信处理模块通信流程图

4 通信网关设备描述文件

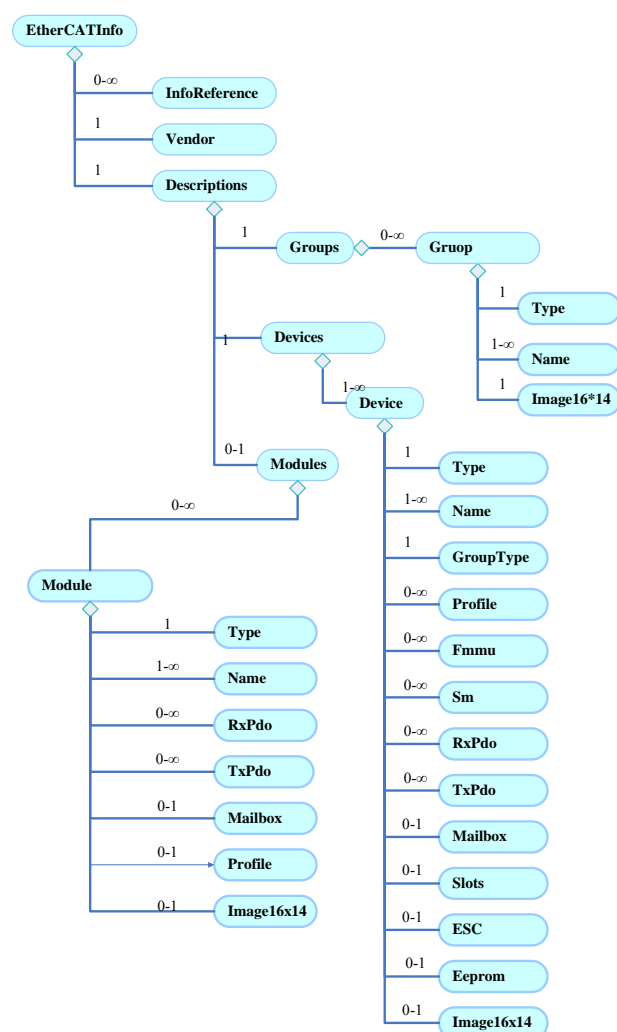


图 5 通信网关的 ESI 结构

每个 EtherCAT 从站都有一个.xml 格式的设备

描述文件 ESI (EtherCAT Slave Information), ESI 描述了 EtherCAT 从站的特点以及从站应用程序的特征, ESI 由 EtherCAT 主站配置工具使用, 生成 EtherCAT 通信网络信息。每种设备的 ESI 都是唯一的。通信网关的 ESI 结构如图 5 所示。

ESI 主要包括:

InfoReference, 参考信息, 指定了通信网关 Modules 的文件基的名字, 文件基扩展名为.xsd;

Vendor, 通信网关制造商相关信息, 包括制造商名称、EtherCAT 技术组织分配的 EtherCAT 制造商 ID 和产品图标信息等;

Descriptions, 通信网关 EtherCAT 设备描述信息, 包括 Groups, Devices, Moudles 三部分。

Groups, 通信网关设备分组信息, 同类的设备分为一组, 一个 Groups 中可以定义一个或若干个 groups, 每个 groups 由名称, 类型、位图标等组成。

Devices 描述通信网关的 EtherCAT 特征, 如名称, 类型, GroupType (所属的群), Profile (使用规则和对象字典的说明), SM (SyncManager, 存储同步管理通道), FMMU, Mailbox (邮箱), RxPdo (output process data), TxPdo (input process data), Slot (Profibus-DP 从站的组合信息, 与 Moudles 部分相关), Eeprom (PDI 配置信息, EEPROM 大小等) 等信息。

Moudles 描述通信网关 Profibus-DP 主站所支持能连接通信的所有 Profibus-DP 从站设备的相关信息, 如从站的类型, 名称, RxPdo, TxPdo, Profile 等信息。

通信网关 Profibus-DP 从站设备部分信息描述如下:

```
<Modules>
  <Module>
    <Type                               ModuleIdent="#x10000024"
ModuleClass="SAC_dig" ModulePdoGroup="1">***</Type>
    <Name LcId="1033">*****</Name>
    <TxPdo Fixed="1" Sm="3">
      <Index DependOnSlot="1">#x1a00</Index>
      <Name LcId="1033">Inputs</Name>
    <Entry>
      <Index DependOnSlot="1">#x6000</Index>
      <SubIndex>1</SubIndex>
      <BitLen>1</BitLen>
```

```
<Name LcId="1033">DI Type</Name>
<DataType>USINT</DataType>
</Entry>
.....
</TxPdo>
<RxPdo Fixed="1" Sm="2">
  <Index DependOnSlot="1">#x1600</Index>
  <Name LcId="1033">Outputs</Name>
  <Entry>
    <Index DependOnSlot="1">#x7000</Index>
    <SubIndex>1</SubIndex>
    <BitLen>8</BitLen>
    <Name LcId="1033">DO</Name>
    <DataType>USINT</DataType>
  </Entry>
  .....
</RxPdo>
</Module>
</Modules>
```

5 通信网关性能分析

假定通信网关下连接 64 个 Profibus-DP 个从站, 每个从站有 2 个字节的输入数据和 2 个字节的输出数据, 在 Profibus-DP 通信波特率设置为 6Mbit/s 时, 按照公式 (1) 计算 Profibus-DP 通信循环时间, 通信网关扫描一次所有从站数据的时间为 15.4ms 左右, 加上 20% 的通信时间余量, 约 18.5ms, 则 EtherCAT 主站与通信网关全部数据刷新时间小于 20ms, 完全满足工业自动化监控系统的需求。

$$TMC = (TSYN + TID1 + TSDR + Header + I \times 11TBit + O \times 11TBit) \times Slaves \quad (1)$$

其中:

TMC = 信息循环时间按位时间计

TSYN = 同步位时间 = 33 个位时间

TID1 = 在主站的空闲时间 = 典型的 75 个位时间

TSDR = 在从站的站延迟时间 = 典型的 11 个位时间

Header = 在请求和响应帧中的电文头 = 198 个位时间

I = 每个从站的输入数据字节数

O = 每个从站的输出数据字节数

Slaves = 从站个数

计算得: $TMC = 45486 \text{ TBit}$

循环时间: $45486 \text{ TBit} (6 \text{ MBaud}) = 15.4 \text{ ms}$

6 结束语

通信网关通过 MCU (LPC2292) 实现了 Profibus-DP 主站协议到 EtherCAT 从站协议的协议转换和数据交换, 解决了 EtherCAT 实时工业以太网主站系统与 Profibus-DP 从站设备之间的互联互通问题, 保证了 Profibus-DP 现场总线设备数据可以更加高效、快速、安全地传递到中央监控系统中。

参考文献:

- [1] 郇极, 刘艳强. 工业以太网现场总线EtherCAT驱动程序设计及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.
- [2] 张晓刚, 邓梧鹏. 基于赫优讯嵌入式模块的PROFIBUS-DP主站系统的设计 [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/d5dce4868762caaedd33d450.html>.
- [3] 王维建, 将杰, 尹中明. 工业以太网EtherCAT技术的原理及

其实现[A]. 2009第十届工业仪表与自动化学术会议[C]. 307-309.

- [4] Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH. Device Manual [EB/OL]. http://www.hilscher.com/support_mamual.html.
- [5] 刘建林. EtherCAT的从站硬件及软件设计研究[J]. 煤炭技术, 2011, 30(7):194-195.
- [6] EtherCAT Technology Group. ETG.2000 S(R).pdf.V1.0.1. <http://www.ethercat.org.cn/MemberArea/Download/PDF/>

作者简介:

鹿海霞 (1976—), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 工程师, 从事通信系统研发设计工作, E-mail: lulu968313@163.com;

王丹麟 (1979—), 女, 宁夏银川人, 工程师, 从事嵌入式硬件研发设计工作;

杨卫民 (1966—), 男, 江苏镇江人, 高级工程师, 从事电力系统自动化管理工作;

蔡一磊 (1987—), 男, 江苏南通人, 助理工程师, 从事嵌入式硬件研发设计工作。

Design of communication gateway from a Profibus-DP protocol to an EtherCAT protocol

Lu haixia, Wang danlin, Yang weimin, Cai yilei

(Guodian Nanjing automation co., LTD., Nanjing, 210003)

Abstract: There are many kinds of fieldbus intelligent equipments and electrical integrated automation equipments in industrial automation scene, It is important to delivered the control and status information to central controlling and monitoring system in a more rapid and efficient manner. In this paper, on the basic research in Ethernet for Control Automation Technology (EtherCAT), the author designed a key apparatus of communication protocol conversion gateway, with which it can realize signal conversion from a Profibus-DP protocol to an EtherCAT one, and addressed the obstacle of communication between equipment of Profibus-DP and the EtherCAT central controlling and monitoring system. With the new developed technologies addressed in this paper, data can be delivered from industrial field to central controlling and monitoring system in a more repaid and efficient manner than ever before.

Key words: EtherCAT; Profibus-DP; communication gateway