

## 工业以太网现场总线 EtherCAT 及驱动程序设计

单春荣, 刘艳强, 郇极

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院 北京 100083)

**摘要:** EtherCAT 是一种新型的实时工业以太网现场总线。文章介绍了 EtherCAT 技术的原理、技术特点、性能以及 EtherCAT 主站和从站的配置方法、主站和从站驱动程序设计技术等。

**关键词:** EtherCAT; 实时工业以太网; 主站; 从站

**中图分类号:** TP334.7

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1009-0134(2007)11-0079-04

### EtherCAT—Industrial Ethernet Fieldbus and Its Driver Design

SHAN Chun-rong, LIU Yan-qiang, HUAN Ji

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

**Abstract:** EtherCAT is a new real-time industrial Ethernet fieldbus. Principle, technical characteristic and capability of EtherCAT is introduced. A method of how to configure EtherCAT Master and Slave device and how to design Master and Slave drive program is also put forward in this paper.

**Key words:** EtherCAT; Real-time Industrial Ethernet; master; slave

## 0 引言

工业以太网技术将成为工业控制网络和现场总线的主流技术,但传统以太网的介质访问控制方式——带有冲突检测的载波侦听多路访问机制CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detction) 是一种非确定性的介质访问控制方式,不能满足工业现场的实时性要求。针对这种情况,一些国际著名的工业自动化公司相继提出了工业以太网技术的新标准。德国某公司提出的 EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) 技术(也称为以太网现场总线)基于标准的以太网技术,具备灵活的网络拓扑结构,系统配置简单,具有高速、高有效数据率等特点,其有效数据率可达90%以上,全双工特性完全得以利用。该技术于2005年2月正式成为IEC规范—IEC/PAS 62407。除此之外, EtherCAT技术也将集成到国际现场总线标准的下一代标准 IEC61158 和 IEC61800-7(电子功率可调速驱动系统框架与接口)之中。国际标准组织 (ISO) 已

将 EtherCAT 纳入 ISO15745 标准。EtherCAT 技术引起了自动化技术领域的广泛关注,并于2003年成立了 EtherCAT 技术组织,简称 ETG。到目前为止, ETG 组织成员已超过 500 个。

## 1 EtherCAT 系统组成和工作原理

EtherCAT 采用主从式结构,主站 PC 机采用标准的 100Base-TX 以太网卡,从站采用专用芯片。系统控制周期由主站发起,主站发出下行电报,电报的最大有效数据长度为 1498 字节。数据帧遍历所有从站设备,每个设备在数据帧经过时分析寻址到本机的报文,根据报文头中的命令读入数据或写入数据到报文中指定位置,并且从站硬件把该报文的工作计数器 (WKC) 加 1,表示该数据被处理。整个过程会产生大约 10 ns 的时间延迟<sup>[1]</sup>。数据帧在访问位于整个系统逻辑位置的最后一个从站后,该从站把经过处理的数据帧作为上行电报直接发送给主站。主站收到此上行电报后,处理返回数据,一次通信结束。系统结构原理图如图 1 所示。

收稿日期: 2007-07-24

作者简介: 单春荣 (1982-), 女, 山东省龙口市人, 硕士研究生, 研究方向为数字伺服和现场总线技术。

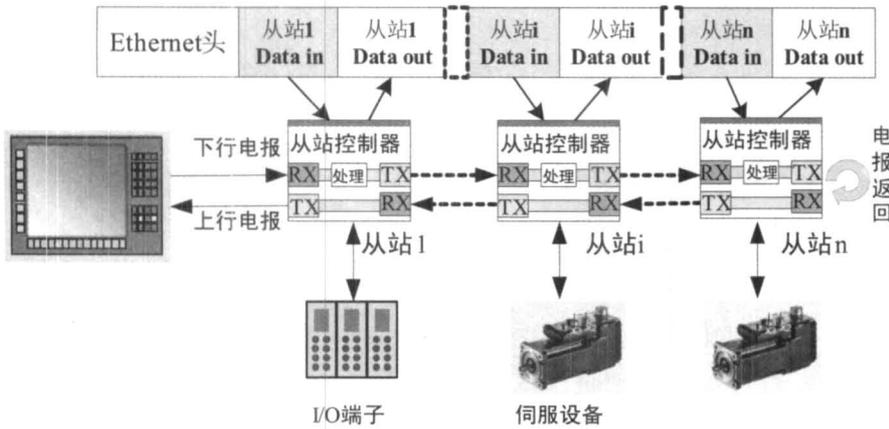


图1 EtherCAT工作原理

部分含义见表2，每个报文都服务于一块逻辑过程映像区的特定内存区域，由FMMU (Fieldbus Memory Management Unit, 负责逻辑地址与物理地址的映射) 寄存器和SM (Sync Manager, 负责对ESC和微处理器内存的读写) 寄存器定义，该区域最大可达4GB字节。EtherCAT报文由一个16位的WKC(Working Count)结束，其数据区最大长度可达1486个字节。在报文

EtherCAT支持几乎所有的拓扑类型，包括线型、树型、星型等，其在物理层可使用100BASE-TX双绞线、100BASE-FX光纤或者LVDS (Low Voltage Differential Signaling, 即低压差分信号传输)，还可以通过交换机或介质转换器实现不同以太网布线的结合。快速以太网的物理层(100Base-TX)允许两个设备之间的最大电缆长度为100m，而LVDS的物理层只能保障10m的传输间距，适合于近距离站点的连接。整个网络最多可以连接65535个设备。

借助于从站中的EtherCAT专用芯片和主站中读取网卡数据的DMA技术，整个协议处理过程都在硬件中进行。EtherCAT系统可以在30μs内刷新1000个I/O点，它可以在300μs内交换一帧多达1486个字节的协议数据，这几乎相当于12000个数字量输入或输出。控制100个输入输出数据均为8字节的伺服轴只需要100μs<sup>[2]</sup>。EtherCAT的高性能使它还可以处理分布式驱动器的电流(转矩)控制。

## 2 EtherCAT数据包结构

EtherCAT以标准以太网技术为基础，在MAC(媒体访问层)增加了一个确定性调度的软件层，该软件层实现了通信周期内的数据帧的传输。EtherCAT采用标准的IEEE802.3以太网帧，帧结构如图2，各部分含义见表1。

EtherCAT没有重新定义新的以太网帧结构，而是在标准以太网帧结构中使用了一个特殊的以太网帧类型0x88A4，采用这种方式可以使控制数据直接写入以太网帧内，并且可以与遵守其他协议的以太网帧在同一网络中并行。一个EtherCAT帧中可以包含若干个EtherCAT子报文，报文结构如图3，各

表1 帧结构含义

名称	含义
目的地址	接收方MAC地址
源地址	发送方MAC地址
以太类型	0x88A4
EtherCAT头: 长度	数据区长度, 即子报文长度加和
EtherCAT头: 类型	1, 代表与从站通信, 其余保留
CRC	循环冗余校验和

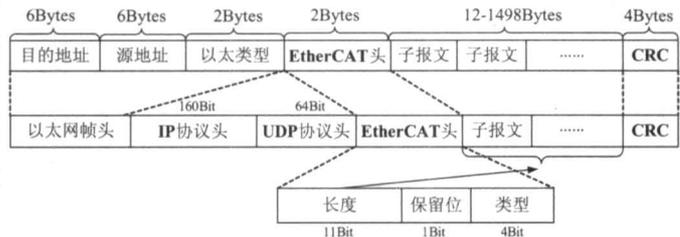


图2 EtherCAT帧结构

头中由8位命令区数据决定主站对从站的寻址方式，由于数据链独立于物理顺序，因此可以对EtherCAT从站进行任意的编址。

表2 子报文结构含义

名称	含义
命令	寻址方式及读写方式
索引号	帧编码代号
子报文地址	从站地址
长度	报文数据区长度
M	此报文后是否还有报文
状态位	中断到来标志
WKC	Working Count, 工作计数器, 报文寻址次数

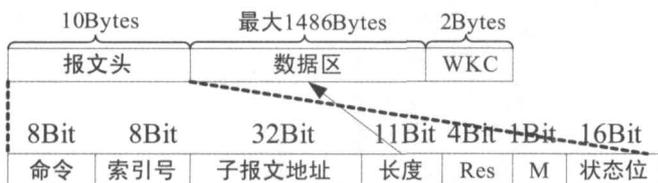


图3 EtherCAT子报文结构

## 3 EtherCAT 技术的实现

### 3.1 主站结构

EtherCAT技术在主站方面只需一块标准的NIC网卡，主站功能完全由软件实现。EtherCAT可以用一个以太网帧发送1486字节的有效数据，所以在通常情况下，每个通信周期只需要1个或2个帧就能完成所有结点的全部通信。EtherCAT主站程序应该包含以下几个方面：

- (1) 读取XML配置文件，根据配置文件信息构造主站与从站设备；
- (2) 管理EtherCAT从站，发送配置文件中定义的初始化帧，初始化从站，为通信做准备；
- (3) 使用邮箱操作实现非周期性数据传输，配置系统参数，处理通信过程中某些偶然性事件；
- (4) 实现过程数据通信，完成主站与从站之间的实时数据交换，达到主站控制从站运行，并处理从站实时状态的功能。

主站代码结构图如图4所示。

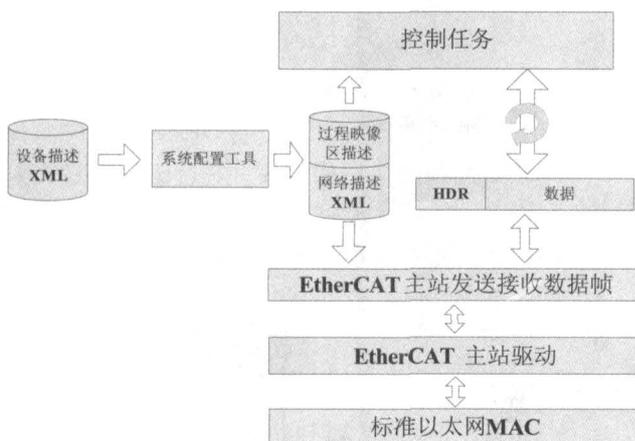


图4 EtherCAT主站程序流程图

可以用多种编程语言来编写EtherCAT主站程序，如VC++、VB、Delphi等编程语言，无需特别复杂的代码，就可以实现主站功能，并且EtherCAT

主站不负责产生数据映射，而是由从站通过外围设备完成，进一步减轻了主站代码的复杂程序，减轻了主机CPU的负担。

### 3.2 主站配置文件

EtherCAT从站内存区前4KB是配置寄存器。从站系统运行前要进行寄存器初始化，包括初始化从站物理地址、配置运行方式（周期性通信、非周期性通信）、逻辑地址寄存器映射、分布时钟寄存器初始化等等。由主站读取该系统的配置文件，构造初始化命令帧，当从站处于该命令要求的状态时主站发出初始化命令。EtherCAT配置文件采用XML格式，XML语法简单，具有结构化、可扩展性等特点，能实现复杂事物的描述，易于在应用程序中读写。EtherCAT配置文件格式如下：

```
< xml version= "1.0" encoding= "ISO8859-1" > -
<EtherCATConfig>
  -<Config>
    -<Master>
      -主站信息（帧头定义）
      -广播寻址信息（初始化命令）
    </Master>
    -<Slave>
      -从站信息（通信信息）
      -类型定义（Mailbox/ProcessData）
      -从站初始化信息
    </Slave>
    -<Cyclic>
      .....
    </Cyclic>
  </Config>
</EtherCATConfig>
```

整个配置文件分为3部分：

(1) 主站结点：主要包括主站信息和广播寻址信息，主站信息主要包括主站名、目的地址、源地址、以太网类型。广播寻址信息是用广播方式对所有从站进行相同地初始化；

(2) 从站结点：此部分可为若干个从站结点，主要包括从站信息、类型、从站初始化信息。从站信息主要包括从站名、物理地址、位置地址等；如果从站类型信息部分为“Mailbox”，则此从站为复杂设备，从站接微处理器等设备，若为“ProcessData”，则从站为简单设备，下面接I/O端子。从站初始化信息部分是针对单个从站，用位置寻址和物理寻址方

式对其某些寄存器进行配置,包括应用层控制寄存器请求信息及应用层状态寄存器应答信息, FMMU、SMs 寄存器的配置信息等;

(3) 周期数据信息,此部分信息是主站程序初始化过程数据帧的依据;

### 3.3 从站实现

可以利用该公司开发的从站控制器 ESC (EtherCAT Slave Controller)根据实际需要设计从站设备。ESC 从站控制器提供 3 种接口规范,具体接口实现方式由控制器上的 E2PROM 寄存器决定,接口规范如表 3。

表 3 接口规范

方式	实现
I/O 方式	32 位输入
	24 位输入 8 位输出
	16 位输入 16 位输出
	8 位输入 24 位输出
微处理器方式	32 位输出
	16 位微处理器
SPI 方式	8 位微处理器
	串行总线接口

I/O 方式不需要接入微处理器,ESC 控制器直接与 I/O 端子相连,I/O 数据直接映射到 ESC 的内存空间,刷新速度非常快。微处理器方式中,ESC 从站控制器在功能上相当于工业现场总线中的通信站点芯片。从站硬件示意图如图 5 所示。

从站控制器与主站交换两种形式的数据:一种是周期性数据;一种是非周期性数据。周期性数据传输可以采用缓冲区方式,任何一方在任何时间都可以访问此方式定义的内存,得到最新数据;非周期性数据传输采用握手方式(邮箱方式)实现,一方写入数据到定义的内存,只有完成定义内存的最后一个字节的写入,另一方才能开始从定义内存中读出数据,而且只有在读出定义内存的最后一个字节数据后,才能重新写入数据。缓冲区和邮箱由 Sync-Manager 寄存器(0x800-0x820)来定义。针对这两种数据通信方式,从站程序可以对非周期性数据通信采用查询方式,查询条件由 SM 寄存器 0x805、0x80D 决定,对周期性通信采用中断方式,通过查询寄存器 0x221 判断中断类型,程序流程图如图 6、图 7 所示。

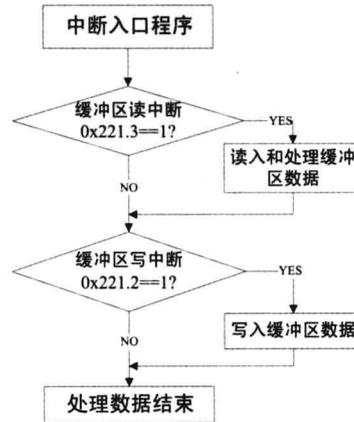


图 6 从站程序中中断流程图

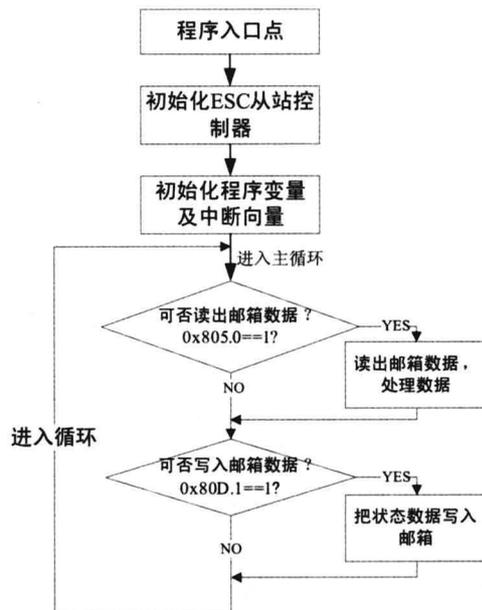


图 7 从站程序查询流程图

8/16 位微处理器接口与带有 DPRAM 接口的传统现场总线控制器接口相对应,适合于数据量较大的复杂设备。其从站代码程序可以实现传统现场总线从站程序的所有功能,如果用户熟悉现场总线从站程序编写,则可以很容易地完成从站代码功能的编写。

### 参考文献:

- [1] 德国倍福公司.实时以太网: I/O 层超高速以太网.工业以太网与现场总线.
- [2] EtherCAT 技术组.EtherCAT- 以太网现场总线.
- [3] 杜品圣.工业以太网技术的介绍和比较[J].仪器仪表标准化与计量, 2005(5):16-19.
- [4] 徐彤.以太网在实时控制领域中的应用[J].火控雷达技术, 2003(9).