

文章编号: 1002-0411(2003)05-0458-04

## 工业以太网的发展现状

吴爱国, 梁 瑾, 金 文

(天津大学电气与自动化工程学院, 天津 300072)

**摘要:** 本文从工业控制网络的发展要求以及以太网自身特点出发, 具体论述了将以太网应用于工业控制网络所存在的三个主要问题, 包括传输的不确定性、以太网的可靠性问题以及缺乏统一的应用层协议。总结了上述问题的现有解决方法, 其中比较详细地介绍了通过改进传输协议提高确定性的方法和现有的两种开放的应用层协议。在文章的最后进一步阐述了对于工业以太网当前主要研究方向的个人观点。\*

**关键词:** 工业以太网; 不确定性; 可靠性; 应用层协议

中图分类号: TP393.11

文献标识码: A

### THE DEVELOPING STATUS OF INDUSTRIAL ETHERNET

WU Ai-guo, LIANG Jin, JIN Wen

(School of Automation, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** According to the development demand of industrial control network and the characteristics of Ethernet, this paper summarizes three main problems of industrial Ethernet, including the transmission indeterminacy, the reliability of Ethernet and the lack of unified application layer protocol. Furthermore, the authors summarize the solutions for the above problems. The methods to improve determination by adapting transmission protocol and two current open application layer protocols are discussed in detail. The individual viewpoint in the research direction of industrial Ethernet is also presented.

**Keywords:** industrial ethernet; indeterminacy; reliability; application layer protocol

在工业自动控制领域中, 控制系统规模不断增大, 而且被控对象、测控装置等物理设备具有地域分散性, 集中控制系统已经不能满足要求。现场总线就是顺应这一形式发展起来的技术, 并在一定程度上解决了这一问题。但是, 现场总线的开放性是有条件的, 是不彻底的。多种现场总线并存已成定局, 难以沿开放的方向发展。当现场总线的发展遇到阻碍时, 以太网技术却得到了迅猛发展。如果能将以太网技术成功地用于工业控制底层网络, 就可以打破传统的工业控制网络体系, 实现办公自动化与工业自动化的无缝结合。

#### 1 工业以太网的优势所在 (Advantages of industrial Ethernet)

(1) 低成本、易于组网是 Ethernet 的极大优越性。以太网与计算机、服务器等接口十分方便。Ethernet 网卡价格十分便宜。另外, 用户的拥有成本下降, 几乎每一家企业都具有 Ethernet 维护人员。

(2) 具有相当高的数据传输速率, 可以提供足

够的带宽。

(3) 资源共享能力强: 利用 Ethernet 作现场总线, 很容易将 I/O 数据连接到信息系统中, 数据很容易以实时方式与信息系统的资源、应用软件和数据库共享。

(4) 易与 Internet 连接。在任何城市、任何地方都可以利用电话线通过 Internet 对企业生产进行监视控制。

(5) Ethernet 受到了广泛的技术支持。几乎所有的编程语言都支持 Ethernet 的应用开发, 今后还会出现更好的 Ethernet 开发技术。

#### 2 将以太网应用于工业现场存在的问题 (Problems of implementing Ethernet on industrial locale)

##### 2.1 传输的确定性问题

Ethernet 采用带有冲突检测的载波侦听多路访问协议 (CSMA/CD) 以及二进制指数退避算法, 因此被认为是一种非确定性的网络系统。对于响应时间

要求严格的控制过程会存在产生冲突的可能性,造成响应时间不确定,使信息不能按要求正常传递.这是阻碍以太网应用于工业现场设备层的关键问题.

## 2.2 以太网的可靠性问题

以太网采用超时重发机制,因此会引发单点故障扩散现象.而且传统的以太网主要应用于办公自动化领域,因此缺少工业级的部件.

## 2.3 缺乏统一的应用层协议

以太网标准仅仅定义了 OSI 参考模型的物理层和数据链路层,即使再加上 TCP/IP 协议也只是在以太网上面提供了网络层和传输层的功能.两个设备要想正常通信必须使用相同的语言规则,也就是说必须有统一的应用层协议.

目前,随着以太网技术的不断发展以及比较完善的应用层协议的出现,上述问题在一定程度上得到了解决.

## 3 对于以太网不确定性的改进 (Improvements on indeterminacy of Ethernet)

### 3.1 用交换式以太网代替共享式以太网

据估算,在共享型以太网中,当负载在 10% 以下时,网络可以保持确定性,这个数据对应于 10M 和 100M 的网络分别意味着 120kb/s 和 1200kb/s 的传输速度.而采用交换式以太网后,负载可以上升到 50%,传输速度可以到 600kb/s 和 6000kb/s.交换式以太网有效避免了碰撞域,从而显著提高了传输效率.

### 3.2 在以太网的协议中加入实时功能

这种方法涉及到对以太网协议的改进,目前主要有两种思想:一种是基于优先级的思想(Priority-based);另一种是基于可调节流量平滑器的思想(Adaptive Traffic Smoother).

#### • 基于优先级的思想

将以太网中传输的信息分为两个不同的优先级,两个优先级在帧间间隔上有所不同.高优先级信息的帧间间隔遵循 CSMA/CD,而低优先级的帧间间隔要加入一个时间间隙.因此,低优先级帧的监听时间要长于高优先级,它有足够的时间检查是否有高优先级信息正在传输,从而能够有效地避免冲突.

但是,这种方法有很大的局限性,它只解决了不同优先级信息之间的冲突问题,而对于同一优先级的冲突(实时数据与实时数据的冲突)则不起作用.一种解决方法是使实时数据的重传坚持率小于 1.

#### • 可调节流量平滑器

基本思想:当实时数据和非实时数据同时在普通以太网上传输时,实时数据可能会经历两种类型的冲突,一种是和同一节点的非实时数据的冲突,另一种是和其他节点的数据的冲突(包括实时和非实时数据).利用可调节流量平滑器可以有效地解决这类问题.可调节流量平滑器置于 TCP/IP(或 UDP)层与 MAC 层之间(如图 1),起到一种接口的作用.它仅作用于非实时数据,对非实时数据的突加流量进行平滑,对其总流量进行限制,相当于给实时数据一个高于非实时数据的优先级,从而避免了同一节点内部数据的冲突.其次,它限制每一个节点非实时数据的吞吐量,从而减少了实时数据与其他节点数据的冲突.为了给非实时数据提供一个合适的吞吐量,流量产生率可以依据网络负载进行调节,因此称为可调节流量平滑器.该流量调节器仅仅要求对于 OS 内核进行少量的修改,而不必对 MAC 层和 TCP/IP 协议进行改动.

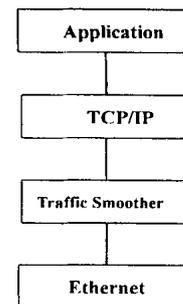


图 1 Traffic Smoother 的软件结构

Fig.1 Software structure of Traffic Smoother

## 4 有效提高以太网可靠性的相关措施 (Effective measures to improve the reliability of Ethernet)

(1) 以太网工业级部件已经相继出现.西门子、莫迪康等公司都相继推出了自己的工业以太网系列产品.

(2) 由于以太网的失败重发机制,要彻底解决以太网中单点故障扩散现象从理论上讲是不太可能的,但是可以通过采用一些措施来尽可能地减少该现象,以提高整个系统的可靠性.

① 采取冗余配置.通讯网络和节点的通讯器件采用冗余配置和自动无扰切换,其前提是具有有效的故障诊断手段.

② 在可能的情况下配置一个实时网络监控软件,不断监视整个网络的通讯状况以及每一个节点的软硬件工作情况,一旦发现异常,应能够迅速将

故障节点隔离开来,并做出相应报警。

## 5 关于应用层协议 (Application layer protocol)

当以太网用于信息技术时,应用层包括 HTTP、FTP、SNMP 等常用协议,但当它用于工业控制时,体现在应用层的是实时通信、用于系统组态的对象以及工程模型的应用协议。目前还没有统一的应用层协议,但受到广泛支持并已经开发出相应产品的有 Rockwell Automation 和 ODVA 开发的 Ethernet/IP、FF 开发的 HSE 以及 Schneider Electric 开发的 MODBUS/TCP 等。

### 5.1 Ethernet/IP

Ethernet/IP 是一种工业网络标准,它很好地采用了当前应用广泛的以太网通讯芯片以及物理媒

体。IP 代表 industrial protocol,以此来与普通的以太网进行区分。它是将传统的以太网应用于工业现场的一种有效的方法,允许工业现场设备交换实时性强的数据。目前,已有四个网络组织 (Open DeviceNet Vendor Association、ControlNet International、Industrial Automation Open Networking Alliance、Industrial Ethernet Association) 公开对其表示支持,并着手进行产品开发和进一步的推广。

Ethernet/IP 在应用层采用开放的 CIP (Control and Information Protocol) 协议 (这与 ControlNet 和 DeviceNet 是相同的,三者都是面向对象的结构,共享相同的应用程序对象库),而用标准的以太网和 TCP/IP 技术传输 CIP 通讯数据包。因而,它的总体结构 (如图 2 所示) 是完全开放的。

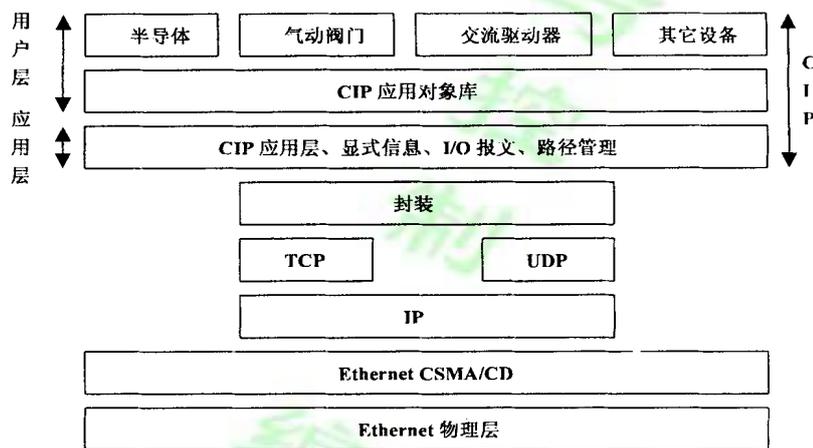


图 2 Ethernet/IP 的结构

Fig. 2 Structure of Ethernet/IP

不同于以往的源/目的的通信模式, Ethernet/IP 采用 Producer/ Consumer 的通信模式,允许网络上的不同节点同时存取同一个源的数据。协议将信息分为显式和隐式两种。Ethernet/IP 应用 TCP/IP 发送显式消息,显式信息的数据段既包括协议信息又包括行为指令。收到显式信息后,节点必须解释每一条信息,执行所要求的任务并产生应答。这类信息用于设备配置和诊断,在信息的长度和频率上存在很大的差异。Ethernet/IP 采用 UDP/IP 发送隐式信息,隐式信息的数据段没有协议信息,仅包括实时 I/O 数据。数据的含义在连接建立时已经提前定义,这样运行时就可以减少节点内部的处理时间。隐式信息一般用于规则地重复传递数据的场合,诸如 I/O 模块和 PLC 之间的数据传递。

### 5.2 HSE

FF-HI 于 1997 年公布,当时对 H2 的构想是 1 Mb/s 和 2.5 Mb/s 波特率,传输距离为 500 m 和 750 m。后来 FF 接受了一个更合理的建议,在 1998 年休斯敦会议上决定改成以 100 Mb/s 以太网为基础,并称高速以太网现场总线 HSE。

HSE 的技术特点是速度高 (100 Mb/s),数据透过量很大,与计算机联接容易,价格低。HSE 有两类用途,一类是完成由于计算量过大而不适合在现场仪表中进行的高层次模型或调度运算;第二类是作为多条 HI 总线或其他网络的网关桥路器。

### 5.3 MODBUS/TCP

Schneider Automation 公司于 1999 年公布了 MODBUS/TCP 协议。MODBUS/TCP 并没有对 MODBUS 协议本身进行修改,但是为了满足工业实时性

需要,改变了数据的传输方法和速率。

MODBUS/TCP 协议以一种非常简单的方式将 MODBUS 帧嵌入到 TCP 帧中(如下图所示)。这是一种面向连接的方式,每一个呼叫都要求一个应答。这种呼叫/应答的机制与 MODBUS 的主/从机制相互配合,使交换式以太网具有很高的确定性。利用 TCP/IP 协议,通过网页的形式可以使用户界面更加友好。利用网络浏览器就可以查看企业网内部的设

备运行情况。Schneider 公司已经为 MODBUS 注册了 502 端口,这样就可以将实时数据嵌入到网页中。通过在设备中嵌入 Web 服务器,就可以将 Web 浏览器作为设备的操作终端。

但是,MODBUS 协议本身存在一些缺陷,它不支持诸如基于对象的通信模型等一些正在被广泛采用的网络新技术,用户在使用的时候,不得不手工配置一些参数,比如信息数据类型、寄存器号等等。

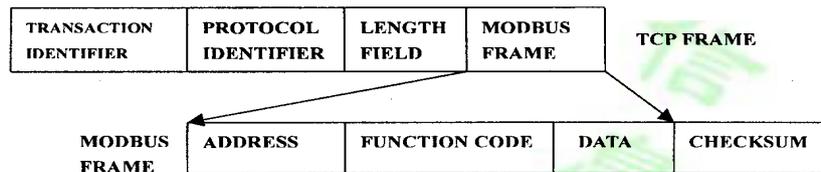


图 3 MODBUS/TCP 帧结构

Fig. 3 Frame structure of MODBUS/TCP

## 6 小结 (Conclusion)

不确定性问题是阻碍以太网应用于工业现场的主要问题,而改进以太网协议是从根本上解决这一问题的方法。802.3 标准已经相继把以太网速度从原始的 10 Mbps 提高到 100 Mbps 以至今天的 1000 Mbps,足够的带宽和交换式集线器的应用已经在一定程度上解决了不确定性问题。但是,我们应该认识到,交换式以太网虽然有效地避免了碰撞域,但并不能避免端口竞争现象,传输同样具有一定的不确定性。以太网带宽提高后,网络的平均负载比较低,但是由于突发非实时数据的传输(这些数据主要是 PLC 等智能设备组态信息和应用程序的下载)仍然可以造成在某一时刻负载超过容许范围。因此,控制非实时数据的流量是必要的。

上述基于可调节流量平滑器的方法是针对这一问题提出的,应该在以后的研究中进一步实现和完善。

将以太网应用于工业自动化领域的目的就是形成一个真正的开放式网络,但是不同厂家制定了不同的以太网应用层标准,不同厂家的产品之间不能互联,用户只能局限于现有的解决方案,而不能利用由一个开放的市场所提供的档次最好、价值最高的产品。获得一个统一的、开放的应用层协议应该是当前研究的焦点问题。

MODBUS/TCP 协议虽然具有良好的开放性以及易于实现的特点,但是 MODBUS 协议本身存在一些缺陷限制了它的发展。Ethernet/IP 与 ControlNet 和 DeviceNet 共享设备档案和通用对象库,这使得在来自不同供应商的复杂设备间进行即插即用交互操作成为可能。对象的定义是严格的,并且支持同一个网络上的实时 I/O 信息传递、组态和诊断。这意味着用户不必另外编程就可以连接到许多复杂设备。因此,这种应用层协议将具有良好的发展前景。

目前,对于一些专用总线,都有其专门的应用领域,均不适宜于工业以太网。另外,易燃、易爆以及环境条件恶劣、可靠性要求很高的场合,也不适宜于应用工业以太网。因此,现场总线不可能完全被工业以太网代替,但是工业以太网具有巨大的发展潜力,其应用领域定将不断地得到扩展。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Brooks P. Ethernet/IP industrial protocol [A]. 2001 8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation [C]. 2001, vol. 2:505 ~ 514.
- [2] Casey B J. Implementing Ethernet in the industrial environment [A]. Electrical Engineering Problems in the Rubber and Plastics Industries [C]. 1990. 32 ~ 40.
- [3] Venkatramani C. Tzicker Chueh. Supporting real-time traffic on Ethernet [A]. Real-time Systems Symposium [C]. 1994. 282 ~ 286.

(下转第 466 页)