

组建实时可靠安全的工业以太网

胡俊 德国赫斯曼电子公司上海代表处(200052)

Abstract

Industrial Ethernet is widely used in more and more information, control and device networks. This paper analyzes requirements over realtime, network resilience, reliability and security in concrete industrial applications, and thus brings forward key points which should be observed in construction of industrial Ethernet.

Keywords: industrial ethernet, network resilience, ring redundancy

摘要

工业以太网在企业的信息层、控制层和设备层网络中得到了越来越多的应用。本文从实时性、网络弹性、可靠性和安全性的角度对工业应用的具体要求进行了分析,提出了在组建工业以太网时需要注意的若干主要问题。

关键词: 工业以太网, 网络弹性, 环形冗余

在当前竞争激烈的经济环境中,工业网络背离了传统的受供应商限制的解决方案,而朝着开放透明的系统方向发展。以太网至今已有30年的历史,在工业自动化领域的应用也已超过了15年,它也是工业现场最古老的局域网(LAN)技术。如果将企业网络从上到下分为三层:信息层、控制层和设备层(传感/执行层),最早以太网主要应用于工业自动化系统的信息层。但今天,以太网已经渗透到了控制层和设备层,几乎所有的PLC和DCS供应商均提供了支持TCP/IP的以太网接口的产品,可以通过以太网传送程序、进行故障分析和操作数据。它之所以给自动化市场带来风暴式的革命主要出于以下原因:

1) 低成本的刺激和速度的提高。以太网技术诞生于1973年,随着时间的推移,以太网的传输速度从10Mbps发展到100Mbps、1Gbps、10Gbps,以太网的价格也跟随摩尔定律以及规模经济而迅速下降。

2) 现代企业对实时生产信息越来越多的要求。为了提高生产的效率和效益,需要了解生产过程的实时数据,将实时生产信息与企业的ERP系统结合起来。

3) 以太网的开放性和兼容性。现场总线从1984年开始提出到现在,共产生了60多个数字通信网络标准,为不同的公司所拥有,相互之间兼容性差。以太网采用由IEEE 802.3所定义的数据传输协议,它是一个开放的标准,为PLC和DCS厂家广泛接受。

虽然工业自动化领域的以太网标准与办公自动化领域中的以太网标准相同,但二者对网络产品的要求和组建网络的重点是完全不同的。工业自动化网络必须首先考虑以下问题。

1 工业以太网的实时性

以太网在过去很长时间内被认为不适合工业应用是因为早期以太网通信的不确定性。25年前的以太网采用CSMA/CD(载波侦听多路访问/冲突检测)机制

解决通信介质层的竞争,其基本工作原理是:节点在发送报文前,先监听网络,如网络忙,则等到其空闲为止,否则将立即发送;如果两个或多个节点在同一时刻发送报文,则发送的报文将在网络上发生冲突,此时节点立即停止发送,并等待一段随机长度的时间后重新发送;该随机时间由标准二进制指数补偿算法确定。这种机制导致了非确定性的产生。因为在一系列碰撞后,报文可能丢失,节点与节点之间的通信将无法得到保障。

但是,交换技术、全双工通信、快速以太网、千兆以太网、VLAN、IGMP、端口优先级等网络技术的出现使得以太网具有了实时性,成为一个确定性的网络,也使以太网成为工业自动化网络中首选的传输方式。以太网交换机的原理很简单,它检测从以太端口来的数据包的目的地的MAC(介质访问层)地址,然后与系统内部的动态查找表进行比较,若数据包的MAC层地址不在查找表中,则将该地址加入查找表中,并将数据包发送给相应的目的端口。交换技术打破了传统以太网的5-4-3原则,使得以太网的规模和覆盖范围大幅度提高,从而战胜众多的局域网技术而一枝独秀。

为了满足工业控制对于数据通信实时性的要求,在选用以太网交换机时应选用低延迟的工业交换机产品。办公自动化交换机产品的收发延迟一般约2~3毫秒,而工业级以太网交换机的收发延迟需要控制在数个微秒级,才能保证整个网络的传输延迟满足实时控制的要求。

此外,现代控制协议,比如Ethernet/IP等,会产生大量的多播数据。当接收到多播数据时,普通交换机会将其作为广播数据进行处理,即将它传送到所有的端口。在这种情况下,必须选择支持IGMP snooping的工业交换机,它能识别多播数据包并只将它发送到指定的端口。在网络规模比较大时,为了防止广播风暴,还应采用VLAN技术克服交换网络中广播对网络

规模的限制,进一步扩大了网络的覆盖范围,提高了网络的性能。在实时性要求较高的情况下,或者对三网合一的系统,需要选用支持端口优先级的交换机产品,以确保实时性要求高的控制数据或语音以高优先级数据帧进行传输。

2 网络弹性

以太网的网络弹性指网络在发生故障时的自愈性能。以太网的拓扑结构一般有如下几种:星形(Star)、总线(Bus)、环(Ring)以及其它衍生结构。星形结构常见于办公以太网,其特点是布线简单,但没有冗余功能,任何一条线路发生故障均会导致通讯中断。其最大弱点是其中央交换机发生故障时,将使整个网络的通讯中断;总线结构也是一种常见的拓扑结构,它也不具有冗余功能。环形结构是一种本质冗余结构,常见于工业网络,当网络链路有一个断点时,整个网络仍可正常通讯。1990年,德国赫斯曼公司第一个提出了快速冗余环形以太网(HIPER-Ring)概念,它也是目前唯一能全系列提供10兆、100兆和千兆以太网快速冗余环技术的厂家。

赫斯曼导轨系列、MICE系列和MACH3000系列交换机支持相同的HIPER-Ring技术,允许构建快速冗余环形以太网如图1。不论是百兆还是千兆冗余环,如果发生一条链路故障,环形结构将切换为具有全部传输能力的总线结构,而且对于多达50台交换机构成的环,切换时间也小于500毫秒。对规模小的冗余环,这一时间会更短。

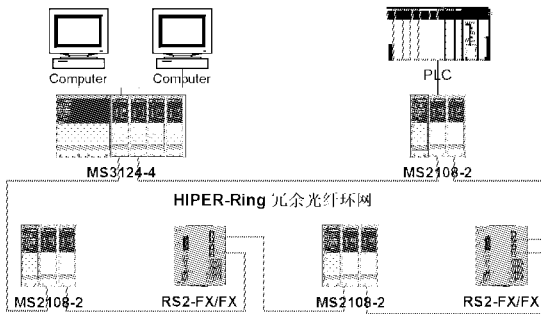


图1 采用导轨系列交换机 MICE/RS2 构成光纤环网冗余

嵌入到赫斯曼交换机中的智能控制功能允许实现多网段间的冗余连接如图2。两个网段之间冗余连接方式有两种。一种如图左所示,由主线和备线组成,连接主线的交换机与连接备线的交换机之间通过一根控制线交换工作状态数据。当主线发生故障时,立即启动备线。整个故障的检测和处理时间小于500毫秒。另一种采用Dual-homing方式(如图右所示),利用赫斯曼千兆以太网交换机的Dual-homing功能,由一台MACH3000连接两根线到另一网段的两台交换机,当一个连接发生故障时,可在1秒内切换到另一连接。

目前有不少交换机也宣称支持环形以太网结构,但大多采用的是生成树算法(Spanning Tree Protocol, STP)。采用这种方法构成冗余环时,处在环上的

一台交换机为了让其他交换机知道其存在,必须向其他端口传送小的信息包BPDU(网桥协议数据单元)。其他交换机接收到这个BPDU后,便利用一个称为STA(生成树算法)的数学公式进行计算。通过STA计算,交换机就可以知道网络上是否存在循环,当存在循环时,交换机阻塞冗余端口。当发生连接故障时,阻塞的端口会被打开,但是由于生成树算法的问题,导致这一恢复时间比较长,平均为30~60秒,在网络节点数较多和系统数据流量较大时,这一时间会更长。而且在恢复过程中,各交换机相互之间的所有通信完全中断,形成若干个独立的“孤岛”。因此,在工业控制场合尤其要注意不宜采用生成树算法组建环形冗余以太网。

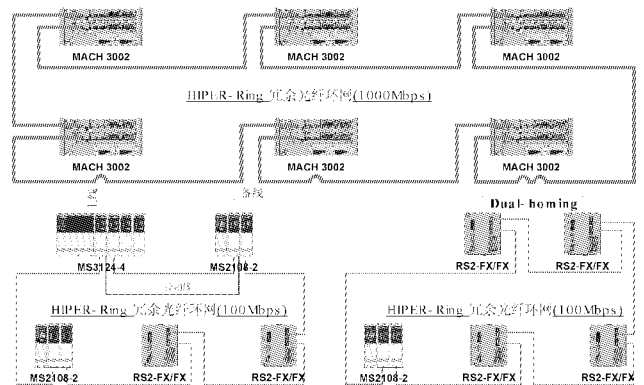


图2 多网段之间的冗余

3 网络可靠性

工业自动化的现代概念越来越多地要求网络系统必须满足现有的对可靠性方面的需求。网络可靠性是系统安全的最基本要求之一,也因而成为构建工业以太网时需要考虑的一个主要因素。可靠性可以用公式描述为 $R = MTBF / (MTBF + MTTR)$, 其中R表示可靠性,MTBF表示平均无故障时间,MTTR表示平均故障修复时间。因此,增大可靠性的有效思路是增大平均无故障时间或者减少平均故障修复时间。

在构建工业以太网的过程中,一方面要尽量采用具有网络弹性的分布式解决方案,减少风险的集中,并采用不同的拓扑结构满足不同的网络冗余的要求。在电磁干扰大的场合,尽量采用光纤介质来增加网络的抗电磁干扰能力。另一方面在产品的选型时需要考虑电磁兼容性、工作温度、防震等指标是否能满足工业现场的要求。工业现场交换机一般是和控制器一起安装在控制柜中,因此必须是工业级设计,最好采用卡轨方式安装,无风扇散热方式,工作温度范围需从0到55/60℃。此外,整个网络的MTBF值一般要远小于组成元素的MTBF值,但在很大程度上它也取决于组成元素的MTBF值,因此在选择工业网络产品时需要选择MTBF值尽可能高的产品,一般情况下现场卡轨式交换机的MTBF值要在15年以上。

同时,要尽量减小平均故障修复时间MTTR。因此

机组经济运营员分别从机组经济特性计算员、机组成本分析员、机组成本价格分析员处获得各机组的经济特性、各机组的动态/历史电成本、各机组的动态/历史成本电价,有了上述数据后,再综合分析电力市场、热力市场的情况和机组自身的特性,并从经济学的角度来进行机组优化调度。

机组经济特性计算员主要负责分析并做出机组的效率曲线图和收益曲线图。向机组运营员提供各个机组的经济特性。

机组成本分析员根据机组发电固定成本、机组设备状态、发电耗煤量以及其它相关因素,分析机组的发电成本。向机组经济运营员提供各个机组的历史的/动态的电成本。

2.3.2 系统模型用例的导出

将企业模型顺序图中的对象作为系统模型中的待选活动者,来建造系统模型的 Use Case 图。如由上图我们可得四个对象,即得到系统模型中的四个活动者,对于对象—机组成本分析员对应的用例图如图 5。

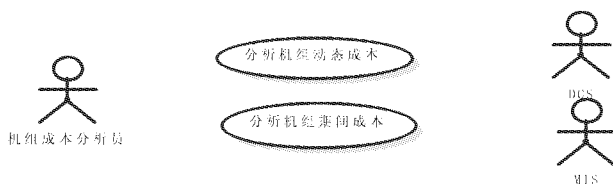


图 5 Use Case 图 3

Actor—机组成本分析员:负责分析电厂各机组的期间成本和动态成本。

Actor—DCS:负责向机组成本分析功能模块提供机组实时消耗,如煤耗、水耗、各辅机的厂用电耗等。

Actor—MIS:负责向机组成本功能模块提供各项固定成本

数据。

Use Case—分析机组动态成本:根据机组成本分析员提供的所要分析的机组及计算期间、分析期间、周期等信息,计算出机组动态成本并且按照机组成本分析员的要求分析机组动态成本变化趋势等。

Use Case—分析机组期间成本:根据机组成本分析员提供的所要分析的机组及计算期间、分析期间、周期等信息,计算出机组期间成本并且按照机组成本分析员的要求分析机组期间成本变化趋势等。

3 结束语

将 Use Case 模型分为企业模型和系统模型能够更清晰地描述分析过程及其结果,使分析员的思维更加条理。做企业模型和系统模型时,首先要把我们分析的对象作为黑箱子,分析其边界,边界的确定需要反复思考。在引入外部执行者时,应考虑其作用,即它在我们的分析中所承担的角色,而不一定是人或工作名称。作用例图时,对于复杂的系统,我们很难确定所有的用例,这样需要由外部执行者的角度来理解系统,确定黑箱子里有哪些用例,用例表明了开发者和用户对需求规格达成的共识。用例、对象的名称应能够清晰地描述它所代表的含义,应尽量避免引起歧义。

参考文献

- 1 张龙祥.UML 与系统分析设计.北京:人民邮电出版社,2001
- 2 邵维忠,杨芙清.面向对象的分析设计.清华大学出版社,1997
- 3 [美]Grady Booch,James Rumbaugh,Ivar Jacobson.UML 用户指南.邵维忠,麻志毅,等译.北京:机械工业出版社,2001

[收稿日期:2003.3.31]

(上接第 11 页)

需要选用带有 SNMP 网络管理功能的交换机,这样可以采用 WEB 方式或网络管理软件对交换机和整个网络系统进行组态、诊断、故障定位和管理。需要注意的是 SNMP 网络管理概念非常广泛,对于工业网络交换机来说,对 SNMP TRAP(故障陷阱)的支持可以在最短时间内实现故障报警。

4 工业以太网的安全性

安全性包括两个方面:信息安全和本质安全。信息安全是指网络不被泄露给非授权的用户或供其利用的特性。在构建时主要可以采取以下一些措施来加强网络的信息安全:交换机的管理采用密码访问机制;关闭不用的交换机端口,防止外部设备的非法接入;在安全性要求高的场合,应该将 MAC 地址与端口绑定,以防止未授权的用户访问。当然,在选择交换机时就需要注意的是否支持上述功能,才能实现所需要的信息安全。

本质安全性指网络设备的保护等级和防爆性能。目前已经具有保护等级为 IP67 的工业以太网交换机,在

危险性工业场合应用的网络设备需要通过 cUL 1604 “Hazardous (Classified) Locations”认证;在防爆应用中要对以太网系统采用隔爆防爆的措施,可通过对以太网现场设备(包括安装在现场的以太网交换机)采取增安、气密、浇封等隔爆措施,使设备本身的故障产生的电火花能量不会外泄,以保证系统使用的安全性。

5 结束语

此外,在组建工业以太网时,有时还需考虑与传统现场总线的集成和迁移问题、仪表总线集成问题、长距离传输问题、易操作性问题等。本文不再赘述。

目前工业以太网已广泛应用在工厂自动化、过程自动化和交通运输等行业,根据 ARC Advisory Group 高级分析师 Harry Forbes 的最新分析,工业以太网在今后的五年中年平均增长率将达到 84%,估计 2007 年前出货量将超过六百万套。因此在不远的将来,工业以太网将成为工业网络技术的主流。

[收稿日期:2003.9.15]