

第3章

控制网络基础

3.1 控制网络与计算机网络

计算机网络是指由多台相互连接、可共享数据资源的计算机构成的集合,是采用传输线路将计算机连接起来的计算机群。网络中的单台计算机除了为本地终端用户提供有效的数据处理与计算能力之外,还能与网络上挂接的其他计算机彼此交换信息。具有独立功能的多台计算机,通过通信线路和网络互连设备相互连接在一起,在网络系统软件的支持下,所形成的实现资源共享和协同工作的系统就是计算机网络。计算机网络节点的主要成员是各种类型计算机及其外设。

由现场总线把具备数字计算、处理与通信能力的自控设备连接组成的系统,称为控制网络。控制网络节点的主要成员是各种类型的自控设备。通过现场总线,把单个的控制设备连接成能够彼此交换信息的网络系统,连接成协同完成测量控制任务的控制系统。

计算机网络使计算机的功能与作用范围发生了神奇的变化,对社会的发展乃至人类的生活方式产生了重要影响。计算机网络从最初局域网内部的计算机互连,局域网与局域网之间互连而逐步发展,导致 Internet 的出现。Internet 就是当今世界上最大的计算机网络的集合,是全球范围成千上万个网连接起来的互联网,已成为当代信息社会的重要基础设施,成为沟通世界的信息高速公路。

在通常意义上,计算机网络是指已在办公和通信等领域广为采用的、由包括 PC 在内的各种计算机及网络连接设备构成的系统,也被称为信息网络。计算机之间通过信息网络共享资源与数据信息,人们也可以直接从数据网络获取数据信息。这类网络的特点是,数据通信量较大,需要支持传送文档、报表、图形,以及信息量更大的音频、视频等多媒体数据。

计算机网络是以各式各样的计算机为网络节点而形成的系统。计算机网络的种类繁多,分类方法各异。按地域范围可分为广域网(Wide Area Networks, WAN)、城域网(Metropolitan Area Networks, MAN)、局域网(Local Area Networks, LAN)。

广域网的跨越范围可从几十千米到几百千米,其传输线造价较高。考虑到信道上的传输衰减,其传输速率不能太高。提高传输速率要受到增加通信线路费用的限制。为提高传输线路的利用率,广域网通常采用多路复用技术,或采用通信卫星、微波通信技术等。

局域网的作用范围较小,一般在 10km 以内。往往为某个单位或某个部门所有,用于连接单位内部的计算机资源,如一所学校或一幢办公楼,因而一般属于专用。局域网内部的传

输速率较高,一般为 10Mb/s、100Mb/s 乃至 1000Mb/s。随着高速以太网技术的发展,局域网内部的传输速率还在不断提高。局域网具有多样化的传输介质,如同轴电缆、光缆、双绞线、电话线等。

城域网的范围通常在一座城市的范围之内。其规模介于局域网与广域网之间,可看作一种大型局域网,但它属于为多用户提供数据、语音、图像等传输服务的公用网。采用与局域网相同的技术,传输速率在千兆位以上的高速以太网技术已经可以用于城域网。

控制网络属于一种特殊类型的计算机网络。控制网络技术与计算机网络技术有着千丝万缕的联系,也受到计算机网络,特别是互联网、局域网技术发展的影响,有些局域网技术可直接用于控制网络。但由于控制网络大多工作在生产现场,从节点的设备类型、传输信息的种类、网络所执行的任务、网络所处的工作环境等方面,控制网络都有别于由各式计算机所构成的信息网络。

3.2 控制网络的特点

控制网络一般为局域网,作用范围一般在几千米之内。将分布在生产装置周围的测控设备连接为功能各异的自动化系统。控制网络遍布在工厂的生产车间、装配流水线、温室、粮库、堤坝、隧道、各种交通管制系统、建筑、军工、消防、环境监测、楼宇家居等处,几乎涉及生产和生活的各个方面。控制网络通常还与信息网络互连,构成远程监控系统,并成为互联网中网络与信息拓展的重要分支。

3.2.1 控制网络的节点

作为普通计算机网络节点的 PC 或其他种类的计算机、工作站,当然也可以成为控制网络的一员。但控制网络的节点大都是具有计算与通信能力的测量控制设备。它们可能具有嵌入式 CPU,但功能比较单一,其计算或其他能力也许远不及普通 PC,也没有键盘、显示等人机交互接口。有的甚至不带 CPU、单片机,只带有简单的通信接口。具有通信能力的以下设备都可以成为控制网络的节点成员。

- 限位开关、感应开关等各类开关。
- 条形码阅读器。
- 光电传感器。
- 温度、压力、流量、物位等各种传感器、变送器。
- 可编程控制器 PLC。
- PID 等数字控制器。
- 各种数据采集装置。
- 作为监视操作设备的监控计算机、工作站及其外设。
- 各种调节阀。
- 电机控制设备。
- 变频器。
- 机器人。
- 作为控制网络连接设备的中继器、网桥、网关等。

受制造成本和传统因素的影响,作为控制网络节点的上述自控设备,其计算、处理能力等方面一般比不上普通计算机。

把这些单个分散的有通信能力的测量控制设备作为网络节点,连接成如图 3.1 所示的网络系统,使它们之间可以相互沟通信息,由它们共同完成自控任务,这就是控制网络。

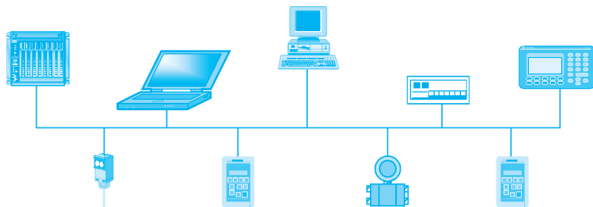


图 3.1 组成控制网络的节点示例

3.2.2 控制网络的任务与工作环境

控制网络以具有通信能力的传感器、执行器、测控仪表作为网络节点,以现场总线作为通信介质,连接成开放式、数字化、多节点通信,完成测量控制任务的网络。控制网络要将现场运行的各种信息传送到远离现场的控制室,在把生产现场设备的运行参数、状态以及故障信息等送往控制室同时,又将各种控制、维护、组态命令等送往位于现场的测量控制现场设备,起着现场级控制设备之间的数据联系与沟通作用。同时,控制网络还要在与操作终端、上层管理网络的数据连接和信息共享中发挥作用。近年来,随着互联网技术的发展,已经开始对现场设备提出了参数的网络浏览和远程监控的要求,甚至要求控制网络与信息网络连通,协同完成远程监控的任务。在有些应用场合,还需要借助网络传输介质为现场设备提供工作电源。

与工作在办公室的普通计算机网络不同,控制网络要面临工业生产的强电磁干扰,面临各种机械震动,面临严寒酷暑的野外工作环境,要求控制网络能适应这种恶劣工作环境。另外,自控设备千差万别,实现控制网络的互连与互操作往往十分困难,这也是控制网络必须要解决的问题。

控制网络肩负的特殊任务和工作环境,使它具有许多不同于普通计算机网络的特点。控制网络的数据传输量相对较小,传输速率相对较低,多为短帧传送。但它要求通信传输的实时性强,可靠性高。

网络的拓扑结构,传输介质的种类与特性,介质访问控制方式,信号传输方式,网络与系统管理等都是影响控制网络性能的重要因素。为使控制网络适应完成自控任务的需要,人们在开发控制网络技术时,注意力往往集中在满足控制的实时性要求,工业环境下的抗干扰,总线供电等控制网络的特定需求上。

3.2.3 控制网络的实时性要求

计算机网络普遍采用以太网技术,采用带冲突检测的载波监听多路访问的媒体访问控制方式,一条总线上挂接的多个节点,采用平等竞争的方式争用总线。节点要求发送数据时,先监听总线是否空闲,如果空闲就发送数据,如果总线忙就只能以某种方式继续监听,等总线空闲后再发送数据。即便如此,还是会出现几个节点同时发送而发生冲突的可能性,因

而被称为非确定性(nondeterministic)网络。由于计算机网络传输的文件、数据一般在时间上没有严格的要求,一次连接失败之后还可继续要求连接。因而这种非确定性不至于造成严重的不良后果。

可以说,控制网络不同于普通数据网络的最大特点在于它必须满足对控制的实时性要求。实时控制对某些变量的数据往往要求准确定时刷新,控制作用必须在一定时限内完成,或者相关的控制动作一定要按事先规定的先后顺序完成。这种对动作时间有严格要求的系统称为实时系统。实时系统不仅要求测量控制作用满足时限性要求,而且要求系统动作在顺序逻辑上的正确性。否则会对生产过程造成破坏,甚至酿成灾难。

实时系统又可分为硬实时、软实时两类。硬实时系统要求实时任务必须在规定的时限内完成,否则会产生严重的后果。而在软实时系统中,实时任务在超过截止期后的一定时限内,仍可以执行处理。在计算机控制系统中,硬实时往往与系统时钟、中断处理、电子线路等硬件实现联系在一起,而软实时则往往与软件的程序循环、调用相关联。

由控制网络组成实时系统一般为分布式实时系统,其实时任务通常是在不同节点上周期性执行的,往往要求通过任务的实时调度,使得网络系统的通信具有确定性(deterministic)。

例如,一个控制网络由几个 PLC 作为网络节点而构成,每个 PLC 连接着各自下属的电气开关或阀门,由这些 PLC 共同控制管理着一个生产装置不同部件的动作。这些电气开关或阀门的动作应该满足一定的时序与时限要求,而且这些电气开关或阀门的动作先后通常需要严格互锁,例如锅炉启动、停车中鼓风、引风机及其相关阀门的动作,就有严格的时序与互锁要求。对于此类分布式系统来说,其网络通信就应该满足实时控制的要求。

控制网络中传输信息内容通常有生产装置运行参数的测量值、控制量、开关阀门的工作位置、报警状态、系统配置组态、参数修改、零点量程调校信息、设备资源与维护信息等。其中一部分参数的传输有实时性的要求,有的参数要求周期性刷新,如参与控制的测量值与开关状态数据。而像系统组态、参数修改、趋势报告、调校信息等则对传输时间没有严格要求。应根据各自的情况分别采取措施,让现有的网络资源能充分发挥作用,满足各方面的应用需求。

3.3 网络拓扑

网络的拓扑结构是指网络中节点的互连形式。控制网络中常见的拓扑结构如图 3.2 所示,按它们在图中排列的位置从左到右分别是环形、星型、总线型和树型。



图 3.2 控制网络中常见的拓扑结构

3.3.1 环形拓扑

图 3.3 为环形拓扑的连接示意图。在环形拓扑中,通过网络节点的点对点链路连接,构成一个封闭的环路。信号在环路上从一个设备到另一个设备单向传输,直到信号传输到目的地为止。每个设备只与逻辑或空间上与它相连的设备链接。每个设备都集成有一个中继器。中继器接收前一个节点发来的数据,然后按原来速度一位一位地从另一条链路发送出去。

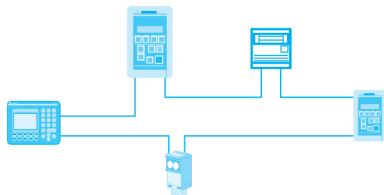


图 3.3 环形拓扑的连接示意图

由于有多个设备共享环路,需有某种访问控制方式来确定每个站何时能向环上插入本节点要发送的数据报文。每个节点都应具备存取逻辑和收发控制。

环形拓扑中的网络连接设备只是简单的中继器,由节点提供拆包和存取控制逻辑。环形网络的中继器之间可使用适用于工业环境的光纤,作为高速链路。与其他拓扑结构相比,光纤环网可提供更大的吞吐量。

信号只能单向传输是环形拓扑的一个缺陷。另外,环路中一个设备的故障有可能导致网络瘫痪。因而工业应用环境下通常采用冗余的光纤环网。

3.3.2 星型拓扑

在星型拓扑中,每个节点通过点对点连接到中央节点,任何两节点之间通信都通过中央节点进行。一个节点要传送数据,首先向中央节点发出请求,要求与目的站建立连接。连接建立后,该节点才向目的节点发送数据。这种拓扑采用集中式通信控制策略,所有通信均由中央节点控制,中央节点必须建立和维持许多并行数据通路,因此中央节点的结构显得非常复杂,而每个节点的通信处理负担很小,只需满足点对点的链路连接要求,结构简单。

星型拓扑可实现数据通信量的综合,每个终端节点只承担较小的通信处理量。适合用于终端密集的地方。

图 3.4 为星型拓扑的连接示意图。常见的将几台计算机通过集线器相互连接的方式就是典型的星型拓扑结构。星型连接中,如果一条线路受损,不会影响其他线路的正常工作。

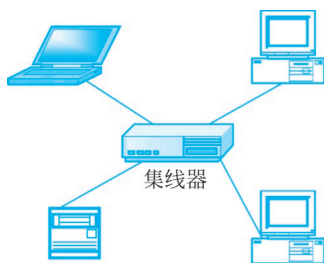


图 3.4 星型拓扑的连接示意图

3.3.3 总线拓扑

由一条主干电缆作为传输介质,各网络节点通过分支与总线相连的网络拓扑结构称为总线拓扑。图 3.5 为总线拓扑的连接示意图。



图 3.5 总线拓扑连接

在总线拓扑的网络结构中,总线上一个节点发送数据,所有其他节点都能接收。由于所有节点共享一条传输链路,某时刻只允许一个节点发信息,因此需要有某种介质存取访问控制方式,来确定总线的下一个占有者,也就是下一时刻可以向总线发送报文的节点。

报文可以在总线上一对一地发送,也可以在总线上分组发送,即通过地址识别,把报文送到某个或某组特定的目的节点。总线拓扑上也可以发送广播报文,让总线上所有节点有条件同时接收。

总线拓扑是工业数据通信中应用最为广泛的一种网络拓扑形式。总线拓扑易于安装,比星型、树型和网状拓扑更节约电缆。随着信号在总线段上传输距离的增加,信号会逐渐变弱。将一个设备连接到总线时,其分支也会引起信号反射而降低信号的传输质量。因而在总线拓扑中,对可连接的节点设备数量,总线长度、分支个数、分支长度等都要受到一定程度的限制。

3.3.4 树型拓扑

可以认为树型拓扑是星型拓扑的扩展形式,图 3.6 表明了由树型拓扑连接的网络。也有人认为树型拓扑是总线拓扑的扩展形式。在一条总线或分支的终端,通过接线盒扩展连接多个节点设备,便可形成树型拓扑。树型拓扑和总线拓扑一样,一个站点发送数据,其他站点都能接收。因此,树型拓扑也可完成多点广播式通信。

树型拓扑是适应性很强的一种,可适用于很宽范围,如对网络设备的数量、传输速率和数据类型等,没有太多限制,可达到很高的带宽。

如果把多个总线型或星型网连在一起,也会形成树型拓扑结构。树形结构比较适合于分主次、分等级的层次型系统。

在实际应用中,经常还会把几个不同拓扑结构的子网结合在一起,形成混合型拓扑的更大网络。

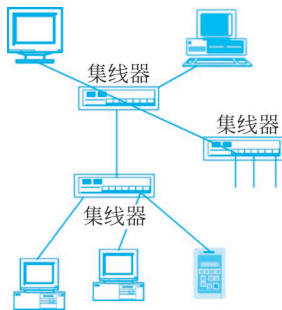


图 3.6 树型拓扑

3.4 网络的传输介质

网络中常用的传输介质包括有线、无线两大类。有线介质中常见的有双绞线、同轴电缆、仪表电缆、电力电缆、光纤、光缆等。

3.4.1 双绞线

无论对于模拟信号还是对于数字信号,双绞线都是最常见的传输介质。

1. 物理特性

双绞线由按规则螺旋结构排列的两根或四根绝缘线组成。一对线可以作为一条通信线路,各线对螺旋排列的目的是使各线对之间的电磁干扰最小。

2. 传输特性

双绞线最普遍的应用是语音信号的模拟传输。用于 10Mb/s 局域网时,节点与集线器的距离最大为 100m。

3. 连通性

双绞线可以用于点对点连接,也可用于多点连接。

4. 抗干扰性

双绞线的抗干扰性取决于线对的扭曲长度及屏蔽条件。在低频传输时,其抗干扰能力相当于同轴电缆。在 $10\sim 100\text{kHz}$ 时,其抗干扰能力低于同轴电缆。

5. 价格

双绞线的价格低于其他传输介质,具有安装、维护方便的优点。

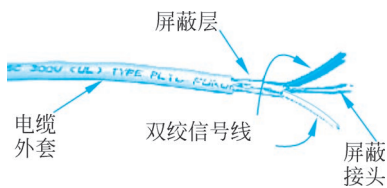


图 3.7 屏蔽双绞线电缆

在工业生产环境下使用的双绞线电缆,在其抗伸强度、抗电磁干扰方面的要求是不可忽视的。因而现场总线系统的传输介质往往采用屏蔽双绞线电缆。图 3.7 为屏蔽双绞线电缆的示意图。它在双绞信号线的基础上添加了屏蔽层和保护层,以提高电缆抗伸、抗电磁干扰的能力。

3.4.2 同轴电缆

同轴电缆也是网络中应用十分广泛的传输介质之一。

1. 物理特性

同轴电缆的结构如图 3.8 所示,它由内导体、外导体、绝缘层及外部保护层组成。同轴介质的特性参数由内、外导体及绝缘层的电气参数和机械尺寸决定。

2. 传输特性

根据同轴电缆的带宽,同轴电缆可以分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆两类。基带同轴电缆一般仅用于单通道数据信号的传输。而宽带同轴电缆可以使用频分多路复用方法,将一条宽带同轴电缆的频带划分成多条通信信道,支持多路传输。

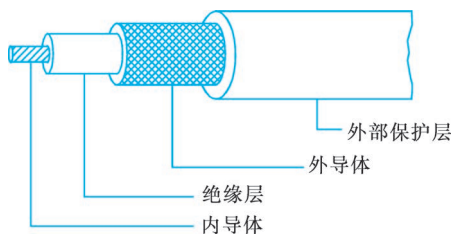


图 3.8 同轴电缆结构示意图

描述同轴电缆的另一个电气参数是它的特征阻抗。特征阻抗的大小与内、外导体的几何尺寸、绝缘层介质常数相关。

在以太网的基带传输中,常使用特征阻抗为 50Ω 的同轴电缆。而在电视天线电缆中,通常采用特征阻抗为 75Ω 同轴电缆。这种电视电缆既可以用于传输模拟信号,也可以用于传输数字信号。当用于模拟信号传输时,其带宽可达 400MHz 。也可采用频分多路复用 FDM 技术,将电视天线电缆的带宽分成多个通道,每个通道既可以传输模拟信号,也可以传输数字信号。

同轴电缆也用作某些现场总线系统的传输介质。

3. 连通性

同轴电缆支持点对点连接,也支持多点连接。基带同轴电缆可支持数百台设备的连接。而宽带同轴电缆可支持上千台设备的连接。

4. 地理范围

基带同轴电缆最大距离限制在几千米范围内,而宽带同轴电缆最大距离可达几十千米。

5. 抗干扰性

同轴电缆的结构使得它的抗干扰能力较强。

6. 价格

同轴电缆造价介于双绞线与光缆之间,维护方便。

3.4.3 光缆

光缆是光导纤维构成的线缆,它是网络传输介质中性能最好、应用前途广泛的一种。

1. 物理特性

光纤是直径为 $50\sim 100\mu\text{m}$ 的能传导光波的柔软介质。有玻璃和塑料材质的光纤,用超高纯度石英玻璃纤维制作的光纤的传输损耗很低。把折射率较高的单根光纤用折射率较低的材质包裹起来,就可以构成一条光纤通道。多条光纤组成一束就构成光缆。光缆的结构如图 3.9(a)所示。

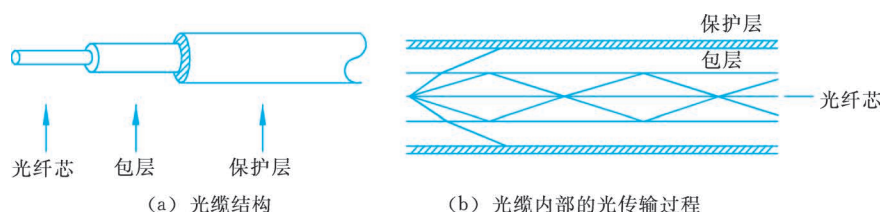


图 3.9 光缆

2. 传输特性

光导纤维通过内部的全反射来传输一束经过编码的光信号。光波通过光导纤维内部全反射进行光传输的过程如图 3.9(b)所示。由于光纤的折射系数高于外层的折射系数,因此可以形成光波在光纤与包层界面上的全反射。光纤可以作为频率从 $10^{14}\sim 10^{15}\text{Hz}$ 的光波的导线。这一频率范围覆盖了可见光谱与部分红外光谱。典型的光纤传输系统的结构如图 3.10 所示。在发送端采用发光二极管或注入型激光二极管作为光源。光波以小角度进入光纤,按全反射方式沿光纤向前传播。在接收端使用光电二极管检波器再将光信号转换成电信号。光纤传输速率可达几千 Mb/s。

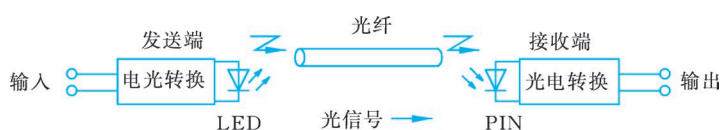


图 3.10 光缆传输系统示意图

光纤传输分为单模与多模两类。所谓单模光纤是指光纤中的光信号仅沿着与光纤轴成单个可分辨角度的单光纤传输,而多模光纤中,光信号可沿着与光纤轴成多个可分辨角度的多光纤传输。单模光纤在性能上一般优于多模光纤。

3. 连通性

光纤最普遍的连接方式是点对点,在某些系统中也采用多点连接方式。

4. 地理范围

光纤信号的衰减极小,它可以在 $6\sim 8\text{km}$ 距离内不使用中继器实现高速率数据传输。

5. 抗干扰性

光纤不受外界电磁干扰与噪声的影响,能在长距离、高速率传输中保持低误码率。双绞线典型的误码率在 $10^{-5}\sim 10^{-6}$,基带同轴电缆为 10^{-7} ,宽带同轴电缆为 10^{-9} ,而光纤误码

率可以低于 10^{-10} 。此外,光纤传输的安全性与保密性也很好。

6. 价格

光纤价格高于同轴电缆与双绞线。由于光纤具有低损耗、宽频带、高数据传输速率、低误码率、安全保密性好的特点,因此是一种最有前途的传输介质。

3.4.4 无线传输

无线传输指无须线缆类传输介质,依靠电磁波穿越空间运载数据的传输过程。无线传输也属于一种重要的数据传输方式。在某些特殊应用场合具有独特的技术优势,近年来得到了快速发展和广泛应用。

无线传输主要包括有无线电波传输、微波传输、红外传输以及激光传输。卫星传输可以看成一种特殊的微波传输。

由于国际上通行把 2.4GHz 频段留给工业、科学和医疗作短距离通信,因而这个频段的无线电波传输近年来发展十分迅速。无线电波的传输特性与频率有关。高频无线电波呈直线传播,对障碍物的穿透能力较差。而低频无线电波对障碍物的穿透能力较强,可穿越某些障碍物。无线电波的传输是全方位的,信号的发送和接收一般借助天线,发送和接收装置一般无须准确对准。但无线电波易受传输途径周围的电磁场干扰,在工业环境下使用无线传输应对此引起足够的重视。

微波的频率范围为 300MHz~300GHz。但用于微波传输的载波频率大多在 2~40GHz。微波沿直线传播,不能绕射。发送端与接收端之间应能直视,中间没有阻挡。其抛物状天线需要对准,远距离传输需要中继。由于微波载波频率很高,可以同时传送大量信息,例如,一个带宽为 2MHz 的微波频段就可以容纳 500 路语言信道。当用于数字通信时,其数据传输速率也很高。

红外线的电磁波频率范围为 $10^{11} \sim 10^{14}$ Hz,也属于方向性极强的直线传播,穿障能力很差,也不适合在户外阳光下使用,一般用于室内的短距离通信。红外线传输广泛应用于许多家用电器与其遥控器之间的信号通信。

激光的工作频率范围为 $10^{14} \sim 10^{15}$ Hz,采用调制解调的相干激光实现激光通信。

应根据应用需求,选择合适的传输介质。选择传输介质需要考虑的相关问题有:要传输的信号类型,网络覆盖的地理范围,环境条件,节点间的距离,网络连接方式,网络通信量,传输介质与相关设备的性能价格比等。

3.5 网络传输介质的访问控制方式

如前所述,在总线或环形拓扑中,网上设备共享传输介质,为解决在同一时间有几个设备同时发起通信而出现的争用传输介质的现象,需要采取某种介质访问控制方式,协调各设备访问介质的顺序与占用时长。在控制网络中,这种用于解决介质争用冲突的办法称为传输介质的访问控制方式,也被称为总线竞用或总线仲裁技术。

传输介质的利用率一方面取决于通信流量,另一方面也取决于介质的访问控制方式。通信中对介质的访问可以是随机的,即网络各节点可在任何时刻随意地访问介质;也可以是受控的,即采用一定的算法调整各节点访问介质的顺序和时间。在计算机网络中普遍采

用载波监听多路访问/冲突检测的随机访问方式。而在控制网络中则采用主/从、令牌总线、并行时间多路存取等受控的介质访问控制方式。

3.5.1 载波监听多路访问/冲突检测

采用载波监听多路访问/冲突检测(CSMA/CD)的介质访问控制方式时,网络上的任何节点都没有预定的发起通信的时间,节点随机向网络发起通信。当遇到多个节点同时发起通信时,信号会在传输线上相互混淆而遭破坏,称为产生“冲突”。为尽量避免由于竞争引起的冲突,每个节点在发送信息之前,都要侦听传输线上是否有信息在发送,这就是“载波监听”。

由于传输线上不可避免地存在传输延迟,有可能多个站同时侦听到线上空闲并开始发送,从而导致冲突。故每个节点在开始发送信息之后,还要继续侦听线路,判定是否有其他节点正与本节点同时向传输介质发送,一旦发现,便中止当前发送,这就是“冲突检测”。

载波监听 CSMA 的控制方式是先听再讲。一个节点要发送,首先需要监听总线,以判断介质上是否有其他节点正在发送信号。如果介质处于空闲,则可以发送。如果介质忙,则要等待一定时间间隔后重试。这种避免冲突的发送等待策略,称为坚持退避算法。有三种 CSMA 坚持退避算法:

第一种为不坚持 CSMA。假如监听的结果表明介质是空闲的,则发送。假如介质是忙的,则等待一段随机时间,再重新监听。

第二种为 1 坚持 CSMA。假如介质是空闲的,则发送。假如介质是忙的,继续监听,直到介质空闲,立即发送。假如冲突发生,则等待一段随机时间,继续监听。

第三种为 P 坚持 CSMA。假如介质空闲,则以一定的概率 P 坚持发送,或以 $(1-P)$ 的概率延迟一个时间单位后再听。这个时间单位等于最大的传播延迟。假如介质是忙的,继续监听直到介质空闲,再以一定的概率 P 坚持发送。

CSMA/CD 已广泛应用于计算机局域网中。每个节点都具备检测冲突和发送信号帧的能力,即可实现边讲边听。一旦检测到冲突,就立即停止发送,并向总线上发一串 Jam 信号,通知总线上各节点已经发生冲突,以防止因冲突而传送已损坏的数据帧,白白浪费网络通信资源。

3.5.2 令牌

CSMA 的访问产生冲突的原因是由于各节点发起通信是随机的。为了避免产生冲突,可采取某种方式控制通信的发起者或发起时间。令牌访问就是其中的一种。这种方法按一定顺序在各站点间传递令牌,得到令牌的节点才有发起通信的权力,从而避免了几个节点同时发起通信而产生的冲突。令牌访问原理可用于环形网,构成令牌环形网络;也可用于总线网,构成令牌总线网络。

令牌环是环形局域网采用的一种访问控制方式。令牌在网络环路上不断地传送,只有拥有此令牌的站点,才有权向环路上发送报文,而其他站点仅允许接收报文。一个节点在发送完毕后,便将令牌交给网上下一个站点,如果该站点没有报文需要发送,便把令牌顺次传给下一个站点。因此,表示发送权的令牌在环形信道上不断循环。环路上每个节点都可获得发送报文的机会,而任何时刻只会会有一个节点利用环路传送报文,因而在环路上保证不会发生访问冲突。

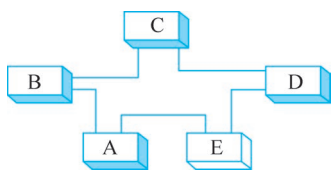


图 3.11 令牌环的网络结构示意图

图 3.11 是令牌环的网络结构示意图。图中每个网络节点都有一个入口和一个出口分别与环形信道相连。通信接口中有缓冲器用来存储转发数据。若 A 站要发送数据给 C 站,则 A 站把目的地址和要发送的数据交给本站的通信处理器组织成帧。一旦 A 站从环上得到令牌,就从它的出口发出该帧。B 站从其入口收到此帧后,查看目的地址与本站地址不符,便将原帧依次转发给 C 站。C 站在查看目的地址时,得知此帧是给本站的,便采用校验和查错,如传输的帧无错误,便将帧中的数据收下,并修改状态位,表示此帧已被正确接收。然后 C 站再把修改了状态位的原帧沿 D、E 站送回 A 站。A 站从返回的帧状态位得知发送成功,从环上取消此帧,再把令牌转交给 B 站,这样完成了一次站点间的通信过程。

采用令牌环方式的局域网,网上每一个站点都知道信息的来去动向,保证了通信传输的确定性。由于能估算出报文传输的延迟时间,所以适合于实时系统的使用。令牌环方式对轻、重负载不敏感,但单环环路出故障将使整个环路通信瘫痪,因而可靠性比较差。

令牌总线方式采用总线拓扑,网上各节点按预定顺序形成一个逻辑环。每个节点在逻辑环中均有一个指定的逻辑位置,末站的后站就是首站,即首尾相连。总线上各站的物理位置与逻辑位置无关。

像令牌环方式那样,令牌总线也采用称为令牌的控制帧来调整对总线的访问控制权。收到令牌的站点在一段规定时间内被授予对介质的控制权,可以发送一帧或多帧报文。当该节点完成发送或授权时间已到,它就将令牌传递到逻辑环中的下一站,使下一站得到发送权。传输过程由交替进行的数据传输阶段和令牌传送阶段组成。令牌总线上的站点也可以退出逻辑环而成为非活动站点。

令牌总线的介质访问控制要在物理总线上建立如图 3.12 所示的逻辑环。从物理上看,它是一种总线结构的局域网,总线是各站点共享的传输介质。但是从逻辑上看,它是一种环形局域网,由总线上的站点组成一个逻辑环,每个站点被规定一个逻辑位置。令牌在逻辑环上依次传递,站点只有取得令牌,才能发送通信帧。

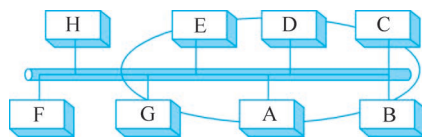


图 3.12 令牌总线与逻辑环

在正常运行时,当站点完成了它的发送,就将令牌送给下一个站点。从逻辑上看,令牌按地址顺序传送至下一个站点。但从实现过程来看,当对总线上所有站点广播带有目的地址的令牌帧时,与帧中目的地址一致的站点识别出该帧与自己的地址符合,即接收令牌。

假如取得令牌的站点有报文要发送,则发送报文,随后,将令牌送至下一个站点。假如取得令牌的站点没有报文要发送,则立即把令牌送到下一个站点。由于站点接收到令牌的过程是顺序依次进行的,因此对所有站点都有公平的访问权。为使站点等待取得令牌的时间是确定的,需要限定每个站点发送帧的最大长度。如果所有站点都有报文要发送,最坏情况下,等待取得令牌和发送报文的时间应该等于全部令牌传送时间和报文发送时间的总和。如果只有一个站点有报文要发送,则等待时间只是全部令牌传递时间的总和,实际等待时间应在这个区间范围内。

对控制网络来说,这个访问等待时间是一个重要参数,可以根据需求,选定网中的站点数及最大的报文长度,从而保证在限定的时间内取得令牌。令牌总线的访问控制还可提供不同的服务级别,即不同的优先级。

令牌总线网络的正常运行十分简单。但网络必须有初始化功能,要生成一个访问次序。当网上令牌丢失,或产生多个令牌时,必须有故障恢复功能。还应该取消不活动站点和加入新活动站点的功能,这些附加功能会大幅增加令牌总线访问控制的复杂性。

因此,令牌总线的介质访问控制应具备以下几项功能。

(1) 令牌传递算法。逻辑环按站点地址次序组成。刚发完帧的站点将令牌传给后继站点。后继站点应立即发送数据或令牌帧,原先释放令牌的站点监听到总线上的信号,便可以确认后继站点获得了令牌。

(2) 逻辑环的初始化。网络开始启动时,或由于某种原因,在运行中所有站点活动的时间超过规定的时间,都需要进行逻辑环的初始化。初始化的过程是一个争用的过程,争用的结果只有一个站点能获得令牌,其他的站点采用站点插入算法插入。

(3) 站点插入算法。逻辑环上应周期性地使新站点有机会插入环中。当同时有几个站点要插入时,可以采用带有响应窗口的争用处理算法。

(4) 退出环路。一个工作站点应能将其自身从逻辑环中退出,并将其先行站点和后继站点连接起来。

(5) 恢复。网络应能发现差错,丢失令牌应能恢复,在多重令牌情况下应能识别处理。

实令牌与虚令牌。上面在讨论令牌总线与令牌环时涉及的令牌为实令牌。实令牌是指在网络传递的数据帧中有一种专门起令牌作用的令牌帧。虚令牌是指不存在专门的令牌帧,而在普通数据帧中隐含着令牌的情况。网络管理者给每个节点分配一个唯一的地址。每个站点监视收到的每个报文帧的源地址,并为接收到的源地址设置一个隐性令牌寄存器,让隐性令牌寄存器的值为收到的源地址加 1,这样所有站点的隐性令牌寄存器在任一时刻的值都相同。如果隐性令牌寄存器的值与某个站点自己的 MAC 地址相等,就意味着该站点获得了令牌,可立即发送数据。虽然网络中并没有真正的令牌帧传递,但能起到与实令牌相同的作用,因而也不会引发介质访问冲突。

3.5.3 时分复用

时分复用(TDM)是指为共享介质的每个节点预先分配好一段特定的占用总线的时间。各节点按分配的时间段及其先后顺序占用总线,这种介质访问控制方式称为时分多路复用。例如让节点 A、B、C、D 分别按 1、2、3、4 的顺序,循环并等长时间占用总线,就是一种多路时分复用的工作方式。

如果事先可以预计好每个节点占用总线先后顺序,需要通信的时间长短或要传送的报文字节数量,则可以准确估算出每个节点两次占用总线之间的时间。这对控制网络中实现时间的确定性是有益的。

时分复用又分为同步时分复用和异步时分复用两种。这里的同步与异步在意义上与前面对同步、帧同步中的同步概念不同。同步时分复用指为每个节点分配相等的时间,而不管每个设备要通信的数据量的大小。每当分配给某个节点的时间片到来时,该节点就可以发送数据,如果此时该节点没有数据发送,传输介质在该段时间片内就是空的。这意味着同步

时分复用的平均分配策略有可能造成通信资源的浪费,不能有效利用链路的全部容量。

时分复用还可以按交织方式组织数据的发送。由一个复用器作为快速转换开关。当开关转向某个设备时,该节点有机会向网络发送规定数量的数据。复用器以固定的转动速率和顺序在各网络节点间循环运转的过程称为交织。交织可以以位、字节或其他数据单元进行。交织单元的大小一般相同。例如有 16 节点,以每个节点每次一个字节进行交织,则可在 32 个时间片内让每个节点发送 2 字节。

异步时分复用指为各节点分配的向网络发送数据的时间片长度不一。在控制网络中,各节点数据信号的传输速率一般相同,可以按固定方式给数据传输量大的节点分配较长时间片,而给数据传输量小的节点分配较短的时间片,以避免浪费。控制网络中常见的主从通信也属于时分复用的一种形式,只是各从节点向总线发送数据的时刻和时间片长度,全都由主节点控制。

异步时分复用还可采用变长时间片的方法来实现。根据给定时段内可能进行发送的节点的通信量统计结果来决定时间片的分配。这种统计时分复用的方法动态地分配时间片,按动态方式有弹性地管理变长域,可以大幅减少信道资源的浪费,在语音通信系统中应用广泛。

3.6 网络互连

3.6.1 网络互连的基本概念

网络互连要将分布在不同地理位置的网络、网络设备连接起来,构成更大规模的网络系统,以实现网络的数据资源共享。相互连接的网络可以是同种类型网络,也可以是运行不同网络协议的异构系统。网络互连是计算机网络和通信技术迅速发展的结果,也是网络系统应用范围不断扩大的自然要求。网络互连要求不改变原有的子网内的网络协议、通信速率、硬软件配置等,通过网络互连技术使原先不能相互通信和共享资源的网络间有条件实现相互通信和信息共享,并要求网络互连对原有子网的影响减至最小。

在相互连接的网络中,每个子网成为网络的一个组成部分,每个子网的网络资源都应该成为整个网络的共享资源,可以为网上任何一个节点所享有。同时,又应该屏蔽各子网在网络协议、服务类型、网络管理等方面的差异。网络互连技术能实现更大规模、更大范围的网络连接,使网络、网络设备、网络资源、网络服务成为一个整体。

3.6.2 网络互连规范

网络互连必须遵循一定的规范,随着计算机和计算机网络的发展,以及市场对局域网络互连的需求,IEEE 于 1980 年 2 月成立了局域网标准委员会(IEEE 802 委员会),建立了 802 课题,制定了 OSI 模型的物理层、数据链路层的局域网标准。已经发布了 IEEE 802.1~IEEE 802.16 系列标准,其中 IEEE 802.1~IEEE 802.6 已经成为国际标准化组织(International Organization for Standardization,ISO)的国际标准 ISO 8802-1~ISO 8802-6。IEEE 802 标准的系列组成如下。

IEEE 802.1A 为综述和体系结构,802.1B 为寻址、网际互连和网络管理;

IEEE 802.2 为逻辑链路控制；
IEEE 802.3 为 CSMA/CD 接入方法和物理层规范；
IEEE 802.4 为 Token bus 令牌总线接入方法和物理层规范；
IEEE 802.5 为 Token ring 令牌环接入方法和物理层规范；
IEEE 802.6 为 MAN 城域网接入方法和物理层规范；
IEEE 802.7 为宽带技术；
IEEE 802.8 为光纤技术；
IEEE 802.9 为话音综合数据业务网；
IEEE 802.10 为可互操作的局域网安全规范；
IEEE 802.11 为 WLAN 无线局域网；
IEEE 802.12 为优先级轮询局域网；
IEEE 802.14 为 Cable-TV 的广域网；
IEEE 802.15 为 WPAN 无线个人局域网；
IEEE 802.16 为宽带无线局域网。

从上述内容可以看到,服务于网络互连的 IEEE 802 系列标准只涉及物理层与数据链路层中与网络连接直接相关的内容。要为用户提供应用服务,还需要高层协议提供相关支持。

3.7 网络互连的通信参考模型

3.7.1 开放系统互连参考模型

为实现不同厂家生产的设备之间的互连操作与数据交换,国际标准化组织 OSI/TC97 于 1978 年建立了“开放系统互连”分技术委员会,起草了开放系统互连参考模型(Open System Interconnection,OSI)的建议草案,并于 1983 年成为正式国际标准 OSI 7498,1986 年又对该标准进行了进一步的完善和补充,形成了为实现开放系统互连所建立的分层模型,简称 OSI 参考模型。这是为异构计算机互连提供的一个共同基础和标准框架,并为保持相关标准的一致性和兼容性提供参考。开放并不是指对特定系统实现具体互连的技术或手段,而是对标准的认同。一个开放系统,是指它可以与遵守相同标准的其他系统互连通信。

OSI 参考模型是在博采众长的基础上形成的系统互连技术。它将开放系统的通信功能划分为 7 个层次。各层的协议细节由各层独立进行。这样,当引入新技术或提出新的业务要求时,可以把因功能扩充、变更所带来的影响限制在直接有关的层内,而不必改动全部协议。OSI 参考模型分层的原则是将相似的功能集中在同一层内,功能差别较大时则分层处理,每层只对相邻的上、下层定义接口。

在 OSI 参考模型中,从邻接物理媒体的层次开始,将各层分别赋予 1,2,⋯,7 层的顺序编号,相应地称之为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。OSI 参考模型如图 3.13 所示。

通常,第 1~3 层功能称为低层功能(LLF),即通信传送功能。第 4~7 层功能称为高层功能(HLF),即通信处理功能。

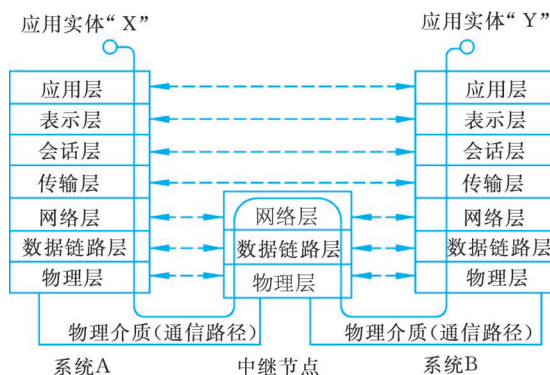


图 3.13 OSI 参考模型

3.7.2 OSI 参考模型的功能划分

OSI 参考模型每一层的功能是独立的,它利用其下一层提供的服务并为其上一层提供服务,而与其他层的具体实况无关。两个开放系统中相同层次之间的通信规约称为通信协议。

1. 物理层(第 1 层)

物理层并不是物理媒体本身,它只是开放系统中利用物理媒体实现物理连接的功能描述和执行连接的规程。物理层提供用于建立、保持和断开物理连接的机械、电气、功能和规程条件。简而言之,物理层提供有关信号同步和数据流在物理媒体上的传输手段,常见的 EIA-232 就属于典型的物理层协议。

物理层规定与网络传输介质连接的机械和电气特性,并把数据转换为在通信链路上传输的信号。包括节点与传输线路的连接方式,连接器的尺寸与排列,数据传输是单向还是双向,数据如何通过信号表示,如何区分信号的 0、1 状态。

2. 数据链路层(第 2 层)

数据链路层用于链路连接的建立、维持和拆除,实现无差错传输。在点到点或一点到多点的链路上,保证报文的可靠传递。该层实现访问仲裁、数据成帧、同步控制、寻址、差错控制等功能。

这里的访问仲裁是指由数据链路层来决定某一时刻由哪个节点获得链路控制权,即完成总线仲裁。数据成帧是指将来自上一层的数据加上有特定意义的数据位,置于报文的头部和尾部,形成数据帧。帧头含有如起始位等特殊的数据位,提示接收节点有数据帧到达,并在知道了该比特的起始点及持续时间后,与发送节点实现时序同步。帧尾含有出错校验码和结束码。结束码表示该帧结束,后面是线路空闲或出现新的一帧。

数据链路层还要实现流量控制,使数据的发送速率不大于接收节点的接收能力,防止因接收缓冲能力不足造成报文溢出。为数据帧加源地址与目的地址,采用差错检测措施与重发机制实现错误恢复等,都是在数据链路层中实现的。

3. 网络层(第 3 层)

网络层规定了网络连接的建立、维持和拆除的协议。它的主要功能是利用数据链路层所提供的功能,通过多条网络连接,将数据包从发送节点传输到接收节点。实现分组转发和

路由选择。在网络连接中存在多于一条的路径可选时,通过路由选择,在收发双方之间选择最佳路径。通过限制进入子网的分组数或丢弃分组,实现拥塞控制。

网络层还用于在包头部加入源地址和目的地址信息,实现逻辑寻址,并将逻辑寻址转换成对应的物理地址。

4. 传输层(第4层)

传输层完成收发之间的数据传送控制,在源节点到目的节点提供端到端的可靠传输服务,保证整个信息无差错、按顺序地到达目的地。传输层将要传输的信息分成片段,加上顺序编号,或称为分段号,便于这些片段在接收端重新组装成完整的信息。

为了增加安全性,传输层可以在收发节点之间建立一条单独的逻辑路径来传输相关的所有数据包。以便对顺序、流量、出错检测与控制有更好的控制机制。

传输层信息的报文头还包括端口地址,或称作套接字地址、服务点地址,以便将所传输的报文与目的节点上的指定程序入口联系起来。

5. 会话层(第5层)

会话层是网络通信的会话控制器,负责会话管理与控制。包括建立、验证会话双方的连接,维护通信双方的交互操作,控制数据交换是双向进行还是单向进行,哪一方在何时发送,在单向进行时如何逐次交替变换等。

会话层将一次会话分解为多个子会话过程,打上标记,确定子会话的传输顺序,并引入检查点,确定哪一点需要在接收端得到确认。如果出现通信意外,会话层还要确定在会话恢复后如何传输。例如由会话层将长文件分页标记,逐页发送,如发生传输中断,由某个特定的标记处重发。

6. 表示层(第6层)

表示层可实现用户或应用程序之间交换数据的格式转换。在发送端将数据转换为收发双方可接受的传输格式,在接收端再将这种格式转换为接收者使用的数据格式。也可用于把应用层的信息内容变换为能够共同理解的形式,通过对不同控制码、数据字符等的解释,使收发双方对传输内容的理解一致。

为保证数据传输的安全性,表示层还负责对数据进行加密解密。在发送端,表示层实现数据加密,以防止数据被窃听或恶意破坏。而在接收端,表示层再将该数据解密,送往应用层。为满足安全要求而进行的验证口令和登录等,也是表示层的基本任务。

为了使传输更为有效,表示层还可实现数据的压缩和解压。

表示层仅对应用层的信息内容进行形式变换,而不改变其内容本身。

7. 应用层(第7层)

应用层是 OSI 参考模型的最高层。其功能是实现各种应用进程之间的信息交换,为用户提供网络访问接口,提供如文件传输访问与管理、邮件服务、虚拟终端等服务功能。

3.7.3 几种典型控制网络的通信模型

从上述内容可以看到,具有七层结构的 OSI 参考模型可支持的通信功能是相当强大的。作为一个通用参考模型,需要解决各方面可能遇到的问题,需要具备丰富的功能。作为工业数据通信的底层控制网络,要构成开放互连系统,应该如何制定和选择通信模型,七层 OSI 参考模型是否适应工业现场的通信环境,简化型是否更适合于控制网络的应用需要,这

是应该考虑的重要问题。

工业生产现场存在大量传感器、控制器、执行器等,它们通常相当零散地分布在一个较大范围内。对由它们组成的控制网络,其单个节点面向控制的信息量不大,信息传输的任务相对比较简单,但实时性、快速性的要求较高。如果按照七层模式的参考模型,由于层间操作与转换的复杂性,网络接口的造价与时间开销显得过高。为满足实时性要求,也为了实现工业网络的低成本,现场总线采用的通信模型大都在 ISO 模型的基础上进行了不同程度的简化。

几种典型控制网络的通信参考模型与 ISO 模型的对照参见图 3.14。可以看到,它们与 OSI 模型不完全保持一致,在 ISO 模型的基础上分别进行了不同程度的简化,不过控制网络的通信参考模型仍然以 OSI 模型为基础。图 3.14 中的这几种控制网络还在 OSI 模型的基础上增加了用户层,用户层是根据行业的应用需要施加某些特殊规定后形成的标准,它们在较大范围内取得了用户与制造商的认可。

OSI 模型		H1	HSE	PROFIBUS
		用户层	用户层	应用过程
应用层	7	总线报文规范子层 FMS 总线访问子层 FAS	现场访问设备(FDA)	报文规范 低层接口
表达层	6		TCP/UDP IP	
会话层	5			
传输层	4			
网络层	3	H1 数据链路层	数据链路层	数据链路层
数据链路层	2	H1 物理层	以太网物理层	物理层(485)
物理层	1			

图 3.14 OSI 与部分控制网络通信参考模型的对应关系

图中的 H1 指 IEC 标准中的基金会现场总线 FF。它采用了 OSI 模型中的三层:物理层、数据链路层和应用层,隐去了第 3 层至第 6 层。应用层有两个子层,总线访问子层 FAS 和总线报文规范子层 FMS。并将从数据链路到 FAS、FMS 的全部功能集成为通信栈。

在 OSI 模型基础上增加的用户层规定了标准的功能模块、对象字典和设备描述,供用户组成所需要的应用程序,并实现网络管理和系统管理。在网络管理中,设置了网络管理代理和网络管理信息库,提供组态管理、性能管理和差错管理的功能。在系统管理中,设置了系统管理内核、系统管理内核协议和系统管理信息库,实现设备管理、功能管理、时钟管理和安全管理等功能。

这里的 HSE 指 FF 基金会定义的高速以太网,它是 H1 的高速网段,也属于 IEC 的标准子集之一。它从物理层到传输层的分层模型与计算机网络中常用的以太网大致相同。应用层和用户层的设置与 H1 基本相当。

PROFIBUS 是 IEC 的标准子集之一,并属于德国国家标准 DIN 19245 和欧洲标准 EN 50170。它采用了 OSI 模型的物理层,数据链路层。其 DP 型标准隐去了第 3 层至第 7 层,而 FMS 型标准则只隐去第 3 层至第 6 层,采用了应用层,并增加了用户层作为应用过程的用户接口。

图 3.15 是 OSI 模型与另两种控制网络通信参考模型的分层对应关系。其中 LonWorks 采用了 OSI 模型的全部 7 层通信协议,被称为通用控制网络。图中还表示了它的各分层的作用。

OSI 模型		LonWorks		CAN
应用层	7	应用层 应用程序		
表达层	6	表达层 数据解释		
会话层	5	会话层 请求/响应、确认		
传输层	4	传输层 端到端传输		
网络层	3	网络层 报文传递寻址		
数据链路层	2	数据链路层 媒体访问与成帧	MAC 数据链路层 LLC	
物理层	1	物理层 物理电气连接	物理层	

图 3.15 OSI 模型与 LonWorks 和 CAN 的分层对照

图中作为 ISO 11898 标准的 CAN 只采用了 OSI 模型的下面两层,物理层和数据链路层。这是一种应用广泛、可以封装在集成电路芯片中的协议。要用它实际组成一个控制网络,还需要增添应用或用户层的其他约定。

3.8 网络互连设备

常见的网络互连设备有中继器(repeater)、网桥(bridge)、路由器(router)、网关(gateway)。它们分别用于不同层次的网络连接,属于不同层次的网络互连设备。

3.8.1 中继器

中继器又称为重发器。从通信参考模型的角度来看,中继器属于物理层的网络互连设备。中继器的主要作用是延长电缆或光缆的传输距离,也可用于增加网段上挂接的节点数量。有电信号中继器和光信号中继器。

由于网络节点间存在一定的传输距离,网络中传输的数据信号,在通过一定长度的传输距离之后,将会因衰减或噪声干扰而影响到数据信号的正确性与完整性,影响接收节点正确地接收和辨认。因而经常需要利用中继器,通过复制位信号延伸网段长度。中继器接收线路中的报文信号,将其进行整形放大、按数据位重新复制。然后,将这个新生成的具有良好波形的复制信号转发至下一网段,或转发到其他媒体的网段。中继器一般用于方波信号的传输过程。它们对所通过的数据不作处理。

每种网络都规定了一个网段所容许的最大长度。安装在传输线路上的中继器要在信号变得太弱或损坏之前将接收到的信号还原,重新生成原来的信号,并将更新过的信号转发到后续的传输线路中,使信号在更靠近目的地的地方开始二次传输,以延长信号的传输距离。因而安装中继器可使节点间的传输距离加长。

中继器仅在网络的物理层起作用,它不以任何方式改变网络的功能。网段上的中继器两侧具有相同的数据速率、协议和地址。

在图 3.16 中,通过中继器连接在一起的两段实际上是一个网段。如果节点 A 发送一个帧给节

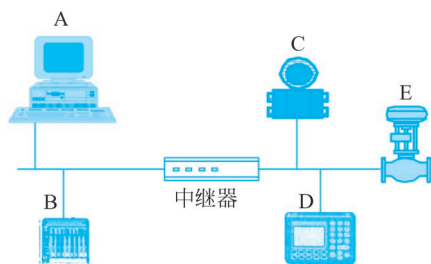


图 3.16 采用中继器延长网段

点 B,所有节点(包括 C、D 和 E)都将有条件接收到这个帧。中继器并不能阻止发往节点 B 的帧到达节点 C 和 D。但有了中继器,节点 C、D 和 E 所接收到的信号质量会更好。

中继器不同于放大器。放大器从输入端获取输入信号,然后输出一个与输入信号形状相同、幅度放大的输出信号。放大器实时实形地放大信号,包括放大输入信号中的所有失真。也就是说,放大器不能分辨信号和噪声,对输入信号的所有部分都进行放大。而中继器则不同,当它接收到一个微弱或损坏的信号时,它并不是放大信号,而是按照信号的原始波形,一位一位地再生复制。因而中继器是一个再生器而不是一个放大器。

中继器放置在传输线路上的位置是很重要的。中继器放置的位置,应该是在噪声使信号中任一位的含义分辨受到影响之前。噪声可以改变信号电压的准确值,但是只要不影响到辨认出某一位是 0 还是 1,该信号还可使用。如果让该信号传输得更远,由于信号衰减和噪声影响的积累,将会影响到正确辨认出某位是 0 还是 1,甚至完全改变信号的含义。这时如果继续采用原来的信号,将会出现无法恢复的差错。因而在传输线路上,中继器应放置在信号失去可读性之前,也就是在尚可以辨认出信号原有含义的地方放置中继器。利用中继器恢复信号的本来面目,让重新生成的复制信号继续传输,从而使得网络可以跨越一个更远距离的地域范围。

3.8.2 网桥

网桥属于作用在物理层和数据链路层的存储转发设备,在两个相同类型的网段之间进行帧中继,在局域网之间存储或转发数据帧。网桥用于在局域网中连接同一类型的不同网段,互连采用不同传输速率、不同传输介质的网络。即网桥所连接的不同网段之间,在传输媒体种类、电气接口和数据速率上可以存在差异。但在网桥两侧的网络中,其网络协议和地址应该一致。

网桥可以访问所有连接节点的物理地址,有选择性地过滤通过它的报文。当在一个网段中生成的报文要传到另外一个网段中时,网桥开始苏醒,转发信号;而当一个报文在本地网段中传输时,网桥处于睡眠状态。

网桥具备寻址与路径选择的功能,它为接收到的数据帧决定正确的传输路径,并将数据帧送到目的地。当一个报文帧到达网桥时,网桥不仅重新生成复制信号,而且检查目的地址,将新生成的复制信号仅仅发送到这个地址所属的网段。每当网桥收到一个报文帧时,它读出该报文帧中所包含的地址,同时将这个地址和所有节点的地址表相比较,当发现一个匹配的地址时,网桥将查找出这个节点属于哪个网段,然后将这个包仅仅传送到那个网段。

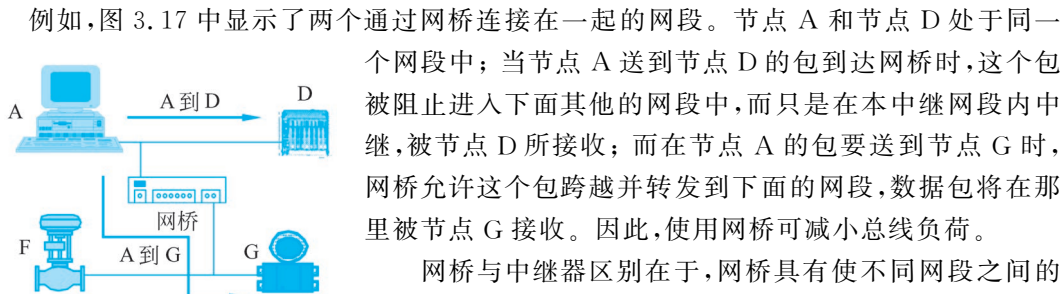


图 3.17 由网桥连接的网段

例如,图 3.17 中显示了两个通过网桥连接在一起的网段。节点 A 和节点 D 处于同一个网段中;当节点 A 送到节点 D 的包到达网桥时,这个包被阻止进入下面其他的网段中,而只是在本中继网段内中继,被节点 D 所接收;而在节点 A 的包要送到节点 G 时,网桥允许这个包跨越并转发到下面的网段,数据包将在那里被节点 G 接收。因此,使用网桥可减小总线负荷。

网桥与中继器区别在于,网桥具有使不同网段之间的通信相互隔离的逻辑,或者说网桥是一种聪明的中继器。它比中继器多了一点智能。中继器不处理报文,不能理解

报文中的任何东西,只是简单地复制信号。而网桥除了对数据帧进行差错校验外,它还知道相邻段的地址,并基于这些地址实行包过滤。

为了在网段之间进行传输选择,网桥需要一个包含有与它连接的所有节点地址的查找表。这个表要指出各节点属于哪个段,有多少个段连接到这个网桥上。网桥只接收需要经过它转发到其他网段的信号,接收到的数据包也只转发到其地址指定的网段。这样,网桥可以起到过滤信号包的作用。利用网桥可以在一定程度上控制网络拥塞,隔离出现了问题的链路,利用通信段的分割为网络提供安全性。但网桥在任何情况下都不修改包的结构或包的内容,因此只可以应用在使用相同协议的网段之间。

下面是三种不同类型的网桥。

1. 简单网桥

简单网桥是最原始和最便宜的网桥类型。一个简单网桥连接两个网段,同时包含有一个列出了所有位于相邻网段的节点地址表。简单网桥的这个节点地址表必须完全通过手工输入。在一个简单网桥可以使用之前,操作员必须为其输入每个节点的地址。每当一个新的站点加入时,这个表都必须被更新。如果一个站点被删除了,那么新出现的该无效地址必须被删除。对制造商来说这种配置简单并且便宜,但安装和维护简单网桥耗费时间,比较麻烦,比起它所节约的费用来可能是得不偿失。

2. 学习网桥

学习网桥在它执行网桥功能的时候,自己有能力建立站点地址表。当一个学习网桥首次安装时,它的表是空的。每当它遇到一个包时,它同时查看源地址和目标地址。网桥通过查看目标地址,决定将数据包送往何处。如果这个目标地址是它所不认识的,它就将这个包转发到所有的网段中。

网桥使用源地址来建立地址表。当网桥读出源地址时,它将记下这个包是从哪个网段来的,从而将这个地址和它所属的网段联系在一起。通过由每个节点所发送的第一个包,网桥可以得知该站点所属的网段。例如,如果在图 3.17 中的网桥是一个学习网桥,当站点 A 发送包到站点 G 时,网桥得知从 A 来的包是属于上面那个网段。在此之后,每当网桥遇到地址为 A 的包时,它就知道应该将它仅仅转发到上面的网段中。最终,网桥将获得一个完整的节点地址和各自所属网段的表,并将这个表储存在它的内存之中。

在地址表建立后网桥仍然会继续上述过程,使学习网桥不断自我更新。假定图中节点 A 和节点 G 相互交换了位置,这样会导致储存的所有节点地址的信息发生错误。但由于网桥仍然在检查所收到包的源地址,它会注意到现在站点 A 所发出的包来自下面的网段,而站点 G 所发出的包来自上面的网段,因此网桥可以根据这个信息更新它的表。

当然,具有这种自动更新功能的学习网桥会比简单网桥的成本高。但对大多数应用来说,为了增强功能、提供应用方便,这种花费是值得的。

3. 多点网桥

一个多点网桥可以是简单网桥,也可以是学习网桥。它可以连接两个以上相同类型的网段。

3.8.3 路由器

路由器工作在物理层、数据链路层和网络层,它比中继器和网桥更复杂一点,并包含有

软件。在路由器所包含的地址之间,可能存在若干路径,路由器可以为某次特定的传输选择一条最好的路径。

报文传送的目的网络和目的地址一般存在于报文的某个位置。当报文进入时,路由器读取报文中的目的地址,然后把这个报文转发到对应的网段中。它会取消没有目的地的报文传输。对存在多个子网络或网段的网络系统,路由器是很重要的部分。

路由器可以在多个互连设备之间转发数据包。它们对来自某个网络的数据包确定路线,发送到互连网络中任何可能的目的网络中。图 3.18 显示了一个由 5 个网络组成的互连网络。当网络节点发送一个数据包到邻近网络时,数据包将会先传送到连接处的路由器中。然后通过这个路由器把它转发到目的网络中。如果在发送和接收网络之间没有一个路由器直接将它们连接时,发送端的路由器将把这个包通过和它相连的网络,送往通向最终目的地路径上的下一个路由器,那个路由器将会把这个数据包传递到路径中的下一个路由器。如此这般,最后到达最终目的地。

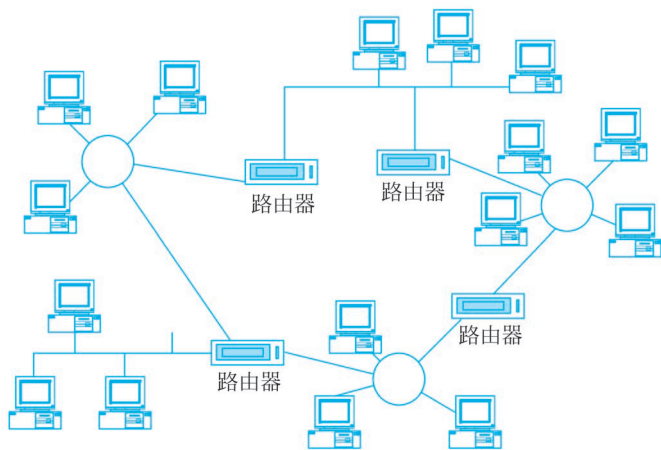


图 3.18 互联网中的路由器

路由器如同网络中的一个节点那样工作。但是大多数节点仅仅是一个网络的成员。路由器同时连接到两个或更多的网络中,并同时拥有它们各自的地址。路由器从所连接的节点上接收到数据包,同时将它们传送到第二个连接的网络中。当一个接收到的数据包的目标地址位于不与这个路由器所连接的网络时,路由器有能力决定哪一个连接网络是这个包最好的下一个中继点。一旦路由器识别出一个包所走的最佳路径,它将通过合适的网络把数据包传递给下一个路由器。下一个路由器再检查目标地址,找出它所认为的最佳路由,然后将该数据包送往目的地址,或送往所选路径上的下一个路由器。

路由器在具有独立地址空间、不同数据速率和传输媒体的网段间存储转发信号。路由器连接的所有网段,其协议是一致的。

3.8.4 网关

网关又被称为网间协议变换器,用于实现不同通信协议的网络之间的互连。由于它在技术上与它所连接的两个网络的具体协议有关,因而用于不同网络间转换连接的网关是不相同的。

一个普通的网关可用于连接两个不同的总线或网络。由网关进行协议转换,提供更高层次的接口。网关允许在具有不同协议和报文组的两个网络之间传输数据。在报文从一个网段到另一个网段的传送中,网关提供了一种方式把报文重新封装,形成新的报文组。

网关需要完成报文的接收、翻译与发送。通常它会使用两个微处理器和两套各自独立的通信接口。微处理器理解本地两种网络或总线的语言,在两个通信接口之间设置翻译器。通过微处理器在网段之间来回传递数据。

在工业数据通信中,网关最常见的应用就是把一个现场总线网络的信号送往另一个不同类型的现场总线网络,如把 ASI 网络的数据通过网关送往 PROFIBUS DP 网段。或者借助网关把一个现场总线网络与 Internet 连接起来,例如把在 FF 网络的 H1 网段通过网关(被称为链接设备)与 HSE 相连接,并进一步使控制网络与信息网络贯通为一体。