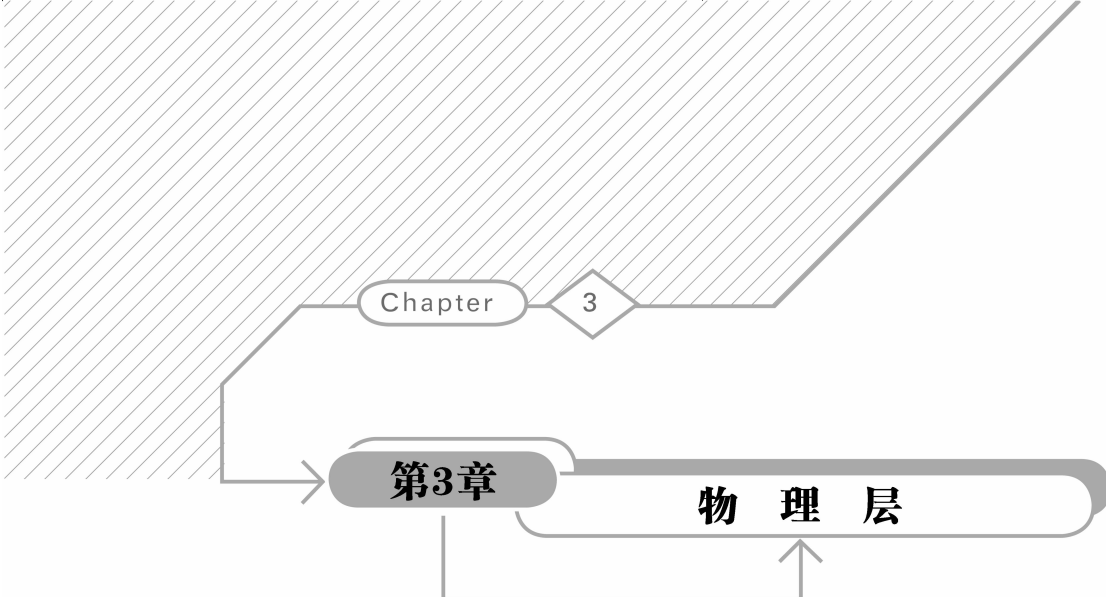




本章学习目标

- 熟练掌握物理层的功能。
- 掌握物理层接口特性及其功能特点。
- 了解物理层协议。

本章先向读者介绍物理层的基本概念、物理层的中继设备,再介绍物理层接口特性及其功能,最后给出物理层协议举例。

3.1 物理层基本概念

1. 物理层的基本概念

物理层是 OSI 参考模型的第一层,虽然它处于最底层,但是计算机网络所有功能实现的基础。物理层是唯一不接受其他各层提供的服务,而是只为其他高层提供服务的原始服务提供者。物理层为设备之间的数据通信提供传输介质及连接设备,为数据传输提供可靠的环境。物理层要考虑的问题是怎样在连接各种计算机的传输介质上传输数据比特流,因此物理层的传输单位为比特(b),实际的比特传输需要借助于传输介质和连接设备,而物理层既不是指具体的传输介质本身,也不是指连接设备本身,而是指位于具体传输介质之上的且为其上一层(即数据链路层)提供传输原始比特流的物理连接。现有计算机网络中的连接设备和传输介质种类繁多,而通信手段也各不相同,因此物理层的作用就是要尽量屏蔽掉这些差异,使物理层上面的数据链路层感觉不到这些差异,从而使数据链路层只需考虑如何完成本层的协议和服务。

首先介绍物理层接口模型,如图 3.1 所示。数据终端设备 DTE(Data Terminal Equipment)是指具有一定的数据处理能力和发送、接收数据能力的设备,如 PC、普通数据通

信终端。数据电路端接设备 DCE(Data Circuit-terminating Equipment)是指在 DTE 和传输线路之间提供信号变换和编码的功能,并且负责建立、保持和释放数据链路的连接,如调制解调器(modem)、线路适配器、信号变换器等。

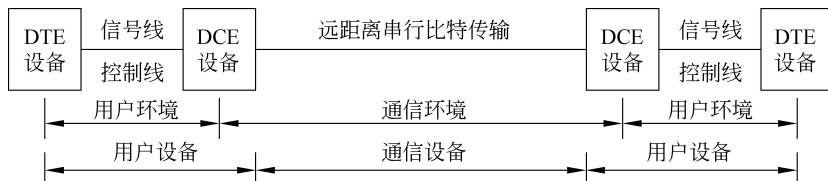


图 3.1 物理层接口模型图

在两个 DTE 之间进行通信,有以下三种情况:

(1) DTE 与 DCE 之间接口的操作。针对不同的通信环境,为了使不同厂家的产品能够相互连接与兼容,那么 DTE 与 DCE 之间的接口必须符合统一的标准。DTE 与 DCE 之间的接口的内容是指插连方式、引脚分配、电气特性以及应答关系等。

(2) DCE 与 DCE 之间的传输操作。通常通过规定线路上的信号参数来达到控制 DCE 与 DCE 之间传输操作的目的。这部分内容已经在第 2 章的数据通信基础里讲解过了。

(3) DTE 与 DTE 之间的通信。为了使数据通信能顺利进行,就要对通信双方 DTE 设备如何进行数据和信息的交换加以规定。譬如,采用何种语言进行通信、动作的顺序如何,以及出现异常情况时如何解决。这部分内容属于物理层上面的数据链路层的数据传输控制规程,在第 4 章的数据链路层那一章再进行介绍。

接下来,主要介绍上述第(1)种情况,即 DTE 与 DCE 之间的接口操作。物理层的主要任务就是确定与传输介质的接口有关的一些特性,这些特性包括机械特性、电气特性、功能特性和过程特性。因此 DTE 与 DCE 之间的接口操作的标准就是指这四个接口特性的规定。

(1) 机械特性:指明接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列,固定和锁定装置等。DTE 与 DCE 之间的接口要规定机械上分界的方法,通常 DTE 与 DCE 之间通过多条导线相互连接。DTE 与 DCE 作为两种分立的设备,通常是采用接插件组成的连接器来实现在机械上的互连,即一端设备的引出导线连接插头,另一端设备的引出导线连接插座。

(2) 电气特性:指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围、阻抗匹配情况、传输速率和传输距离的限制等。DTE 与 DCE 之间接口的电气连接方式有三种:非平衡方式、差动接收的非平衡方式、平衡方式,如图 3.2 所示。

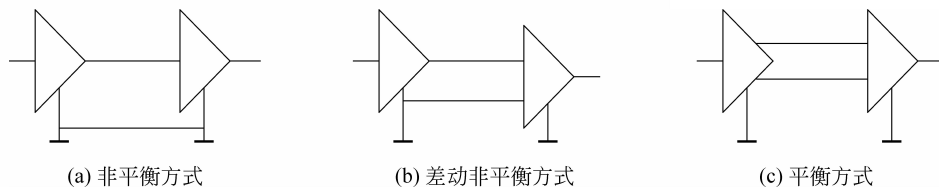


图 3.2 电气连接方式

非平衡方式：如图 3.2(a)所示，非平衡接口通常采用分立元件技术加以设计，一般发送器和接收器都是单输入/输出的，且每个电路使用一根导线，收发双方共用一根信号地线。由于收发双方共地，所以会产生接收误差。因此这种方式的传输速率不超过 20kb/s，传输距离也不大于 15m。CCITT 的 V.28, EIA/RS-232 都采用这种方式。

差动接收的非平衡方式：如图 3.2(b)所示，该方式是采用集成电路技术的非平衡接口。与前者相比，发送器仍采用非平衡方式，但接收器采用差动输入方式，每个电路使用一根导线，但收发双方都使用独立的信号地线，这样有效地减少了逻辑地电位差以及外界干扰信号的影响。传输速率与传输距离有关，当传输速率为 300kb/s 时，传输距离为 10m；当传输速率为 3kb/s 时，传输距离为 1000m。CCITT 的 V.10/X.26, EIA/RS-423 都采用这种方式。

平衡方式：如图 3.2(c)所示，该方式是采用集成电路技术设计的平衡接口，发送器采用平衡方式，接收器采用差动输入方式，每个电路采用两根导线，构成各自完全独立的信号回路，使得串扰信号减至最小。这种方式的传输速率与传输距离有关，当传输速率为 10Mb/s，传输距离为 10m；当传输速率为 100kb/s 时，传输距离为 1000m。CCITT V.11/X.27 建议采用这种电气连接方式，EIA/RS-422 标准与之兼容。

(3) 功能特性：指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义，即规定物理接口上各条信号线的功能分配和确切定义。一种是一线一义法，即每根信号线定义为一种功能，CCITT 的 V.24、EIA/RS-232、EIA/RS-449 等都采用这种方法；另一种方法是一线多义法，指每根信号线被定义为多种功能，此法有利于减少接口信号线的数目，它被 CCITT 的 X.21 所采用。

(4) 过程特性：指明利用信号线进行比特流传输的操作过程，即不同功能信号线的各种可能事件的出现顺序。

物理连接可以通过中继系统，允许进行全双工或半双工的二进制比特流的传输。它可以通过同步或异步的方式进行传输。其典型的设计问题有信号的发送电平、码元宽度、线路码型、物理连接器插脚的数量、插脚的功能、物理拓扑结构、物理连接的建立和终止、传输方式等。

2. 物理层的主要功能

(1) 物理层为数据终端设备提供传送数据的通路，数据通路可以是一个物理介质，也可以由多个物理介质连接而成。一次完整的数据传输，包括激活物理连接、传送数据、终止物理连接三个阶段。所谓激活：就是不管有多少物理媒体参与，都要在通信的两个数据终端设备间连接起来，并形成一条通路。

(2) 实现两个网络物理设备之间的二进制比特流的透明传输，具有对物理层上面的数据链路层屏蔽掉物理传输介质的特性，以便对高层协议有最大的透明性。

(3) 物理层协议规定为建立、维护和释放数据链路实体之间的二进制比特传输的物理连接提供机械的、电气的、功能的和规程的特性。

3. 物理层向数据链路层提供的服务

物理层向数据链路层提供的服务主要有：

- (1) 物理连接的建立、维护和释放；
- (2) 物理连接方式有点点链接和多点连接；
- (3) 可以提供同步传输或异步传输，也可以提供串行传输或并行传输，还可以提供单工、半双工以及全双工的方式。

3.2 物理层的中继设备

物理层常用的中继设备有中继器和集线器。

1. 中继器

由于数据信号在网络传输介质中进行传输时会产生衰减，从而随着距离的增加，使信号变得越来越弱，还会由于传输介质中的电磁噪声和干扰使信号发生畸变，因此电磁信号在传输介质中传输一定距离后，就要使用中继器来对传输的数据信号进行整形放大，补偿信号衰减，从而支持远距离的通信。

中继器(Repeater)工作于 OSI 的物理层，中继器是最简单的网络连接设备，连接同一个网络的两个或多个网段。用于两个网络节点之间物理信号的双向转发，达到延长网络长度的目的。

(1) 中继器的工作原理：中继器从某一端口接收到由网络节点向线路发送的已编码信号，进行再生和转发，从而增加信号传输的距离。以太网常常利用中继器扩展总线的电缆长度，如图 3.3 所示。标准细缆以太网的每段长度最大 185m，最多可有 5 段，因此增加中继器后，最大网络电缆长度则可提高到 925m。一般来说，中继器两端的网络部分是网段，而不是子网。两局域网的电缆的连接也可以用中继器，重新定时并再生电缆上的数据信号，然后再发送出去。要注意的是用中继器连接的两个或多个局域网，仍然是同一个网络，只是增加了局域网的覆盖区域，例如，以太网标准规定单段信号传输电缆的最大长度为 500m，但利用中继器连接 4 段电缆后，以太网中信号传输电缆最长可达 2000m。有些品牌的中继器可以连接不同物理介质的电缆段，如细同轴电缆和光缆等。

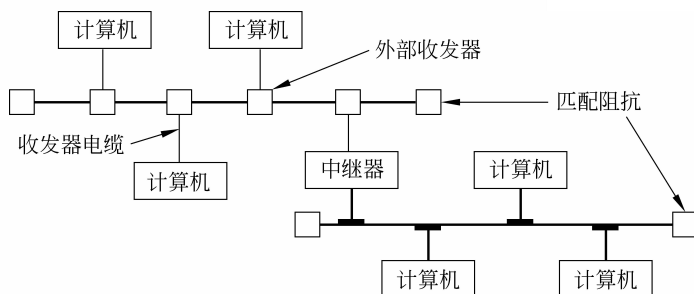


图 3.3 以太网利用中继器扩展总线的电缆长度

- (2) 中继器的特点：其优点有：①网络的通信距离延长了；②网络的节点数目增加了；

③不同通信速率的网段也可以连接；④网络可靠性提高了；⑤网络性能改善了；⑥安装简单,使用方便,价格相对低廉。其缺点有：①时延增加了,影响网络性能；②容易形成“广播风暴”,导致网络负荷过重,产生帧丢失现象；③中继器本身出故障,会影响两个相邻网络的工作。

2. 集线器

不管是在家庭中,还是在企事业单位里,当只有一个网络入口地址,而同时又有多台计算机需要上网时,就要借助于集线器(Hub)来进行连网。先把网络入口地址连接到集线器的一个端口,然后再用网线把各个计算机连接到集线器的其他端口上,组成一个局域网,这样,连在集线器上的所有计算机都可以上网。

集线器也是物理层的设备,它的任务是把所连接的计算机通过星形拓扑结构连接起来,便于网络节点的增减,还可以提高网络的可维护性。集线器上少则有几个,多则有几十个端口,这些端口就是用来连接各节点工作站的。因此,集线器的作用主要是：①把信号放大,因为在双绞线中,由于存在阻抗,所以信号会发生衰减,一般规定双绞线不能超过 100 米。如果超过 100 米,就必须加一个集线器,把信号放大后再继续往前传,但是最多不能超过 4 个集线器。如果两个地方很远,远远超过 4 个集线器连起的长度,这种情况下就必须考虑使用光纤代替双绞线。因为光纤衰减很小,信号可以传输很长的距离都不需要放大。②把多台计算机集中起来。

集线器的工作原理：集线器相当于一个转发器,引入集线器这一网络集线设备后,每一个站是用它自己专用的传输介质连接到集线器的,当某个站点要发送数据时,集线器在到每个站点的出口线路上复制该信号。一般情况下,该线路由两条非屏蔽双绞线构成。各节点间不再只有一个传输通道,而是所有节点共享传输介质,各节点发来的信号都要通过集线器集中,集线器再把信号整形、放大后发送到所有节点的出口线上,这样至少在上行通道上不再出现碰撞现象。但当上行通道与下行通道采用广播方式同时发送数据时,会存在信号碰撞现象。当集线器从其内部端口检测到碰撞时,产生碰撞强化信号(Jam)向集线器所连接的目标端口进行传输。这时所有数据都将不能发送成功,形成网络“广播风暴”。

基于集线器的网络仍然是一个共享介质的局域网,即集线器所有的端口都共享集线器内部总线的带宽,当用户数多的时候,每个用户分到的平均带宽就少。例如原来网络带宽为 100Mb/s,若有 10 个用户,那么每个用户分到的平均带宽为 10Mb/s。

在选购集线器时,应考虑以下几个方面：①外形尺寸。集线器外形尺寸的选择一般与网络的规模有关。如果组建的网络很小,如一间很小的公司或是家庭网络,局域网络内的用户很少,则一台 8 端口左右的 SOHO(Small Office and Home Office)台式 Hub 足够了。如果组建的网络很大,用户也非常多,现在或以后需要将网络设备置于机柜中,则应当选购几英寸符合机架标准的 19 英寸机架式集线器。该类集线器符合统一的工业标准。可以轻松地在机柜中,便于堆叠、级联、管理和维护。②传输带宽。集线器带宽的选择一般与以下两种因素有关。一是应用需求。一般来说,如果传输的内容不涉及语音、图像等多媒体

传送时,也就是说,当网络中的数据传输量相对较小时,10Mb/s 带宽的集线器基本上就可以满足需要了,否则,应当选用 100Mb/s 带宽的集线设备。二是上连设备带宽。当网络较大时,集线器肯定需要通过某个端口与上连设备相连,如果上连设备允许传输 100Mb/s,自然 100Mb/s 集线器是理想的首选,否则最好选择 10Mb/s 的集线器,不过现在市场上普遍销售的是 10/100Mb/s 自适应集线器,这种类型的集线器与该类型的网卡一样,在网络中非常灵活,上下兼容,左右逢源,既可与 10Mb/s 的网络接轨,又便于升级到 100Mb/s 快速以太网。当然价格也要稍贵一点。③延扩方式。可堆叠(所谓可堆叠是指使用专门的连接线通过专用端口将若干集线器连在一起,整体又可作为一个集线器)的集线器肯定能够级联(所谓级联是指使用集线器普通的或特殊的端口,以普通电缆将两个以上的集线器连接起来的集线器延扩方式),而能够级联的集线器则未必能够进行堆叠,因为不一定具有专用堆叠端口。所以从以后网络扩展的需要,当然首选可堆叠的集线器。现在的集线器基本上都支持堆叠,只是能够堆叠的值的不同罢了。一般只要能够堆叠 3~4 个就差不多了。以提供 16 端口计,4 个 Hub 就能提供 64 个端口,这些端口对一个中小型企业已经差不多了。④厂家品牌。不同厂家和品牌的集线器的价格往往相差悬殊,而性能基本上没什么区别,各厂商用在 SOHO 系列的 Hub 芯片几乎都相同,只是一个做工与外围电路设计的问题,所以一般选购的时候最好挑便宜一点的国货比较合适。如果真的要性能有较高的要求,建议购买交换机。

3.3 物理层协议举例

OSI 参考模型中物理层标准化工作要比数据链路层、网络层等高层慢。物理层的模型、协议没有严格遵循分层的方法与原则,也没有像 OSI 那样分为服务定义与协议的规则说明。目前只是对物理层协议的物理接口标准作了定义,因此物理层协议实际上就是通信接口标准,只要遵循相同的通信接口标准,任何 DTE 和 DCE 之间均能够衔接与兼容,并不需要关心对方的实现细节。物理层协议不同物理接口标准在机械、电气、功能、规程四个重要特性上都不尽相同。实际网络中比较广泛使用的物理接口标准有四类:①EIA/RS-232、RS-422、RS-423、RS-449、RS-485、RS-530 等串行接口标准。②ITU(前身为 CCITT)制定的 X 系列和 V 系列的接口标准,其中 V 系列定义了数字设备与模拟信道的接口标准,适用于电话信道的数据通信;X 系列定义了数字设备与数字信道的接口标准,适用于公用数据网的数据通信。③ISO 制定的 ISO 2110、ISO 4902、ISO 4903、ISO 1177 等接口标准。④IEEE 802 物理层规范。下面主要举例说明常用的物理层接口标准 EIA/RS-232、X. 21、USB 等。

3.3.1 EIA/RS-232 标准

EIA/RS-232 是美国电子工业协会 EIA(Electronic Industries Association)制定的物理接口标准,也是目前数据通信与网络中应用最广泛的一种异步串行通信总线标准。EIA/RS-232 定义了 DTE 设备和 DCE 设备之间接口的四种特性:机械特性、电气特性、功能特性

和过程特性。

(1) EIA/RS-232 的机械特性：规定接口是一端有 DB-25 针孔连接头，另一端是 DB-25 孔状连接头的 25 线电缆，还规定 25 线电缆的一端是公连接头，另一端是母连接头。公连接头是指电缆中每根导线都与插头中的一根针相连的连接头；母连接头是指电缆中每根导线都与插头中的一个金属管相连的连接头。在 DB-25 连接头中，这些针或孔被排成两排，上面 13 个，下面 12 个。电缆线的长度不可超过 15 米。由于实际用户不必用到所有的 25 根线，一些厂家作了一些简化，去掉一些不常用的信号线，做成了采用 DB-9 的 9 线电缆连接器。

(2) EIA/RS-232 的电气特性：EIA/RS-232 非平衡方式，规定了在 DTE 设备和 DCE 设备之间任何一个方向上传输数据所采用的电压值和信号类型。①信号电平，EIA/RS-232 采用 +15V 和 -15V 的负逻辑电平，规定逻辑“1”的电平为 -15V~-5V，逻辑“0”的电平为 +5V~+15V，+5V 和 -5V 之间为过渡区域不作定义，这样做的好处是使得噪声造成的衰减对数据识别的影响减弱到很小。②信号表示，表 3.1 给出了信号表示，由于采用负逻辑，所以逻辑“1”用负电平表示，逻辑“0”用正电平表示；传号信号用负电平表示，空号信号用正电平表示；OFF 断用负电平表示，ON 通用正电平表示。③数据传输速率：在传输距离为 15m 时，数据传输速率不超过 20kb/s，具体的分为 150b/s、300b/s、600b/s、1200b/s、2400b/s、4800b/s、9600b/s、19200b/s 等几档。

表 3.1 信号的表示

	负电平	正电平
逻辑状态	“1”	“0”
信号状态	传号	空号
功能状态	OFF 断	ON 通

(3) EIA/RS-232 的功能特性。在 EIA/RS-232 中，25 根线中只有 4 根用于数据线，2 根地线、11 根控制线、3 根定时线，还有 5 根未定义，作备用。因此，EIA/RS-232 定义了 DB-25 连接器中 20 条连接线的功能，其中最常用的 9 根连接线定义如表 3.2 所示，这 9 根线与 DB-9 的 9 根信号线一样。

表 3.2 最常用 9 根连线的定义

针号	信号线	功能描述	信号线类型	传输方向
2	BA	发送数据 TxD, Transmit Data	数据线	DTE→DCE
3	BB	接收数据 RxD, Received Data	数据线	DCE→DTE
4	CA	请求发送 RTS, Request To Send	控制线	DTE→DCE
5	CB	清除发送 CTS, Clear To Send	控制线	DCE→DTE

续表

针号	信号线	功能描述	信号线类型	传输方向
6	CC	数据电路端设备准备好 DSR,Data Set Ready	控制线	DCE→ DTE
7	AB	信号地 SG,Signal Ground	地线	
8	CF	载波检测 DCD,Data Carrier Detect	控制线	DCE→ DTE
20	CD	数据终端设备准备好 DTR,Data Terminal Ready	控制线	DTE→ DCE
22	CE	振铃指示 RI, Ring Indication	控制线	DCE→ DTE

(4) EIA/RS-232 的过程特性: EIA/RS-232 的过程特性比较复杂。EIA/RS-232 过程特性规定了 DTE 与 DCE 之间控制信号与数据信号的发送时序、应答关系与操作规程。以采用 Modem(DCE)和电话网通信时的信号连接为例:

若在双方 Modem 之间采用普通电话交换线进行通信,除了需要 2~8 号信号线外还要增加 RI(22 号)和 DTR(20 号)两个信号线进行联络。

首先,数据电路端接设备(DCE)准备好 DSR、数据终端设备(DTE)准备好 DTR,只表示设备本身可用。通过电话机拨号呼叫对方,电话交换机向对方发出拨号呼叫信号,当对方 DCE 收到该信号后,使振铃信号(RI)有效,通知 DTE 已被呼叫。当对方“摘机”后,双方就建立了连接。

然后,若计算机要发送数据至对方,首先通过数据终端设备(DTE)发出请求发送(RTS)信号。此时,若 Modem(DCE)允许传送,则向 DTE 回答 CTS(允许发送)信号。一般可直接将 RTS/CTS 接高电平,即只要连接已经建立,就可传送信号。(RTS/CTS 可只用于半双工系统中作发送方式和接收方式的切换)。

接着,当 DTE 获得 CTS 信号后,通过 TxD 线向 DCE 发出串行信号,Modem(DCE)将这些数字信号调制成模拟信号(又称载波信号)传向对方。计算机向 DTE“数据输出寄存器”传送新的数据前,应检查 Modem 状态和数据输出寄存器是否为空。当对方的 DCE 收到载波信号后,向对方的 DTE 发出 DCD 信号(数据载波检测)通知其 DTE 准备接收,同时,将载波信号解调为数据信号,从 RxD 线上送给 DTE,DTE 通过串行接收移位寄存器对接收到的位流进行移位,当收到 1 个字符的全部位流后,把该字符的数据位送到数据输入寄存器,CPU 可以从数据输入寄存器读取字符。

最后,DTE 发送完数据后,置 RTS 为 OFF 状态,通知本地 Modem 发送结束,本地 Modem 停止发送载波,并置 CTS 为 OFF 状态,远程 Modem 检测不到载波,置 DCD 线和 RI 为无效,恢复初始状态。本地 DTE 置 DTR 为 OFF 状态,通知 Modem 拆线,Modem 将 DSR 置为 OFF 状态,至此,整个通信过程结束。

3.3.2 X.21 标准

X.21 是在广域网的网络连接中应用最为广泛的物理层接口标准,它定义了用户计算机

的 DTE 如何与数字化的 DCE 交换信号的数字接口标准。X. 21 的设计目标之一是要减少 EIA/RS-232 之类的串行接口中的信号线数目,采用 15 芯标准连接器代替原来的 25 芯连接器,而且其中仅定义了 8 条接口线。X. 21 的另外一个设计目的是允许接口在比 EIA/RS-232 更长的距离上进行更高速率的数据传输,其电气特性类似于 EIA/RS-422 的平衡接口,支持最大的 DTE-DCE 电缆距离是 300m。X. 21 可以按同步传输的半双工或全双工方式运行,传输速率最大可达 10Mb/s。X. 21 由两个部分组成:①通用接口,是真正的物理层部分;②用于电路交换网络的呼叫控制规程,用于 DTE 之间的连接,涉及许多数据链路层和网络层的功能。

(1) X. 21 的机械特性: X. 21 采用 ISO 4903 规定的 15 线连接器,这些针或孔被排成两排,上面 8 个,下面 7 个。

(2) X. 21 的电气特性: 采用非平衡接口和类似于 EIA/RS-422 的平衡接口。通常 DTE 使用非平衡型电气特性和平衡型电气特性,DCE 使用平衡型电气特性。①对于非平衡接口电路: 规定逻辑“1”为 OFF 状态,逻辑“0”为 ON 状态。发送器的信号电压范围为 $+4\sim+6\text{V}$ 和 $-4\sim-6\text{V}$;接收器的信号电压范围为 $+0.2\sim+6\text{V}$ 和 $-0.2\sim-6\text{V}$ 。电缆的最大长度与传输速率有关,当传输速率为 3kb/s 时,传输距离可达 1km;当传输速率为 300kb/s 时,传输距离仅 10m。②对于平衡型接口电路: 规定逻辑“1”为 OFF 状态,逻辑“0”为 ON 状态。发送器的信号电压范围为 $+2\sim+6\text{V}$ 和 $-2\sim-6\text{V}$;接收器的信号电压范围为 $+0.2\sim+6\text{V}$ 和 $-0.2\sim-6\text{V}$ 。电缆的最大长度与传输速率有关,当传输速率为 100kb/s 时,传输距离可达 1km;当传输速率为 10Mb/s 时,传输距离仅 10m。常用的传输速率有 600b/s、2400b/s、4800b/s、9600b/s、48000b/s。

(3) X. 21 的功能特性: 虽然采用了 15 线的连接器,但功能特性仅定义了 8 根信号线。

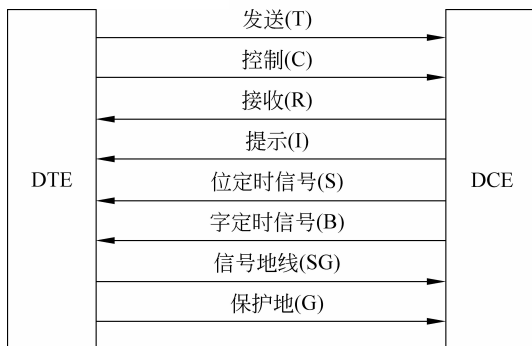


图 3.4 X. 21 的 DTE-DCE 接口连接线

如图 3.4 所示,各信号名称和功能如下:①信号地线 SG: 为整个接口提供公共的参考点;②保护地线 G;③发送数据线 T: 该信号线称为呼叫控制信号,是由 DTE 送往 DCE 的数据信号;④接收数据线 R: 该信号线称为呼叫控制信号,是由 DCE 送往 DTE 的数据信号;⑤指示线 I: 该信号线表示 DCE 送往 DTE 的控制状态,ON 状态表示正在进行数据传

输,OFF 状态表示数据传输阶段已经结束。⑥位定时信号线 S: S 线是 DCE 发送给 DTE 的位定时信号线,DTE 根据位定时线 S 来判断每一位的开始和结束时间;⑦字节定时信号线 B: B 线是 DCE 向 DTE 提供的字节定时信息,告知 DTE 一个字节的开始和结束;⑧控制线 C: C 线用来控制通话过程,“0”表示 ON,“1”表示 OFF。

(4) X.21 的过程特性:分成三个工作阶段:空闲、呼叫控制、数据传输。①在空闲阶段,接口不工作,此时 C 信号线和 I 信号线,T 信号线和 R 信号线都是“1”,表示 OFF。②呼叫控制阶段:即呼叫建立和释放阶段,呼叫建立是指通过交换控制信号来建立 DTE 和被呼叫 DTE 之间的关系。建立好连接,就可以进行数据传输,当传输结束后,需要释放连接。因此,呼叫释放是指通过交换控制信号来中断它们之间的通信连接。③数据传输阶段:在上述呼叫建立连接后,DCE 的 R 置“1”,I 置为 ON,通知 DTE 可以开始传输数据,这样两个 DTE 之间通过 T 线和 R 线一直交换数据,直到任何一方终止通信为止,即某一方 DTE 将 C 线置为 OFF,表示释放请求,直到 DCE 将 I 线置为 OFF,至此,释放连接,结束本次通信。

3.3.3 USB 标准

1. USB 简介

通用串行总线 USB(Universal Serial Bus)是近年来应用在 PC 领域的新型接口技术,它是由一些 PC 大厂商如 Microsoft、Intel 等八家公司,为了解决日益增加的 PC 外设与有限的主板插槽和端口之间的矛盾,而共同开发的一种新的外设连接技术。它使用一个 4 针标准插头,通过这个标准插头,采用菊花链形式可以把所有的外设连接起来,并且不会损失带宽。数据通信协议部分是 USB 的核心内容,主要包括:以差模串行信号为载体传送二进制代码形式来传输信号;数据包作为最基本的完整信息单元,包含一系列数据信息,数据包可以分解为更小的单元—域;以包为基础,构成 USB 的三种事务。进而,组合不同的传输类型,传输各种类型的数据,实现 USB 的各种功能。

早期都采用 USB1.0,应用于低速外部设备上,它提供的速率有低速 1.5Mb/s 和全速 12Mb/s 两种。低速 1.5Mb/s 的 USB 支持调制解调器、键盘、鼠标、扫描仪、打印机、光驱、磁带机、软驱等低速设备;全速 12Mb/s 支持多媒体设备。

后来都采用 USB 2.0,USB 2.0 与所有 USB1.0 的外部设备、线缆及连接件都兼容。它提供的速率有低速 1.5Mb/s、全速 12Mb/s 和高速 480Mb/s 三种。因此 USB 2.0 除了能支持 USB1.0 支持的所有外部设备,还能支持高清数字会议视频设备、彩色扫描仪、彩色打印机、快速存储设备、高速刻录机、宽带 xDSL 和 Cable Modem 等。最近又研制出 USB3.0,其速率高达 5Gb/s。

2. USB 接口特性

USB 物理接口的特性包括机械特性、电气特性和功能特性。

(1) USB 的机械特性:每个 USB 连接器有四个引脚,分别为 D+、D-、Vcc 和 GND,并且具有屏蔽的外壳、规定的坚固性和易于插拔的特性。其引脚图有两种,如图 3.5 所示。USB 规定 4 线电缆的一端是公口,另一端是母口。四线电缆中,一对是具有标准规格双绞线

的数据信号线，即 D+ 和 D-；另一对是在允许的规格范围内的非双绞电源线，即 Vcc 和 GND。

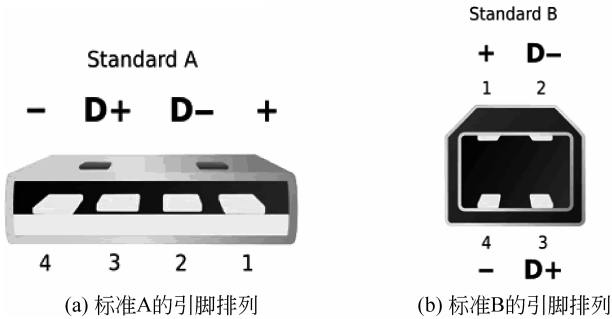


图 3.5 USB 的引脚排列图

注意：每个 USB 设备都有“上行”(A 系列)和“下行”(B 系列)连接端口，这两种端口在机械方面并不是可以互换的，所以要尽量消除集线器上出现非法的环路连接。

(2) USB 的电气特性：信号线的特性阻抗为 90Ω ，利用差模的传输方式把信号送入信号线，使接收端的灵敏度不低于 200mV ，USB 有多种信号速率，USB 可以使用不同长度的电缆。为了提供可靠的输入电压和适当的终端阻抗，在电缆的每一端都有一个带偏压的终端，该终端可以发现任一端口上的 USB 设备的“插入”和“拔出”操作，并能区分各种速率的设备。

(3) USB 的功能特性：USB 四线的名称和功能说明如表 3.3 所示。

表 3.3 USB 信号线

线 脚	名 称	说 明	连 线 颜 色
1	Vcc	+5V 电源电压	红色
2	D-	数据线负极	白色
3	D+	数据线正极	绿色
4	GND	接地线	黑色

(4) USB 的系统配置：USB 与其他的物理层接口不一样，它是利用 USB 协议来支持在任何位置、任何时间插入 USB 设备，或从 USB 总线上移出 USB 设备，因此，USB 的物理总线技术必须允许总线上的动态变化。

①插入 USB 设备：USB 设备都是通过集线器上的特定端口来接入 USB 总线，集线器各端口的状态会指出 USB 设备的接入，主机通过向 USB 集线器进行询问来决定其指示的原因，集线器会作出响应，并指明用于连接 USB 设备的端口。主机通过控制管道，使用默认的 USB 地址来使该端口可用，对 USB 设备进行寻址。USB 设备在刚接入 USB 总线或复位之后，要利用 USB 默认地址来寻址。主机将决定新接入的 USB 设备是一个集线器还是一个功能模块，并为 USB 设备分配一个唯一的 USB 地

址。主机利用已分配的 USB 地址和端点号“0”来建立 USB 设备的控制管道。②拔出 USB 设备：当从集线器或功能模块中拔出某一 USB 设备时，若是集线器，会自动废除集线器的该端口，并向主机发出设备拔出指示，主机则会从主机数据结构中删除该 USB 设备的信息；若是功能模块，拔出信息将会送到相关的主机软件中，再做相应处理。③总线枚举：总线枚举是指对总线上接入的 USB 设备进行识别和寻址操作，USB 技术允许在任何时间从 USB 总线上插入或拔出 USB 设备，USB 总线的总线枚举操作是一种持续执行的工作。④层间关系：USB 主机在逻辑上可分成 USB 主机接口部分，集合系统软件部分和设备软件部分。一个具体的 USB 任务仅是一个部分的责任，即只由一个部分负责，而无须其他部分参与。

3.4 本章小结

物理层是 OSI 参考模型的第一层，物理层要考虑的问题是怎样在连接各种计算机的传输介质上传输数据比特流，因此物理层的传输单位为比特(bit)，物理层的作用就是要尽量屏蔽掉这些差异，使物理层上面的数据链路层感觉不到这些差异，从而使数据链路层只需考虑如何完成本层的协议和服务。

根据物理层接口模型，两个 DTE 之间进行通信包括 DTE 与 DCE 之间接口的操作、DCE 与 DCE 之间的传输操作、DTE 与 DTE 之间的通信。因此物理层的主要任务就是确定与传输介质接口有关的一些特性，这些特性包括机械特性、电气特性、功能特性和过程特性。因此，DTE 与 DCE 之间的接口操作标准就是指这四个接口特性的规定。

物理层的主要功能为：①物理层为数据终端设备提供传送数据的通路；②实现两个网络物理设备之间的二进制比特流的透明传输；③物理层协议规定为建立、维护和释放数据链路实体之间的二进制比特传输的物理连接提供机械的、电气的、功能的和规程的特性。

物理层的中继设备有中继器和集线器等，物理层的中继设备用来扩大网络覆盖范围，增加站点数，但仍然是同一个网络。

物理层协议主要有：①EIA/RS-232、RS-422、RS-423、RS-449、RS-485、RS-530 等串行接口标准。②ITU(前身为 CCITT)制定的 X 系列和 V 系列的接口标准，其中 V 系列定义了数字设备与模拟信道的接口标准，适用于电话信道的数据通信；X 系列定义了数字设备与数字信道的接口标准，适用于公用数据网的数据通信。③ISO 制定的 ISO 2110、ISO 4902、ISO 4903、ISO 1177 等接口标准。④IEEE 802 物理层规范。常用的物理层接口标准有 EIA/RS-232、X. 21、USB 等，分别从物理层接口的四个特性进行详细的描述。

3.5 习题

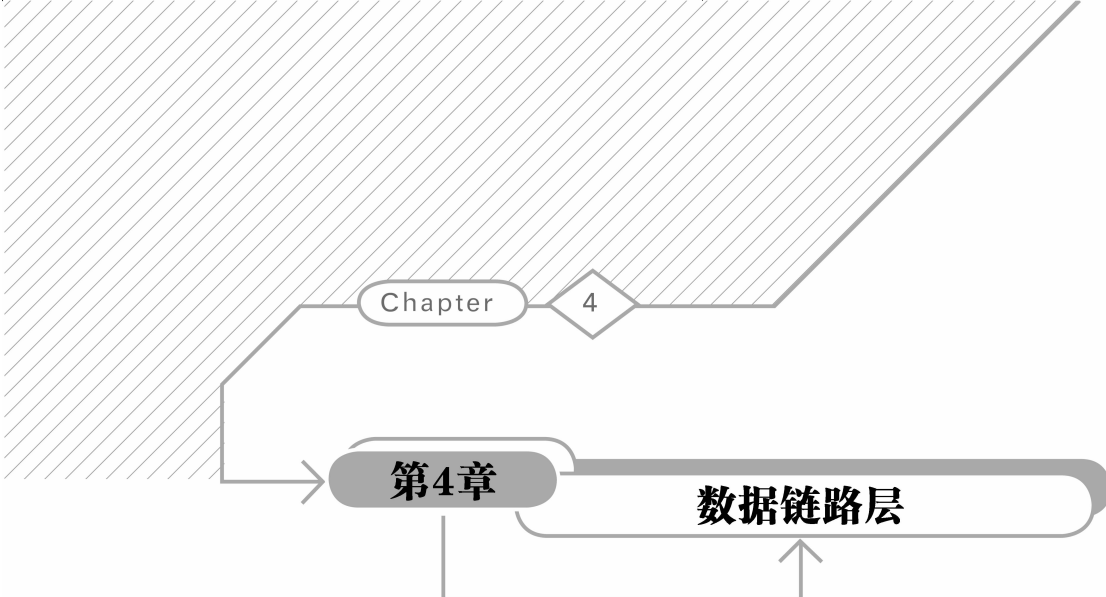
1. 物理层要考虑的问题是什么？
2. 物理层的作用是什么？
3. 物理层的接口的特性有哪些？每个特性各包含哪些内容？

4. 物理层的主要任务是什么?
5. 物理层的主要功能有哪些?
6. 物理层的中继设备有哪些? 并简述各自的工作原理。
7. 物理层协议分为哪几类?
8. EIA/RS-232 的信号电平是如何规定的?
9. X.21 标准是如何处理控制信号的?
10. 简述 USB 接口的特点。

3.6 实践项目

1. 通过查阅资料,找出一种物理层接口协议(书上的三种除外),从物理层协议的四个接口特性入手,详细介绍该接口协议的工作原理。找出该接口应用场合的例子,并给出具体的实现方案。

2. USB 是大家非常熟悉的接口,请查阅资料,详细介绍 USB 的技术资料以及具体内容,写出一份 5000 字的“USB 简介”报告。



本章学习目标

- 理解数据链路层的基本概念。
- 熟练掌握数据链路层的协议。
- 熟练掌握传统以太网标准及其体系结构。
- 了解以太网扩展的方法及原理。
- 理解高速以太网的相关技术。
- 熟练掌握无线局域网的组成、体系结构和应用。

本章先向读者介绍数据链路层的基本概念,再介绍数据链路层的协议——PPP 协议和 CSMA/CD 协议,重点介绍传统以太网标准及其体系结构,简要介绍以太网扩展的方法及原理,简要介绍高速以太网的相关技术,最后介绍无线局域网的组成、体系结构和应用。

4.1 数据链路层的基本概念

数据链路层位于 OSI 参考模型中的第二层,数据链路层在使用其下一层(物理层)为其提供服务的基础上,同时又向其上一层(网络层)提供服务。它把从物理层接收来的原始数据比特流封装成“帧”的格式(一个帧是放置数据的、逻辑的、结构化的比特组合),这些帧在两个“相邻”节点之间传输。数据链路层的最基本服务就是将一个节点的网络层接收来的数据帧无比特差错地传输到相邻节点的网络层。设立数据链路层的主要目的是将一条原始的、有差错的物理线路变为对网络层来说逻辑上无差错的数据链路,从而实现数据的无比特差错传输。为了实现这个目的,数据链路层必须执行链路管理、封装成帧(帧同步和帧格式)、流量控制、差错检测、透明传输、寻址等功能。也就是在 OSI 参考模型中,数据链路层向网络层提供的基本服务:

- (1) 数据链路建立、维护与释放的链路管理工作；
- (2) 数据链路层协议数据单元“帧”的传输；
- (3) 差错检测；
- (4) 数据流量控制；
- (5) 在多点连接或多条数据链路连接的情况下，提供数据链路接口标识的识别，支持网络层实体建立网络连接；
- (6) 帧接收顺序控制。

4.1.1 数据链路层的简化模型

假定两个主机 H_1 和 H_2 之间通过互联网进行通信,如图 4.1 所示。其通信过程如下:

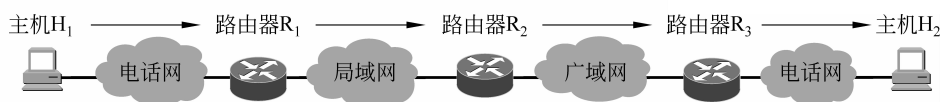


图 4.1 主机 H_1 和 H_2 之间通过互联网进行通信

在图 4.1 中,主机 H_1 要向主机 H_2 发送数据,首先主机 H_1 通过电话线上网,把数据发送到其下一跳路由器 R_1 ,路由器 R_1 经过选路后,经过一个局域网,把数据发送到其下一跳路由器 R_2 ,路由器 R_2 经过选路后,经过一个广域网,把数据发送到其下一跳路由器 R_3 ,路由器 R_3 经过电话网,把数据直接交付给主机 H_2 。

如果从协议层次上看数据的流动过程,首先画出协议层次结构如图 4.2 所示,两端主机 H_1 和 H_2 都有完整的五层协议栈,中间的路由器都只有三层协议栈。主机 H_1 把数据从应用层开始逐层往下传输,传到物理层后,经过传输介质传输到路由器 R_1 的物理层,逐层向上传输到网络层,在路由器 R_1 的转发表中找到下一跳地址后,再从网络层逐层向下传输到物理层转发出去,这样,数据从主机 H_1 传输到主机 H_2 ,需要在整个路径中各节点的协议栈向下和向上流动多次,如图 4.2 中的虚线所示。

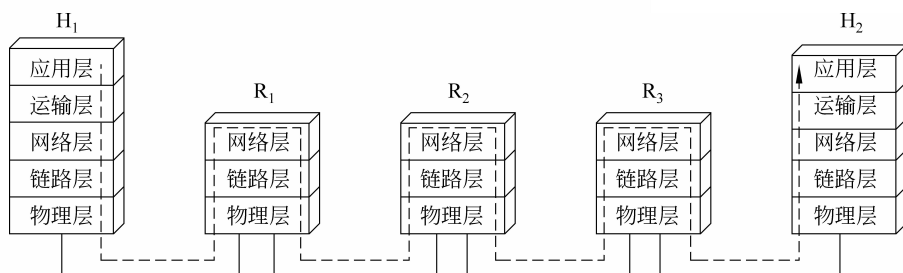


图 4.2 从层次上看数据的流动

可是,如果只需要专门研究数据链路层的问题时,只需关心在协议栈的水平方向各数据链路层。这样,上述的主机 H_1 向主机 H_2 发送数据时,就可以想象数据是在数据链路层

从左向右沿着水平方向传输,如图 4.3 中的虚箭头所示,也就是指:

H_1 的链路层 $\rightarrow R_1$ 的链路层 $\rightarrow R_2$ 的链路层 $\rightarrow R_3$ 的链路层 $\rightarrow H_2$ 的链路层

因此,从数据链路层来看数据的流动,主机 H_1 到主机 H_2 的通信,可以看成由四段不同的链路层通信组成,即: $H_1 \rightarrow R_1, R_1 \rightarrow R_2, R_2 \rightarrow R_3, R_3 \rightarrow H_2$,由于中间经过的网络不同,所以这四段不同的链路层可能采用不同的数据链路层协议。

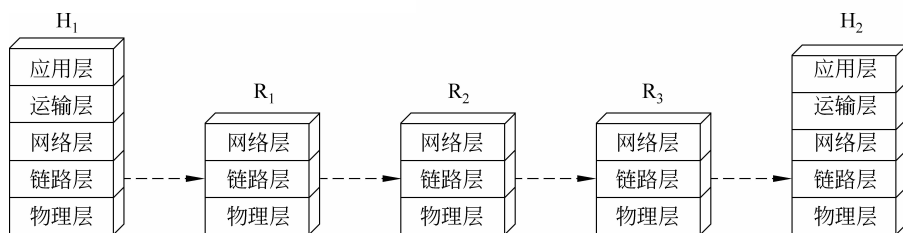


图 4.3 从数据链路层上看数据的流动

从上述两个主机 H_1 和 H_2 之间的通信过程可以知道,如果仅仅讨论数据链路层的功能及协议,可以把数据链路层的模型进行简化,如图 4.4 所示。

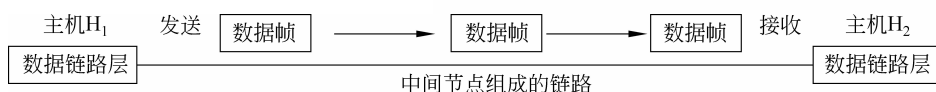


图 4.4 数据链路层的简化模型

根据这个简化模型,数据链路层的协议仅仅考虑在水平方向如何把发送方的数据帧沿着中间节点组成的链路传输到接收方,而无须考虑其下一层物理层是如何实现的,也不必考虑其上一层网络层使用什么协议。

4.1.2 数据链路层的基本概念

1. 几个概念

从图 4.4 数据链路层简化模型中可以知道,数据帧在相邻两个节点的数据链路层的一段链路中传输。这里涉及几个概念:

(1) 链路(Link): 是指两个相邻节点之间的一段物理线路。链路只是一条路径的组成部分。因此,链路=物理线路。

(2) 数据链路(Data Link): 当需要在一条链路上传输数据时,除了必须具有一条物理线路之外,还必须有一些规程或协议的硬件和软件加到物理线路上,就构成了数据链路。

数据链路(逻辑链路)=物理线路(链路)+通信协议

(3) 帧: 数据链路层的协议数据单元。

注意: 早期的数据通信协议曾叫作通信规程(Procedure),因此,在数据链路层中,规程和协议是同义语。

2. 数据链路层的三个基本问题

虽然数据链路层的协议有很多种,但是数据链路层的三个基本问题是每个协议都必须有的,这三个基本问题就是封装成帧、透明传输和差错检测。在数据链路层中,这三个基本问题必须都要解决。

(1) 封装成帧:是指发送端的数据链路层收到通过网络层和数据链路层之间的接口传过来的网络层协议数据单元(IP 数据报),在收到的数据(IP 数据报)前后分别添加帧首部和帧尾部,即按照“首部+数据+尾部”的格式封装成一个帧,如图 4.5 所示。其中帧的数据部分通常指上一层的协议数据单元(IP 数据报),数据链路层协议中,对于帧的数据部分通常规定最大长度,称为最大传输单元 MTU(Maximum Transfer Unit),在封装成帧的过程中,数据部分长度不能超过相应协议规定的 MTU 值。封装成帧的目的是为了使接收端在收到物理层上交的比特流后,能够根据帧中首部和尾部的标记,从收到的比特流中识别出各帧的开始和结束。因此,这里的首部和尾部的作用相当于确定帧的界限,起到帧定界的作用。封装成帧包含帧同步和帧格式两方面的内容。

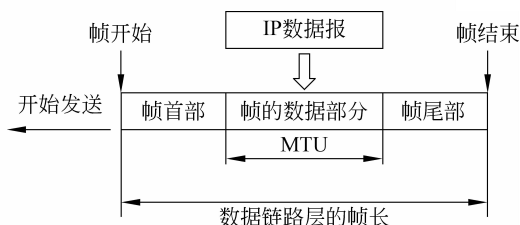


图 4.5 数据链路层的帧格式

接下来的问题是如何进行帧的定界?也就是说帧定界的方法有哪些?帧定界可以使用特殊的帧定界符来进行定界。例如在 ASCII 码组成的文本中,通常用一个控制字符 SOH(Start Of Header)放在一帧的最前面,表示帧首部的开始;用另一个控制字符 EOT(End Of Transmission)表示帧的结束。这里的 SOH、EOT 是指十六进制的编码数字,分别为 0x01 和 0x04。在 PPP 协议中,使用二进制比特组合 01111110(0x7E)来标识一帧的起始和结束。帧定界还有利于网络出故障时区分是否是完整的帧,例如发送端在尚未发送完一个帧时突然网络出故障,暂时中断了发送,但接着很快又恢复了正常,于是重新从头开始发送刚才未发送完的帧。由于使用了帧定界符,在接收端只收到帧开始字符 SOH,而没有收到帧结束字符 EOT,就会判断前面接收到的数据是个不完整的帧,必须丢弃。而后面收到的数据有明确的帧定界符 SOH 和 EOT,因此是一个完整的帧,应当收下。

(2) 透明传输:由于帧的开始和结束的标识是采用专门的控制字符,所以要求在所传输的数据中,任何 8 比特的组合不允许与用作帧定界的控制字符相同,否则,在接收端就会出现帧定界的错误判断。这样为了避免与帧定界符相混淆,任何对传输数据中的比特组合有要求的传输,就称之为不透明传输。所谓数据链路层的透明传输是指对要传输数据中的比特组合没有要求,也就是说任何比特组合的数据都可以在数据链路层传输,就称为透明传

输。这样,这些数据就“看不见”数据链路层有什么妨碍数据传输的东西,也就是说,数据链路层对这些数据来说是透明的。

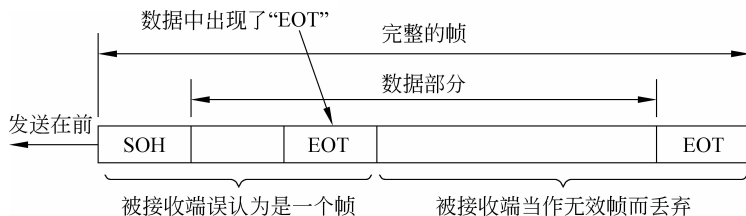


图 4.6 数据部分出现了帧定界控制字符的组合 EOT

对照图 4.6,如果数据部分出现了 EOT,与帧定界结束字符一样的比特组合,如果不作任何处理,就把该数据从发送端传输到结束端,那么接收端接收到数据部分的 EOT 时,就误认为是一个完整的帧,而 EOT 之后的数据部分,由于找不到 SOH,就被接收端当作是无效的帧而丢弃。这样就出现了传输差错,因此要想办法解决,也就是说要设法使数据中可能出现的与控制字符相同的比特组合不被解释为控制字符。通常解决透明传输问题的方法有:字节填充或字符填充。

所谓字节填充法的原理就是:发送端的数据链路层在发送数据之前,先扫描数据,如果在数据中出现与控制字符“SOH”“EOT”相同的比特组合,就在其前面插入一个转义字符“ESC”,“ESC”的十六进制编码为 0x1B;如果数据中恰巧出现转义字符“ESC”的比特组合,那么也在“ESC”之前插入一个转义字符“ESC”,即 SOH→ESC SOH,EOT→ESC EOT,ESC→ESC ESC。在接收端的数据链路层,其操作过程正好相反,也就是说,把发送端的数据链路层插入的这个转义字符删除,即 ESC SOH→SOH,ESC EOT→EOT,ESC ESC→ESC。

当然,不同的协议有不同的解决透明传输问题的方法,例如 PPP 协议中,如果用在同步链路中,是采用“零比特插入技术”,具体原理将在后续章节 PPP 协议中加以介绍。

(3) 差错检测:为什么要进行差错检测呢?数据在实际的传输链路中传输,由于链路不是理想的,总是存在一些噪声和干扰,因此在传输过程中会产生比特差错,如比特“0”可能变成比特“1”,比特“1”也可能变成比特“0”。比特差错是传输差错中的一种,通常把在一段时间内传输错误的比特数占所传输比特总数的比率称为误比特率 BER(Bit Error Rate),把单位时间内传输错误码元的个数占所传输码元总个数的比率称为误码率 CER(Code Error Rate),对于实际的链路,一定存在误码率,误码率与信噪比有关系,提高信噪比,可以减少误码率,但不能减少到零。为了保证数据传输的可靠性,就需要检测出各种比特差错。

如何进行差错检测?通常采用各种差错控制编码进行差错检测,而在数据链路层中广泛使用的差错控制编码为循环冗余校验码 CRC(Cyclic Redundancy Check)。CRC 码是一种重要的线性分组码,它是在严密的代数理论基础上建立起来的,以生成多项式作为收发双方的约定关系,只要给定生成多项式就可以唯一地构成一个线性分组码,这样构成的码组中任一码字经循环移位后,仍为该码组中的一个码字,因此称为循环码。其工作原理分为编码

原理和译码原理。

编码原理：在发送端，先把数据划分成 k 个比特为单位的若干个分组，这些数据分组用 M 表示，然后通过 CRC 运算，在 k 比特的 M 后面添加 r 位冗余位，构成一个 $(k+r)$ 位码字，发送出去。这 r 位冗余位是通过模 2 运算得到的，即用 $2^r \cdot M$ (相当于在 M 后面添加 r 个 0) 作为被除数，收发双方事先约定的 $(r+1)$ 位生成多项式代码 P 作为除数，求得的余数 R ，即为 r 位冗余位。这 r 位冗余位，在数据链路层协议中常称为帧校验序列 FCS(Frame Check Sequence)。下面举例说明计算过程：

假定 k 位数据分组 $M=100100(k=6)$ ，生成多项式代码 $P=1101$ ，得到 $r=3$ ，首先计算 $2^3 \cdot M$ ，即在 M 后面添加 3 个 0，得到 $2^3 \cdot M=100100000$ ，作为被除数，用 $P=1101$ 作为除数，做模 2 除法运算如图 4.7 所示，最后得到余数为 $R=001$ ，再把余数 R 添加到 M 的后面，即 $2^3 \cdot M+R=100100001$ ，即为对 M 进行 CRC 编码后的码字，其中的余数 $R=001$ 就是帧校验序列。这样发送端就可以把编码后的数据 100100001 发送出去。

这里的生成多项式是经过严格挑选出来的，常用的有：

CRC-12: $x^{12}+x^{11}+x^3+x^2+x+1$;

CRC-16: $x^{16}+x^{15}+x^2+1$;

CRC-ITU: $x^{16}+x^{12}+x^5+1$;

CRC-32: $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$

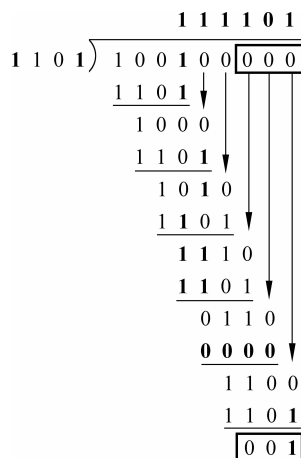


图 4.7 冗余码的计算举例

译码原理：在接收端，对接收到的数据进行校验，同样做模 2 除法运算，不过这时的被除数是整个接收到的码字，被除数仍是 P ，如果发现余数 R 为全 0，说明数据没有错，就接受 M ；如果发现余数 R 不为全 0，说明数据有错，就丢弃。对应于上述的例子，假定传输过程中没有错，那么接收到的码字为 100100001 作为被除数，被除数为 $P=1101$ ，做模 2 除法后，其余数 R 一定为 0。

CRC 码编译码的实现方式可以用软件来实现，也可以用硬件来实现，在数据链路层协议中，为了使处理速度快，通常采用硬件的方式来实现。

CRC 码的检错能力：①可检测出所有奇数位错；②可检测出所有单比特、双比特的错；③可检测出所有小于、等于校验位长度的突发错。CRC 码是一种很重要的码，是纠错能力和编码效率达到最佳折中的一种编码，在数据通信和计算机网络中得到了广泛的应用。

这里要强调几点：①循环冗余校验码 CRC 和帧校验序列 FCS 并不等同。CRC 是一种常用的差错控制编码技术，FCS 是添加在要发送的数据后面的冗余码。FCS 可以用 CRC 得到，也可以用其他的差错控制编码技术得到。②数据链路层只能做到无差错接受，所谓的无差错接受是指凡是接受的帧(即不包括丢弃的帧)，都能以非常接近于 1 的概率认为这些帧在传输过程中没有产生差错。而可靠传输是指发送端发送什么，接收端就收到什么。因此数据链路层只能实现无比特差错的传输，不能实现可靠传输，因为不能解