

3.1 广域网的演变与发展

3.1.1 广域网技术的特点

计算机网络按覆盖的地理范围划分,主要分为广域网(Wide Area Network, WAN)、城域网(Metropolitan Area Network, MAN)与局域网(Local Area Network, LAN) 3 种类型。而 Internet 是将多个广域网、城域网与局域网互联构成的网际网。

局域网用于将一个实验室、一栋大楼或一个校园的有限范围内的各种计算机、终端与外部设备互联。城域网的规模介于广域网与局域网之间,它的设计目标是要满足 50km 范围内的大量企业、机关、公司的多个局域网互联的要求。广域网所覆盖的地理范围为 50~5000km。如果从网络技术发展历史的角度看,最先出现的是广域网,然后是局域网,城域网是在 Internet 大规模接入的背景下出现的,因此它出现的时间相对较晚。

由于局域网、城域网与广域网出现的年代、发展背景,以及各自的设计目标不同,因此它们各自形成了自己鲜明的技术特点。将广域网与局域网进行比较后就会发现,它们的不同之处主要表现在:覆盖的地理范围不同;核心技术与标准不同;组建和管理方式不同。

局域网覆盖有限的地理范围,广域网所覆盖的地理范围为 50~5000km,它覆盖一个地区、国家或横跨几个洲。广域网利用公共分组交换网、卫星通信网和无线分组交换网,将分布在不同地区的城域网、局域网或大型计算机系统互联起来,以便达到资源共享的目的。

在广域网的发展过程中,可以用于构成广域网的典型网络类型和技术主要有公共电话交换网(Public Switched Telephone Network, PSTN)、公用数据网 X.25、帧中继(Frame Relay, FR)网、综合业务数字网(Integrated Service Digital Network, ISDN)、异步传输模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)网、数字数据网(Digital Data Network, DDN)、同步光纤网(Synchronous Optical Network, SONET)和同步数字体系(Synchronous Digital Hierarchy, SDH)。

3.1.2 广域网研究的技术思路

通过研究广域网的发展史,人们会发现研究与开发广域网技术有两类人员:一类是从事电信网技术的研究人员;另一类是研究计算机网络的技术人员。

从事电话交换、电信网与通信技术的人员考虑的问题是:如何在成熟技术和广泛使用的电信网络的基础上,将传统的语音传输业务和数据传输业务结合,这就出现了 ISDN、

X.25 与 WDM 的研究与应用。

早期,人们利用公共电话交换网(PSTN)的模拟信道,使用调制解调器完成计算机与计算机之间的低速数据通信。1974年,X.25出现。随着光纤开始应用,一种简化的X.25协议的网络(即帧中继网)得到广泛应用。数字数据网(DDN)是一种基于点到点连接的窄带公共数据网。这几种技术在早期的广域网建设中发挥了一定的作用。ATM网的概念最初是从事电话交换与电信网的技术人员提出的,它们试图将语音与数据传输放在一个网络中完成,并且覆盖从局域网到广域网的整个领域。但是,这条技术路线不是很成功。尽管目前部分广域网的核心交换网仍然使用ATM技术,但是它的发展空间已经比较小了。

20世纪80年代,波分复用(WDM)技术已在美国AT&T公司的网络中使用,它的传输速率为 $2 \times 1.7 \text{ Gb/s}$ 。从20世纪90年代中期开始,波分复用技术在北美得到快速发展,并首先向密集波分复用(DWDM)方向发展。欧洲各国大的电信运营商安装了大量的点到点DWDM系统,这些系统以 $16 \times 2.5 \text{ Gb/s}$ 的DWDM系统为主。2000年,DWDM实验系统的速率为 $82 \times 40 \text{ Gb/s}$,传输距离为300km。目前光纤传输系统最高容量是80Tb/s,并且在远距离点到点传输的广域网中得到应用。早期的SONET/SDH是为传统电信业务服务的,它并不适合传输IP分组。由于数据业务将成为未来电信业务的主体,而绝大多数运营商的传输网是SONET/SDH网络,出于经济的原因,他们不会放弃大量已存在的、成熟可靠的SONET/SDH技术。为了适应数据业务发展的需要,SDH发展趋势是支持IP和Ethernet业务的接入,并不断融合ATM和路由交换功能,构成以SDH为基础的广域网平台。广域网发展的一个重要趋势是IP over SONET/SDH。

从事计算机网络的研究人员早期是在电信网的基础上,考虑如何利用物理层的通信设施和设备,将分布在不同区域的计算机连接起来。在此基础上,他们把研究的重点放在物理层接口标准、数据链路层协议与网络层IP上。当局域网的Ethernet技术日趋成熟和广泛使用时,他们调整了高速局域网的设计思路,在速率为1Gb/s的千兆以太网、10Gb/s的万兆以太网和40G/100Gb/s四万兆以太网及十万兆以太网物理层设计中,考虑利用光纤作为远距离传输介质,发展光以太网技术,将Ethernet技术从局域网扩大到城域网和广域网。目前看来,这条技术路线是十分成功的。

图3-1给出了广域网和数据传输技术的发展过程。图中涉及的技术是以ISDN、X.25、WDM与GE/10GE/40GE/100GE这4条路线来组织。图3-1中横坐标表示的是对应技术的发展时间。

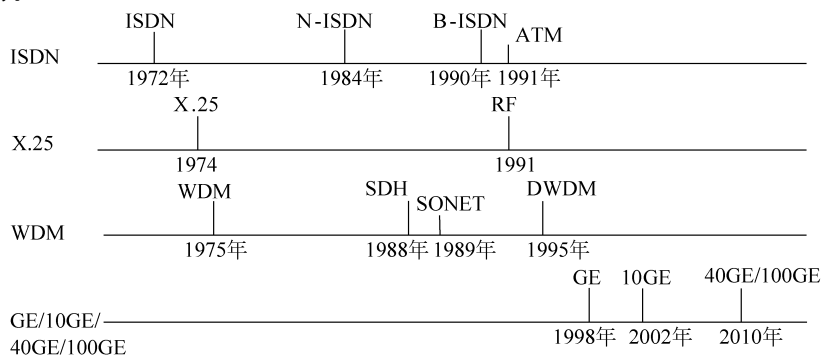


图 3-1 广域网和数据传输技术的发展过程

3.2 广域网结构与参考模型

3.2.1 广域网的组成

早期的计算机网络主要是广域网,在以广域网为背景研究网络体系的结构的过程中,人们总结出计算机网络要完成的两大基本功能是数据处理和数据通信,相应的计算机网络从逻辑功能上分为资源子网和通信子网两部分,如图 3-2 所示。

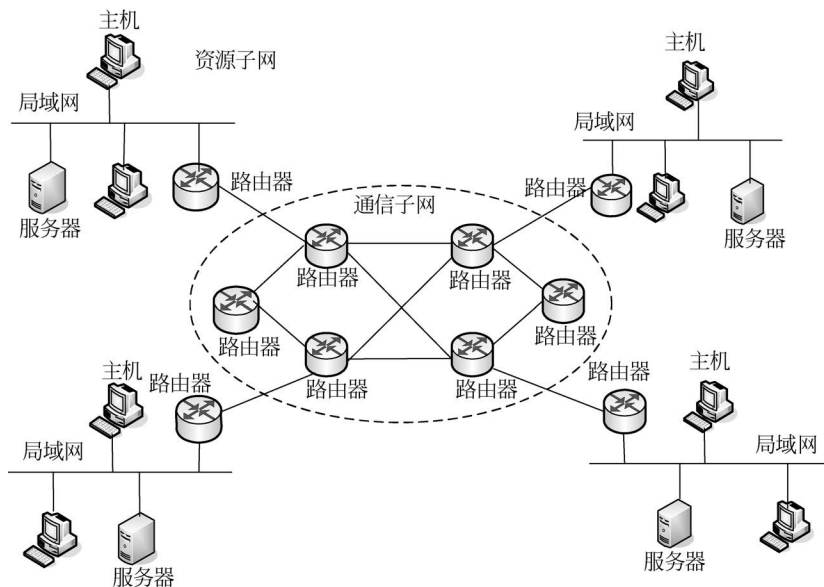


图 3-2 广域网结构

1. 资源子网

资源子网由主计算机系统、终端、终端控制器、联网外设、各种软件资源与信息资源组成。资源子网负责全网数据的处理业务,向网络用户提供各种网络资源和网络服务。主计算机系统简称主机(Host),它可以是大型机、中型机、小型机、工作站或微型机。主机是资源子网的主要组成单元,它通过高速通信线路与通信子网的通信控制处理机(或路由器)相连接。普通用户终端通过主机联入网内。主机要为本地图用户访问网络中其他主机设备与资源提供服务,同时要为网中远程用户共享本地资源提供服务。终端(Terminal)是用户访问网络的界面,终端可以是简单的输入、输出终端,也可以是带有处理机的智能终端,它可以通过主机接入网内,也可以通过终端控制器、报文分组组装与拆卸装置或通信控制处理机连入网内。

2. 通信子网

通信子网由通信控制处理机(Communication Control Processor, CCP)、通信线路与其他通信设备组成,负责完成网络中分组数据的发送、接收与转发等通信处理任务。CCP就是目前广泛使用的路由器的前身,因此后面讨论中可以用路由器代替 CCP。在广域网中,路由器是通信子网中的网络结点。一方面,它作为与资源子网的主机、终端的连接接口,将

主机和终端接入网内;另一方面,它又作为通信子网中分组存储转发结点,完成分组的接收、校验、存储、转发等功能,实现将源主机分组准确发送到目的主机的作用。通信线路为路由器与路由器、路由器与主机之间提供通信信道。计算机网络采用了多种通信线路,如电话线、双绞线、同轴电缆、光缆、无线通信信道、微波与卫星通信信道。

计算机网络的拓扑主要是指通信子网的拓扑。网络拓扑是通过通信子网中路由器与通信线路之间的几何关系来表示网络结构,反映网络中各实体间的结构关系。

需要指出的是,广域网可以明确地划分出资源子网和通信子网,而局域网由于采用的工作原理和结构的限制,不能明确地划分出子网的结构。

3.2.2 广域网参考模型

广域网主要工作在 OSI 参考模型底层的 3 个层次,即物理层、数据链路层和网络层,如图 3-3 所示。

OSI 层		WAN规范					
Network Layer (网络层)		SMDS	X.25 PLP				
Data Link Layer (数据链路层)	LLC		LAPB	Frame Relay	HDLC	PPP	SDLC
	MAC						
Physical Layer (物理层)			X.25bis	EIA/TIA-232 EIA/TIA-449 V.24 V.35 HSSI G.703 EIA-530			

图 3-3 广域网技术规范与 OSI 参考模型的关系

如果从网络覆盖的范围与网络体系结构的角度,广域网与城域网的设计一定要解决网络层的路由问题,局域网不需要考虑路由,因此它可以不涉及网络层的问题。早期的广域网 X.25 与 ATM 都设计了自己的网络层协议,但是,在 Internet 广泛应用的今天,不管是哪种类型的局域网、城域网与广域网技术,它的网络层都统一使用 IP,这已经成为一种趋势,因此目前的局域网、城域网与广域网研究都将注意力集中到物理层和数据链路层,负责解决好低两层的数据通信问题。根据这种发展趋势,本章主要讨论广域网的物理层与数据链路层技术和协议,网络层问题将在第 5 章中讨论。

广域网标准通常描述物理层传送方式与数据链路层操作,包括寻址、数据流控制与封装。广域网标准由许多经认可授权的组织定义及管理,其中包括如下机构。

- (1) 国际电信联盟的电信标准化部门(ITU-T),即前国际电话与电报咨询委员会(CCITT)。
- (2) 国际标准化组织(ISO)。
- (3) 因特网工程任务组(IETF)。
- (4) 电子工业协会(EIA)。

(5) 电信工业协会(TIA)。

3.2.3 广域网的物理层

广域网物理层协议描述了如何提供广域网服务的电子、机械、操作及功能方面的连接,大多数的广域网都需要通信服务提供商、交换电信公司(如网际网络服务提供商)等提供的互联架构。

1. 数据终端设备和数据通信设备

广域网物理层描述了数据终端设备(Data Terminating Equipment,DTE)和数据通信设备(Data Circuit-terminating Equipment,DCE)之间的接口(如图 3-4 所示),其中 DTE 是具有一定的数据处理能力和数据收发能力的设备,负责提供存储或接收数据,如连接到调制解调器上的计算机(或路由器)就是一种 DTE。DCE 提供了到网络的物理连接,提供时钟信号用于同步 DCE 和 DTE 之间的数据传输,并转发数据流,如 Modem。DCE 设备通常是与 DTE 对接。



图 3-4 串行 DCE 和 DTE 连接

对于标准的串行接口,通常从外观就能判断是 DTE 还是 DCE,DTE 是针头(俗称公头),DCE 是孔头(俗称母头),这样两种接口才能连接在一起。

连接到 WAN 时,串行连接的一端为 DTE 设备,另一端为 DCE 设备。两台 DCE 设备之间是 WAN 服务提供商传输网络,在这种情况下,DTE 通常是路由器,但是如果终端、计算机、打印机或传真机直接连接到服务提供商网络,则它们将充当 DTE。

DCE 通常是调制解调器或 CSU/DSU,它将来自 DTE 的用户数据转换为 WAN 服务提供商传输链路能够接收的格式。远程 DCE 收到信号后,将其解码为比特序列,然后将其传输给远程 DTE。其中,CSU/DSU(信道服务单元/数据服务单元)是一种数字接口设备,负责将 DTE 设备上的物理接口连接到 DCE 设备的接口。CSU 接收和传送来往于 WAN 线路的信号,并提供对其两边线路干扰的屏蔽作用。CSU 也可以响应电话公司的用于检测目的地的回响信号。DSU 进行线路控制,在输入和输出间转换以下几种形式的帧:RS-232C、RS-449 或局域网的 V.35 帧和 T1 线路上的 TDM DSX 帧。

电子工业协会(EIA)和国际电信联盟电信标准局(ITU-T)一直积极制定让 DTE 能够与 DCE 通信的标准。EIA 将 DCE 称为数据通信设备,而 ITU-T 将 DCE 称为数据电路端接设备。

符合标准的 DTE/DCE 接口定义了如下规范。

- (1) 机械/物理特征:引脚数量和连接器类型。
- (2) 电气特征:定义了表示 0 和 1 的电平。
- (3) 功能特征:通过指定接口中每条信令线路的含义定义了其执行的功能。
- (4) 过程特征:指定数据传输事件的顺序。

用于连接 DTE 和 DCE 的电缆是屏蔽串行转接电缆。屏蔽串行转接电缆的路由器端可能是 DB-60 连接器,用于连接串行 WAN 接口卡的 DB-60 接口;另一端可以是符合标准的

连接器。WAN 提供商或 CSU/DSU 通常决定了这种电缆的类型。主流网络设备均支持串行标准 EIA/TIA-232、EIA/TIA-449、V. 35、X. 21 和 EIA/TIA-530,如图 3-5 所示。

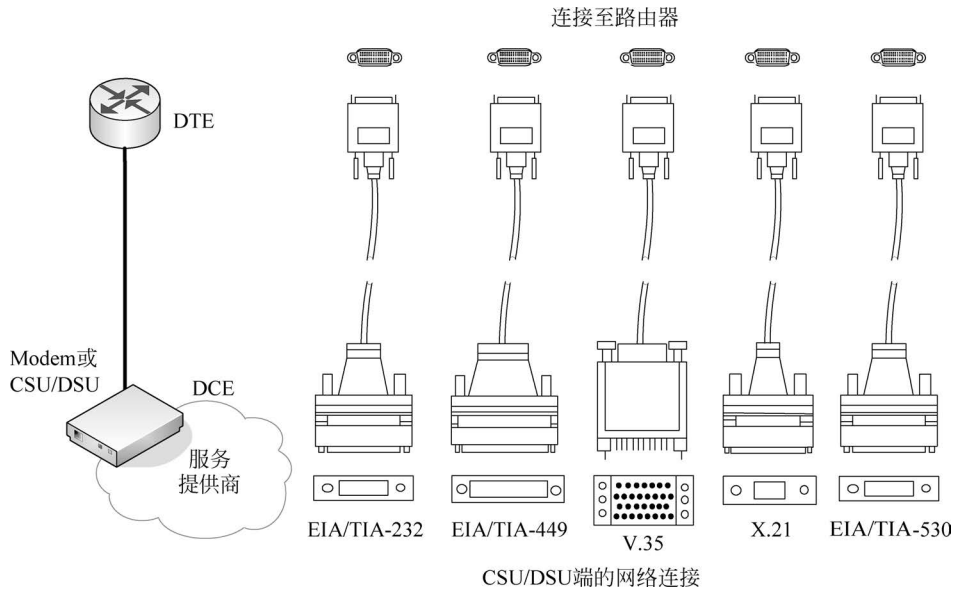


图 3-5 WAN 串行连接方式

许多物理层标准定义了 DTE 和 DCE 之间接口的控制规则,表 3-1 列举了常用物理层标准和它们的连接器。

表 3-1 广域网物理层标准

标 准	描 述
EIA/TIA-232	在近距离范围内,允许 25 针 D 型连接器上的信号速度最高可达 64kb/s,以前称为 RS-232
EIA/TIA-449/530	是 EIA/TIA-232 的高速版本(最高可达 2Mb/s),它使用 36 针 D 型连接器,传输距离更远,也称为 RS-422 或 RS-423
EIA/TIA-612/613	高速串行接口(HSSI),使用 50 针 D 型连接器,可以提供 T3(45Mb/s)、E3(34Mb/s)和同步光纤网(SONET)STS-1(51.84Mb/s)速率的接入服务。接口的实际速率取决于外部的 DSU 及连接的服务类型
V. 35	用来在网络接入设备和分组网络之间进行通信的一个同步、物理层协议的 ITU-T 标准。V. 35 普遍用在美国和欧洲,其建议速率为 48kb/s
X. 21	用于同步数字线路上的串行通信 ITU-T 标准,它使用 15 针 D 型连接器,主要用在欧洲和日本
V. 24	是介于 DTE 和 DCE 之间的物理层接口的 ITU-T 标准
G. 703	用于电信公司设备与 DTE 之间的连接的 ITU-T 电子与机械规格,使用 British Naval Connectors(BNC)并运行于 E1 数据速率等级下

2. 常见的广域网设备

(1) 路由器(Router): 提供诸如局域网互联、广域网接口等多种服务,包括 LAN 和 WAN 的设备连接端口。

(2) WAN 交换机(Switch): 连接到广域网上,进行语音、数据资料及视频通信。WAN 交换机是多端口的网络设备,通常进行帧中继、X. 25 及交换式多兆位数据服务(SMDS)等

流量的交换。WAN 交换机通常在 OSI 参考模型的数据链路层之下,依据每个帧的地址过滤、转发并洪泛数据帧。

(3) 调制解调器(Modem):包括针对各种语音级(Voice Grade)服务的不同接口,信道服务单元/数字服务单元(CSU/DSU)是 T1/E1 服务的接口,终端适配器/网络终结器(TA/NT1)是综合业务数字网(ISDN)的接口。

(4) 通信服务器(Communication Server):汇集拨入和拨出的用户通信。

3. 广域网基本的线路类型与网络带宽

可以依照速率需求向 WAN 服务提供商租用 WAN 链路,其容量单位为每秒多少位(b/s),其带宽决定了通过 WAN 链路的数据传输速率。美国地区的 WAN 带宽规定通常使用北美数字分级系统(North American Digital Hierarchy),而中国或亚洲地区(除日本外)通常使用的是欧洲标准。表 3-2 列出了一些常见的 WAN 链路类型及相应网络带宽。

表 3-2 线路类型及带宽

线 路 类 型	信 令 标 准	带 宽
56	DS0	56kb/s
64	DS0	64kb/s
T1	DS1	1.544Mb/s
E1	M	2.048Mb/s
E3	M3	34.064Mb/s
T3	DS3	44.736Mb/s
OC-1	SONET	51.84Mb/s
OC-3	SONET	155.54Mb/s
OC-9	SONET	466.56Mb/s
OC-12	SONET	622.08Mb/s
OC-18	SONET	933.12Mb/s
OC-24	SONET	1224.16Mb/s
OC-36	SONET	1866.24Mb/s
OC-48	SONET	2488.32Mb/s

3.3 广域网的数据链路层

3.3.1 数据链路层的基本概念

1. 链路与数据链路

链路(Link)就是一个结点到相邻结点的一段物理线路,而中间没有任何其他的交换结点。在进行数据通信时,两个计算机之间的通信路径往往要经过许多段这样的链路,可见链路只是路径的一个组成部分。

数据链路(Data Link)则是另外一个概念。这是因为当需要在一条线路上传输数据时,除了必须有一条物理线路外,还必须有一些必要的通信协议来控制这些数据的传输。若把实现这些协议的硬件和软件加到链路上,就构成了数据链路。现在最常用的方法是使用网

络适配器来实现这些协议。一般的适配器都包含数据链路层和物理层这两层的功能。

也有人采用另外的术语,就是把链路分为物理链路和逻辑链路。物理链路就是上面所说的链路,逻辑链路就是上面所说的数据链路,是物理链路加上必要的通信协议。

数据链路结构可以分为两种:点到点链路和点到多点链路,如图 3-6 所示。图 3-6 中数据链路两端 DTE 称为计算机或终端,从链路逻辑功能的角度常称为站,从网络拓扑结构的观点则称为结点。

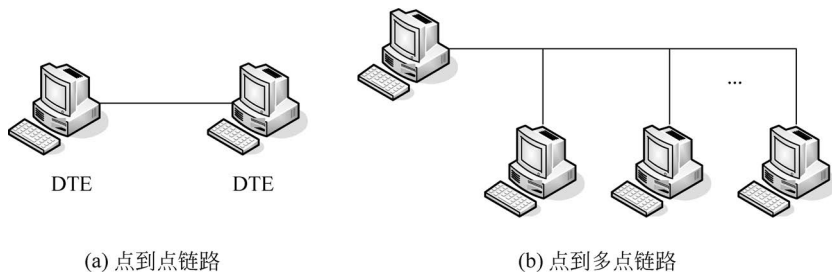


图 3-6 数据链路结构

在点到点链路中,发送信息和命令的站称为主站,接收信息和命令并发出确认信息或响应的站称为从站,兼有主、从功能可发送命令与响应的站称为复合站。在点到多点链路中,往往有一个站为控制站,主管数据链路的信息流,并处理链路上出现的不可恢复的差错情况,其余各站则为受控站。

2. 数据链路层控制功能

数据链路层是 OSI 参考模型的第二层,它在物理层提供的通信接口与物理线路连接服务的基础上,将易出错的物理线路构筑成相对无差错的数据链路,以确保 DTE 与 DTE 之间、DTE 与网络之间有效、可靠地传送数据信息。为了实现这个目标,数据链路控制功能应包括以下几部分。

(1) 帧控制。数据链路上传输的基本单位是帧。帧控制功能要求发送站把网络层送来的数据信息分成若干数据块,在每个数据块中加入地址字段、控制字段、校验字段,以及帧开始和结束标志,组成帧来发送;要求接收端从收到的帧中去掉标志字段,还原成原始数据信息后送到网络层。

(2) 帧同步。在传输过程中必须实现帧同步,以保证对帧中各个字段的正确识别。

(3) 差错控制。当数据信息在物理链路中传输出现差错,数据链路控制功能要求接收端能检测出差错并予以恢复,通常采用的方法有自动请求重发(ARQ)和前向纠错两种。采用 ARQ 方法时,为了防止帧的重收和漏收,常对帧采用编号发送和接收。当检测出无法恢复的差错时,应通知网络层做相应处理。

(4) 流量控制。流量控制用于克服链路的拥塞。它可对链路上信息流量进行调节,确保发送端发送的数据速率与接收端能够接收的数据速率匹配。常用的流量控制方法是滑动窗口控制法。

(5) 链路管理。数据链路的建立、维持和终止,控制信息的传输方向,显示站的工作状态,这些都属于链路管理的范畴。

(6) 透明传输。当所传输的数据出现了控制字符时,就必须采取适当的措施,使接收方不至于将数据误认为是控制信息。这样才能保证数据链路层的透明传输。

(7) 寻址。在多点链路中,帧必须能到达正确的接收站。

(8) 异常状态恢复。当链路发生异常情况时,如收到含义不清的序列或超时收不到响应等,能自动重新启动,恢复到正常工作状态。

典型广域网的通信子网是由路由器与连接路由器的点对点的租用线路组成的。当一帧到达路由器时,路由器会检查该帧的校验字段,如果校验字段正确,则该帧将被送到数据链路层软件。该软件一般是集成在网络接口适配器板的某一块芯片中。如果该帧是它希望接收的帧,那么它将该帧中的网络层数据(分组)提交网络层,网络层根据分组的源、目的地址进行路由选择,确定分组的输出线路。当路由器 A 选择下一个路由器 B 时,它就需要通过建立相应的数据链路,执行数据链路协议,建立可靠的数据链路,为网络层提供可靠的数据包传输服务。

3. 数据链路层协议分类

为了适应数据通信的需要,ISO、ITU-T 以及一些国家和大的计算机制造公司,先后制定了不同类型的数据链路层协议。根据数据帧的组织方式,可以分为面向字符型和面向比特型两种。

(1) 面向字符型。国际标准化组织制定的 ISO 1745、IBM 公司的二进制同步规程 BSC 以及我国国家标准 GB 3543—1982 均属于面向字符型的规程,也称为基本型传输控制协议。在这类协议中,用字符编码集中的几个特定字符来控制链路的操作,监视链路的工作状态。例如,采用国际 5 号码标准时,SOH 表示报头开始,STX 表示正文开始,ETX 表示正文结束,ETB 表示正文信息组的结束,ENQ、EOT、ACK、NAK 等字符用于控制链路操作。面向字符型规程有一个很大的缺点,就是它与所用的字符集有密切的关系,使用不同字符集的两个站之间,很难使用该协议进行通信。面向字符型规程主要适用于中低速异步或同步传输,很适合通过电话网进行数据通信。

(2) 面向比特型。ITU-T 制定的 X.25 建议的 LAPB、ISO 制定的 HDLC、美国国家标准 ADCCP、IBM 公司的 SDLC 等均属于面向比特型的规程。在这类规程中,采用特定的二进制序列 01111110 作为帧的开始和结束,以一定的比特组合所表示的命令和响应实现链路的监控功能,命令和响应可以和信息一起传送。所以它可以实现不受编码限制、高可靠和高效率的透明传输。面向比特型的规程主要适用于中高速同步半双工和全双工数据通信,如分组交换方式中的链路层就采用这种规程。随着通信技术的发展,它的应用日益广泛。

4. 广域网的数据链路层协议

在每个 WAN 连接上,数据在通过 WAN 链路前都被封装到帧中,为了确保传输数据的帧的格式匹配,必须配置恰当的第二层封装类型。协议的选择主要取决于 WAN 的拓扑和通信设备。WAN 数据链路层定义了传输到远程站点的数据封装形式。路由器把数据报以二层帧格式进行封装,然后传输到广域网链路。尽管存在几种不同的广域网封装,但是大多数有相同的原理。这是因为大多数的广域网封装都是从高级数据链路控制(HDLC)和同步数据链路控制(SDLC)演变而来的。尽管它们有相似的结构,但是每一种数据链路协议都指定了自己特殊的帧类型,不同类型是不相容的。

通常广域网数据链路层协议有以下几种。

(1) 点对点协议(Point to Point Protocol,PPP): PPP 是一种标准协议,规定了同步或异步链路上的路由器对路由器、主机对网络的连接。

(2) 串行线路网际协议(Serial Line Internet Protocol,SLIP): SLIP 是 PPP 的前身,用于使用 TCP/IP 的点对点串行连接。SLIP 已经基本上被 PPP 取代。

(3) 高级数据链路控制(High-level Data Link Control,HDLC): 它是点对点、专用链路和电路交换连接上默认的封装类型。HDLC 是按比特访问的同步数据链路层协议,它定义了同步串行链路上使用帧标识和校验的数据封装方法。当连接不同设备商的路由器时,要使用 PPP 封装(基于标准)。HDLC 同时支持点对点与点对多点连接。

(4) X.25/平衡式链路访问程序(LAPB): X.25 是帧中继的原型,它指定 LAPB 为一个数据链路层协议。LAPB 是定义 DTE 与 DCE 之间如何连接的 ITU-T 标准,是在公用数据网络上维护远程终端访问与计算机通信的。LAPB 用于包交换网络,用来封装位于 X.25 中第二层的数据包。

(5) 帧中继: 帧中继是一种高性能的包交换式广域网协议,可以应用于各种类型的网络接口中。帧中继适用于更高可靠性的数字传输设备上。

(6) ATM: ATM 是信元交换的国际标准,在定长(53B)的信元中能传输各种各样的服务类型(如话音、音频、数据)。ATM 适用于高速传输介质(如 SONET)。

(7) 综合业务数字网(ISDN): 一组数字服务,可经由现有的电话线路传输语音和数据信息。

最常用的两个广域网协议是 HDLC 和 PPP,因此本节重点介绍这两种协议。

3.3.2 HDLC

高级数据链路控制(High-Level Data Link Control,HDLC)是一个在同步网上传输数据、面向比特的数据链路层协议,它是由国际标准化组织(ISO)根据 IBM 公司的 SDLC(Synchronous Data Link Control)协议扩展开发而成的。

20 世纪 70 年代初,IBM 公司率先提出了面向比特的同步数据链路控制(SDLC)规程,随后,美国国家标准委员会(ANSI)和国际标准化组织(ISO)均采纳并发展了 SDLC,并分别提出了自己的标准: ANSI 的高级数据通信控制规程(Advanced Data Communications Control Procedure,ADCCP),ISO 的高级数据链路控制(HDLC)规程。CCITT 在此基础上将 HDLC 修改为链路接入规程(Link Access Procedure,LAP),并成为 X.25 网络接口标准的一部分,但是后来又将它修改为 LAPB,使之与 HDLC 的新版本更加兼容。

1. HDLC 的基本概念

(1) 主站、从站、复合站。HDLC 涉及 3 种类型的站,即主站、从站和复合站。

主站的主要功能是发送命令(包括数据信息)帧、接收响应帧,并负责整个链路控制系统的初始化、流程的控制、差错检测或恢复等。

从站的主要功能是接收由主站发来的命令帧,向主站发送响应帧,并且配合主站参与差错恢复等链路控制。

复合站的主要功能是既能发送,又能接收命令帧和响应帧,并且负责整个链路的控制。

(2) HDLC 链路的结构。在 HDLC 中,对主站、从站和复合站定义了 3 种链路结构,如图 3-7 所示。

(3) 操作方式。根据通信双方的链路结构和传输响应类型,HDLC 提供了正常响应方式、异步响应方式和异步平衡方式 3 种操作方式。

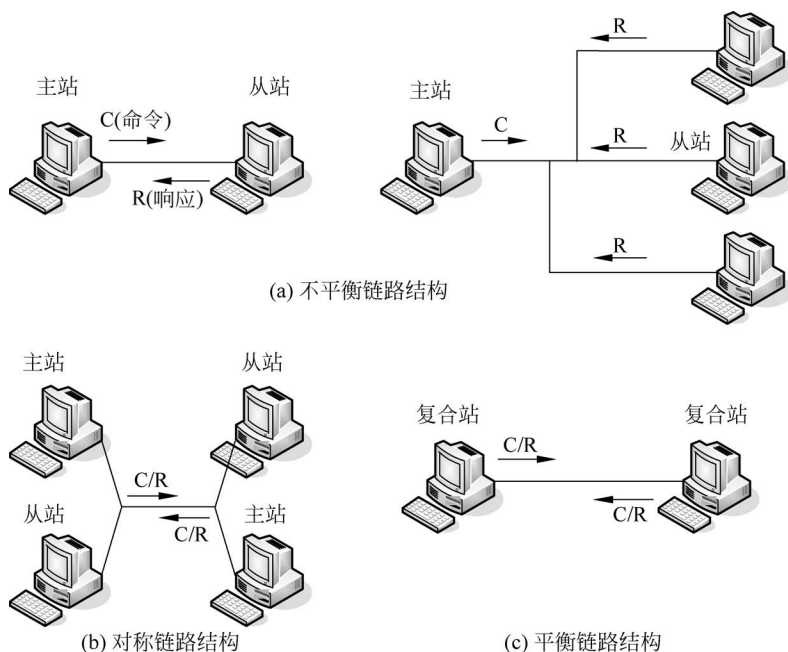


图 3-7 HDLC 链路结构类型

① 正常响应方式(NRM)。正常响应方式适用于不平衡链路结构,即用于点对点和对多点的链路结构中,特别是点-多点链路。在 NRM 方式中,由主站控制整个链路的操作,负责链路的初始化、数据流控制和链路复位等。从站的功能很简单,它只有在收到主站的明确允许后,才能发出响应。

② 异步响应方式(ARM)。异步响应方式也适用于不平衡链路结构。它与 NRM 不同的是:在 ARM 方式中,从站可以不必得到主站的允许就可以开始数据传输。显然它的传输效率比 NRM 有所提高。

③ 异步平衡方式(ABM)。异步平衡方式适用于平衡链路结构。链路两端的复合站具有同等的能力,不管哪个复合站均可在任意时间发送命令帧,并且不需要收到对方复合站发出的命令帧就可以发送响应帧。ITU-T X.25 建议的数据链路层就采用这种方式。

除 3 种基本操作方式外,还有 3 种扩充方式,即扩充正常响应方式(SNRM)、扩充异步响应方式(SARM)、扩充异步平衡方式(SABM),它们分别与 3 种基本方式相对应。

2. HDLC 的帧结构

HDLC 的帧格式如图 3-8 所示,它由 6 个字段组成,这 6 个字段可以分为 5 种类型,即标志字段(F)、地址字段(A)、控制字段(C)、信息字段(I)、帧校验字段(FCS)。在帧结构中允许不包含信息字段(I)。

(1) 标志字段(F)。标志字段为 01111110 的比特模式,用来标志帧的起始和帧的终止,以此来实现帧的同步。标志字段也可以作为帧与帧之间的填充字符。通常,在不进行帧传送的时刻,信道仍处于激活状态,在这种状态下,发送方不断地发送标志字段,可以用作时间填充。

在一串数据比特中,有可能产生与标志字段的码型相同的比特组合。为了防止这种情况产生,保证对数据的透明传输,采取了 0 比特插入/删除法。图 3-9 给出了 0 比特插入/删除法的基本工作过程。



视频讲解

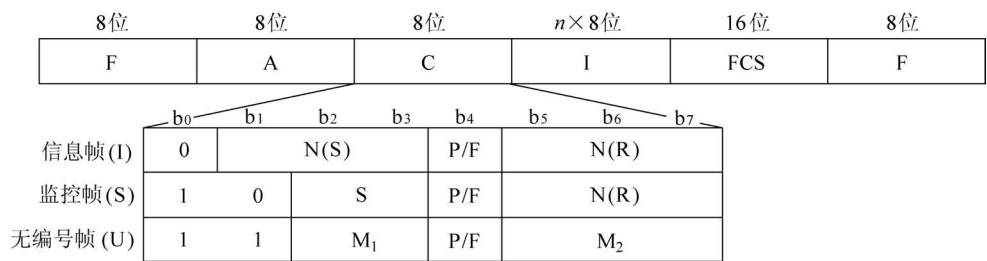


图 3-8 HDLC 的帧格式

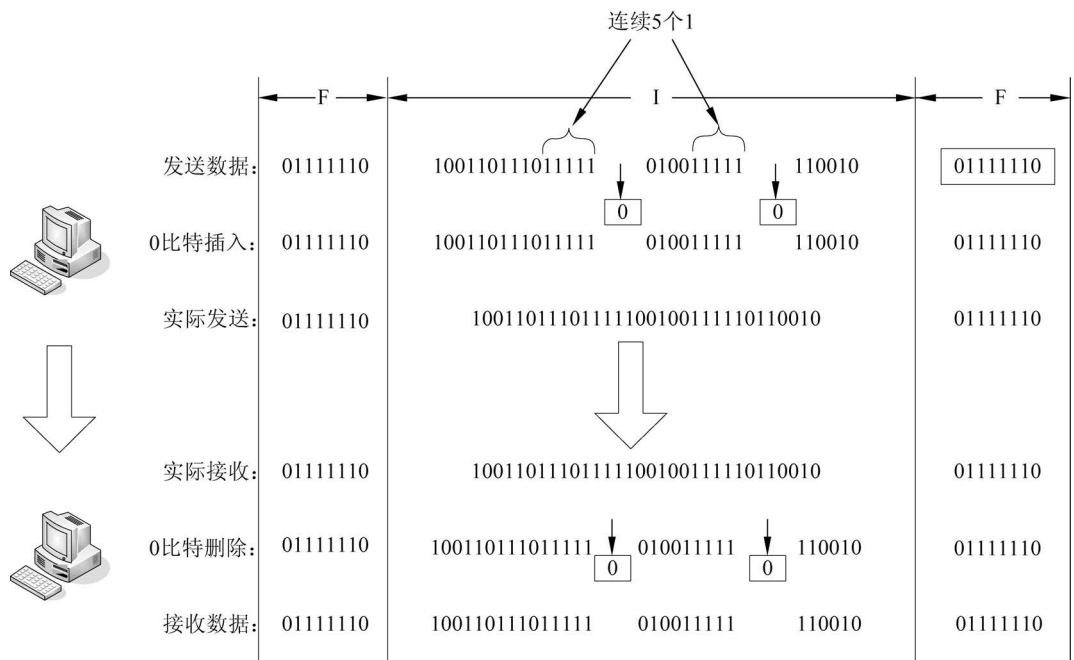


图 3-9 0 比特插入/删除法的基本工作过程

0 比特插入/删除法规定：发送端在两个标志字段 F 之间的比特序列中，如果检测出连续的 5 个 1，不管它后面的比特位是 0 还是 1，都增加一个 0；那么接收过程中，在两个标志字段 F 之间的比特序列中检查出连续的 5 个 1 之后就删除一个 0。在数据发送端，经 0 比特插入后的数据就可以保证不会出现 6 个连续的 1。在接收一个帧时，首先找到 F 字段以确定帧的边界，然后再对其中的比特序列进行检查，每当发现 5 个连续 1 时，就将这 5 个连续 1 后的一个 0 删除，以便将数据还原成原来的比特。这样保证了在传送的比特序列中，不管出现什么样的比特组合，也不至于产生帧边界的判断错误。因此，0 比特插入/删除法的使用，排除了在信息流中出现的标志字段的可能性，保证了对数据信息的透明传输。

当连续传输两帧时，前一个帧的结束标志字段 F 可以兼作后一个帧的起始标志字段。当暂时没有信息传送时，可以连续发送标志字段，使接收端可以一直保持与发送端同步。

(2) 地址字段(A)。地址字段表示链路上站的地址。在使用不平衡方式传送数据时(采用 NRM 和 ARM)，地址字段总是写入从站的地址；在使用平衡方式时(采用 ABM)，地址字段总是写入应答站的地址。

地址字段的长度一般为 8 位，最多可以表示 256 个站的地址。在许多系统中规定，地址

字段为“11111111”时,定义为全站地址,即通知所有的接收站接收有关的命令帧并按其动作;全“0”比特为无站地址,用于测试数据链路的状态。因此有效地址共有 254 个之多,这对一般的多点链路是足够的。但考虑在某些情况下,如使用分组无线网,用户可能很多,可使用扩充地址字段,以字节为单位扩充。在扩充时,每个地址字段的第 1 位用作扩充指示,即当第 1 位为“0”时,后续字节为扩充地址字段;当第 1 位为“1”时,后续字节不是扩充地址字段,地址字段到此为止。

(3) 控制字段(C)。控制字段用来表示帧类型、帧编号及命令、响应等。从图 3-8 可知,由于 C 字段的构成不同,可以把 HDLC 帧分为信息帧、监控帧、无编号帧 3 种类型,分别简称 I 帧(Information)、S 帧(Supervisory)、U 帧(Unnumbered)。在控制字段中,第 1 位是“0”为 I 帧,第 1、2 位是“10”为 S 帧,第 1、2 位是“11”为 U 帧,它们具体操作复杂,在后面予以介绍。另外控制字段也允许扩展。

(4) 信息字段(I)。信息字段内包含了用户的数据信息和来自上层的各种控制信息。在 I 帧和某些 U 帧中,具有该字段,它可以是任意长度的比特序列。在实际应用中,其长度由收发站的缓冲器的大小和线路的差错情况决定,但必须是 8 位的整数倍。

(5) 帧校验字段(FCS)。帧校验序列用于对帧进行循环冗余校验,其校验范围从地址字段的第 1 比特到信息字段的最后一比特的序列,并且规定为了透明传输而插入的“0”不在校验范围内。

在 HDLC 协议中,采用了循环冗余校验(Cyclical Redundancy Check, CRC)码进行差错检验。

CRC 校验码的基本思想是利用线性编码理论,在发送端根据要传送的 k 位二进制码序列,以一定的规则产生一个校验用的 r 位监督码(CRC 码),并附在信息后边,构成一个新的共 $(k+r)$ 位的二进制码序列数,然后发送出去;在接收端,则根据信息码和 CRC 码之间所遵循的规则进行检验,以确定传送中是否出错。

CRC 的校验过程如下。

(1) 设要发送的数据为 $f(x)$,其长度为 k 位;生成多项式为 $G(x)$,最高幂次为 r ;计算 $f(x) \cdot x^r$;对于采用 CRC-16(HDLC 使用的生成多项式,表达式为 $G(x) = x^{16} + x^{15} + x^2 + 1$)生成多项式的二进制乘法来说,其意义相当于将发送比特序列左移了 16 位,用来放置余数。

(2) 将 $f(x) \cdot x^r$ 除以生成多项式 $G(x)$ (在实际计算时,使用模 2 加法进行运算),即

$$\frac{f(x) \cdot x^r}{G(x)} = Q(x) + \frac{R(x)}{G(x)}$$

式中, $R(x)$ 为余数多项式。

(3) 将 $f(x) \cdot x^r + R(x)$ 作为一个整体数据块,记为 $H(x)$,从发送端经过通信信道传送到接收端。

(4) 在接收端,设接收到的数据块为 $H'(x)$,计算 $H'(x)/G(x)$,若能除尽,则说明发送过程中未出现差错;若有余数(除不尽),则说明发送过程中出现了差错。

下面用一个简单的例子说明 CRC 差错检验的方法。

(1) 设发送的数据为 5 位的数据 10111,即 $f(x) = x^4 + x^2 + x + 1$;生成多项式 $G(x) = x^4 + x + 1$,最高幂次为 r ,对于二进制其生成多项式的数值为 10011。



视频讲解

(2) $f(x) \cdot x^r = 101110000$, 除以生成多项式 $G(x) = 10011$, 余数为 1100。

(3) 将 $f(x) \cdot x^r + R(x) = 101111100$ (前 5 位为信息位, 后 4 位为校验位) $= H(x)$ 传送到接收方。

(4) 接收到的数据块 $H'(x) = 101111100$ 除以 $G(x)$, 能除尽, 则传送过程中未发生错误。如果传送过程中出现错误, 则接收到的数据块除以 $G(x)$ 时不能除尽(二进制除法采用的是模 2 除法, 即不向上一位借位, 所以实际上就是除数和被除数做异或计算, 其无实际的数学含义)。

至此, 校验计算完成。

CRC 生成多项式 $G(x)$ 与具体的链路层协议有关。例如, 以太网帧校验中采用的生成多项式 CRC-32 的表达式为

$$G(x) = x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

CRC 校验具有侦错能力强、系统消耗小、使用简单的特点。具体来说, CRC 具有以下检错能力。

- (1) CRC 校验码能检查出全部单个错。
- (2) CRC 校验码能检查出全部离散的二位错。
- (3) CRC 校验码能检查出全部奇数个错。
- (4) CRC 校验码能检查出全部长度小于或等于 r 位的突发错。
- (5) CRC 校验码能以 $\left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{r-1}\right]$ 的概率检查出长度为 $r+1$ 位的突发错。

对于 CRC-16, $r=16$, 则 CRC 校验码能检查出所有小于或等于 16 位的突发错, 并能以 $\left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)^{16-1}\right] = 0.999\ 969\ 48$ (即 99.997%) 的概率检查出长度为 17 位的突发错, 漏检概率仅为十万分之三。

3. HDLC 的帧类型

控制字段是 HDLC 的关键字段, 许多重要的功能都靠它来实现。控制字段规定了帧的类型, 即 I 帧、S 帧、U 帧, 控制字段的格式如图 3-8 所示, 其中:

N(S): 发送帧序列编号。

N(R): 期望接收的帧序列编号, 且是对 N(R) 以前帧的确认。

S: 监控功能比特。

M: 无编号功能比特。

P/F: 查询/结束(Poll/Final)比特, 作为命令帧发送时的查询比特, 以 P 位出现; 作为响应帧发送时的结束比特, 以 F 位出现。

下面对 3 种不同类型的帧分别予以介绍。

(1) 信息帧(I 帧)。I 帧用于数据传送, 它包含信息字段。在 I 帧控制字段中 $b_1 \sim b_3$ 比特为 N(S), $b_5 \sim b_7$ 比特为 N(R)。由于是全双工通信, 因此通信每一方都各有一个 N(S) 和 N(R)。这里要特别强调指出: N(R) 带有确认的意思, 它表示序号为 N(R)-1, 以及在这以前的各帧都已经正确无误地接收了。

为了保证 HDLC 的正常工作, 在收发双方都设置两个状态变量 V(S) 和 V(R)。V(S) 是发送状态变量, 为发送 I 帧的数据站所保持, 其值指示待发的一帧的编号; V(R) 是接收

状态变量,其值为期望所收到的下一个 I 帧的编号。由此可见,用这两个状态变量的值可以确定发送序号 $N(S)$ 和接收序号 $N(R)$ 。

在发送站,每发送一个 I 帧, $V(S) \rightarrow N(S)$, 然后 $V(S)+1 \rightarrow V(S)$ 。在接收站,把收到的 $N(S)$ 与保留的 $V(R)$ 做比较,如果这个 I 帧可以接收,则 $V(R)+1 \rightarrow N(R)$, 回送到发送站,用于对前面所收到的 I 帧的确认。 $N(R)$ 除了可以用 I 帧回送之外,还可以用 S 帧回送,这一点从图 3-8 中可以看出,在 I 帧和 S 帧的控制字段中具有 $N(R)$ 。

$V(S)$ 、 $V(R)$ 和 $N(S)$ 、 $N(R)$ 都各占 3 位,即序号采用模 8 运算,使用 0~7 八个编号。在有些场合,如卫星通信模 8 已经不能满足要求了,这时可以把控制字段扩展为 2B, $N(S)$ 、 $N(R)$ 和 $V(S)$ 、 $V(R)$ 都用 7 位来表示,即增加到模 128。

(2) 监控帧(S 帧)。监控帧用于监视和控制数据链路,完成信息帧的接收确认、重发请求、暂停发送请求等功能。监控帧不具有信息字段。监控帧共有 4 种,表 3-3 所示为这 4 种监控帧的记忆符、名称和功能。

表 3-3 监控帧的记忆符、名称和功能

记忆符	名 称	比 特		功 能
		b_2	b_3	
RR	接收准备好	0	0	确认,且准备接收下一帧,已收妥 $N(R)$ 以前的各帧
RNR	接收未准备好	1	0	确认,暂停接收下一帧, $N(R)$ 含义同上
REJ	拒绝接收	0	1	否认,否认 $N(R)$ 起的各帧,但 $N(R)$ 以前的帧已收妥
SREJ	选择拒绝接收	1	1	否认,只否认序号为 $N(R)$ 的帧

上面 4 种监控帧中,前 3 种用在返回连续 ARQ 方法中,最后一种只用于选择重发 ARQ 方式中。

S 帧中没有包含用户的数据信息字段,不需要 $N(S)$,但 S 帧中 $N(R)$ 特别有用,它的具体含义随不同的 S 帧类型而不同。其中,在 RR 帧和 RNR 帧相当于确认信息 ACK,在 REJ 帧相当于否认信息 NAK。同时应当注意到,RR 帧和 RNR 帧还具有流量控制的作用,RR 帧表示已经做好接收帧的准备,希望对方继续发送,而 RNR 帧则表示希望对方停止发送(这可能是由于来不及处理到达的帧或缓冲器已存满)。

(3) 无编号帧(U 帧)。无编号帧用于数据链路的控制,它本身不带编号,可以在任何需要的时刻发出,而不影响带编号的信息帧的交换顺序。它可以分为命令帧和响应帧。用 5 比特(即 M_1 、 M_2)来表示不同功能的无编号帧。HDLC 所定义的无编号帧的记忆符和名称如表 3-4 所示。

表 3-4 无编号帧的记忆符和名称

记 忆 符	名 称	类 型		M_1		M_2		
		命令	响应	b_3	b_4	b_6	b_7	b_8
SNRM	置正常响应模式	C		0	0	0	0	1
SARM/DM	置异步响应模式/断开方式	C	R	1	1	0	0	0
SABM	置异步平衡模式	C		1	1	1	0	0
SNRME	置扩充正常响应模式	C		1	1	0	1	1
SARME	置扩充异步响应模式	C		1	1	0	1	0

续表

记 忆 符	名 称	类 型		M ₁		M ₂		
		命令	响应	b ₃	b ₄	b ₆	b ₇	b ₈
SABME	置扩充异步平衡模式	C		1	1	1	1	0
DISC/RD	断链/请求断链	C	R	0	0	0	1	0
SIM/RIM	置初始化方式/请求初始化方式	C		1	0	0	0	0
UP	无编号查询	C		0	0	1	0	0
UI	无编号信息	C		0	0	0	0	0
XID	交换识别	C	R	1	1	1	0	1
RESET	复位	C		1	1	0	0	1
FRMR	帧拒绝		R	1	0	0	0	1
UA	无编号确认		R	0	0	1	1	0

值得注意的是,在 HDLC 的各类帧中,均带有查询/结束(P/F)比特。在不同的数据传送方式中,P/F 比特的用法是不一样的。

在 NRM 方式中,从站不能主动向主站发送信息,从站只有收到主站发出的 P 比特为 1 (对从站的查询)的命令帧以后才能发送响应帧。若从站有数据发送,则在最后一个 I 帧中将 F 比特置 1;若无数据发送,则应在回答的 S 帧中将 F 比特置 1。

在 ARM 或 ABM 方式中,任何一个站都可以在主动发送的 S 帧和 I 帧中将 P 比特置 1。对方站收到 P=1 的帧后,应尽早地回答本站的状态并将 F 比特置 1。

下面结合图 3-10 所示的例子具体说明 P/F 比特的使用方法。图 3-10 中主站 A 和从站 B、C 连成多点链路,传送帧的一些主要参数按照“地址,帧名和序号,P/F”的先后顺序标注。这里的地址是指地址字段中应填入的站地址;帧名是指帧的名称,如 RR、I;序号是指监控帧中的 N(R)或信息帧中的 N(S)、N(R),如 RR4、I31[第 1 个数字是 N(S),第 2 个数字是 N(R)]。P/F 是在其为 1 时才写上 P 或 F,表明此时控制字段的第 5 比特为 1。

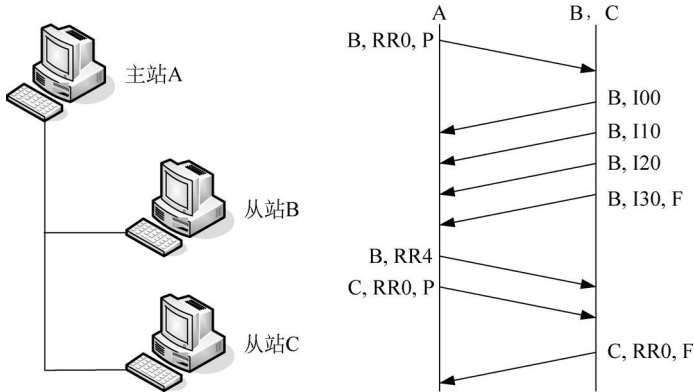


图 3-10 P/F 比特的使用方法

主站 A 先询问从站 B:“B 站,若有信息,请立刻发送”。这时 A 站发送的帧是 RR 监控帧,并将 N(R)置 0,表示期望收到对方的 0 号帧。因此在图 3-10 中将这样的帧记为“B, RR0, P”。对主站的这一命令,B 站响应以连续 4 个信息帧,其序号 N(S)从 0 到 3。最后在第 4 个信息帧中将 F 置 1,表示“我要发送的信息已发完”。这个帧记为“B, I30, F”。A 站在

收到 B 站发来的 4 个信息帧后,发回确认帧 RR4[这时 $N(R)=4$]。注意,这时 P/F 比特并未置 1,因此 B 站收到 RR4 后不必应答。此后 A 站轮询 C 站, $P=1$,虽然这时 C 站没有数据发送,但也必须立即应答。C 站应答也是 RR 帧,表示目前没有信息帧发送, $F=1$ 表明这是回答对方命令的一个响应。

有了 P/F 比特,使 HDLC 规程使用起来更加灵活。在两个复合站全双工通信时,任何一方都可随时使 $P=1$,这时对方就要立即回答 RR 帧,并置 $F=1$,这样就可以收到对方的确认了。如果不使用 P/F 比特,则接收方不一定马上发出确认帧,如接收方可以在发送自己的信息帧时,利用 $N(R)$ 把确认信息发出。

4. HDLC 的操作

在图 3-10 中讨论了主站 A 和从站 B、C 交换信息的情况,这只是整个数据通信的中间阶段,在这个阶段之前还有一个数据链路的建立阶段,数据传送完毕后,还必须有一个数据链路的释放阶段。也就是说 HDLC 执行数据传输控制功能,一般分为 3 个阶段:数据链路建立阶段、信息帧传送阶段、数据链路释放阶段。第 2 阶段的完成需要用到信息帧和监控帧,第 1、3 阶段的完成需要用到无编号帧。

图 3-11 画出了多点链路的建立和释放。主站 A 先向从站 B 发出置正常响应模式(SNRM)的命令,并将 P 置 1,要求 B 站做出响应。B 站同意建立链路后,发送无编号帧确认 UA 的响应,将 F 置 1。A 站和 B 站在将其状态变量 $V(S)$ 和 $V(R)$ 进行初始化后,就完成了数据链路的建立。然后 A 站开始与 C 站建立链路。

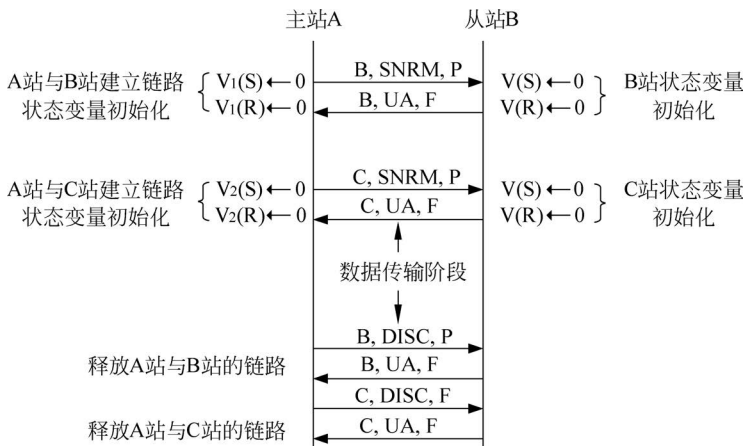


图 3-11 多点链路的建立和释放

当数据传送完毕后,A 站分别向 B 站和 C 站发出断链命令(DISC),B 站、C 站用无编号确认帧 UA 响应,完成数据链路的释放。

图 3-12 所示为点对点链路中两个站都是复合站的情况。复合站中的一个站先发出置异步平衡模式(SABM)的命令,对方回答一个无编号响应帧 UA 后,即完成了数据链路的建立。由于两个站是平等的,任何一个站均可在数据传送完毕后发出 DISC 命令提出断链的要求,对方用 UA 帧响应,完成数据链路的释放。

5. HDLC 的特点

与面向字符的基本型传输控制协议相比较,HDLC 具有以下特点。

(1) 透明传输。HDLC 对任意比特组合的数据均能透明传输。“透明”是一个很重要的

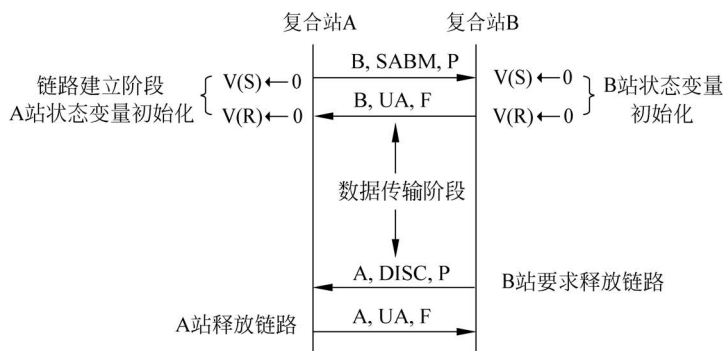


图 3-12 复合站的链路建立和释放

术语,它表示某一个实际存在的事物看起来好像不存在一样。“透明传输”表示经实际电路传送后的数据信息没有发生变化。因此对所传送数据信息来说,由于这个电路并没有对其产生什么影响,可以说数据信息“看不见”这个电路,或者说这个电路对该数据信息来说是透明的。这样任意组合的数据信息都可以在这个电路上传送。

(2) 可靠性高。在 HDLC 中,差错控制的范围是除了 F 标志的整个帧外,基本型传输控制规程中不包括前缀和部分控制字符。另外,HDLC 对 I 帧进行编号传输,有效地防止了帧的重收和漏收。

(3) 传输效率高。在 HDLC 中,额外的开销比特少,允许高效的差错控制和流量控制。

(4) 适应性强。HDLC 能适应各种比特类型的工作站和链路。

(5) 结构灵活。在 HDLC 中,传输控制功能和处理功能分离,层次清楚,应用非常灵活。

最后需要指出,一般的应用极少需要使用 HDLC 的全集,而选用 HDLC 的子集。当使用某一厂商的 HDLC 时,一定要弄清该厂商所选用的子集是什么。

3.3.3 PPP

1. PPP 的基本概念

PPP 是在 SLIP 的基础上发展起来的。由于 SLIP 只支持异步传输方式、无协商过程(尤其不能协商如双方 IP 地址)等网络层属性的缺陷,在以后的发展过程中逐步被 PPP 所替代。

PPP 目前广为接受的 RFC 文档为 RFC1661,其中具体介绍了 PPP 的基本概念,状态的转换过程,链路控制协议(Link Control Protocol,LCP)的帧格式及内容等知识。

从 1994 年 7 月到现在,PPP 本身并没有大的改变,但由于 PPP 所具有的其他链路层协议所无法比拟的特性,它得到了越来越广泛的应用,其扩展支持协议也层出不穷,随之而来的是 PPP 功能的逐步强大。

PPP 的全称为 Point-To-Point Protocol(点到点协议),它作为一种提供在点到点链路上传输、封装网络层数据包的数据链路层协议,处于 TCP/IP 协议栈的第二层,主要被设计用来在支持全双工的同异步链路上进行点到点之间的数据传输。

PPP 主要由三类协议组成:链路控制协议(LCP)、网络层控制协议(Network Control Protocol,NCP)和 PPP 扩展协议。其中,链路控制协议主要用于建立、拆除和监控 PPP 数据链路;网络层控制协议主要用于协商在该数据链路上所传输的数据包的格式与类型;

PPP 扩展协议主要用于提供对 PPP 功能的进一步支持。

同时 PPP 还提供了用于网络安全方面的验证协议(PAP 和 CHAP)。

PPP 的特点如下。

(1) PPP 与其他数据链路层协议不同,既支持同步链路又支持异步链路,而如 X. 25、FR 等数据链路层协议只对同步链路提供支持。

(2) 具有各种网络层控制协议(NCP),如 IPCP、IPXCP 更好地支持了网络层协议。

(3) 具有验证协议 CHAP、PAP,更好地保证了网络的安全性。

2. PPP 的帧格式

PPP 不仅提供了对网络层报文的承载(封装),并且支持各种链路参数的协商。这种协商特性,也导致了 PPP 报文的多样性。

PPP 的帧格式如图 3-13 所示。标志字段(Flag),规定为 0x7E(符号“0x”表示它后面的字符是用十六进制表示的,十六进制的 7E 的二进制表示是 01111110),它的作用是标识了帧的起始和结束。FCS 为帧的 CRC 校验字段。而真正属于 PPP 帧的内容的为地址字段(Address)、控制字段(Control)、协议字段(Protocol)和信息字段(Information)。

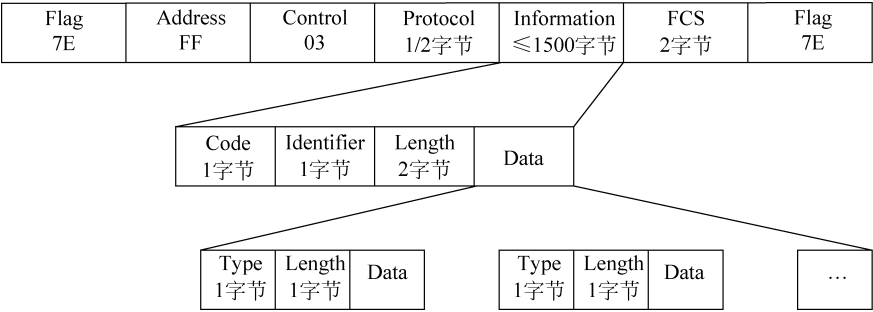


图 3-13 PPP 帧格式

其中地址字段(Address)规定为 0xFF(即 11111111),控制字段(Control)规定为 0x03(即 00000011),这两个字段一起表示了此帧为 PPP 帧。

协议字段(Protocol)作用是标明信息字段中是哪一种分组。当该字段为 0x0021 时,PPP 帧的信息字段就是 IP 数据报。若为 0xC021 时,则信息字段是 PPP 的数据链路控制协议(LCP)的数据,而 0x8021 表示这是网络层的控制数据。表 3-5 列出了常用协议字段的值及其含义。

表 3-5 常用协议字段的值及其含义

协议字段值	含 义
0x0021	Internet Protocol(IP)
0x002b	Novell IPX
0x002d	Van Jacobson Compressed TCP/IP
0x002f	Van Jacobson Uncompressed TCP/IP
0x8021	Internet Protocol Control Protocol(IPCP)
0x802b	Novell IPX Control Protocol
0x8031	Bridging NC
0xC021	Link Control Protocol

续表

协议字段值	含 义
0xC023	Password Authentication Protocol(PAP)
0xC223	Challenge Handshake Authentication Protocol(CHAP)

Code 字段表明了是哪种 PPP 协商报文,如果为 IP 报文,则不存在此域,取而代之的直接是 IP 报文的数据内容。Identifier 字段用于进行协商报文的匹配。Length 字段为此协商报文长度(包括 Code 及 Identifier)。Data 字段所包含的为协商报文内容。Type 为协商选项类型,其后的 Length 为此协商选项的长度(包含 Type 字段),Data 字段为协商选项具体内容。常用的 Code 和 Type 值及其含义分别如表 3-6 和表 3-7 所示。

表 3-6 Code 值及其含义

Code 代码	含 义
0x01	Configure-Request
0x02	Configure-Ack
0x03	Configure-Nak
0x04	Configure-Reject
0x05	Terminate-Request
0x06	Terminate-Ack
0x07	Code-Reject
0x08	Protocol-Reject
0x09	Echo-Request
0x10	Echo-Reply
0x11	Discard-Request

表 3-7 Type 值及其含义

Type 代码	含 义
0x01	Maximum-Receive-Unit(MRU)
0x02	Async-Control-Character-Map
0x03	Authentication-Protocol
0x04	Quality-Protocol
0x05	Magic-Number
0x06	RESERVED
0x07	Protocol-Field-Compression
0x08	Address-and-Control-Field-Compression

校验域字段(Frame Check Sequence,FCS)为 2B,它采用 CRC 循环冗余校验计算在没有插入任何转义符号前的地址域、控制域、协议域、信息域内的数据,不包括标志域和校验域。在发送数据时,依次计算上述内容,然后将计算后的结果放入校验域;在接收时,首先去除转义字符,然后再计算校验。在接收中计算校验时可以将校验域也计算在内,计算的结果应该是固定值 F0B8(十六进制)。

3. PPP 链路的建立

PPP 链路的建立是通过一系列的协商完成的。其中,链路控制协议(LCP)除了用于建立、拆除和监控 PPP 数据链路外,还主要进行链路层特性的协商,如 MTU、验证方式等;网络层控制协议主要协商在该数据链路上所传输的数据包的格式和类型,如 IP 地址。

1) PPP 的协商过程

PPP 在建立数据链路之前要进行一系列的协商。其过程为:PPP 首先进行 LCP 协商,协商内容包括最大传输单元(MTU)、魔术字(Magic Number)、验证方式、异步字符映射等。LCP 协商成功后,进入链路建立阶段(Establish)。如果配置了 CHAP 或 PAP 验证,便进入 CHAP 或 PAP 的验证阶段,验证通过后会才会进入网络协商阶段(NCP),如 IPCP、IPXCP、BCP 的协商。任何阶段的协商失败都会导致链路的拆除。魔术字主要用于检测链路自环,通过发送 Echo Request、Echo Reply 来检测自环和维护链路状态。如果连续发现有超过最大自环允许数目个 Echo Request 报文中的魔术字与上次发送的魔术字相同,则判定网络发生自环现象。如果链路发生自环,则需要采取相应的措施对链路复位。另外,LCP 发送

Configure-Request 时也可以检测自环,LCP 发现自环后,再发送一定数目的报文后,也会复位链路。如果 PPP 发送的 Echo Request 报文产生丢失,则连续丢失最大允许的个数之后,将链路复位,以免过多的无效数据传输。异步字符映射用于同异步转换。

2) PPP 的验证过程

(1) 口令认证协议(Password Authentication Protocol,PAP)。PAP 为两次握手协议,它通过用户名及口令来对用户进行验证。PAP 的验证过程如下:当两端链路可相互传输数据时,被验证方发送本端的用户名及口令到验证方,验证方根据本端的用户表(或 RADIUS 服务器)查看是否有此用户,口令是否正确。如果正确,则会向对端发送 ACK 报文,通知对端已被允许进入下一阶段协商;否则发送 NAK 报文,通告对端验证失败。此时,并不会直接将链路关闭。只有当验证不过次数达到一定值时,才会关闭链路,来防止因误传、网络干扰等造成不必要的 LCP 重新协商过程。PAP 的验证过程如图 3-14 所示。PAP 的缺点是,在网络上以明文的方式传递用户名和口令,如果在传输过程中被截获,便有可能对网络安全造成极大的威胁。因此,它适用于对网络安全要求相对较低的环境。

(2) 挑战握手认证协议(Challenge-Handshake Authentication Protocol,CHAP)。CHAP 为三次握手协议。它的特点是,只在网络上传输用户名,并不传输用户口令,因此它的安全性要比 PAP 高。CHAP 的验证过程如下:首先由验证方向被验证方发送一些随机数,并同时会将本端的主机名附带上一同发送给被验证方。被验证方接到对端的验证请求(Challenge)时,便根据此报文中验证方的主机名查找本端的用户表,如果找到了用户表中与验证方主机名相同的用户,便利用报文 ID、随机数和此用户的口令用 MD5 算法生成应答(Response),然后将应答和自己的主机名送回,验证方接到此应答后,用报文 ID、本方保留的口令和随机数用 MD5 算法得出结果,与被验证方应答作比较,根据比较返回相应的结果。图 3-15 所示为 CHAP 的认证过程。

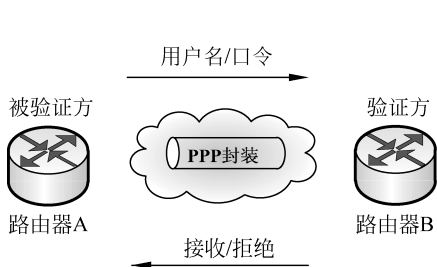


图 3-14 PAP 的验证过程

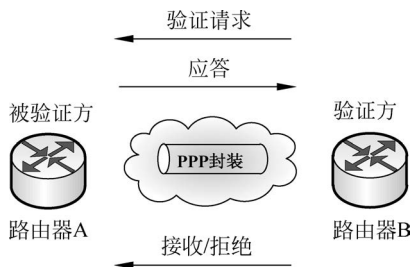


图 3-15 CHAP 的认证过程

4. 多链路协议

多链路协议(Multilink Protocol,MP)作为 PPP 功能的扩展协议。它可为用户提供更大的带宽,实现数据的快速转发。同时,还可实现对链路资源的动态分配,以提供负载均衡。

MP 一些选项的协商是在 LCP 协商过程中完成的,如 MRRU、SSNHF、Discriminator (终端指示符)等。而决定不同通道是否需进行多链路捆绑有两个条件:只有两个链路的 Discriminator 和验证方式、用户完全相符时,才能对两个链路进行捆绑。这就意味着只有当验证完成后,才能真正完成 MP 的协商过程。MP 不会导致链路的拆除。如果配置了 MP,两个链路不符合 MP 条件,则会建立一条新的 MP 通道,同时也表明允许 MP 为单个链路。MP 是完全依照用户进行的,只有相同的用户才能进行捆绑。如果一端配置了 MP,另

一端不支持或未配 MP,则建立起来的链路为非 MP 链路。

这里特别要提到的是,在 1999 年公布的在以太网上运行的 PPP,即 PPP over Ethernet,简称为 PPPoE,这是 PPP 能够适应多种类型链路的一个典型实例。PPPoE 是宽带上网主机使用的链路层协议。这个协议把 PPP 帧再封装在以太网帧中(当然还要增加一些能够识别各用户的功能)。宽带上网时由于数据传输速率较高,因此可以让多个连接在以太网上的用户共享一条到 ISP 的宽带链路。现在,即使是只有一个用户利用 ADSL 进行宽带上网(并不和其他人共享到 ISP 的宽带链路),也是使用 PPPoE 协议。

3.3.4 HDLC 与 PPP 的区别

上面分别介绍了 HDLC 和 PPP,可以看到,HDLC 是面向比特型协议,而 PPP 是面向字符型协议,两者应用于不同的场合。为了让读者更清楚地了解这两个协议的共同点和不同点,下面特别进行比较说明。

(1) 帧格式。两个协议的帧格式基本相同,但 PPP 比 HDLC 多了协议字段(2B),可支持上层不同的协议。

(2) 寻址方式。HDLC 具备多点寻址功能,PPP 则是点对点协议,只能是两点之间的通信。

(3) 来源与应用。HDLC 是由 ITU(国际电信联盟)制定,主要用在传统电信网络线路及设备上。PPP 由 IETF(因特网工程任务组)制定,主要用在 Internet 上。

(4) 确认机制。HDLC 具有捎带确认功能,PPP 不提供使用序号和确认的可靠传输,因此 PPP 用于线路状况较好的传输线路。

(5) 协议复杂性和安全性。PPP 比 HDLC 具有更复杂的控制机制,如可以鉴别身份,其安全性更高。

(6) 实现功能。PPP 功能更多,支持数据压缩、动态地址协商和多链路捆绑等功能。

(7) 协议特征。HDLC 是面向比特的;PPP 则是面向字符的(同步方式时,如 SDH,也可面向比特),因而所有 PPP 帧长都是整数字节。当 PPP 帧信息字段出现和标志字段一样的 0x7E 时,就必须采取以下措施。

- ① 将信息字段中出现的每一个 0x7E 转变成 2B 序列(0x7D、0x5E)。
- ② 若出现 0x7D 时,则转变成 2B 序列(0x7D、0x5D)。
- ③ 若出现 ASCII 的控制字符,则在字符前加入 0x7D,以防被理解为控制字符。

3.4 广域网的交换方式和连接类型

3.4.1 广域网的交换方式

1. 电路交换

在电话问世后不久,人们发现,要让所有电话机都两两相连接是不现实的。图 3-16(a)所示的是两部电话机只需要用一对电线就能够互相连接起来。如果 5 部电话机要两两相连,则需要 10 对电话线,如图 3-16(b)所示。显然,若 n 部电话机要两两相连,就需要 $n(n-1)/2$ 对电话线。当电话机的数量很大时,这种连接方法需要的电话线数量就太大了。于是

人们认识到,要使得每一部电话机能够方便地和另一部电话机进行通信,就应当使用电话交换机将这些电话机连接起来,如图 3-16(c)所示。每一部电话机都连接到交换机上,而交换机使用交换的方法,让电话用户彼此之间可以方便地通信。直到 20 世纪 80 年代,电话交换机虽然经过多次更新换代,但交换方式一直是电路交换(Circuit Switching)方式。随着光纤在电话主干网络上的大量应用和语音数字化的发展,现在电话交换方式基本上全部变为了数字程控交换方式。

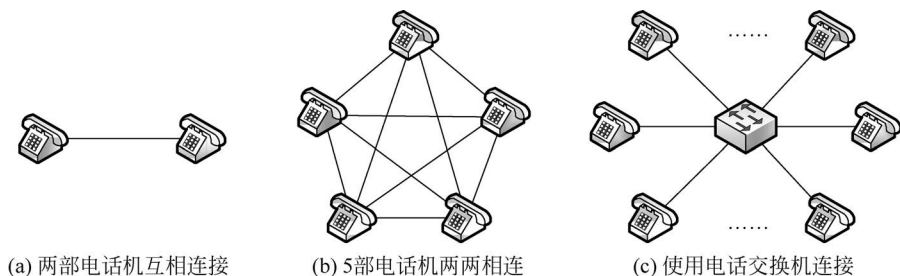


图 3-16 电话机的不同连接方法

当电话机的数量增多时,就要使用很多彼此连接起来的交换机来完成全网的交换任务。用这样的方法,就构成了覆盖全世界的电话交换网。

目前,电话交换网采用的是分级交换的多层次组织结构,即 1 级局(大区局)、2 级局(区局)、3 级局(初级区局)、4 级局(长途局)、5 级局(市话局)。图 3-17 给出了电话交换网的结构。从 1 级局(大区局)到 4 级局(长途局)都属于长途电话交换网;5 级局(市话局)又称为端局(End office 或 Central office)。每级局都有各自的交换中心。各国都有若干 1 级局,这些 1 级局互联成网。每一个上一级交换局均按星状结构与若干下一级交换局连接。最低一级的市话局直接通过 1 对双绞线与用户的电话机连接。每个用户的电话机和市话局之间的双绞线连接称为本地回路(Local Loop)。这种结构保证网络中的任何两个交换局之间都有一条通路。属于同一个市话局的两部电话机通话只需要通过这个市话局的交换机;不同市话局之间的两部电话机通话可能需要经过多层不同级别的多次转接。

电话系统是一个高度冗余的分级网络。图 3-18 所示的是一个简化的电话系统结构。用户电话通过一对铜线连接到最近的端局,距离为 1~10km,并且只能传输模拟信号。虽然局间干线是传输数字信号的光纤,但是在电话线联网时需要在发送端把数字信号转换为模拟信号,在接收端把模拟信号转换为数字信号。由电话公司提供的公共载体典型的带宽为 300~3400Hz,称为语音频段信道。这种信道的电气特性并不完全适合数据通信的要求,在线路质量太差时还需要采取一定的均衡措施,以便来减少传输过程中的失真。

从通信资源的分配角度来看,“交换”(Switching)就是按照某种方式动态地分配传输线路资源。在使用电路交换的方式拨打电话时,必须先拨号建立连接。当拨号的信令通过许多交换机到达被叫用户所连接的交换机时,该交换机就向被叫用户的电话机振铃。在被叫用户摘机且摘机信令传回主叫用户所连接的交换机后,呼叫即完成。这时,从主叫端到被叫端就建立了一条连接(物理通路)。这条连接占用了双方通话时所需的通信资源,而这些资源在双方通信时不会被其他用户占用,此后主叫和被叫双方才能互相通电话。正是因为这个特点,电话交换对端到端的通信质量有可靠的保证。通话完毕挂机后,挂机信令告诉这些交换机,使交换机释放刚才使用的这条物理通路(即归还刚才占用的所有通信资源)。因

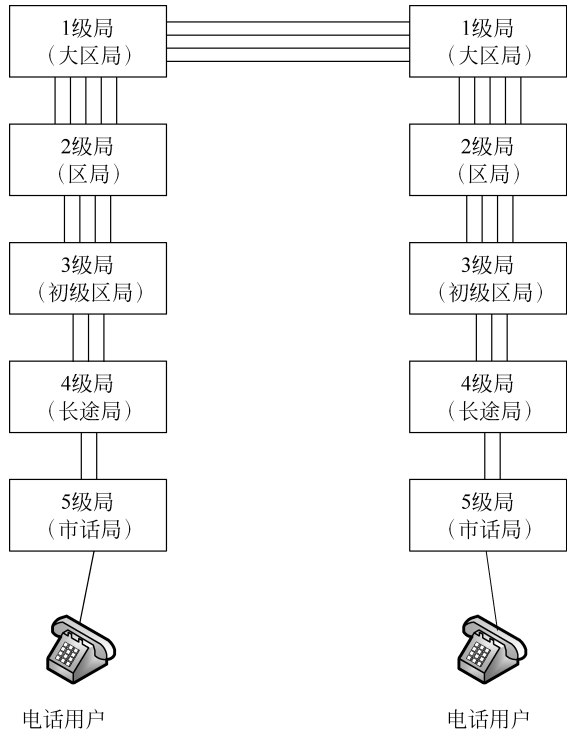


图 3-17 电话交换网的结构

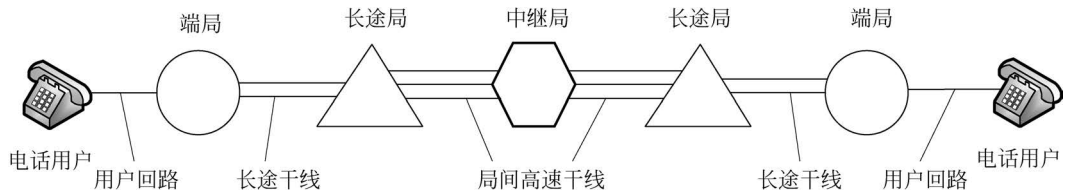


图 3-18 简化的电话系统结构

此,电路交换必须经过 3 个过程: 建立连接、通话、释放连接。

图 3-19 为电路交换示意图。为简单起见,图中没有区分市话交换机和长途交换机。应当注意的是,本地回路是用户专用的线路,而交换机之间拥有大量话路的中继线则是许多用户共享的,正在通话的用户只占用其中一个话路。电路交换的一个重要特点就是在通话的全部时间内,通话的两个用户始终占用端到端的通信资源。图中电话机 A 和 B 之间的通路共经过 4 个交换机,而电话机 C 和 D 是属于同一个交换机的地理覆盖范围中的用户,因此这两个电话机之间建立的连接就不需要再经过其他交换机。

电路交换方式与电话交换方式的工作过程类似。两台计算机通过广域网进行数据交换之前,首先要在广域网中建立一个实际的物理线路连接。广域网的交换结点使用交换设备来完成输入与输出线路的物理连接。交换设备与线路分为模拟通信与数字通信两类。在线路连接建立之后,两台主机之间已建立的物理线路连接为此次通信专用。

电路交换的优点是,通信的实时性强,适用于交互式会话类通信。电路交换的缺点是,对突发性通信不适应,系统效率低;系统不具备存储数据的能力,不能平滑通信量;系统不

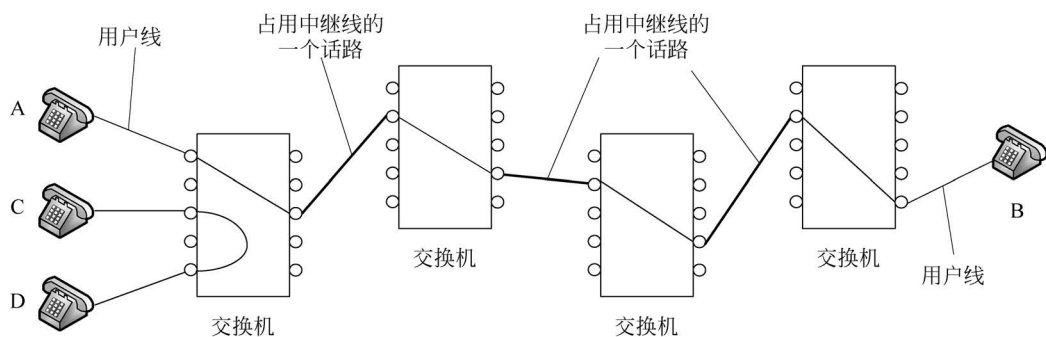


图 3-19 电路交换示意图

具备差错控制能力,无法发现和纠正传输过程中发生的数据差错。因此,电路交换不适合传送计算机数据。

2. 报文交换

报文交换方式不要求在两个通信结点之间建立专用通路。结点把要发送的信息组织成一个数据包——报文,该报文中含有目的结点的地址,完整的报文在网络一站一站地向前传送。每一个结点接收整个报文,检查目的结点的地址,然后根据网络中的通信情况在适当的时候转发到下一结点。经过多次的存储→转发,最后到达目的结点,因而这样的网络称为存储转发网络。其中的交换结点要有足够大的存储空间,用来缓存收到的长报文。交换结点对各个方向上收到的报文排队,寻找下一个转发结点,然后转发出去,这些都带来了排队等待延迟。报文交换的优点是,不用建立专用通信线路,因而线路的利用率较高,这是由通信中的等待时延换来的。

3. 分组交换

分组交换则采用存储转发技术。图 3-20 所示的就是把一个报文划分为几个分组的概念。通常把要发送的整块数据称为一个报文(Message)。在发送报文之前,先把较长的报文划分成一个个更小的等长数据段。例如,每个数据段为 1024B。在每一个数据段之前,加上一些必要的控制信息组成的首部(Header)后,就构成了一个分组(Packet)。分组又称为“包”,而分组的首部又称为“包头”。分组中的首部包含诸如目的地址和源地址等重要的控制信息,所以使得每一个分组可以在通信子网中独立地选择传输路径。

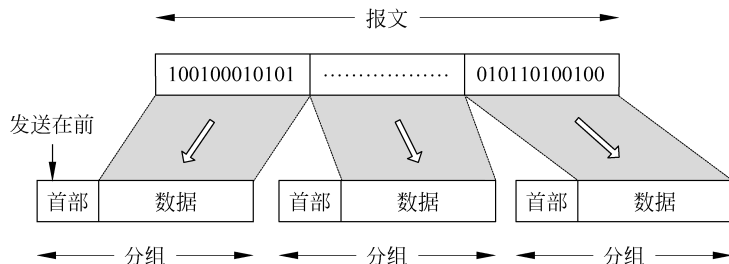


图 3-20 划分分组的概念

由于分组长度较短,在传输出错时,检测容易并且重发花费的时间较少,这有利于提高存储转发结点的存储空间利用率与传输效率,因此,分组交换成为当今公用数据交换网中主要的交换方式。

分组交换技术在实际应用中又可以分为数据报方式(Data Gram, DG)和虚电路方式(Virtual Circuit, VC)。

1) 数据报方式

在数据报方式中,分组传送之前不需要预先在源主机和目的主机之间建立连接。源主机所发送的每一个分组都可以独立地选择一条传输路径。每个分组在通信子网中可能是通过不同的路径到达目的主机。

数据报方式的工作原理如图 3-21 所示,它的具体过程分为以下几步。

(1) 源主机 A 将报文 M 分成多个分组 P_1 、 P_2 ……依次发送到与其直接连接的路由器 A。

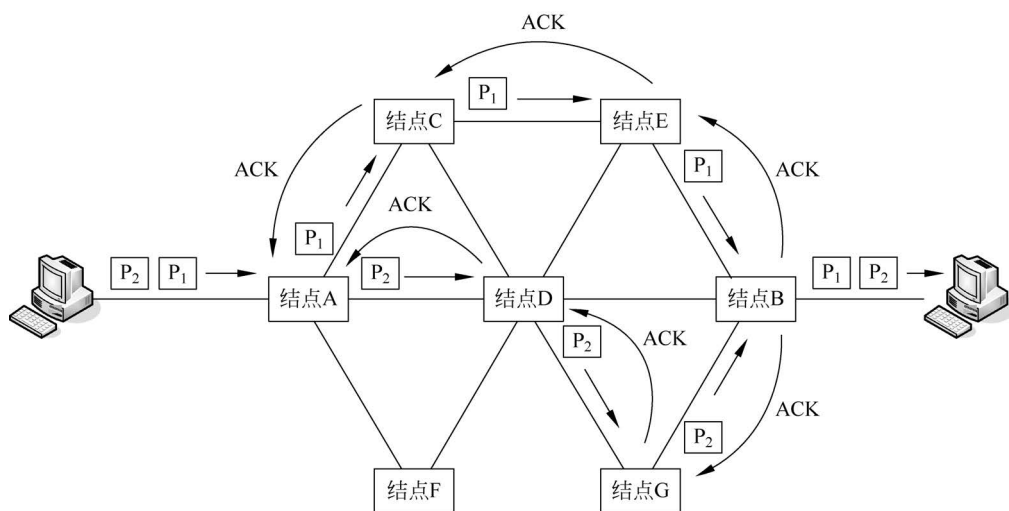


图 3-21 数据报方式的工作原理

(2) 路由器 A 每接收一个分组均要进行差错检测,以保证主机 A 和路由器 A 之间数据传输的正确性;路由器 A 接收到分组 P_1 、 P_2 ……后,通过依次检查分组的首部,查找转发表,按照首部中的目的地址,找到合适的接口转发出去,把分组交给下一个路由器。由于网络的状态在不断变化,分组 P_1 的下一个路由器可能选择路由器 C,而分组 P_2 的下一个路由器可能选择路由器 D,因此同一个报文的不同分组通过子网的路径可能是不相同的。另外,各路由器之间必须经常彼此交换掌握的路由信息,以便创建和维持在路由器中的转发表,使得转发表能够在整个网络拓扑发生变化时及时更新。

(3) 路由器 A 向路由器 C 发送分组 P_1 时,路由器 C 要对 P_1 传输的正确性进行检测,如果传输正确,路由器 C 向路由器 A 发送正确传输的确认信息 ACK;路由器 A 接收到节点 C 的 ACK 信息后,确认 P_1 已经正确传输,则废弃 P_1 的副本。其他路由器的工作过程与路由器 C 的工作过程相同。这样,分组 P_1 通过通信子网中的多个路由器存储转发后,最终正确地到达目的主机 B。

数据报工作方式的特点如下。

- (1) 同一报文的不同分组可以由不同的传输路径通过通信子网。
- (2) 同一报文的不同分组到达目的结点时可能出现乱序、重复与丢失现象。
- (3) 每一个分组在传输过程中都必须带有目的地址和源地址。

(4) 数据报方式报文传输延迟较大,适合突发性通信,不适合长报文、会话式通信。

2) 虚电路方式

虚电路方式试图将数据报方式和电路交换方式结合起来,发挥两种方法的优点。

虚电路交换方式要求在发送分组之前,在源主机与目的主机之间建立一条逻辑虚连接。在连接建立阶段,需要在源主机和目的主机之间的每个交换机上建立一个记录,该记录标明连接的存在,并且为它预留必要的资源,一般记录包括以下内容。

(1) 虚电路标识符(Virtual Circuit Identifier,VCI),这在每个交换机上是唯一标识的连接,并且将放在属于这个连接分组的首部内传送。

(2) 分组从这个虚电路到达交换机的输入接口。

(3) 分组从这个虚电路离开交换机的输出接口。

(4) 用于封装分组的下一个 VCI。

在建立新的虚电路时,要在虚电路所要经过的每段链路上分配一个 VCI 值,并确保在一段链路上选定的 VCI 值未被该链路上已经存在的某个虚电路使用。

虚电路的建立有永久虚电路(Permanent Virtual Circuit,PVC)和交换虚电路(Switched Virtual Circuit,SVC)两种方法。

(1) 永久虚电路是指两个用户之间建立的固定虚电路。PVC 一旦建立起来,非常类似于电话系统中的租用线路。

(2) 交换虚电路是指在有连接需要时动态建立的虚电路,当数据传输完毕时虚电路将被拆除。交换虚电路常被用于数据传输量较小且具有突发数据量的场合。

虚电路工作方式的特点如下。

(1) 在每次开始发送分组之前,必须在发送方与接收方之间建立一条逻辑连接。这是因为不需要建立真正物理链路,连接发送方和接收方的物理链路已经存在。

(2) 一次通信的所有分组都通过这条虚电路顺序传送,因此分组不必带目的地址、源地址等信息。分组到达目的节点不会出现丢失、重复与乱序等现象。

(3) 分组通过虚电路上的每个节点时,节点只需做差错检测,而不必做路径选择。

(4) 分组首部并不包含目的地址,而是包含 VCI,相对数据报方式开销较小。

虚电路方式与电路交换方式的不同在于:虚电路是在传输分组时建立起来的逻辑连接,称为“虚电路”是因为这种电路不是专用的。一个结点可以同时与多个结点之间建立虚电路,每条虚电路支持特定两个结点之间的数据传输。

图 3-22 表示电路交换、报文交换和分组交换的主要区别。图中的 A 和 D 分别是源点和终点,而 B 和 C 是在 A 和 D 之间的中间结点。

从图 3-22 可知,若要连续传送大量的数据,且其传送时间远大于连接建立时间,则电路交换的传输效率较高。报文交换和分组交换不需要预先建立连接,在传送突发数据时可提高整个网络的信道利用率。由于一个分组的长度往往小于整个报文的长度,因此分组交换比报文交换的时延小,同时也具有更好的灵活性。

3.4.2 广域网的连接类型

广域网(WAN)有专用连接(也称专线连接)、电路交换连接、分组/信元交换连接 3 种连接类型,如图 3-23 所示。

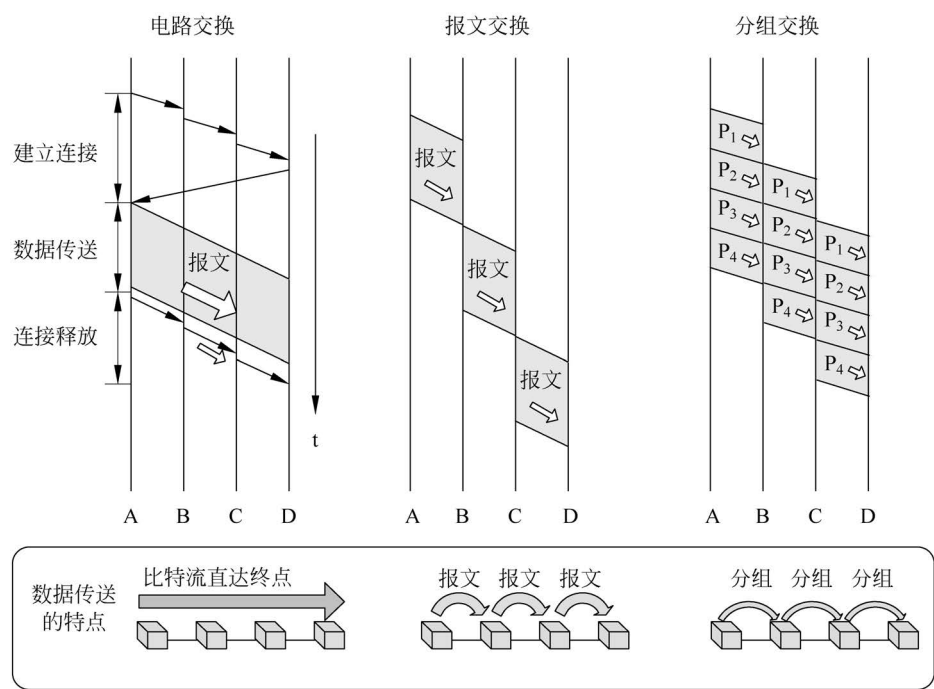


图 3-22 三种交换方式的主要区别

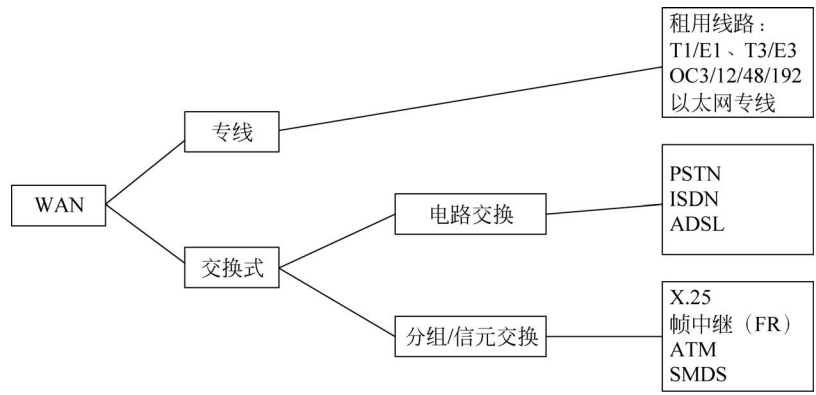


图 3-23 WAN 的几种连接类型

1. 专线连接

专线连接是一种租用线路的方式,提供全天候服务。专线通常提供主要网站或园区间的核心连接或主干网络连接,以及 LAN 对 LAN 的连接。主要的传输速率包括 T1 (1.544Mb/s,北美标准)、E1 (2.048Mb/s,欧洲标准)、T3 (44.736Mb/s,北美标准)、E3 (34.064Mb/s,欧洲标准)、百兆以太网(100Mb/s)、OC3(155.52Mb/s)、OC12(622.08Mb/s)、千兆以太网(1000Mb/s)、OC48(2488.32Mb/s,约为 2.5Gb/s)和 OC192(9953.28Mb/s,约为 10Gb/s)等。其中每一种典型速率可以划分信道,每个信道的带宽为 64kb/s,带宽可以 64kb/s 为单位进行组合。

专线也称为点到点链路,因为其建立的路径对于通过电信设备到达的每个远程结点而言都是永久且固定的。点到点链路提供了单一而预先建立的 WAN 通信路径,此路径是从

用户所在地服务提供商的电信网络到远程网络,并且服务提供商时刻保留着这些点到点链路供用户专用。专线连接的专用特性使企业能够最大限度地控制其广域网连接。由于专线能够提供各种级别的连接速率,因此专线非常适用于具有大量数据传输、数据流量较为稳定的高容量环境。因为专线是非共享的,而且价格一般都比较高。连接大量的分支网络结点时,专线方案的成本会比较高。如何充分合理地利用可用带宽是一个重要问题,因为当线路闲置时用户仍需支付线路的费用,因此专线连接一般适合长时间、较短距离的通信。

2. 电路交换连接

电路交换连接的每个通信会话阶段的专属的物理电路都是通过电信运营商的网络建立、维护和终止的。电路交换是服务提供商提供基本的电话服务(PSTN)和综合业务数字网(ISDN)。

电路交换连接在需要时才建立,一般而言所需的带宽较低。基本的电话服务连接通常限制在无数据压缩的 28.8kb/s,而 ISDN 连接则限制为 64kb/s 或 128kb/s。电路交换连接主要用来进行远程使用者及移动电话使用者与公司 LAN 之间的连接,它们也可以作为帧中继或专线等高速链路的备份链路。

3. 分组交换连接

分组交换连接提供给网络管理员的控制权限比点到点要少,而且网络带宽也是共享的。但分组交换(虚电路)提供了类似专线的网络服务,并且其服务费用的开销一般要比专线低。速率可以从 56kb/s 到 T3(或 E3)或者更高。当 WAN 的连接速率与专线的速率比较接近时,分组交换连接适用于对链路使用率有较高要求的网络应用环境,同时适用于较长时间连接、较大地域范围的应用场合。

3.5 广域网通信网的基础网络

3.5.1 公共电话交换网(PSTN)

公共电话交换网(Public Switch Telephone Network, PSTN)最初是为了语音通信而建立的,从 20 世纪 60 年代开始又用于数据传输。虽然各种专用的计算机网络和公用数据网近年来得到很大的发展,能够提供更好的服务质量和多种多样的通信服务,但是 PSTN 的覆盖面更广,联网费用更低廉,因而在广域网特别是接入网早期的应用中(20 世纪末之前),许多用户仍然通过电话线拨号上网。

公共电话交换网由本地网和长途网组成,本地网覆盖市内电话、市郊电话及周围城镇和农村的电话用户,形成属于同一个长途区号的局部公共网络。长途网提供各个本地网之间的长话业务,包括国际和国内的长途电话服务。

3.5.2 公用数据网(X.25)

1. X.25 网的基本概念

X.25 网出现于 1974 年,它是一种典型的公共分组交换网。当时的传输线路噪声干扰大、误码率高、传输效率低,通信质量不好。考虑到当时的传输线路条件,X.25 网的协议在

设计时重点解决了差错控制、流量控制、拥塞控制等问题,因此带来的问题就是协议复杂。

公共分组交换网在一些国家是由政府部门组建和运营的,而在另一些国家由通信公司来组建和运营。不同的公共分组交换网内部有很大的差别,但它们对外部用户提供的接口都是采用国际标准,即 CCITT 提出的 X.25 建议,也称为 X.25 协议。X.25 建议只规定了以分组方式工作的 DTE 与 DCE 之间接口标准,因此不同的 X.25 网之间的互联是困难的。

早期,很多国家和地区都组建了 X.25 网。典型的公共分组交换网有 TELNET、DATAPAC、TRANSPAC 等。1989 年中国的公共分组交换网 CHINAPAC 开通并投入使用。

2. X.25 协议的层次结构

X.25 网是指采用 X.25 建议规定 DTE 与 DCE 接口标准组建的公共分组交换网。X.25 网传输速率比较低,一般为 64kb/s。图 3-24 给出了 X.25 网的结构示意图。

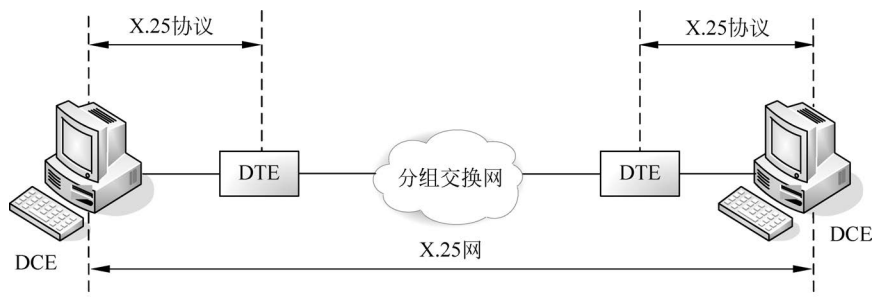


图 3-24 X.25 网的结构示意图

X.25 协议由 3 个层次组成:物理级、数据链路级和网络级。它们分别对应 OSI 参考模型的低 3 层。X.25 的物理级采用 ITU-T 专门制定的 X.21 协议。X.21 协议与早期的物理层协议(如 EIR-232)很类似,因此 X.25 的物理级也支持 EIR-232 协议。

X.25 协议的数据链路级采用平衡链路接入规程 LAPB(Link Access Procedure Balanced)。LAPB 采用了高级数据链路控制规程(HDLC)的帧结构,并且是它的一个子集。LAPB 帧中的控制字段 C 用于 X.25 网的数据链路级的差错控制与流量控制;地址字段 A 用于建立数据链路连接;帧校验字段 FCS 用于 CRC 校验。

ITU-T 专门为 X.25 的网络级规定了分组层协议(Packet Layer Protocol,PLP)。分组层协议负责为 DCE 与 DTE 建立连接、数据包传输与释放连接。由于早期的 X.25 协议只支持数据报工作方式,随着分组交换技术的发展,X.25 协议支持在两个需要进行通信的 DTE 之间建立永久虚电路。X.25 分组级中主要有关于虚电路的逻辑信道组号、逻辑信道号字段与控制字段。控制字段完成网络层的差错控制和流量控制功能。图 3-25 给出了 X.25 协议层次结构示意图。

3.5.3 帧中继网(FR)

1. 帧中继技术发展的背景

随着计算机通信技术的不断发展,数据通信的环境和联网需求也在不断发生变化,这种变化主要表现在以下几方面。

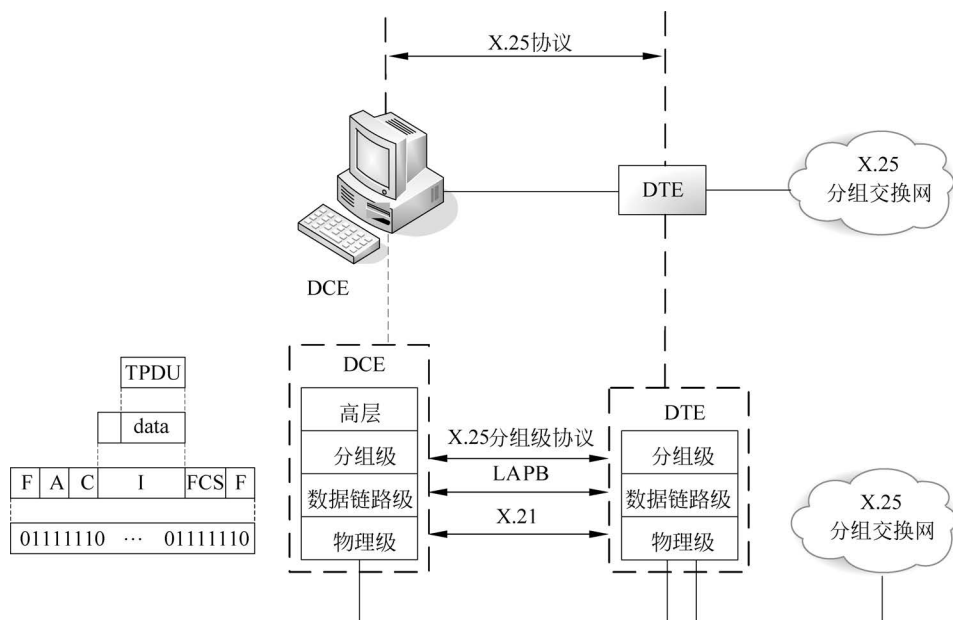


图 3-25 X.25 协议层次结构示意图

- (1) 传输介质由原来的电缆逐步发展到光纤,光纤的误码率很低,数据传输速率很高。
- (2) 局域网的数据传输速率提高很快,多个局域网之间的高速互联需求越来越强烈。
- (3) 用户设备(如微型计算机)性能大大提高,主机可以承担一部分原来是由通信子网承担的通信处理功能。

传统的分组交换网 X.25 协议是建立在原有的速率较低、误码率较高的电缆传输介质之上的。为了保证数据传输的可靠性,X.25 协议包含了差错控制、流量控制、拥塞控制等功能。X.25 协议执行过程复杂,这必然会增大网络传输的时延,降低数据传输的服务质量。显然,这种传统的网络通信协议与机制不能适应网络高速互联的需求。针对这种情况,人们提出了一种建议,在数据传输率高、误码率低的光纤上,使用简单的协议以减少网络传输时延,将必要的差错控制功能交给用户设备来完成,这就产生了帧中继(Frame Relay,FR)技术。

1991 年,第一个帧中继网在美国问世,它可以提供 1.544Mb/s 的数据传输速率,目前,世界各地仍然有部分电信运营商在提供帧中继服务。

2. 帧中继基本原理

帧中继是一种典型的采用虚电路的广域网技术。帧中继的工作原理是建立在帧在光纤上传输基本不会出错的前提之上的。帧中继工作在物理层和数据链路层,流量控制与纠错功能由高层协议完成,具有协议简单、高效、网络吞吐量高、时延短、适用于突发通信的特点。

帧中继交换机只要检测到帧的目的地址,就开始转发该帧,也就是说,一个结点在收到帧的首部之后,就立即开始转发帧。在传统的 X.25 网中,分组通过每个结点时要进行大约 30 次差错检测以及其他的各种处理操作。在一个帧中继网络中,一个帧通过每个结点时大约只需 6 个检测步骤,这将明显减少帧通过结点的时延。实验结果表明,在采用帧中继技术时,每个帧的处理时间比 X.25 网减少一个数量级。

帧中继差错处理方法是,检测到有错误的结点就要立即终止这次传输,当终止传输的指示到达下一个结点后,下一个结点就立即终止该帧的传输,最后该帧就会在网络中消除。在采用这种终止传输方式时,即使出错的帧已到达目的结点,也不会引起不可弥补的损失。源结点可以利用高层协议来请求重发该帧。

3. 帧中继的虚拟租用线路服务方式

帧中继的设计目标主要是针对网络之间的互联,它以面向连接的方式、合理的传输速率与低廉的价格提供数据通信服务。

帧中继的主要思想是提供“虚拟租用线路”服务,实际的租用线路(专线)与虚拟租用线路是不同的。如果用户希望将两个远程网络互联起来,可以通过租用一条线路来实现。但是,对于计算机的突发通信来说,不可能在租用期间一直以最高传输速率在线路上传输数据。租用专线的费用比较高,但是线路的利用率并不高。同时,如果一个网络希望和多个远程网络互联,这时就需要租用多条线路。由于帧中继采用“帧”作为数据传输单元,网络的带宽根据用户的需要,可以采用统计复用的方式来动态分配。因此,帧中继的线路利用率高,用户费用相对较低,用户可以在多个网络之间使用多条虚电路。

4. 帧中继的带宽管理

帧中继是统计复用协议,实现了带宽资源的动态分配,因此它适合为具有大量突发数据(如 LAN)的用户提供服务。但如果某一时刻所有用户的数据流量之和超过可用的物理带宽时,帧中继网络就要实施带宽管理。它通过为用户分配带宽控制参数,对每条虚电路上传送的用户信息进行监视和控制。

帧中继网络为每个帧中继用户分配 3 个带宽控制参数: B_c 、 B_e 和 CIR。同时,每隔 T_c 时间间隔对虚电路上的数据流量进行监视和控制。CIR 是网络与用户约定的用户信息传输速率,即承诺信息速率。如果用户以小于或等于 CIR 的速率传送信息,应保证这部分信息的传送。 B_c 是网络允许用户以 CIR 速率在 T_c 时间间隔传送的数据量,即 $T_c = B_c / CIR$ 。 B_e 是网络允许用户在 T_c 时间间隔内传送的超过 B_c 的数据量。

网络对每条虚电路进行带宽控制,采用如下策略。

在 T_c 内:

- (1) 当用户数据传送量 $\leq B_c$ 时,继续传送收到的帧。
- (2) 当用户数据传送量 $> B_c$ 但 $\leq B_c + B_e$ 时,将 B_e 范围内传送的帧的 DE 比特置“1”,若网络未发生严重拥塞时,则继续传送,否则将这些帧丢弃。
- (3) 当用户数据传送量 $> B_c + B_e$ 时,将超过范围的帧丢弃。

例如,如果约定一条永久虚电路(Permanent Virtual Circuits,PVC)的 $CIR = 128\text{kb/s}$, $B_c = 128\text{kb}$, $B_e = 64\text{kb}$,则 $T_c = B_c / CIR = 1\text{s}$ 。在这一段时间内,用户可以传送的突发数据量可达到 $B_c + B_e = 192\text{kb}$,传送数据的平均速率为 192kb/s ,其中,正常情况下, B_c 范围内出现拥塞时,这些帧也会被送达终点用户,若发生了严重拥塞,这些帧才会被丢弃。 B_e 范围内的 64kb 帧的 DE 比特被置“1”,在无拥塞的情况下,这些帧会被送达终点用户,若发生拥塞,则这些帧会被丢弃。

对 X.25 网与帧中继进行比较后,可以看到以下 3 点区别。

- (1) X.25 协议包括物理层、数据链路层与网络层;而帧中继协议只有物理层、数据链路层,而没有网络层。

(2) X.25 协议有比较完备的差错控制、流量控制机制,而帧中继协议只有有限的差错控制,而没有流量控制,流量控制由高层协议提供。

(3) X.25 协议只能提供数据报和虚电路服务,而帧中继协议可以提供虚拟专网(VPN)服务。

帧中继网可以减少网络互联的代价,提高服务的性能,适用于大数据量的文件与多媒体数据传输,因此当它出现不久,便获得很大的发展。但是帧中继支持 $56\text{kb/s} \sim 2\text{Mb/s}$ 传输速率,最高可以达到 45Mb/s ,因此在组建宽带广域网的主干网时受到一定的限制。

3.5.4 综合业务数字网(ISDN)

1. ISDN 的基本概念

综合业务数字网(Integrated Services Digital Network, ISDN)是自 20 世纪 70 年代发展起来的技术,它提供从终端用户到终端用户的全数字化服务,实现了语音、数据、图形、视频等综合业务的一个全数字化传输方式。与后来提出的宽带(Broadband)ISDN,即 B-ISDN 相对应,因此传统的 ISDN 又称为窄带(Narrowband)ISDN,即 N-ISDN,简称 ISDN。

ISDN 不同于传统的 PSTN 网络。传统的 PSTN 网络中,用户的信息通过模拟的用户环路送至交换机后成为数字信号,经过数字交换和传输网络后到达目的用户,又将还原为模拟信号。ISDN 解决了用户环路的数字传输问题,实现了端到端的数字化传输,并通过这个标准的数字接口,解决各种数字和模拟信息的传递。对于用户而言,同样的一对普通电话线原来只能接一部电话机,而申请了 ISDN 后,通过一个称为 NT 的转换盒,就可以同时使用多个终端。

ISDN 又称“一线通”,即可以在一条线路上同时传输语音和数据,用户打电话和上网可同时进行。ISDN 的出现,对 Internet 的接入技术产生了较大的影响,极大地加快了 Internet 的普及和推广速度。

2. ISDN 的组成

ISDN 的组成包括终端、终端适配器(TA)、网络终端设备(NT)、线路终端设备和交换终端设备。如图 3-26 所示,ISDN 终端分为标准 ISDN 终端(TE1)和非标准 ISDN 终端(TE2)。TE1 通过 4 根数字线路连接到 ISDN 网络。TE2 连接 ISDN 网络要通过 TA。网络终端也分为网络终端 1(NT1)和网络终端 2(NT2)两种类型。图 3-26 中,R、S、T、U 等是 ISDN 组件之间的连接点,称为 ISDN 参考点。

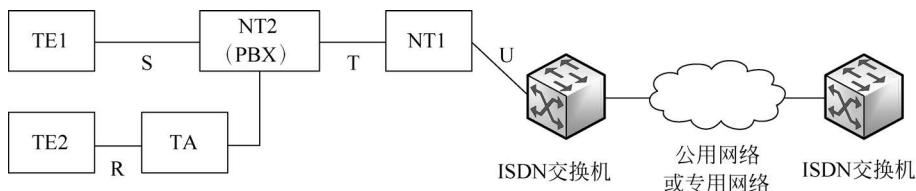


图 3-26 ISDN 的基本组成

(1) 标准 ISDN 终端(TE1): TE1 是符合 ISDN 接口标准的用户设备,如数字电话机、G4 传真机、可视电话终端、带 ISDN 接口的路由器等,接入 S/T 参考点。

(2) 非标准 ISDN 终端(TE2): TE2 是不符合 ISDN 接口标准的用户设备,TE2 需要经过终端适配器(TA)的转换,才能接入 R 参考点。

(3) 终端适配器(TA): 完成适配功能,包括速率适配和协议转换等,使 TE2 能够接入 ISDN。

(4) 网络终端 1(NT1): NT1 是放置在用户处的物理和电气终端装置,属于网络服务提供商的设备,是网络的边界。通过 U 参考点接入网络,采用双绞线,距离可达 1km。

(5) 网络终端 2(NT2): NT2 又称为智能网络终端,如数字 PBX、集中器等。它可以完成交换和集中的功能,通过 T 参考点接入 NT1。T 参考点采用 4 线电缆。如果没有 NT2,此时 S 和 T 可以合在一起,称为 S/T 参考点。

3. ISDN 模型及访问接口类型

1) ISDN 模型

ISDN 是由 ITU-T 制定的一组跨越 OSI 模型的物理层、数据链路层、网络层的标准。

(1) 物理层: 在 ITU-T 的 I. 430 中定义了对 ISDN 基本速率接口(BRI)的物理层规范。在 ITU-T 的 I. 431 中定义了对 ISDN 基群速率接口(PRI)的物理层规范。

(2) 数据链路层: ISDN 的数据链路层规范是以 LAPD 为基础的,在 ITU-T 的 Q. 920 和 ITU-T Q. 921 中作了正式的描述。

(3) 网络层: ISDN 网络层是在 ITU-T Q. 930 和 Q. 931 中定义的。这两个标准结合在一起,描述了用户到用户、电路交换和数据报交换连接的规范。

2) ISDN 访问接口类型

访问接口是用户与 ISDN 服务提供商之间的物理连接。目前有两种不同的访问接口被 ITU-T 的 ISDN 协议所定义。它们分别称为基本速率接口(BRI)和基群速率接口(PRI)。

B 信道是 ISDN 的业务承载信道,通常以数据帧的形式传输语音或数据。而 D 信道是 ISDN 的带外信令信道,主要用于传输电路交换的信令信息,还可以用于传输分组交换数据。

(1) 基本速率接口 BRI。

ISDN BRI 服务提供两个 64kb/s 的 B 信道和一个 16kb/s 的 D 信道,通常表示为 2B+D。ISDN BRI 规定如下。

① 两条 64kb/s 承载信道(B 信道)和一条 16kb/s 的信令信道(D 信道)服务。

② 以 48kb/s 的速率编帧和同步。

③ 总速率包括两条 64kb/s 的 B 信道(合计 128kb/s)和一条 16kb/s 的 D 信道,加上 48kb/s 的编帧和同步,总和为 192kb/s($128+16+48=192$)。

ISDN 网络设计者提供了极大弹性,因为它可以使用两个 B 信道,并且分别传输语音和数据,D 信道用来传送指令以告知电话网络如何处理每一个 B 信道。BRI D 信道的速率为 16kb/s,并且仅能传输控制和信号信息,但是它在某些情况下可以传送数据信息。

(2) 基群速率接口 PRI。

ISDN-PRI 规定如下。

① 23 条或 30 条 64kb/s 的 B 信道。

② 一条 64kb/s 的 D 信道。

③ 编帧和同步占用 8kb/s(北美 T1 标准)或 64kb/s(欧洲 E1 标准)。

④ 总速率为 1.544Mb/s(T1)或 2.048Mb/s(E1)。

在美国和日本一般使用 T1 信号标准。ISDN PRI 服务提供 23 条 B 信道和一条 D 信

道,外加一个编帧和同步信道,所产生的接口总速率为 1.544Mb/s。

在欧洲、澳洲、中国和其他国家,一般使用 E1 的信号标准。它是对应于北美使用的 T1 标准的。ISDN PRI 提供 30 条 B 信道、一条 D 信道,再加一条帧编码控制信道,其接口速率为 2.048Mb/s。

4. ISDN 的应用

除了电话、可视图文、用户电报、可视电话等业务外,ISDN 主要用于接入 Internet。个人用户使用 Internet 接入这项业务主要是利用 ISDN 的远程接入功能,接入时采用拨号方式。企业用户则可以使用 ISDN 作为备份线路,如远程办公室和中心办公室之间的备份线路,这样不但可以防止网络中断,同时还可以分担主干线路的数据流量。

3.5.5 异步传输模式(ATM)

1. ATM 的基本概念

针对前面的 N-ISDN 的不足,提出了一种高速传输网络,这就是宽带 ISDN(Broadband-ISDN, B-ISDN)。B-ISDN 的设计目标是以光纤为传输介质,以提供远远大于基群速率的传输信道,并针对不同的业务采用相同的交换方法,即致力于真正做到用统一的方式来支持不同的业务。为此,异步传输模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)被提了出来。

现在 ATM 作为关键技术被保留了下来并成为高速广域网传输技术的基础。

ATM 技术综合了电路交换的可靠性与分组交换的高效性,借鉴了两种交换方式的优点,采用了基于信元的统计时分复用技术。

信元(cell)是 ATM 用于传输信息的基本单元,其采用 53 字节的固定长度。其中,前 5 字节为信头,载有信元的地址信息和其他一些控制信息,后 48 字节为信息字段,装载来自各种不同业务的用户信息。固定长度的短信元可以充分利用信道的空闲带宽。信元在统计时分复用的时隙中出现,即不采用固定时隙,而是按需分配,只要时隙空闲,任何允许发送的单元都能占用。所有信元在底层采用面向连接方式传输,并对信元交换采用硬件实现并行处理,减少了结点的时延,其交换速度远远超过总线结构的交换机。

2. ATM 网络的组成和主要特点

ATM 网络系统由 ATM 业务终端、复用、交换机、传输等部分组成,其结构如图 3-27 所示。



图 3-27 ATM 网络的组成

其中,ATM 交换机是 ATM 网络的核心,它采用面向连接的方式实现信元的交换。

ATM 的主要特点如下。

- (1) ATM 是以面向连接的方式工作的,大大降低了信元丢失率,保证了传输的可靠性。
- (2) 由于 ATM 的物理线路使用光纤,误码率很低。
- (3) 短小的信元结构使得 ATM 信头的功能被简化,并使信头的处理能基于硬件实现,从而大大减少了处理时延。

(4) 采用短信元作为数据传输单位可以充分利用信道空闲,提高了带宽利用率。总之,ATM 的高可靠性和高带宽使得其能有效地传输不同类型的信息,如数字化的声音、数据、

图像等。

ATM 论坛定义的物理层接口有 SDH STM-1、SDH STM-4、SDH STM-16,其数据传输速率分别可达 155.52Mb/s、662.08Mb/s、2488.32Mb/s。对应于不同信息类型的传输特性,如可靠性、延迟特性和损耗特性等,ATM 可以提供不同的服务质量来适应这些差别。

3. ATM 在广域网主干网中的应用

ATM 技术在保证传输的实时性与 QoS 方面的优势是 20 世纪 90 年代传输网络技术的一个重要突破。但是它没有像设计者预期的那样,将取代广域网、城域网和局域网,甚至取代电信网,成为“一统天下”的网络技术,其原因也很简单,一是造价和使用费用昂贵,二是它的协议与已经广泛流行的 IP 协议、IEEE 802.3 协议不一致。用异构、造价昂贵的 ATM 技术去取代计算机网络和电信网络是不现实的,而与 IP 网络紧密结合,各自发挥自己的特长是一条可行之路。因此,20 世纪 90 年代后期 ATM 网络广泛应用于广域网,成为 Internet 的核心交换网的一个重要组成部分。

3.5.6 数字数据网(DDN)

数字数据网(Digital Data Network,DDN)是利用数字信道传输数据信号的数据传输网,它主要向用户提供端到端的数字型数据传输信道。它基于同步时分复用、电路交换的基本原理实现,既可以用于计算机远程通信,也可以传送数字化传真、数字语音、图像等各种数字化信息。

因为原有通信网的模拟信道主要是为传输语音信号而设置的,它通信效率低、可靠性差,很难满足日益增长的计算机通信用户和其他数字传输用户的要求。所以,DDN 利用数字信道传输数据信号与传统的利用模拟信道相比,具有传输质量高、速率快、带宽利用率高等一系列优点。

DDN 向用户提供的是半永久性的数字连接,沿途不进行复杂的软件处理,因此时延较短。DDN 半永久性连接是指 DDN 提供的信道是非交换型的,用户可以提供申请,在网络允许的情况下,由网络管理人员对用户提出的传输速率、传输数据的目的地和传输路由进行设置。

DDN 能够利用的传输媒介有光缆、数字微波、卫星信道及双绞线。目前 DDN 能够提供的业务如下:提供 2.4、4.8、9.6、19.2、 $n \times 64\text{kb/s}$ ($n=1 \sim 31$) 等不同速率的点对点、点对多点的通信,提供各种可用度高、时延小、定时、多点等专用电路服务,此外还可提供帧中继、语音/G3 传真及虚拟专用网等服务。

DDN 的网络结构一般由数字传输电路和相应的数字交叉连接复用设备组成。数字传输电路主要以光缆传输为主,数字交叉连接设备对数字电路进行半固定交叉连接和子速率的复用。

接入 DDN 网的用户端设备称为数据终端设备(DTE),可以是局域网,通过路由器连接至对端,也可以是一般的异步终端或图像设备,以及传真机、电传机、电话机等。两个 DTE 之间是全透明传输。

我国公用 DDN 骨干网可以提供局间的物理传输通路,其传输速率为 64kb/s 和 9.6kb/s,其接口标准应符合 ITU-T G.703、V.24、V.35、X.21 等协议。

目前,随着光通信技术的日益发展,采用光骨干网甚至光纤直接接入用户的接入技术越来越普遍,传统的采用两芯电缆(类似电话线)的 DDN 接入被应用得越来越少,但是,DDN 技术的思想被光通信技术普遍继承,其技术实现几乎和传统的 DDN 技术如出一辙,所以,如今也将很多光接入技术归纳为 DDN 的范畴,可以说这是 DDN 技术的新发展。

传统的以两芯电缆接入的 DDN 技术目前应用已经很少,该技术主要为企业提供光通信无法提供的低于 2Mb/s 带宽的广域网接入。尽管 DDN 也可以提供 Internet 的接入能力,但是一般还是只把它作为 Intranet 的接入技术来使用。

DDN 专线技术已经发展了很多年,在我国,它的鼎盛时期在 20 世纪 90 年代,随着新的接入技术的出现,DDN 技术已经有些过时。但是在特殊情况下,偶尔还会应用 DDN 技术,尤其是在建立带宽小于 2Mb/s 的 Intranet 专线时。

3.5.7 同步光纤网(SONET)和同步数字体系(SDH)

1. SONET 和 SDH 的发展过程

在光纤使用的早期,每个电话公司都有自己私有的光纤 TDM 系统,并且各个 TDM 标准不同。B-ISDN 是以光纤作为其传输干线的,实现 B-ISDN 的重要问题是对传输速率进行标准化。1988 年,美国国家标准 ANSI 的 T1.105 和 T1.106 定义了光纤传输系统的线路速率等级,即同步光纤网(Synchronous Optical Network,SONET)标准。SONET 定义了 4 个光接口层:光子层(Photonic Layer)、数字断层(Section Layer)、线路层(Line Layer)与路径层(Path Layer),同时定义了从 51.840~2488.320Mb/s 的传输速率标准体系,其基本速率(Synchronous Transport Signal-1,STS-1)是 51.840Mb/s。同步网络的各级时钟都来自一个精度为 $\pm 1 \times 10^{-11}$ 量级的铯原子钟。

ITU-T 在 SONET 的基础上制定出同步数字体系(Synchronous Digital Hierarchy,SDH)的国际标准。SDH 标准不仅适用于光纤传输系统,也适用于微波与卫星传输体系。SONET/SDH 标准已被推荐为 B-ISDN 的物理协议,也是新一代理想的传输网体系。

SONET 和 SDH 的发展经历了以下 3 个过程。

(1) SONET 的概念由美国贝尔通信研究所在 1985 年首先提出。设计 SONET 的目的是解决光接口标准规范问题,定义同步传输的线路速率的等级体系,以便不同厂家的产品可以互联,从而能够建立大型的光纤网络。

(2) 1986 年,CCITT(现 ITU-T)接受了 SONET 的概念,并于 1986 年 7 月成立了第 18 研究组,开始了同步数字体系 SDH 的研究工作,使它成为通用性技术体制。

(3) 1988 年 ITU-T 第 18 研究组通过了有关 SDH 的 3 个建议,并在 1989 年 ITU-T 的蓝皮书上正式登载,它们是 G.707(同步数字体系的比特速率)、G.708(同步数字体系的网络结点接口)、G.709(同步复用结构),对 SDH 的速率、复用帧结构、复用设备、线路系统、光接口、网络管理和信息模型等进行了定义,从而确立了作为国际标准的 SDH。1992 年,ITU-T 又增加了十几个建议书,从而出现了国际统一的通信传输体制与速率、接口标准。

2. 基本速率标准制定

在数据通信研究的初期曾经出现多种速率标准,有的目前仍然在使用。在系统讨论 SDH 速率之前需要回顾一下这些标准制定的条件和背景。

(1) T1 载波速率。

T1 载波速率是针对脉冲编码调制 PCM 的时分多路复用 TDM 设计的。北美的 T1 系统将 24 路音频信道复用在一通信线路上。每路音频模拟信号通过 PCM 编码器时,编码器每秒钟采样 8000 次。24 路 PCM 信号轮流将 1B(8b)插入帧中,其中 1B 中 7b 为数据位,1b 为信道控制。

那么,每帧由 $24 \times 8 = 192\text{b}$ 组成,附加 1b 作为帧开始标志,因此每帧共有 193b,发送一帧需要时间为 $125\mu\text{s}$ 。T1 载波的数据传输速率为

$$T1 = (24 \times 8 + 1) / 125 \times 10^{-6} = 1.544\text{Mb/s}$$

(2) E1 载波速率。

由于历史原因,脉冲编码调制 PCM 除了北美的 24 路 T1 载波外,还存在着另一个不兼容的速率标准,即欧洲的 30 路 PCM 的 E1 载波(E1 Carrier),也称为 E1 的一次群速率。

E1 的标准是 CCITT 标准。E1 标准将 30 路音频信道和两路的控制信道复用在一通信线路上。每个信道为 1B(8b),这样一帧要传输的数据总共为 $256\text{b}(32 \times 8\text{b})$ 。传送一帧的时间为 $125\mu\text{s}$ 。E1 载波的数据传输速率为

$$E1 = (32 \times 8) / 125 \times 10^{-6} = 2.048\text{Mb/s}$$

(3) STM-1 速率。

STM-1 帧是一个块状结构,每行 270B,共 9 行,每秒钟发送 8000 帧。因此,STM-1 的传输速率为

$$\text{STM-1} = (270 \times 9 \times 8) / 125 \times 10^{-6} = 155.520\text{Mb/s}$$

3. SDH 速率体系

在实际使用中,SDH 速率体系涉及 3 种速率,即 SONET 的 STS 与 OC 速率标准,以及 SDH 的 STM 标准,如表 3-8 所示。它们之间的区别有以下几点。

- (1) STS 定义的是数字电路接口的电信号传输速率。
- (2) OC 定义的是光纤上传输的光信号速率。
- (3) STM 标准是电话公司为国家之间的主干线路的数字信号规定的速率标准。

表 3-8 SONET 的 STS 级、OC 级与 SDH 的 STM 级的速率对应关系

SONET		SDH	数据传输速率(Mb/s)
电子的	光的	光的	
STS-1	OC-1		51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-9	OC-9	STM-2	466.56
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-18	OC-18	STM-6	933.12
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28

STS-1 对应的是 810 路语音电话线路。以此类推,STS-3 对应 2430 路,STS-12 对应

9720 路, STS-24 对应 19440 路, STS-48 对应 38880 路。

1988 年, 美国国家标准协会 ANSI 通过了最早的两个 SONET 的标准, 即 ANSI T1.105 与 ANSI T1.106。T1.105 为使用光纤传输系统定义了线路速率标准的等级结构, 它是 以 51.840Mb/s 为基础的, 大致对应 T3、E3 的速率, 称为第一级同步传输信号 STS-1, 其对应的 光信号称为第一级光载波 (Optical Carrier-1, OC-1), 并定义了 8 个 OC 级速率。T1.106 定义了光接口标准, 以便实现光接口的标准化。

SDH 信号中最基本的模块是 STM-1, 其速率为 155.52Mb/s。更高等级的 STM- n 是 将 STM-1 同步复用而成。4 个 STM-1 构成 1 个 STM-4 (622.08Mb/s), 16 个 STM-1 构成 一个 STM-16 (2488.32Mb/s, 即 2.5Gb/s), 64 个 STM-1 构成一个 STM-64 (约为 10Gb/s, 相当于大约 12 万条话路)。

4. SDH 网络拓扑结构与自愈环结构

1) SDH 网络拓扑结构

按照计算机网络对拓扑的定义, 应用 SDH 技术组建的网络包括链状、星状、环状与网 状拓扑结构。树状拓扑结构可以由星状拓扑结构级联而成。

(1) 链状拓扑结构。在链状拓扑结构中, 所有转发器串联。这种拓扑结构的优点是结 构简单、经济, 在 SDH 网的早期用得比较多, 主要用于专网。

(2) 星状拓扑结构。在星状拓扑结构中, 有一个转发器的位置处于中心, 其他转发器都 与它连接。这种拓扑结构的优点是结构简单, 但是中心转发器是 SDH 网的安全与性能瓶 颈。星状拓扑结构主要用于接入网。

(3) 环状拓扑结构。在环状拓扑结构中, 转发器首尾相连, 构成一个闭合的环状结构。

(4) 网状拓扑结构。网状拓扑结构通常会出现 SDH 技术构建的大型广域网中。网 状拓扑结构的系统可靠性好, 但是造价高, 系统结构复杂。

SDH 网采用的最佳物理拓扑为环状结构, 也是应用最多的一种拓扑结构。采用双环 连接, 环可在任何两个点之间提供可选的两条路径。一旦线路或交换结点出现故障, 能自动地 快速重新选择路由, 提供系统的安全性和可靠性。

2) 自愈环结构

随着光纤传输容量的不断增加, 传输网络的可靠性变得越来越重要, 如果传输光缆被切 断, 如施工过程中挖断光缆, 会导致同一缆芯内的所有光纤的数据传输全部中断, 因此依靠 传统的系统备用方式已不能满足网络的可靠性需求。SDH 网采用了自愈网 (Self-Healing Network) 的方案。自愈网是指不需要人为干预, 网络就能在极短的时间内从失效故障中自 动恢复所承载的业务, 使用户不会感到网络已经出现故障。自愈网的基本原理是使网络具有发现替代传输 路由, 并重新确立通信的能力。

符合自愈网结构与功能特征的环网 SDH 网也称为自愈环。自愈环是由首尾相连的数字交叉连接设备 或复/分用器设备组成, 这种方式的特点是结构简单, 可以灵活地安排业务, 恢复业务的时间短。图 3-28 给 出了 SDH 的自愈环结构示意图。在正常情况下, 数据 可以同时沿着两个方向传送, 结点对两个方向收到的

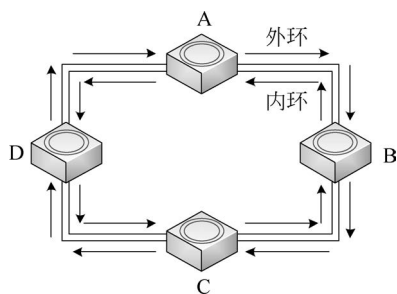


图 3-28 SDH 的自愈环结构示意图

数据均认为有效,只需确定一个为主用、另一个为备用。

如果图 3-29(a)所示的结点 B 出现了故障,那么 SDH 的自愈环的结点 A 与结点 C 立即检测出故障的发生,并且启动转换开关,形成新的闭合环路,在剩下的结点之间继续数据的传送。如果图 3-29(b)中所示的光缆被切断,那么 SDH 的自愈环的结点 B 与结点 C 立即检测出故障的发生,并且启动转换开关,形成新的闭合环路,在剩下的结点之间继续数据的传输。

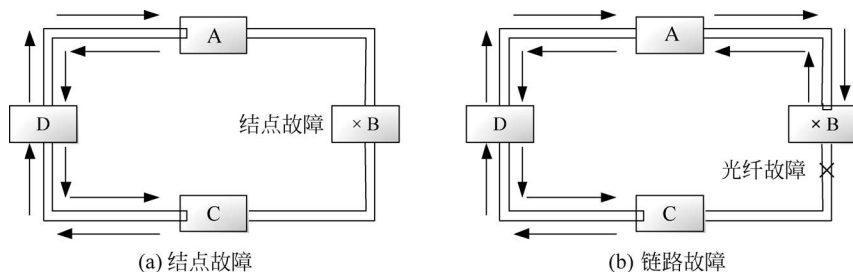


图 3-29 SDH 的自愈环工作原理示意图

SDH 网作为一种全新的传输网体制,它通过 STM-1 统一了 T1 载波与 E1 载波这两种不同的数字速率体系,使得数字信号在传输过程中不再需要转换标准,真正实现了数字传输体制上的国际性标准。SDH 采用同步复用方式,各种不同等级的码流在帧结构负荷中的排列有规律,并且净负荷与网络是同步的,因此只需利用软件即可使高速信号一次直接分离到低速复用的支路信号,这样就降低了复用设备的复杂性。SDH 帧结构增加了网络管理字节,有效地增加了网络的管理能力,同时通过将网络管理功能分配到网络组成单元,可以实现分布式传输网络的管理。标准的开放型光接口可以在基本光缆段上实现不同公司光接口设备的互联,这样就可以大大降低组网成本。同时,SDH 的自愈环能够在 50ms 内发现故障,自动从故障中恢复传输。这些特点决定了 SDH 网是一种理想的广域网物理传输平台。

3.6 宽带接入技术

3.6.1 接入网的基本概念

电信网络的接入段通常被形象地称为“最后一公里”。最初,这仅仅指电话接入端局连接到用户终端的各种线缆及其附属设施,在电话网中,又称为用户线或本地环路。长期以来,这些用户线是电话网接入用户的专用设施,使得电话网成为一个封闭的网络。

20 世纪 70 年代中后期,电信运营商和国际通信标准化组织为了改变这种情况,于 1975 年和 1978 年在苏格兰格拉斯哥举行了两次 CCITT 研讨会,英国著名的电信运营商 BT (Britain Telecommunication, 英国电信)在第一次会议上首次提出接入网组网的概念以降低接入网段的线路投资,在第二次会议上正式肯定这种组网方式,并命名为“接入网组网”技术。1978 年,BT 向 CCITT 正式提出接入网组网概念并得到认同,1979 年 CCITT 以 RSC (Remote Subscriber Concentrator, 远端用户集线器)命名这类设备并进行了框架性描述,接入网正式诞生。

20 世纪 80 年代到 90 年代,接入网的发展并不顺利,其间制定了接入网的接口规范——V1~V5 系列建议,并进一步对接入网进行了更为准确的界定。20 世纪 90 年代以来,电信技术的快速发展和电信市场的开放冲击了电信业的技术保守和市场垄断,其间 ITU 制定了接入网的宽带接口标准——VB5 系列建议和接入网的总体标准——G. 902,接入网进入正常发展期。20 世纪 90 年代中后期,在 Internet 成功的巨大冲击下,产生了 NII (National Information Infrastructure, 国家信息基础设施)和 GII (Global Information Infrastructure, 全球信息基础设施)概念,ITU 也将 GII 概念和 IP 技术引入电信网络。2000 年,ITU 制定了 IP 接入网的总体标准——Y. 1231,通信技术百花齐放,宽带接入技术的发展风起云涌,接入网进入快速发展期。随着 G. 902 标准和 Y. 1231 标准的实施及 VB5 接口和多种宽带接入技术的应用,接入网不再是某种型号程控交换机的附属设施,它正在摆脱电话网的束缚,为泛通信网(广义的通信网络)提供通用的、普适的接入服务,成为一个完整的、相对独立的、可以提供多种类型接入服务的重要网络部分,成为现代通信网络的两大部分(核心网、接入网)之一。

这里介绍一下“宽带”技术。“宽带接入”源自电视网络运营商,其在 CATV 系统的 6.5MHz 宽带上采用电缆调制解调器(Cable Modem, CM)接入互联网,由于当时流行的“拨号上网”是一个典型的窄带系统,带宽只有 3kHz,CM 当然是名副其实的宽带。随着宽带技术的出现,电信运营商也在积极提高电话线接入网络的速度,此时出现了一系列用户数字线路技术 xDSL(包括最著名的 ADSL 技术),大大提高了电信网络接入服务的范围和程度。2004 年 6 月,以太网接入标准 IEEE 802. 3ah 正式发布,以太网技术进入了住宅、小区等接入网络的场合。随着 WLAN、4G、5G 网络的应用,无线接入技术迎来了巨大的发展机遇。

接入技术按照其采用的不同的技术分为不同的类型。

按照是否有线缆连接可以分为有线接入和无线接入两种类型;按照用户的类型不同可以分为个人与家庭用户接入、校园网接入、企业网接入及 ISP 服务商接入等类型;按照接入技术可以分为 N-ISDN 接入、B-ISDN 接入、xDSL 接入、无线和卫星接入(含 Ad hoc 接入、4G/5G 接入等)、CATV 接入、电力线接入、LAN/WAN 接入,以及 PON、SDV、HFC 和其他光系统接入。

表 3-9 列出了接入技术的类型及采用的技术与标准。

表 3-9 接入技术的类型及采用的技术与标准

接入类别	接入方式	采用的技术和标准
有线接入	电信电话网接入	窄带拨号 Modem 技术
		xDSL 技术
	电信专网接入	DDN 数字专线
		F/R 帧中继
	有线电视网接入	CABLE Modem 技术
	以太网接入	IEEE 802. 3 标准
无线接入	光纤接入	PON/EPON/SDV 技术
	无线局域网接入	IEEE 802. 11 标准
	无线城域网接入	IEEE 802. 16 标准
	移动电话网接入	GPRS/3G/4G/5G 技术
	Ad hoc 接入	IEEE 802. 11 标准

在这些接入技术中,最为常用的为 xDSL 接入(以 ADSL 为主)、LAN/WAN 接入和无线接入等。其中,采用 IEEE 802.3 标准的局域网/城域网接入技术与本书后面所介绍的以太网技术并无多大区别,因此此处不再赘述,仅需提及的是在采用以太网接入中,为了提高接入网供电的可靠性,接入设备可以采用以太网远端馈电技术(Power over Ethernet,PoE)进行供电。而有线电视网接入由于目前应用不多,此处不做介绍。

3.6.2 拨号接入技术

使用话带 Modem 是接入网技术中应用最早、最成熟的一种技术。后来随着 Internet 应用的扩展,对接入带宽提出了更高的要求,便出现了 ISDN 拨号接入技术。

1. 话带 Modem 拨号接入技术

Modem 即调制解调器,其主要作用是将计算机的数字信号转换成模拟信号以便电话线上传输。Modem 的种类很多,有基带的、宽带的、有线的、无线的、音频的、高频的、同步的和异步的,其中曾经最常用的是利用电话线作为传输介质的音频 Modem,也称话带 Modem。

基于 PSTN 的 Modem 拨号接入是一种简单、便宜的接入方式。用户需要事先从 ISP (Internet Service Provider,因特网服务提供商)处得到拨叫的特服号码、登录用户名和登录口令,经过拨号、身份验证之后,通过 Modem 和模拟电话线,再经 PSTN 接入 ISP 网络,在网络侧的拨号服务器上动态获取 IP 地址,从而接入 Internet。图 3-30 给出了典型的通过 PSTN 拨号接入 Internet 的应用示意图。

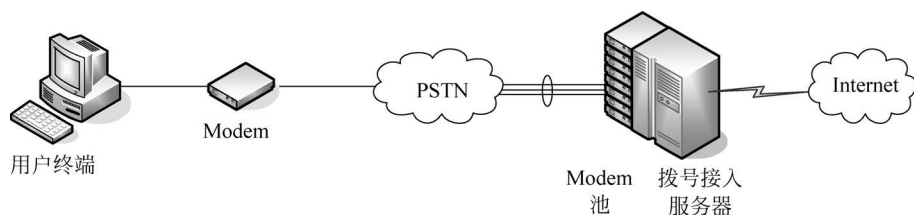


图 3-30 PSTN 拨号接入 Internet 的应用示意图

用户拨号入网通常采用的链路协议为 PPP(Point to Point Protocol,点到点协议)。当用户拨号与接入服务器成功建立 PPP 连接时,通常会得到一个动态 IP 地址。在 ISP 的拨号服务器中存储了一定数量的空闲 IP 地址,一般称为 IP 地址池。当用户拨通拨号服务器时,服务器就从“池”中选出一个 IP 地址分配给用户的计算机,这样用户的计算机就有了一个全球唯一的一个 IP 地址,此时,用户计算机就成为 Internet 的一个站点。当用户下线后服务器就收回这个 IP 地址,以备下次分配使用。

调制解调技术是 Modem 的核心技术。Modem 的基本调制方法有 3 种: 振幅键控 ASK、移频键控 FSK 和移相键控 PSK。随着对数据传输速率的要求不断提高,正交移相键控 QPSK、正交幅度调制 QAM 等调制技术逐渐应用到 Modem 中,使得 Modem 的数据传输速率得到了很大的提高。

为了保证各厂商生产的 Modem 采用相同的协议连接通信,ITU-T 颁布了一系列的建议,以保证不同厂家、不同型号的 Modem 之间彼此相互兼容、相互连接。表 3-10 列出了 Modem 的主要系列标准。

表 3-10 Modem 的主要系列标准

协议名称	协议内容
V.21	300b/s 全双工通信协议
V.22	600b/s 和 1200b/s 半双工通信协议
V.22bis	1200b/s 和 2400b/s 全双工通信协议,可以与 V.22 Modem 通信
V.32	4800b/s 和 9600b/s 全双工通信协议
V.32bis	将 V.32 标准扩充到 7200b/s、12kb/s 和 14.4kb/s
V.34	33.6kb/s,同步/异步、全双工通信协议
V.90	56kb/s 数据传输标准(上行 33.6kb/s,下行 56kb/s)
V.92	缩短 Modem 建立连接的时间,上行速率从 33.6kb/s 提高到 48kb/s,下行保持 56kb/s,增加 V.44 压缩和 modem-on-hold 功能
V.42bis	规定了 Modem 的 LAPM(Link Access Procedure for Modem,链路接入规程),具有差错控制和数据压缩功能。V.92 Modem 支持 V.42bis

由表 3-10 可知,话带 Modem 的发展是一个从低速到高速的过程。早期的话带 Modem 一般采用分立元件实现,传输速率低。20 世纪 70 年代后期,随着 LSI 和数字信号处理技术的发展,特别是自适应均衡技术和回波抵消技术的引入,Modem 的传输速率和质量有了很大的提高。进入 20 世纪 80 年代后,由于数字信号处理器 DSP 的发展,更重要的是 TCM(网格编码调制)技术的引入,使话带 Modem 的传输速率进一步提高,当时 Modem 的 56kb/s 的传输速率几乎已经是话带所能达到的极限速率。尽管可以通过更为密集的网格编码技术在理论上将信号调制到更高的速率,但由于噪声的影响和带宽的限制,实际通信的速率反而会变得更低。

2. ISDN 拨号接入技术

ISDN 是由电话综合数字网(IDN)发展而来的,是数字交换和数字传输结合的产物。ISDN 实现了用户线的数字化,提供端到端的数字连接,相比电话拨号其传输质量提高很多。

ISDN 拨号接入应用模型如图 3-31 所示,ISDN 的设备分为网络终端 1(Network Terminal 1,NT1)、终端适配器(TA)和 ISDN 卡 3 种。

NT1 是用户传输线路的终端装置。它是实现在普通电话线上进行数字信号传送和接收的关键设备。该设备安装于用户处,是实现 N-ISDN 功能的必备硬件。网络终端分为基本速率 NT1 和一次群速率 NT1 两种。

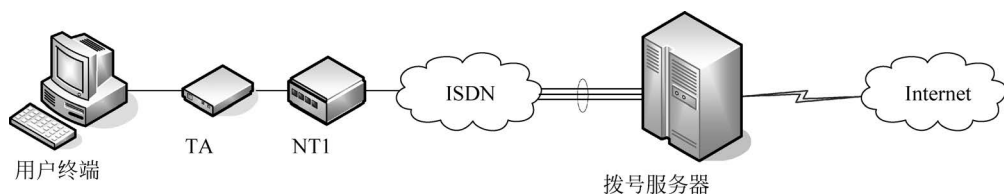


图 3-31 ISDN 拨号接入应用模型

NT1 提供了 U 接口和 S/T 接口间物理层的转换功能,使 ISDN 用户可以在原有的电话线上通过 NT1 提供的接口直接接入标准 ISDN 设备。NT1 向用户提供 2B+D 两线双向传输能力,它能以点对点的方式支持最多 8 个终端设备接入,可使多个 ISDN 用户终端设备合用一个 D 信道。

TA 是将传统数据接口如 V. 24 连接到 ISDN 线路,使那些不能直接接入 ISDN 网络的非标准 ISDN 终端与 ISDN 相连接。它支持单台 PC 上网,还可以连接多个如普通模拟电话、G3 类传真机、调制解调器等设备进行通信。

ISDN 卡一般安装在计算机的扩展槽中,将计算机连接到 NT1。

ISDN 提供两种类型的接口:基本速率接口(BRI)和基群速率接口(PRI)。

BRI 是电信局向普通个人用户提供的接口,即 2B+D。BRI 可以在一对双绞线上提供两个 B 通道(每个 64kb/s)和一个 D 通道(16kb/s),D 通道用于传输信令,B 通道则用于传输话音、数据等,所以总速率可以达到 144kb/s。由于一路电话只占用一个 B 通道,因此可以同时进行通话和上网,所以这种线路曾称为“一线通”。

PRI 分为 30B+D($30 \times 64\text{kb/s} + 64\text{kb/s}$,欧洲标准)和 23B+D($23 \times 64\text{kb/s} + 64\text{kb/s}$,美国/日本标准)两种,用于需要传输大量数据的应用,如企业网接入 Internet、LAN 互联等。

3.6.3 xDSL 体系结构

DSL(Digital Subscriber Line,数字用户线)是铜缆接入技术的一系列用户数字线技术的总称。xDSL 是美国贝尔通信研究所于 1989 年为推动视频点播(VOD)业务开发出的用户线高速传输技术,它以大量部署的电信基础设施为基本出发点,解决了用户设备如何高速(相比当时的窄带电话拨号接入和 ISDN 接入)接入骨干网络的问题,即通常所说的“最后一公里”问题。

1. xDSL 的类型和特点

DSL 技术通常可以分为速率对称型和速率非对称型两种。

速率对称型 DSL 技术包括 HDSL(High-bit-rate Digital Subscriber Line,高速数字用户线)、SDSL(Single line Digital Subscriber Line,单线路数字用户线)、IDSL(ISDN line Digital Subscriber Line,ISDN 数字用户线)。

速率非对称型 DSL 技术包括 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line,非对称数字用户线)、VDSL(Very-high-speed Digital Subscriber Line,甚高速数字用户线)、VADSL(Universal Asymmetric Digital Subscriber Line,通用非对称数字用户线)、RADSL(Rate adaptive Asymmetric Digital Subscriber Line,速率自适应非对称数字用户线)、CDSL(Consumer Digital Subscriber Line,消费者数字用户线)。

所谓速率对称,是指上行速率与下行速率相同,而速率非对称则上、下行速率不相同,一般下行速率大于上行速率。由于互联网接入中下行带宽的需求一般大于上行带宽,因此,速率非对称型 DSL 很适合 Internet 高速接入。表 3-11 给出了主要的 xDSL 线路的下行、上行速率参数。

表 3-11 主要的 xDSL 线路的下行、上行速率参数

xDSL	下行、上行速率(距离 5.5km)	下行、上行速率(距离 3.6km)	线对数(对)
ADSL	1.5Mb/s、64kb/s	6Mb/s、640kb/s	1
HDSL	1.544Mb/s(对称)	1.544Mb/s(对称)	2
VDSL	51Mb/s、2.3Mb/s	51Mb/s、2.3Mb/s	2
RADSL	1.5Mb/s、64kb/s	6Mb/s、640kb/s	1

不同的 DSL 技术在速率、使用带宽、应用环境等方面都不一样,如 HDSL 一般不用于用户接入,要占用话音频带,不能实现数话同传;而 ADSL、IDSL 等常用于用户接入,不占用话音频带,通过频分复用技术与传统的模拟语音传输系统(Plain Old Telephone Service, POTS)的业务共存。

与其他的宽带技术相比,xDSL 技术的优势主要表现在以下几点。

- (1) 能够提供足够的带宽以满足人们对于多媒体网络应用的需求。
- (2) 与拨号网络相比,性能和可靠性更高。
- (3) 利用现有的电话线,能够平滑地与现有的网终进行连接,是比较经济的接入方式之一。

2. 接入结构

在所有的 DSL 技术中,应用最广泛的是 ADSL。图 3-32 就是以 ADSL 为例,说明了 DSL 接入的体系结构,其他的 DSL 接入结构与此有细微差别。

其中 DSLAM(DSL Access Multiplexer)表示 DSL 接入复用器,ATU-R 表示 ADSL 远端传输单元,ATU-C 表示 ADSL 局端传输单元。

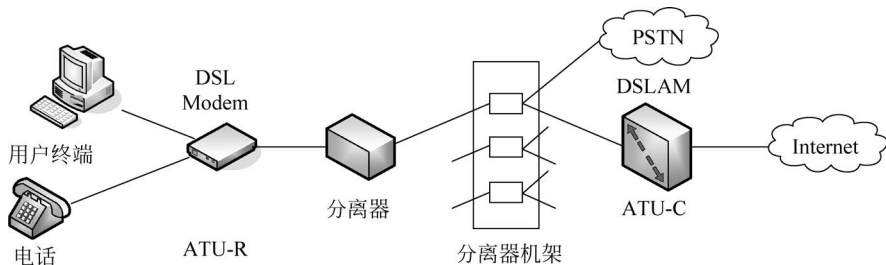


图 3-32 ADSL 接入系统结构图

3. 调制技术

xDSL 调制解调器利用高于话带的高频信道进行数据的传输,因此必须使用更加先进的调制技术。xDSL 采用的调制/解调技术主要有 2B1Q(2 Binary 1 Quaternary,2 个二进制 1 个四进制编码)、QAM(Quadrature Amplitude Modulation,正交幅度调制)、CAP(Carrierless Amplitude/Phase Modulation,无载波幅度/相位调制)、DMT(Discrete Multi-Tone,离散多音调制)。

下面重点介绍非对称数字用户线(ADSL)技术,ADSL 最初是由 Intel、Compaq Computer、Microsoft 成立的特别兴趣组(SIG)提出的,如今,这一组织已经包括了大多数主要的 ADSL 设备制造商和网络运营商。

图 3-33 给出了一个住宅使用 ADSL 的结构示意图。

ADSL 主要的技术特点表现在以下三方面。

- (1) 它可以在现有的用户电话线上通过传统的公用电话交换网(PSTN),在原有模拟电话频段以上的更高频段,以重叠和不干扰传统模拟电话业务的方式,提供高速数字业务。因此,ADSL 允许用户保留他们已经申请的模拟电话业务,也可以同时支持单对用户电话线上的数据业务。数据业务可以是 Internet 在线访问、远程办公、视频点播等。

- (2) 该技术几乎和本地环路的实际参数没有什么关系,因此与所使用的用户电话线的特性无关,用户也不需要专门为获得 ADSL 服务而重新敷设电缆。

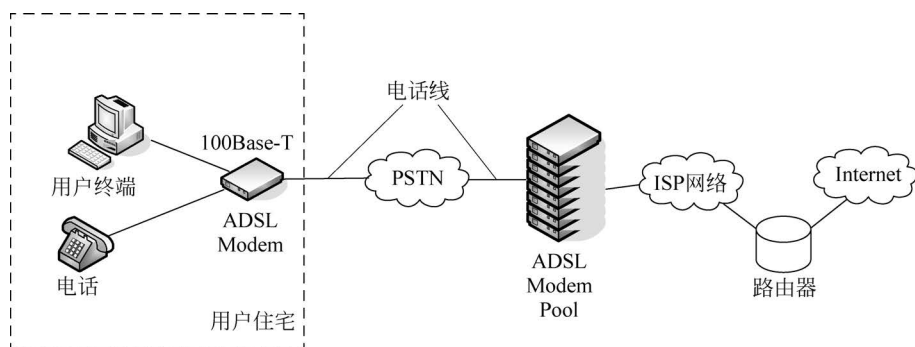


图 3-33 住宅使用 ADSL 的结构示意图

(3) ADSL 技术提供的非对称带宽特性,上行速率 $64\sim 640\text{kb/s}$,下行速率 $500\text{kb/s}\sim 7\text{Mb/s}$,很适合 Internet 访问的需要。

传统的 ADSL 在用户住宅内需要安装无源分离器,将电话业务和数据业务进行分离,这种方式成本高、安装复杂,针对这些缺点,人们研究开发出了一种轻便经济型的非对称数字用户线,即 ADSL-Lite,又可以称为“通用型非对称数字用户线(U-ADSL)”,国际电信联盟(ITU)称为 G. Lite,它支持下行速率为 $64\text{kb/s}\sim 1.5\text{Mb/s}$,上行速率可达 $32\sim 512\text{kb/s}$,因为无须使用电话分制器,所以使用 and 安装更为方便。

3.6.4 光纤接入技术

1. 光纤接入技术的特点

随着用户业务量的日益增长和业务种类的不断变化,新业务的高性能需要与之相适应的高性能接入技术。从介质上来看,不同的介质有不同的特点,能满足不同的要求。拨号电话线接入可以无须重新布线,接入方便;无线接入能满足用户自由接入的需要;而光纤作为一种性能优越的有线传输介质,在接入网中越来越被重视。

光纤的优越性体现在多个方面。与同轴电缆和双绞线相比,光纤的理论带宽几乎是无限的。光纤中信号传输时衰减很小,利用光纤无须中继就能实现信号的远距离传输。一般光纤传输系统的中继距离可达 100km 以上,而 T1 线路的中继距离为 1.7km ,同轴(粗)电缆的中继距离只有 500m 。另外,光纤的保密性好、盗接线头困难、不易窃听,抗电磁干扰能力和抗腐蚀能力较铜缆强很多,工作寿命也长,因此,采用光纤技术的接入网即光接入网(Optical Access Network,OAN)是目前应用最多的接入网络。

随着网速需求的不断提高,光接入网引入了 10G PON/50G PON、WiFi6 FTTR 等技术,来提升用户的实际接入网络速率。

2. 光纤在接入网中的延伸

光纤通信最先用于核心网,包括长途网和城域网,现在已全面延伸到接入网和用户端。

FTTx 是指光纤在接入网中的推进程度或使用策略。光纤深入用户的程度不同,光网络单元(Optical Network Unit,ONU)放置的位置也不同。根据 ONU 的具体放置位置,光接入网可以分为光纤到路边(Fiber To The Curb,FTTC)、光纤到大楼(Fiber To The Building,FTTB)、光纤到办公室(Fiber To The Office,FTTO)、光纤到家(Fiber To The Home,FTTH)等应用类型。另外,还有光纤到小区(Fiber To The Zone,FTTZ)、光纤到结点(Fiber

To The Node,FTTN)、光纤到驻地(Fiber To The Premises,FTTP)等应用类型。

目前,各个运营商都可以提供 FTTH 的接入方式,且主要采用无源光网络 PON 技术来实现从互联网到户的全程光纤连接(这也是我国目前实施光纤到户网络基础建设的主推方案),在用户家中布放光纤终端设备(Optical Network Terminal,ONT,这也是 FTTH 的最末端单元,俗称“光猫”),通过设备提供的用户-网络接口 UNI 端口为用户提供连接,从而使用户可以直接通过光纤连入互联网。由于采用了无源光网络,因此可以实现全程透明传输。

图 3-34 所示的是 OAN 的应用示意图。图 3-34 中,OLT 是光线路终端(Optical Line Terminal),OBD 是光分路器(Optical Branching Device),OLT 与 ONU 之间采用光纤传输。

FTTC 通常为点到点或点到多点结构。一个 ONU 可以为一个或多个用户提供接入。ONU 设置在路边交接箱或配线盒处,ONU 到用户之间仍为普通电话双绞铜线或同轴电缆。整个接入网采用混合的光缆/铜缆接入介质,既可利用现有的铜缆资源,具有较好的经济性,也促进了光纤向用户延伸,充分发挥了光纤传输的特点,一旦有带宽需求,可很快将光纤延伸至用户处。FTTC 常和 xDSL 或其他接入方式混合使用,为用户提供宽带接入服务。由于 FTTC 是一种光缆/铜缆混合系统,存在室外有源设备,不利于维护运行,同时由于 ONU 的装置安装环境是在路边,还存在供电、散热等问题,因此是一种过渡接入方式。

FTTB 的 ONU 直接放置在居民住宅公寓或单位办公楼的某个公共地方,然后通过铜缆(双绞线)将业务分送到各个用户。这种接入网络通常是一种点到多点的结构,即一个 ONU 为多个用户提供接入。FTTB 比 FTTC 的光纤化程度更高,光纤已敷设到楼,更适应于高密度用户区,特别是新建工业园区或居民楼。但由于 ONU 存放在公共地方,存在对设备的管辖和维护问题。ONU 到用户间可采用 xDSL 技术或 Ethernet 技术。

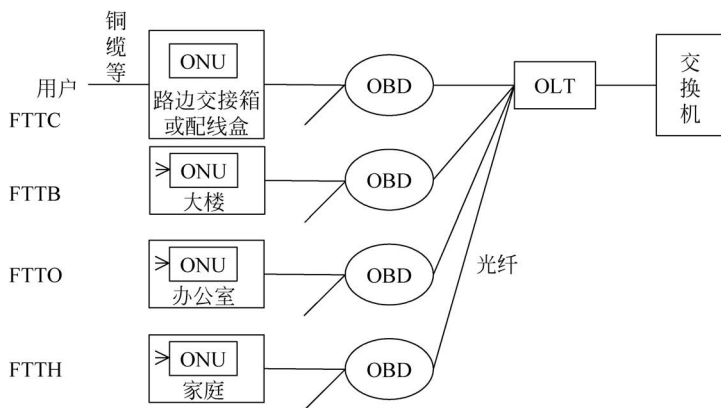


图 3-34 OAN 的应用示意图

FTTO 则是将 ONU 放置在办公室,实现了全程光纤接入,主要用于业务量需求比较大的大型企事业单位中,其接入网络结构采用环状或点到点方式。

FTTH 将 ONU 直接放置在用户家庭,与 FTTO 一样是全程光纤接入,不同的是 FTTH 一般用于家庭,从业务量和经济性考虑,一般采用点到多点的结构。这种接入方式成为目前城镇家庭用户主流的接入方式。

FTTO 和 FTTH 光接入网都无任何有源设备,是一个真正的能提供宽带接入的透明网

络,也是目前主流的应用类型。

3. 光接入网的基本结构

光接入网是接入网中部分或全部使用光纤作为传输介质来实现信息传输的网络形式,是针对接入网环境所设计的特定光纤传输结构,即提供宽带、窄带双向交互式业务的用户接入系统。

国际电信联盟定义了光接入网 OAN 的基本结构,如图 3-35 所示,该结构是基于电信接入网的概念提出的。从图 3-35 中可以看出,光接入网是由业务结点接口 SNI 与相关的用户网络接口 UNI 之间的一系列传送实体组成的,这些实体包括线路设施和传输设施。电信管理网 TMN 通过 Q3 接口对接入网进行配置和管理。由于光接入网不解释用户信令,因此,光接入网是一个与业务无关的透明传输网络。

光接入网一般是一个点到多点的结构,包括光线路终端 OLT、光分配网 ODN、光网络单元 ONU 和适配功能 AF 等部分。其中,OLT 面向网络侧为 OAN 提供与中心局设备的接口,完成光电转换,同时提供与 ODN 的光接口。同一 OLT 可以连接若干 ODN,通过 ODN 对众多的 ONU 进行管理和指配。OLT 光线路终端用于连接光纤干线。

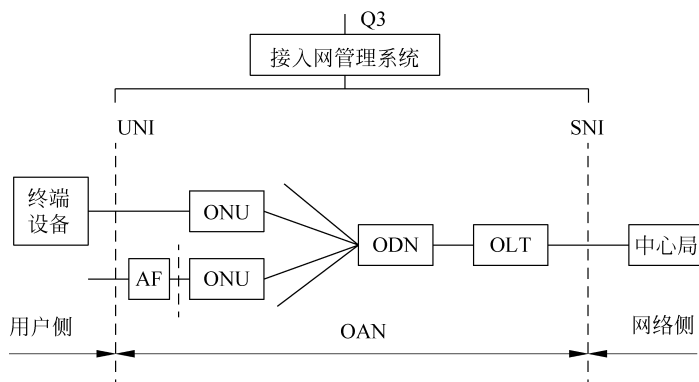


图 3-35 ITU-T 提出的光接入网的基本结构

ONU 在用户侧提供用户到接入网的接口,完成光电转换,同时连接 ODN。ODN 主要功能是终结来自 ODN 的光信号并为用户提供多个业务接口,提供用户业务适配功能,完成速率适配、信令转换等功能。ONU 可以灵活地设置在用户所在地或路边。

ODN 位于 OLT 和 ONU 之间,提供两者之间的光传输功能。ODN 由光连接器和光分路器组成,完成光信号功率的分配及光信号的分、复接功能。组成 ODN 的设备可以是无源光设备,也可以是有源光设备,对应的接入网分别是无源光网络(Passive Optical Network, PON)和有源光网络(Active Optical Network, AON)。

AF 为 ONU 和用户设备提供适配功能,具体物理实现既可完全独立,也可包含在 ONU 中。

4. 光接入网的分类

根据光接入网中 ODN 是由无源器件组成的还是有源器件组成的,光接入网可以分为有源光网络(AON)和无源光网络(PON)。

AON 采用了有源设备,其 ODN 含有光放大器等有源器件,与其他接入技术相比,存在供电、可靠性等问题,成本相对也比较高,因此在接入网中应用不多。

PON 是专门为接入网而发展的技术,其 ODN 全部由无源器件组成,信号在传输过程中无须再生放大,直接由无源光分路器传至用户,实现了透明传输,信号处理全由局端和用户端设备完成。与 AON 相比,PON 的覆盖范围和传输距离要小,但由于户外无有源设备,提高了抗干扰能力,可靠性更高,大大简化了接入途中的安装条件,价格更低,安装和维护更为方便,是光接入网应用最多的技术。PON 包括 APON(ATM PON,基于 ATM 的 PON)、EPON(Ethernet Passive Optical PON,基于 Ethernet 的 PON)和 GPON(Gigabit Passive Optical PON)。

5. 无源光网络(PON)

PON 的概念最早是由英国电信公司的研究人员于 1987 年提出的,主要是为了满足用户对网络灵活性的要求。

由于 PON 中不包含任何有源器件,价格低,安装、维护方便,成为光接入网中发展最为迅速的技术。PON 经历了从 APON 到 EPON 再到 GPON 的发展过程。

PON 中的 ODN 全部由无源器件组成,信号在 PON 中传输时,不经过再生放大,直接由无源光功率分配器将信息传输至用户。由于无源光功率分配器降低了光功率,因此比较适合短距离传输。另外,PON 支持多种拓扑结构(单星状、多星状、总线型和环状),组网灵活,因此很适合于接入网。

PON 的系统结构基于 ITU-T G. 902,全部由光纤、无源光分路器和波分复用器等无源器件组成,不包含任何有源器件,其系统结构如图 3-36 所示。

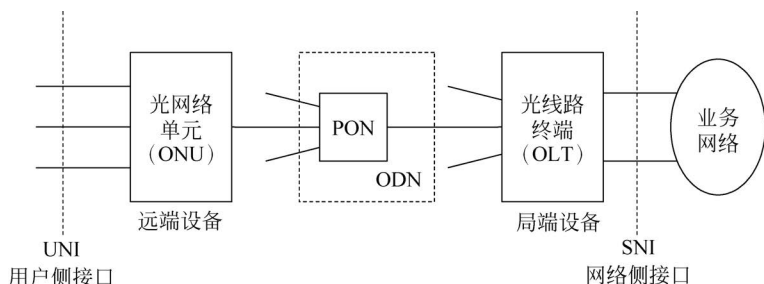


图 3-36 PON 的系统结构

PON 分为光线路终端(OLT)、光分配网(ODN)和光网络单元(ONU)三部分。其中,OLT 连接一个或多个 ODN,为 ODN 提供网络接口。ODN 为 OLT 和 ONU 提供传输手段。ONU 则与 ODN 连接,为 ODN 提供用户侧接口。多个 ONU 经 ODN 连到 OLT,共享 OLT 的光传输介质和光电设备,以降低接入成本。

PON 是一种点对多点的光纤传输系统。PON 工作时其下行采用广播方式,利用波分复用技术 WDM 由分路器将光纤中对应于每个用户的不同波长的信号分配给各个用户;上行采用时分多址方式,每个用户分别在不同的时隙和不同的波长上发送数据信号,最后被复用 to 共用光纤上。PON 系统在光分支点不需要结点设备,只需安装一个简单的光分路器即可。光分路器可以进行多级连接,其级数取决于允许的总光信号的功率分配的比率。光分路器主要有两种:平面光波导技术光分路器和熔融拉锥技术光分路器,其分路的路数通常有 4、8、16、32、64 个。

PON 是 ITU 的 SG15 研究组在 G. 983 建议“基于无源光纤网的高速光纤接入系统”进

行标准化的,该建议包括以下两部分。

(1) OC-3,155.52Mb/s 的对称业务。

(2) 上行 OC-3,155.52Mb/s,下行 OC-12,622.08Mb/s 的不对称业务。

按照 G.983 建议,传输介质可以是一根单模光纤,也可以是两根单模光纤。

6. 基于 Ethernet 的无源光网络(EPON)

1) EPON 的发展背景

APON 是数据链路层 ATM 技术与物理层 PON 技术相结合的产物,被认为是当时(1997 年是 ATM 的黄金时代)的最佳组合。近年来,随着 IP 技术的崛起和发展,ATM 不及以太网而导致 APON 发展受阻。随着 Internet 的高速发展,用户对网络带宽的需求不断提高,各种新的宽带接入技术成为人们的研究热点,而光纤和以太网设备价格的急剧下降,促成了 EPON 的出现。

EPON 的技术思路是在与 APON 类似的结构和 G.983 的基础上,物理层仍然采用现成的 PON 技术,链路层用以太网帧代替 ATM 帧,构成一个可以提供更大带宽、更低成本和更宽业务能力的新的结合体。在此背景下,2000 年 11 月,在 IEEE 802.3 的组织下,通过成立 EFM 研究组的方式开始了 EPON 的标准化工作,研究 EPON 的物理层(特别是光接口)规范、点对多点的控制协议和 OAM,最终于 2004 年 4 月通过了 IEEE 802.3ah 标准。

IEEE 802.3ah 标准中定义了两种 EPON 的光接口:1000Base-PX10-U/D 和 1000Base-PX20-U/D,分别指工作在 10km 范围和 20km 范围的 EPON 光接口。标准还定义了多点控制协议 MPCP,使 EPON 具备了下行广播发送、上行 TDMA 的工作机制。标准同时还定义了可选的 OAM 层功能,力图在 EPON 系统中提供一种运营、管理和维护的机制,使其具有符合电信应用要求的接入网特性。

从 EPON 的结构上看,其关键是消除了复杂而昂贵的 ATM 和 SDH 部分,从而极大地简化了传统的多层重叠网络结构,也消除了伴随多层重叠网络结构的一系列弱点。

2) EPON 的系统结构

EPON 是一个点到多点的光接入网,建立在 APON 的标准 G.983 上。它利用 PON 的拓扑结构实现以太网的接入,在 PON 上传送 Ethernet 帧,为用户提供可靠的数据、语音及视频等多种业务。与 APON 相比,EPON 提供了更高的带宽、更低成本和更广的服务能力,其所能提供的带宽远大于现有其他类型的接入技术。目前,IP/Ethernet 应用占到整个局域网通信的 95%以上,EPON 由于使用经济、高效的结构,是连接接入网最终用户的一种最有效的通信方法。10G 以太主干和城域网的应用也使 EPON 成为全光网中最佳的接入方案。

EPON 的系统结构基于 G.902,与 G.983 规范在很多方面类似。图 3-37 所示的是 EPON 的典型网络结构。

EPON 主要分为光线路终端(OLT)、光分配网(ODN,主要是无源光源分支器 POS 和各种线路)和光网络单元(ONU/ONT)三部分。其中,OLT 位于局端,ONU/ONT 放在用户驻地侧,接入用户终端。ONU 与 ONT 的区别在于 ONT 直接位于用户侧,而 ONU 与用户间还有其他的网络,如以太网。

无源光纤分支器 POS 是一个连接 OLT 与 ONU 的无源设备。

OLT 和 ONU 之间可以灵活组建成树状、环状、总线型及混合型拓扑结构。

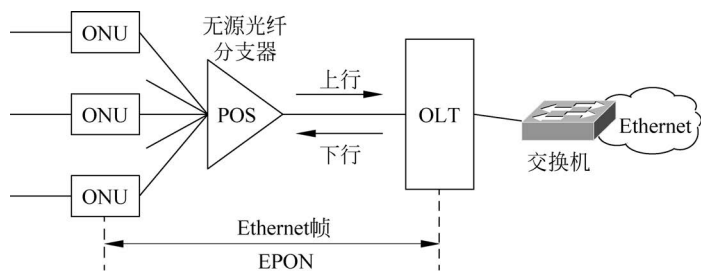


图 3-37 EPON 的典型网络结构

图 3-38 给出了一个家庭用户采用 EPON/GPON 接入 Internet 的示意图。图 3-38 中，OLT、一级分光器和二级分光器都有多个接口，中间的光分路器设备均不需要供电，因此施工、运行和维护经济方便。从理论上，一个 OLT 设备可以接入超过 10 万个用户，因此，这种接入方式成为城镇用户接入 Internet 的主流方式。家庭区域的各种终端设备既可以采用有线连接（通常是双绞线），也可以通过无线接入点 AP 进行无线连接。

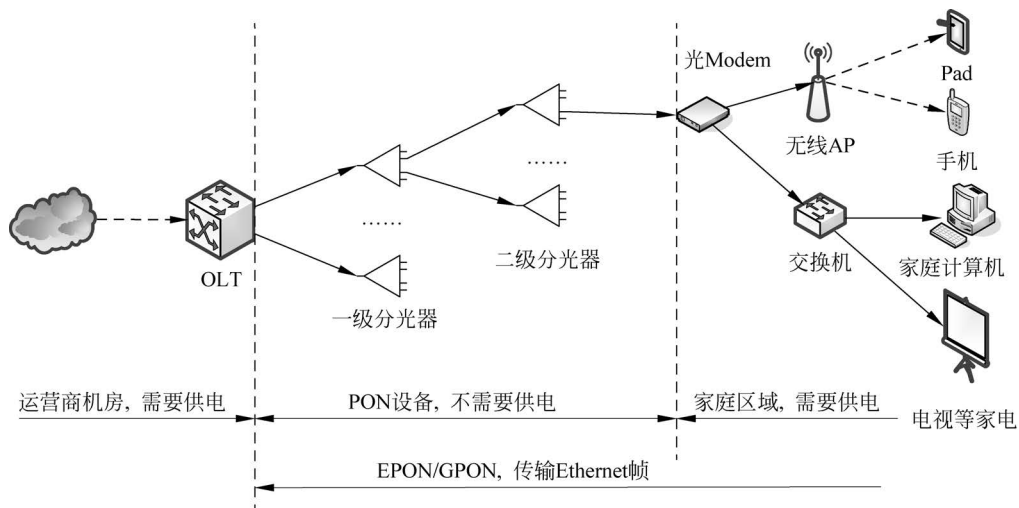


图 3-38 家庭用户采用 EPON/GPON 接入 Internet 的示意图

总体来看，EPON/GPON 主要有以下特点。

(1) 长距离、宽带宽(20km,1.25Gb/s)。光纤的接入和传输,光纤化的 ONU/ONT,非常适合 FTTB 和 FTTO 模式(非常有利于光纤在大楼内的布线和用户扩容),光纤可以直接到达用户,EPON 还能提供可调节的、有优先级和带宽保证的服务。

(2) 更少的维护和供电。大楼内无须占用机房和供电设施,支持远端设备 ONU/ONT 的自动测距和自动加入,网络扩容方便。

(3) 多业务平台。EPON 可以同时提供 IP 业务和传统的 TDM 业务。QoS(Quality of Service)可以得到保证,而且完全遵循 IEEE 802.3ah 的标准。

(4) 带宽分配灵活,服务有保证。EPON 可以通过 DiffServ、PQ/WFQ、WRED 等来实现用户级的 SLA(服务品质协议),可以根据需要对每个用户或者每个端口实现基于连接的带宽分配(区别于普通交换机的基于端口的速率限制),并可根据业务合约保证每个用户连接的 QoS。

3.6.5 宽带无线接入技术与 IEEE 802.16 标准

无线接入技术是指在终端用户和交换局之间的接入网部分,全部或部分地采用无线传输方式,为用户提供固定或移动的接入服务的技术。无线接入的方式很多,有微波传输技术、卫星通信技术、蜂窝移动通信技术(包括 FDMA、TDMA、CDMA 和 S-CDMA 等)、无线局域网(WLAN)等。

无线接入技术可以分为移动无线接入和固定无线接入两大类。移动无线接入网包括移动电话网、无线寻呼网、集群电话网、卫星移动通信网和个人通信网等。固定无线接入是从交换结点到固定用户终端采用无线接入的方式,是 PSTN/ISDN 网的无线延伸。

IEEE 802 标准组负责制定无线接入的各种标准和技术规范,根据覆盖范围,通常将无线接入划分为 WLAN、WMAN、WPAN 和 WWAN 等。

1. WLAN 接入技术

WLAN 是由 IEEE 802.11 工作组制定的无线局域网标准,最早主要用于局域网范围内的工作站互联,后来也被应用于接入网,并成为宽带无线接入技术中发展得最为成功的无线网络技术。WLAN 网络的工作原理和特点见本书第 8 章。

2. WMAN 接入技术

WMAN 技术是 IEEE 802 委员会提出的专门用于城域接入网的接入技术。1999 年 7 月,IEEE 802 委员会成立了专门的工作组,研究宽带无线网络标准。2001 年,发布了宽带无线网络标准 IEEE 802.16,该标准的全称为“固定宽带无线访问系统空间接口”(Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access System),也称为无线城域网(Wireless MAN, WMAN)或无线本地环路(Wireless Local Loop)标准。

IEEE 802.16 标准体系的主要目标是制定工作在 2~66GHz 频段的无线接入系统的物理层与介质访问控制 MAC 层的规范。IEEE 802.16 是一个点对多点的视距条件下的标准,用于大数据量的接入;IEEE 802.16a 增加了非视距和对无线网络网结构的支持。IEEE 802.16 与 IEEE 802.16a 经过修订后统一命名为 IEEE 802.16d,于 2004 年正式公布。

尽管 IEEE 802.11 和 IEEE 802.16 标准都是针对无线环境的,但由于两者的应用对象不同,因此采用的技术与协议及解决问题的重点也不尽相同。IEEE 802.11 标准的重点在于解决局域网范围内的移动结点通信问题;IEEE 802.16 标准的重点是解决建筑物之间固定无线接入的数据通信问题。

按照 IEEE 802.16 标准,可以建立覆盖一个城市的部分区域的无线网络,而建筑物位置相对固定,因此需要在每个建筑物上建立基站,基站之间采用全双工、宽带通信的方式工作。每个 IEEE 802.16 无线网络接入的用户数,往往要多于 IEEE 802.11 无线局域网的用户数。正是 IEEE 802.16 标准要保证无线网络对接入用户的服务质量,它就需要有更多的带宽,因此 IEEE 802.16 标准规定使用更高的 10~66GHz 的频段,该频段为毫米波频段。

IEEE 802.16 标准增加了两个物理层标准 IEEE 802.16d 和 IEEE 802.16e。IEEE 802.16d 主要针对固定的无线网络部署,而 IEEE 802.16e 则针对火车、汽车等移动物体的无线通信问题。

与 IEEE 802.16 标准工作组对应的论坛组织为 WiMax。与致力于 WLAN 推广应用的 Wi-Fi 联盟很类似,由业界成员参加的 WiMax 论坛主要致力于 IEEE 802.16 无线网络标准

的推广与应用。表 3-12 给出了 IEEE 802.16 标准系列各主要标准的基本参数比较。

表 3-12 IEEE 802.16 标准系列各主要标准的基本参数比较

标准名称	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16d	IEEE 802.16e
发布时间	2001 年	2003 年 1 月	2004 年 10 月	2006 年 2 月
使用频段	10~66GHz	<11GHz	<11GHz	<6GHz
信道条件	视距	非视距	视距+非视距	非视距
固定/移动	固定	固定	固定	移动+漫游
信道带宽	25/28MHz	1.25/20MHz	1.25/20MHz	1.25/20MHz
传输速率	32~134Mb/s	75Mb/s	75Mb/s	30Mb/s
额定小区半径	<5km	5~10km	5~15km	>10km

3. 卫星接入技术

卫星接入技术以其广阔的覆盖范围为显著的优点。通信卫星很容易实现像阳光普照一样的广阔覆盖,这对于边远地区、崇山峻岭、浩瀚海域、野外工作者,以及对于应急抢险的接入具有重要的意义。由于通信费用高、通信延迟大等多种原因,卫星接入技术目前仅用在一些特殊的场合。

通信卫星按照运行轨道的高低,可以分为 GEO、MEO 和 LEO 3 种类型。用于卫星通信的频段主要有 UHF 分米波频段(300MHz~3GHz)、SHF 厘米波频段(3GHz~30GHz)和 EHF 毫米波频段(30GHz~300GHz)。

(1) GEO(Geo-station Earth Orbit): 是对地面相对静止的地球同步轨道卫星,运行在高度为 35 786km 的地球同步轨道上。使用三颗卫星就可以覆盖绝大部分地球陆地,即使只使用一颗卫星也可以稳定覆盖一个大国的领土。但由于卫星轨道高,对卫星通信系统的发射功率和天线都要求很高,通常适用于永久性的固定用户。

(2) LEO(Low Earth Orbit): 低地球轨道卫星,运行轨道高度为 300~2000km,卫星相对地面时刻处于运动之中。由于轨道高度低,对卫星通信系统的发射功率和天线要求都较低,如可以使用手持终端进行通信。实现这种便利的代价是单个卫星对地面固定地点的覆盖时间很短,要实现不间断覆盖系统需要同时部署很多颗卫星,这大大加重了系统的建设成本和运行成本。

(3) MEO(Medium Earth Orbit): 中地球轨道卫星,运行轨道高度为 2000~35 786km。MEO 卫星的特点可以看作 GEO 与 LEO 两种系统的折中。单颗卫星覆盖时间中等,基本可以满足单次通信的需要;对卫星通信系统的发射功率和天线要求不算太高,可以使用便携式设备供用户快速安装运行。

GEO 目前主要作为电视直播卫星来使用。作为接入技术时,须解决上行通道问题。

MEO 系统的典型是国际海事卫星 Inmarsat,其覆盖了全球 98%的陆地及所有海洋,可提供 $n \times 64\text{kb/s}$ 的数据通信业务。

早期,LEO 的典型系统是铱星(Iridium)系统和全球星(Global Star)系统,它们分别使用 66 颗星和 48 颗星为手持终端提供接入服务。铱星系统由于系统设计缺陷和经营管理方面的问题,已于 2000 年 3 月停止运行;全球星系统也经历了经营管理方面的问题,于 2004 年 4 月破产重组后目前仍在运行。最新的 LEO 应用是美国的“星链”项目和我国的“中国星网”项目。美国太空探索技术公司(SpaceX)2015 年启动的“星链”项目,计划在太空搭建由

约 4.2 万颗卫星组成的“星链”网络为全球提供互联网服务,到 2023 年 8 月,已发射了 99 批次超过 4960 颗卫星,这些卫星部署在地球上空 550km 处的近地轨道上。由中国航天科技集团有限公司牵头建设的“中国星网”项目分为 GW 项目和 GW-A 项目,两个项目分别计划发射 6344 颗卫星和 6648 颗卫星,分布在 500~1150km 的轨道高度上,将覆盖全球所有地区。除了“中国星网”外,我国还有其他一些低轨道通信卫星项目正在进行中,这些项目包括“鸿雁”项目、“虹云”项目、“行云”项目、“天象”项目和“银河”项目等。

4. WPAN 接入技术

WPAN(Wireless Personal Area Network),即无线个域网。严格来说,WPAN 还不能称为一种接入网技术。但由于 WPAN 被十分看好用于家庭网络等场合,所以也称为延伸接入网。WPAN 工作于 10m 范围的“个人区域”,用于组成个人网络。IEEE 关于 WPAN 的标准是 IEEE 802.15,与蓝牙技术相容。此外,支持 WPAN 的技术还包括紫蜂(ZigBee)、超宽带(UWB)、红外线(IrDA)、家庭射频(HomeRF)等。

IEEE 802.15 工作组由 4 个小组组成。其中,IEEE 802.15.1 负责蓝牙的标准化;IEEE 802.15.2 研究 WPAN 和 WLAN 的互存性;IEEE 802.15.3 制定高速 WPAN 标准;IEEE 802.15.4 研究特别节电技术和低复杂度方案,应用领域主要为传感器网络、远端控制和家庭自动化等。

低频率的 ZigBee 所对应的标准为 IEEE 802.15.4(TG4),针对低电压和低成本家庭控制方案提供的数据传输速率为 25kb/s、40kb/s、250kb/s,采用 CSMA-CA 机制,保证传输可靠性,提供功率管理功能。

高频率的超波段或 UWB 所对应的标准为 IEEE 802.15.3(TG3)。支持用于多媒体的 20Mb/s~1Gb/s 的数据传输速率,可传送高质量视频和声音,支持服务质量保障,具有 Ad hoc 点对点网络特点,功耗和成本低。

IEEE 802.15.1 标准的蓝牙技术仍被人们认为是最具应用前景的 WPAN 技术,其推广应用程度标志着无线个域网的实用化程度。用于 WPAN 的主要无线通信技术类型及特点如表 3-13 所示。

表 3-13 用于 WPAN 的主要无线通信技术类型及特点

无线通信类型	成本	安全性	功耗	通信距离	传输速率	组网形式
蓝牙	高	中	高	>100m	2Mb/s	点对多点
UWB	低	高	低	10m	480Mb/s	点对多点
NFC	低	低	低	1m	16Mb/s	点对点
ZigBee	低	高	低	75m	<1Mb/s	点对多点
IrDA	低	低	中	3m	4Mb/s	点对点
HomeRF	低	低	高	50m	2Mb/s	点对多点