

第 5 章 广域网互联技术

学习场景

众所周知,广域网将汇聚在各地的局域网互联起来,为局域网之间的数据传输提供信道。因此在一个开放式的网络中,广域网的设计也很重要。广域网的主要组成部分是通信子网,而通信子网通常由公共传输系统组成,公共传输系统包括传输线路和交换节点两部分,它工作在 OSI 低两层(物理层和数据链路层),也有的工作在低三层。常见的公共传输系统有公共电话交换网 PSTN、综合业务数字网 ISDN(包括宽带 B-ISDN)、数字数据网 DDN、公共分组交换网 X.25、帧中继 F.R.、异步传输模式 ATM 和交换多兆位数据服务 SMDS 等。X.25、F.R.、B-ISDN 属于包交换网络,DDN 属于专线服务,而 PSTN 属于电路交换服务。

学习目标

- 了解公共传输系统概念。
- 掌握 PSTN 和 ISDN 的概念、接入方式和性能特点。
- 了解数字用户线技术,掌握 ADSL 特点和接入方法。
- 了解 CATV 和接入方法及性能特点。
- 掌握数字数据网 DDN 的特点及接入方法。
- 掌握 X.25、帧中继的特点、接入技术和两者区别。
- 了解异步传输模式 ATM 的基本原理和应用。
- 掌握各种广域网接入技术。

5.1 广域网概述

广域网(Wide Area Net,WAN)也称为远程网,所覆盖的范围比城域网(MAN)更广,它一般是在不同城市之间的 LAN 或者 MAN 网络互联,地理范围可从几百千米到几千千米。因为距离较远,信息衰减比较严重,所以这种网络一般是要租用专线,通过接口信息处理(IMP)协议和线路连接起来,构成网状结构,解决寻径问题。

近年来,计算机通信网的重要组成部分——广域网得到了很大的发展。20世纪 80 年代以来,ISO 公布了 OSI 参考模型,提供了计算机网络通信协议的结构和标准层次划分,使得异种计算机的互联网络有了一个公认的协议准则;另外,微机的高速发展,促进了

LAN 的标准化、产品化,使它成为 WAN 的一个可靠的基本组成部分。

广域网是将地理位置上相距较远的多个计算机系统,通过通信线路按照网络协议连接起来,实现计算机之间相互通信的计算机系统的集合。

广域网由交换机、路由器、网关、调制解调器等多种数据交换设备、数据连接设备构成。具有技术复杂性强、管理复杂、类型多样化、连接多样化、结构多样化、协议多样化、应用多样化的特点。图 5-1 所示为广域网的组成。

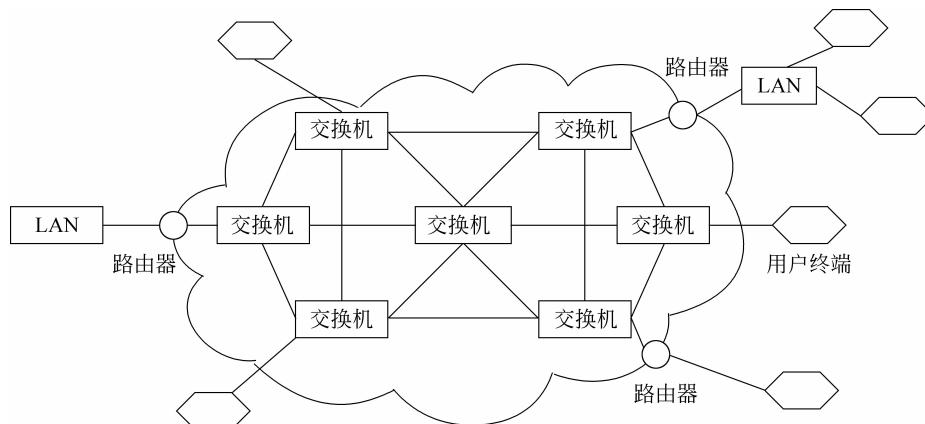


图 5-1 广域网的组成

广域网概念

1. 广域网与局域网的比较

广域网是由多个局域网相互连接而成的。局域网可以利用各种网间互联设备,如中继器、网桥、路由器等,构成复杂的网络,并扩展成广域网。局域网与广域网在作用范围;结构;通信方式;通信管理;通信速率;工作层次存在着不同。

2. 广域网的类型

广域网中,从一个网络传输数据到另一个网络,一般不是点到点直接连接,数据可能经过多个中间节点组成的路径。数据从源节点到目标节点之间的数据传输过程称为数据交换(Switch),其对应的技术称为数据交换技术。中间节点并不关心数据内容,只作为一个交换设备,就像甲地给乙地打电话,中间需要通过许多中间转接点一样。常用的数据交换技术有电路交换、存储—转发交换、包(分组)交换、ATM 信元交换和帧中继等。因此,广域网可以被划分为电路交换网、分组交换与存储转发网和包交换网等。

(1) 电路交换网。

电路交换(Circuit Switching)源于电话交换技术。数据传输前,先由一端发起呼叫开始建立连接,直到两端建立起一条通路,然后才开始进行数据传输。在整个传输期间,该通路一直为通信双方独占,直到通信结束后才释放线路。

电路交换过程需要线路连接、数据传输和线路拆除三个阶段。电路交换是由交换机负责在两个节点之间建立一条专用物理线路,它不改变传输数据的形式,即传输信息的符

号、编码、格式和通信控制规程均由用户决定,不受交换机的约束。

电路交换的优点是数据以固定速度传输,传送快,延迟小,适用于实时传输、远程成批处理、发送大量数据和持续通信要求高的场合;缺点是整个连接过程的信道容量完全被通信双方占用,线路利用率不高。电路交换系统不具备差错控制能力,交换机也不具备数据存储能力。现代计算机网络很少使用电路交换方式。

(2) 分组交换与存储转发网。

分组交换与存储转发网也称报文交换,源于电报传输方式。它不需要通过呼叫建立物理通路,而是以接力方式,报文在网络节点之间逐段传送直到目的地。存储转发交换时,传输前先将需要发送的数据分割成一定大小的块(报文),一个报文被存储在节点上并不立即发送,而是等到信道或路由中的下一节点的缓冲器空闲时再发送出去。传输的路径可以是固定的,也可动态建立,这就充分利用了信道和转接设备的容量。

大多数现代的网络都是分组交换网与存储转发网。例如 X.25 网、帧中继网等。

(3) 包交换网。

计算机网络中的数据通信具有突发性,即在短时间内可能有大量数据到来,而大部分时间不占用线路。因此对于数据传输来说,电路交换和存储—转发交换都不合适,一个更好的解决方法是包(分组)交换方式。

包交换(Packet Switching)也称分组交换。在包交换网络中,数据单元(包或分组)是大小可变的数据块,包的长度由网络确定。

包交换有数据报和虚电路两种方式。

① 在数据报(面向无连接,无须呼叫等连接过程)方式中,每个包在传输时都是一个独立的传输单元(包含源和目标地址),传输时自己选择传输路径,即使若干个包可能属于同一个报文也是如此,如图 5-2 所示。

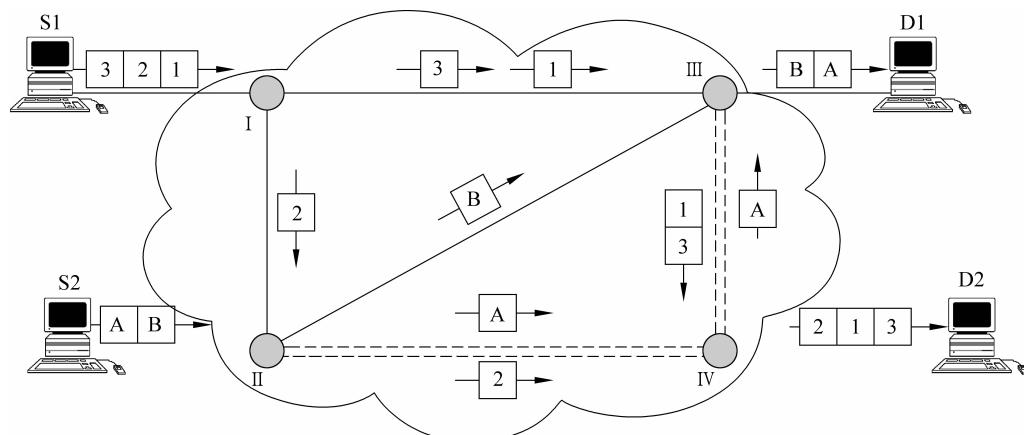


图 5-2 数据报传输方式

② 在虚电路(面向连接,传输前需建立路径)传输过程时,属于同一个报文的所有包之间的先后顺序被保留了下来,源节点和目的节点之间路径在会话开始的时候先被选中,即先建立一条逻辑通路,如图 5-3 所示。

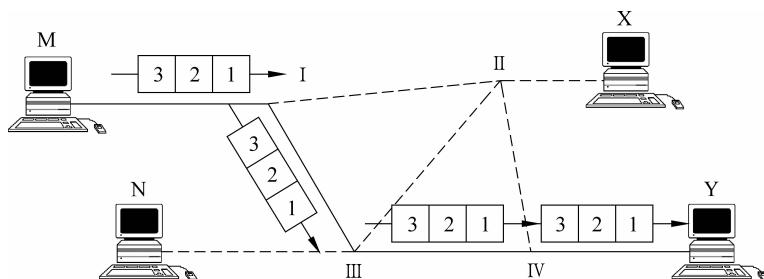


图 5-3 虚电路传输方式

3. 广域网相关技术

广域网中源节点和目的节点之间一般有多条传输路径供选择，网络中每个中间节点在收到一个数据包后，都要确定向下一个节点传送的路径，这就是路由选择。完成路由选择的设备是路由器。

在数据报方式中，网络中的每个中间节点要为每个包的路由做出选择；而在虚电路方式中，在连接建立时就已确定好路由。确定路由选择的策略称路由算法，它是网络层软件的一部分。

广域网相关的技术问题主要有两个：一个是路由选择，一个是拥塞控制。

(1) 路由选择。

广域网中源节点和目的节点之间一般有多条传输路径供选择，网络中每个中间节点在收到一个数据包后，都要确定向下一个节点传送的路径，这就是路由选择。

(2) 拥塞控制。

拥塞也称阻塞，是指源和目的节点之间某一个中间节点缓存中的包数量过多，使得该部分网络来不及处理，而后续的数据包还不断传送过来，导致缓存中的数据包“淹没”，致使这部分乃至整个网络性能急剧下降（甚至至死锁）。拥塞现象如同交通拥挤一样，在某个瓶颈路段，各种走向的车流相互干扰，使每辆车到达目的地的时间都相对增加（延迟增加），甚至有时在某段公路上车辆因堵塞而无法开动（局部死锁）。

4. 路由算法

为了实现路由的选择，路由算法必须随时了解网络状态的以下信息。

(1) 路由器必须确定它是否激活了对该协议组的支持。

(2) 路由器必须知道目的地的网络。

(3) 路由器必须知道哪个外出接口是到达目的地的最佳路径。

一个好的路由算法通常要具备以下的条件。

- 迅速而准确的传递分组。
- 能适应由于节点或链路故障而引起的网络拓扑结构的变化。
- 能适应源和目的主机之间的业务负荷的变化。
- 能使分组避开暂时拥塞的链路。
- 能确定网络的连通性。

- 低开销。

(1) 路由算法按适应性分类可以分为非自适应的和自适应的。非自适应算法不会根据当前测量或者估计的流量和拓扑结构来调整它们的路由决策,这个过程也称为静态路由。相反,自适应算法则会改变它们的路由决策,以反映出拓扑结构的变化,通常也会反映出流量的变化情况,这个过程称为动态路由。

① 静态路由算法。在静态路由算法中,首先要根据网络的拓扑结构确定路径,然后将这些路径填入路由表中,并且在相当长的时间内这些路径保持不变。这种路由算法适合于网络拓扑结构比较稳定,而且网络规模比较小的网络中。当网络比较大的时候,静态路由算法就不太适用了,因为它不能根据网络的故障和负载的变化来做出快速反应。

② 动态路由算法。在动态路由算法中,每个路由器通过与其邻居的通信,不断学习网络的状态,因此网络的拓扑结构变化可以最终传播到整个网络中的所有路由器。根据这些收集到的信息,每个路由器都可以计算出到达目的主机的最佳路径。但是这种算法增加了路由器的复杂性,并且增大了选路时延。

(2) 路由算法根据控制方式还可以分为集中路由算法和分布式路由算法。

① 集中路由算法。在集中式路由算法中,所有可选择的路由都由一个网控中心算出,并且由网控中心将这些信息加载到各个路由器中。这种算法只适用于小规模的网络。

② 分布式路由算法。在分布式路由算法中,每个路由器自己进行各自的路由计算,并且通过路由消息的交换来互相配合。这种算法可以适应大规模的网络,但是容易产生一些不一致的路由结果,而这些不同路由器计算的不同路由结果可能会导致路由环路的产生。

(3) 在路由选择算法中,需要以某种尺度来衡量路径的“长度”。这些尺度可以是跳、成本、延时或者可用带宽。为了得到这些尺度值,路由器必须相互交换信息来协调工作,可以利用距离矢量和链路状态这两种算法来获得这些信息。

① 距离矢量路由算法。这种算法要求相邻路由器之间交换路由表中的信息,这些信息说明到目的地的距离矢量。当相邻路由器交换了这些信息后,就可以寻找最优的路由。这种算法可以逐渐地与网络拓扑的变化相适配,主要以 RIP 协议为代表。

② 链路状态路由算法。在这种算法中,每个路由器对连接它和相邻路由器的链路状态信息进行扩散,使每个路由器都可以得到整个网络的拓扑图,并根据这个拓扑图来计算最优路由,如 OSPF 协议。

目前最广泛使用的路由选择算法有 Bellman-Ford 算法和 Dijkstra 算法,还包括扩散法、偏差路由算法和源路由算法。

5.2 公共电话交换网

传统的公共电话交换网(Public Switched Telephone Network,PSTN)是以模拟技术为基础的电路交换网络,用它实现数据通信较为廉价,但传输质量较差,网络资源利用率也较低。目前,我国大部分地区的长途中继系统实现了光纤化和数字化,线路质量大大提高。

5.2.1 终端方式入网

通过 ISP 的某台主机,以终端方式接入广域网,用户拨号登录到 ISP 主机,利用主机提供的软件访问广域网。终端方式需要的硬件设备有 PC、Modem 和电话线,还需要安装通信软件,如 Windows 下的终端等。用户通过拨号登录到 ISP 的主机上,利用该主机提供的软件访问 Internet。终端方式入网较为经济,适用于业务量小的单位和个人,目前很少使用。

5.2.2 SLIP/PPP 协议

通过 SLIP/PPP 协议拨号上网是使用比较多的一种方式。

1. 串行线路 IP 协议(SLIP)

SLIP 协议是较早的一个协议,提供电话线访问 Internet 的方法。它只完成数据报的封装和传送,没有提供寻址、区分多种协议、检错、纠错和数据报压缩功能。因此 SLIP 较为简单,实施起来也比较容易。

SLIP 只支持异步传输方式,无协商过程,尤其不能协商诸如双方 IP 地址等网络属性,在后来的发展过程中,逐步被 PPP 协议所替代。

2. 点到点协议(PPP)

PPP 协议是一个数据链路层协议,提供点到点链路上传输、封装网络层数据包的功能,是目前 TCP/IP 网络中最主要的点到点数据链路层协议。PPP 支持多种协议,同时还支持异/同步通信、错误检测、选项商定、头部压缩等。

PPP 是一个适用于通过 Modem、点到点专线、HDLC 比特串行线路和其他物理层的多协议帧机制,是正式的 Internet 标准,广泛应用于如 PSTN/ISDN/DDN 等广域网,甚至能应用于同步数字系列 SDH 和同步光纤网络 SONET 等高速线路上。

3. PPP 的身份验证

PPP 协议增加了通信双方的身份验证和安全性协议,即在网络层协商 IP 地址前,先要通过身份验证。PPP 的身份验证有口令认证协议 PAP 和查询握手认证协议 CHAP 两种方式。

(1) PAP 是一种身份验证协议,是一种最不安全的身份验证协议,当客户端不支持其他身份认证协议时才被用来连接到 PPP 服务器的方法。它需要用户输入密码才能访问安全系统。用户的名称和密码通过线路发送到服务器,并在那里与一个用户账户名和密码数据库进行比较。这种技术容易受到窃听的攻击,因为某人可能截获密码并使用它登录到系统。如图 5-4 所示为 PAP 两次握手验证过程。

(2) 查询握手认证协议 CHAP。

CHAP 使用唯一且不可预知的挑战数据来防止回放攻击,挑战数字的目的就是限制数据攻击的时间。区域服务器(如网景商业服务器)可以控制发送挑战消息的频率和时间。



图 5-4 PAP 两次握手验证

CHAP(询问握手身份验证协议)是一种替换协议。它使用三次握手来实现对网络节点的定期审查和认可,当链路建立时 CHAP 应该已经完成,并且在链路建立以后,必要时可以重复审查过程。这一点使 CHAP 较 PAP 更为有效。PAP 只进行一次身份认证,这使它很容易被黑客进行数据重放,而且 PAP 允许客户端发起认证申请,这也导致它容易被黑客攻击。因此 CHAP 不允许客户端在没有收到挑战消息的情况下发起认证申请。在 PPP 链路建立以后,服务器将会发送挑战消息到远端,远端将回送一个响应值,然后服务器根据自己的值对返回值进行验证,如果吻合,认证将通过确认;否则,链路终止。

CHAP 认证比 PAP 认证更安全,因为 CHAP 不在线路上发送明文密码,而是发送经过摘要算法加工过的随机序列,也被称为“挑战字符串”。同时,身份认证可以随时进行,包括在双方正常通信过程中。因此,非法用户就算截获并成功破解了一次密码,此密码也将在一段时间内失效。

CHAP 对端系统要求很高,因为需要多次进行身份质询、响应。这需要耗费较多的 CPU 资源,因此只用在对安全要求很高的场合。

5.2.3 拨号入网

拨号入网采用模拟传输技术,使用普通的调制解调器实现远程通信。用户线路的传输速率较低,一般仅为 20k~40kbps,最高速率为 56kbps。拨号入网可以采用终端方式,使用 SLIP/PPP 协议。

1. 单机入网

拨号入网采用动态 IP 地址分配方式,用户每次拨号所得到的 IP 地址可能不同。因此,以这种方式入网站点不能作为主机节点供他人访问。

2. 一线多机入网

一个局域网中的多个计算机,利用一条电话线入网,这种方式在办公室和网吧等场合经常使用。它需要对网络中的计算机进行配置,一般将连接 Modem 的计算机设为代理服务器,其他计算机设置为客户机。可利用 Windows 中的“Internet 连接共享”进行配置;或使用 WinGate、SyGate 等专用软件。

5.3 综合业务数字网

综合业务数字网(Integrated Services Digital Network, ISDN)让用户利用现有电话线,实现用户端数字信号入网,是数字传输和数字交换综合而成的数字电话网,整体思想就是电话网络数字化。1984年CCITT对它的定义是:“ISDN是综合数字电话网发展起来的一个网络,它提供端到端的数字连接以支持广泛的服务,包括声音和非声音的,用户的接入是通过有限的多用途用户网络接口标准实现的。”

5.3.1 ISDN 简介

对于电信部门,用户分为三种类型:第一类是只使用模拟的本地环路的传统用户(只打电话);第二类为使用模拟线路通过Modem传输数字信息的用户(拨号上网);第三类为使用数字服务传输数字信息的用户。ISDN的目标是形成一个广域网,特点是用户通过一个标准的用户网接口,可以享用各种类型的网络服务,用户利用ISDN可以实现上网和打电话同时进行,因此中国电信将其取名为“一线通”。ISDN的接入方式如图5-5所示。

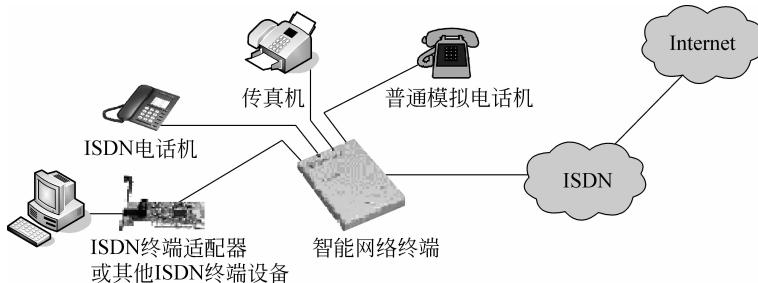


图 5-5 ISDN 连接示意图

ISDN是一个全数字的网络,实现了端到端的数字连接。现代电话网络中采用了数字程控交换机和数字传输系统,在网络内部的处理已全部数字化,但是在用户接口上仍然用模拟信号传输话音业务。而在ISDN中,用户环路也被数字化,不论原始信息是语音、文字,还是图像,都先由终端设备将信息转换为数字信号,再由网络进行传送。

ISDN具有电路交换、包交换和无交换连接等功能,它先提供了X.25业务,主要是开发简单,后来又提供帧中继业务,可大大提高数据处理的效率。

5.3.2 ISDN 的接入

1. 信道

为了实现灵活性,ISDN将数字管道定义了三种类型的信道,它们是载体信道(B信道)、数据信道(D信道)和混合信道(H信道)。如表5-1所示。

表 5-1 ISDN 信道类型

| 信道 | 数据速率(kbps) |
|-----------|---------------|
| 载体信道(B信道) | 64 |
| 数据信道(D信道) | 16,64 |
| 混合信道(H信道) | 384,1536,1920 |

B 信道用全双工方式传输实际要传的数字信息;D 信道虽然名字是数据信道,但它用来传输控制信息;H 信道具有多种速率,适合视频、网络会议等信息传输。

2. 用户接口

窄带 ISDN 有两种类型的标准接口:基本速率接口 BRI 和主速率接口 PRI。后者适用于大型企业和集团用户。

(1) 基本速率接口(Basic Rate Interface,BRI)。

BRI 的速率为 144kbps,包含 2 个 64kbps 的 B 信道和一个 16kbps 的 D 信道(2B+D),ISDN 本身需 48kbps 的带宽。因此 BRI 实际需要 192kbps。

BRI 适用于家庭用户或小型企业,一般不需要更换现有的电话线,就可以在同一条双绞线上传输模拟信号和数字数据,但需要 ISDN Modem,接线方式也需做一些调节。我们国家使用 ISDN 主要采用 BRI 模式(它是 CCITT 的标准)。

(2) 主速率接口(Primary Rate Interface,PRI)。

PRI 由 23B+D 信道组成,而本身需要 8kbps 的带宽,所以 PRI 需要一个 1.544Mbps 的数字信道。它正好和北美 DS-1 的电话业务的 T1 线路标准相同。而在欧洲,PRI 由(30B+2D) 30 个 B 信道和两个 64kbps 的 D 信道,总容量是 2.048Mbps,这是 E1 线路的标准。

5.3.3 宽带 ISDN(B-ISDN)

窄带 ISDN(N-ISDN)无法传输可视电话和视频点播(VOD)等多媒体信息的宽带业务,由于那时还没有今天的 ATM 和三网融合的信息高速公路,而且 N-ISDN 是将电路交换、包交换和无交换等功能放在同一个交换机中,带宽设计被证明也较窄。因此,N-ISDN 不适合同时传输大量数字业务的并发信号。

宽带 ISDN(B-ISDN)为用户提供了 600Mbps 的传输速率,几乎是 PRI 的 400 倍,现在已经支持更高速率的技术。B-ISDN 基于 ATM 技术,表现了思想上的一个重大革命,根本改变了通信的所有方面,B-ISDN 是电信界从双绞线到光纤的一个改变,未来的信息高速公路主要由 B-ISDN 和 ATM 组成。

5.4 数字用户线

用户到电信的“最后一公里”是模拟线路传输瓶颈,传统 Modem 和 ISDN Modem 传输速率低,目前基本已不使用。数字用户线(xDSL)很好地为用户解决了这个问题。

xDSL 是用户数字线路(Digital Subscriber Line, DSL)的统称, 它是一种点到点接入技术, 利用现有电话网用户环路为用户提供高速的数据传输, 本地用户环路是带宽为 1MHz 或更宽的双绞线电缆。由于电话用户环路已经被大量铺设, 所以这种技术得到了广泛的应用。xDSL 中的 x 代表不同种类的数字用户线路技术, 主要是传输速率、距离和对称/非对称的区别。

由于 xDSL 技术利用普通的铜质电话线进行高速数据传输实现代价较小, 易于升级, 因而受到了各方面的重视。DSL 的类型很多, 如单线数字用户环路(SDSL); 速率适配的数字用户环路(RADSL); 非对称数字用户环路(ADSL); 高速数字用户环路(HDSL); 超高速数字用户环路(VDSL)等, 它们一般统称为 xDSL 技术。

5.4.1 xDSL 的种类

1. 非对称数字用户线(ADSL)

ADSL 将双绞线电缆的带宽(1MHz)划分为三个频带, 第一个频带为 0~25kHz, 用于常规的电话业务; 第二个频带为 25k~200kHz, 用于上行传输数据; 第三个频带为 200k~1MHz, 用于下行传输数据。

ADSL 在不影响现有电话业务的情况下, 进行非对称高速数据传输, 它的上行传输速率为 224k~640kbps, 下行传输速率为 1.5M~9.2Mbps, 实际使用时, 传输距离一般为 3k~5.5km。因为传输距离等因素会低于这个速率。

ADSL 利用分离器, 将模拟语音信号和数字调制信号分开, 即使在 ADSL 连接失败时也不影响语音服务。正因为如此, ADSL 技术已成为接入 Internet、视频点播、访问远程局域网络等理想的接入方式。

2. 高比特率数字用户线

高比特率数字用户线(High bit-rate Digital Subscriber Line, HDSL)是对称的高速数字用户线技术, 通过两对或三对双绞线提供全双工 1.544/2.048Mbps(T1/E1) 数据传输能力, 支持 640kbps、1168kbps 和 2320kbps 三种速率, 但不支持语音服务和 ISDN。HDSL 没有中继时的传输距离根据用户线的规格不同而不同, 约为 4k~7km。

3. 对称数字用户线(SDSL)

SDSL 是 HDSL 的一个分支, 也称为单线对数字用户线 SDSL 或中等比特率数字用户线 MDSL。SDSL 使用一对双绞线在上下行方向上实现 E1/T1 的传输, 上行和下行速率相同, 从几百 k~2Mbps, 传输距离 3km 左右。

4. 速度自适应数据用户线(RADSL)

RADSL 根据线路质量动态调整速率, 属于非对称传输模式。其上行传输速率为 128k~768kbps, 下行传输速率为 384kbps~9.2Mbps, 传输距离 5.5km 左右。

5. 甚高比特率数字用户线(VDSL)

VDSL 在一对铜质双绞线上实现数字数据双向传输, 上行传输速率为 1.5M~7Mbps, 下行传输速率为 13M~52Mbps, 传输距离大约在 300~1.3km 左右。