

第3章 城域网

教学要求:

通过本章的学习,学生应该了解计算机城域网的基本概念。

了解多路复用技术(DWDM)、接入网、无线城域网(WMAN)与 WiMAX 的技术基础。

了解城域网的技术标准与应用案例。

3.1 城域网基本概念

1. 城域网概念

城域网(Metropolitan Area Network, MAN)基本上是一种大型的 LAN,通常使用与 LAN 相似的技术。之所以将 MAN 单独列出的一个主要原因:城域网是局域网规模越来越大,最后发展到广域网的一个历史演变过程,现在大多数网络用户都是通过城域网接入广域网/互联网的。城域网的标准是分布式队列双总线(Distributed Queue Dual Bus, DQDB),即 IEEE 802.6 标准。DQDB 由双总线构成,所有的计算机都连在上面。

所谓宽带城域网,就是在城市范围内,以 IP 和 ATM 电信技术为基础,以光缆作为传输媒体,集数据、语音、视频服务于一体的高带宽、多功能、多业务接入的多媒体通信网络。

它能够满足政府机构、金融保险、大中小学校、公司企业等单位对高速率、高质量数据通信业务日益旺盛的需求,特别是快速发展起来的互联网用户群对宽带高速上网的需求。

2. 业务特点

(1) 传输速率高。宽带城域网采用大容量的 Packet Over SDH 传输技术,为高速路由和交换提供传输保障。千兆以太网技术在宽带城域网中的广泛应用,使骨干路由器的端口能高速有效地扩展到分布层交换机上。光缆、网线到用户桌面,使数据传输速率达到 100Mbps、1000Mbps。

(2) 用户投入少,接入简单。宽带城域网用户端设备便宜而且普及,可以使用路由器、Hub 甚至普通的网卡。用户只需将光缆、网线进行适当连接,并简单配置用户网卡或路由器的相关参数即可接入宽带城域网。个人用户只要在自己的计算机上安装一块以太网卡,将宽带城域网的接口插入网卡就联网了。安装过程和以前的电话一样,只不过网线代替了电话线,计算机代替了电话机。

(3) 技术先进、安全。技术上为用户提供了高度安全的服务保障。宽带城域网在网络中提供了第二层的 VLAN 隔离,使安全性得到保障。由于 VLAN 的安全性,只有在用户局域网内的计算机才能互相访问,非用户局域网内的计算机都无法通过非正常途径访问用户的计算机。虚拟拨号的普通用户通过宽带接入服务器上网,经过账号和密码的验证才可以上网,用户可以非常方便地自行控制上网时间和地点。

3. 主要用途及适用范围

(1) 高速上网。利用宽带 IP 网频带宽、速度快的特点,用户可以快速访问 Internet 及享受一切相关的互联网服务(包括 WWW、电子邮件、新闻组、BBS、互联网导航、信息搜索、远程文件传送等),端口速率达到 10Mbps 以上。

(2) 互动游戏。可以让用户享受到 Internet 网上游戏和局域网游戏相结合的全新游戏体验。通过宽带网,即使是相隔 100km 的同城网友,也可以不计流量地相约玩三维联网游戏。

(3) VOD 视频点播。让用户坐在家里利用 Web 浏览器随心所欲地点播自己爱看的节目,包括电影精品、流行的电视剧集,还有视频新闻、体育节目、戏曲歌舞、MTV、卡拉 OK 等。

(4) 网络电视(NETTV)。突破传统的电视模式,跨越时间和空间的约束,在网上实现无限频道的电视收视。通过 Web 浏览器的方式直接从网上收看电视节目,克服了现有电视频道受地区及气候等多种因素约束的弊病,而且有利于进行一种新型交互式电视剧——“网络电视剧”的制作和播放。

(5) 远程医疗。采用先进的数字处理技术和宽带通信技术,医务人员为远在数千米之外的病人进行诊断和治疗,远程医疗是随着宽带多媒体通信的兴起而发展起来的一种新的医疗手段。

(6) 远程会议。异地开会不用出差,在高速信息网络上的视频会议系统中开会即可。

(7) 远程教育。学生可通过宽带网在家收看教学节目并可与老师实时交互;可上 Internet 查资料,以 E-mail 等方式布置作业、交作业、解答提问等;缺课可检索课程数据库以 VOD 方式播放老师讲课录像等。

(8) 远程监控(WebCAM)。可以对远程的系统或其他东西进行监控,授权用户通过 Web 自由进行镜头的转动、调焦等操作,实现实时的监控管理功能。

(9) 家庭证券交易系统。可在家里交互式地进行证券大户室形式的网上炒股,不但可以实时查阅深、沪股市行情,获取全面及时的金融信息,还可以通过多种分析工具进行即时分析,并可进行网上实时下单交易,参考专家股评。

宽带业务还可为广大用户提供 Internet 信息浏览、信息查询、收发电子邮件、网上游戏、多媒体网上教育、视音频点播等多项服务。

4. 城域网与局域网、广域网的区别

(1) 局域网或广域网通常是为了一个单位或系统服务的,而城域网则是为整个城市而不是为某个特定的部门服务的。

(2) 建设局域网或广域网包括资源子网和通信子网两个方面,而城域网的建设主要集中在通信子网上,其中也包含两个方面:一是城市骨干网,它与全国的骨干网相连;二是城市接入网,它把本地所有的联网用户与城市骨干网相连。

3.2 多路复用传输技术

1. 概述

城域网主要使用多路复用技术进行数据传输。

多路复用技术是把多个低信道组合成一个高速信道的技术,它可以有效地提高数据链

路的利用率,从而使得一条高速的主干链路同时为多条低速的接入链路提供服务,也就是使得网络干线可以同时运载大量的语音和数据传输。

采用多路复用技术的原因:通信工程中用于通信线路架设的费用相当高,需要充分利用通信线路的容量,而且网络中传输媒体的传输容量都会超过单一信道传输的通信量,为了充分利用传输媒体的带宽,需要在一条物理线路上建立多条通信信道。人们平时上网最常用的电话线就采取了多路复用技术,所以一个人在上网的时候,其他人也可以打电话。

多路复用最常用的两个设备是多路复用器和多路分配器。

(1) 多路复用器。在发送端根据约定规则把多个低带宽信号复合成一个高带宽信号。

(2) 多路分配器。根据约定规则再把高带宽信号分解为多个低带宽信号。这两种设备统称为多路器(MUX)。

2. 多路复用技术

常见的多路复用技术包括频分多路复用(FDM)、时分多路复用(TDM)、波分多路复用(WDM)和码分多路复用(CDMA)。其中,时分多路复用又包括同步时分复用和统计时分复用。

FDM、TDM、WDM、CDMA 的基本原理如下。

1) 频分多路复用

频分多路复用的基本原理是在一条通信线路上设置多个信道,每路信道的信号以不同的载波频率进行调制,各路信道的载波频率互不重叠,这样一条通信线路就可以同时传输多路信号,如图 3.1 所示。



图 3.1 频分多路复用

用户在分配到一定的频带后,在通信过程中自始至终都占用这个频带。频分多路复用的所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源(请注意:这里的“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率)。

2) 时分多路复用

时分多路复用是以信道传输时间作为分割对象,通过多个信道分配互不重叠的时间片的方法来实现,因此时分多路复用更适用于数字信号的传输。它又分为同步时分多路复用和统计时分多路复用,如图 3.2 所示。

使用时分多路复用,信道不再细分,而是作为一整条通道来使用。每一个用户预先分配一个等宽的时间片,任一个用户是在固定的时间片中进行信息的传输。

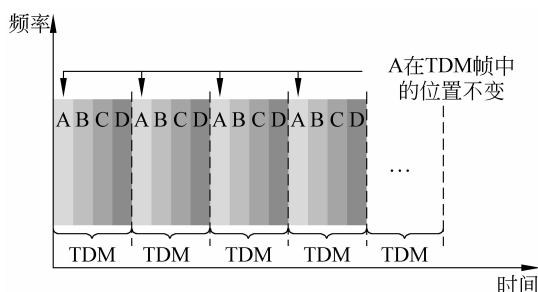


图 3.2 时分多路复用

频分多路复用技术通常用于传输连续信号,时分多路复用技术通常用于传输离散信号。

3) 波分多路复用

波分多路复用是光的频分多路复用,它是在光学系统中利用衍射光栅来实现多路不同频率光波信号的合成与分解,如图 3.3 所示。

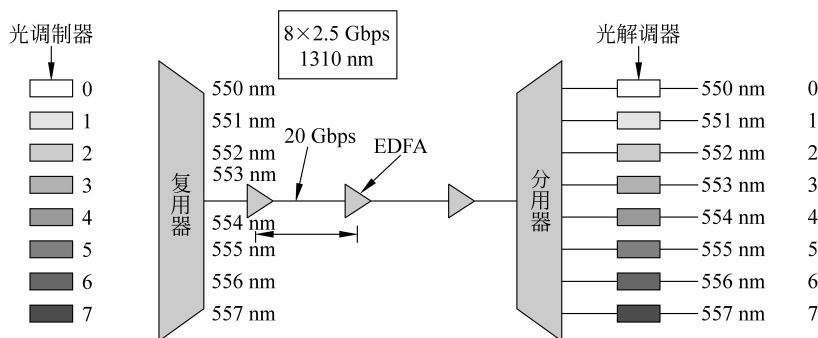


图 3.3 波分多路复用

4) 码分多路复用

码分多路复用也是一种共享信道的方法,每个用户可在同一时间使用同样的频带进行通信,但使用的是基于码型的分割信道的方法,即每个用户分配一个地址码,各个码型互不重叠,通信各方之间不会相互干扰,且抗干扰能力强。码分多路复用技术主要用于无线通信系统,特别是移动通信系统。它不仅可以提高通信的话音质量和数据传输的可靠性以及减少干扰对通信的影响,而且增大了通信系统的容量。笔记本电脑或个人数字助理(Personal Data Assistant, PDA)以及掌上计算机(Handed Personal Computer, HPC)等移动性计算机的联网通信就是使用了这种技术。

3. DWDM 密集型光波复用

DWDM 密集型光波复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)能组合一组光波用一根光纤进行传送。这是一项用来在现有的光纤骨干网上提高带宽的激光技术。更确切地说,该技术是在一根指定的光纤中,多路复用单个光纤载波的紧密光谱间距,以便利用可以达到的传输性能(如达到最小限度的色散或者衰减)。这样,在给定的信息传输容量下,就可以减少所需要的光纤的总数量。

DWDM 能够在同一根光纤中,把不同的光波同时进行组合和传输。为了保证有效,一

根光纤将转换为多个虚拟光纤。所以,如果打算复用 8 个光纤载波(OC),即一根光纤中传输 48 路信号,传输容量就将从 2.5Gbps 提高到 20Gbps。目前,由于采用了 DWDM 技术,单根光纤可以传输的数据流量最大达到 400Gbps。

DWDM 的一个关键优点是它的协议和传输速率是不相关的。基于 DWDM 的网络可以采用 IP、ATM、SONET/SDH、以太网协议来传输数据,处理的数据流量为 100Mbps~2.5Gbps。这样,基于 DWDM 的网络可以在一个激光信道上以不同的速率传输不同类型的数据流量。从 QoS(质量服务)的观点看,基于 DWDM 的网络以低成本的方式来快速响应客户的带宽需求和协议改变。

3.3 接入网技术

城域网的接入主要依靠目前存在的电信网络。全国的电信网是由长途网和本地网两大部分组成的。本地网又是由连接着各个电信局之间的中继网和各个电信局的交换设备连接到每个用户的用户接入网所组成的。

用户接入网包括由电信局至用户间的全部机线设备。从电信局至用户的用户线路主要包括 3 大部分:主干线路、配线线路、引入线。一般主干线较长,约 2km;配线较短,约几百米;引入线一般不超过几十米。目前,用作主干线和配线的多是对绞铜缆,用作引入线的是对称线。随着各种电信业务的迅速发展,用户将不仅要求利用电话业务,还将要求接入计算机数据、传真、电子邮件、图像、有线电视等多媒体服务,原来连接用户的铜缆性能已不能满足新业务的需要,必须对用户接入网进行改造或新建。建设方式可以对现有铜缆构成的用户接入网进行改造以达到要求,也可利用光纤构成用户接入网。

光纤直接接入家庭是将来用户接入网的发展方向,但不可能立即丢弃全部现有铜缆而新建一个光纤用户接入网,且当前建立光纤用户线路也比铜缆用户线路贵。故必须根据各种用户性质,所需要的业务类型,从技术和经济上分析比较来选择最合理的方案。当前,也可以考虑以下一些方式。

(1) 利用现有铜缆方式。可以采用 HDSL(高速率数字用户环路)方式,它是利用两对铜线开通 2Mbps,以满足一般用户线距离内的用户需要。或采用 ADSL(不对称数字用户线)方式,它是利用一条铜线,除了可以传送原有电话业务外,还可以单向传送大约 6Mbps 速率的业务。

(2) 光纤和同轴电缆混合方式。当用户接入的业务量较大,或需要接入有线电视等业务时,可以采用一段光纤,连接一段铜缆的混合方式。例如,在发送端把模拟信号和有线电视信号调制成交光信号后,送入光纤。在接收端通过光电变换后,用同轴电缆把有线电视信号送至各用户电视接收机,其他信号可以用对绞铜线分别接入各有关家庭中。

(3) 光纤到路边和光纤到家。根据发展需要,可以用光缆代替原主干电缆,或代替原主干电缆和配线电缆,其他段落仍用铜缆或铜线。这种连接方式,可以根据光纤到达地点分别称为 FTTC(光纤到路边),或 FTTB(光纤到大楼)等。

对于已经具备或即将具备宽带需求的用户,也可以考虑直接把光纤引入家庭,称为 FTTH(光纤到家)。

(4) 还可利用无线构成的用户接入网。对于距离交换设备较远、用户密度较稀的一些

郊区、农村、山区等用户,由于用户线太长,分布很分散,投资较大,采用无线接入方式往往显得比较方便,节省投资。尤其对于可能出现自然灾害(如水灾、地震等)的地区,为了提高通信的可靠性,应考虑采用无线接入方式。

3.4 无线城域网

在无线局域网势头正劲之际,近年来又出现了无线城域网(WMAN)技术。

1999年,IEEE设立了IEEE 802.16工作组,其主要工作是建立和推进全球统一的无线城域网技术标准。在IEEE 802.16工作组的努力下,近些年又陆续推出了IEEE 802.16、IEEE 802.16a、IEEE 802.16b、IEEE 802.16d等一系列标准。

1. WiMAX 基本概念

为了使IEEE 802.16系列技术得到推广,在2001年成立了WiMAX论坛组织,因而相关无线城域网技术在市场上又被称为WiMAX技术。WiMAX全称为World Interoperability for Microwave Access,即微波接入的世界范围互操作,其技术标准为IEEE 802.16。

WiMAX技术的物理层和媒体访问控制层(MAC)技术基于IEEE 802.16标准,可以在5.86Hz、3.56Hz和2.56Hz这3个频段上运行。

WiMAX利用无线发射塔或天线,能提供面向互联网的高速连接。其接入速率最高达75Mbps,胜过有线DSL技术,最大距离可达50km,它可以替代现有的有线和DSL连接方式,来提供最后1km的无线宽带接入。因而,WiMAX可应用于固定、简单移动、便携、游牧和自由移动这5类应用场景。

WiMAX相对于WiFi的优势主要体现在WiFi解决的是无线局域网的接入问题,而WiMAX解决的是无线城域网的问题。WiFi只能把互联网的连接信号传送到约100m远的地方,WiMAX则能把信号传送到50km之远。WiFi网络连接速度为54Mbps,而WiMAX为70Mbps。

2. WiMAX 的技术优势

(1) 传输距离远、接入速度快、应用范围广。WiMAX采用OFDM技术,能有效地抗多径干扰。同时,采用自适应编码调制技术,可以实现覆盖范围和传输速率的折中;利用自适应功率控制,可以根据信道状况动态调整发射功率。正由于其具有传输距离远、接入速度快的优势,其可以应用于广域接入、企业宽带接入、移动宽带接入,以及数据回传等几乎所有的宽带接入市场。

(2) 不存在“最后1km”的瓶颈限制,系统容量大。WiMAX作为一种宽带无线接入技术,它可以将WiFi热点连接到互联网,也可作为DSL等有线接入方式的无线扩展,实现最后1km的宽带接入。WiMAX可为50km区域内的用户提供服务,用户只要与基站建立宽带连接即可享受服务,因而其系统容量大。

(3) 提供广泛的多媒体通信服务。由于WiMAX具有很好的可扩展性和安全性,从而可以提供面向连接的、具有完善QoS保障的、电信级的多媒体通信服务,其提供的服务按优先级从高到低有主动授予服务、实时轮询服务、非实时轮询服务和尽力投递服务。

(4) 安全性高。WiMAX空中接口专门在MAC层上增加了私密子层,不仅可以避免非法用户接入,保证合法用户顺利接入,而且还提供了加密功能(如EAP SIM认证),保护用

户隐私。

3. WiMAX 发展面临的问题

(1) 成本问题。相对于有线产品,成本太高,不利于普及。

(2) 技术标准和频率问题。许多国家的频率资源紧缺,目前都还没有分配出频率给 WiMAX 技术使用,频率的分配直接影响系统的容量和规模,这决定了运营商的投资力度和经营方向。

(3) 与现有网络的相互融合问题。IEEE 802.16 系列技术标准只是规定空中接口,而对于业务、用户的认证等标准都没有一个统一的规范,因而需要通过借助现有网络来完成,因此必须解决与现有网络的相互融合问题。

总之,从技术层面讲,WiMAX 更适合用于城域网建设的“最后 1km”无线接入部分,尤其对于新兴的运营商更为合适。WiMAX 技术具有传输距离远、数据速率高的特点,配合其他设备(如 VoIP、WiFi 等)可提供数据、图像和语音等多种较高质量的业务服务。在有线系统难以覆盖的区域和临时通信需要的领域,可作为有线系统的补充,具有较大的优势。随着 WiMAX 的大规模商用,其成本也将大幅度降低。在未来的无线宽带市场中,尤其是在专用网络市场中,WiMAX 将占有重要位置。

3.5 城域网应用案例讨论

3.5.1 H3C 运营商广电城域网解决方案

随着三网融合趋势越来越明显,以及 IPTV、卫星直播电视等业务的快速发展,传统的广电行业面临着越来越大的压力,它迫切需要转型,即从单一的广播电视业务提供商向综合信息提供商转变,以应对未来激烈的竞争。

广电运营商转型的关键就是开展多项业务,如机顶盒双向交互业务、家庭宽带上网业务、大客户 VPN 业务、视频监控等。开展这些业务的关键则是需要高性能、高可靠的 IP 数据城域网,因为原有的 HFC 网络由于 QoS、性能、带宽等多种原因无法可靠承载未来业务所需的大量数据。

1. 广电业务运营对 IP 城域网的要求

考虑到广电业务的特性及广电运营商自身的一些特点,此 IP 城域网需要满足以下要求。

(1) 多业务承载。目前,广电运营商开展的业务主要可以分为个人及大客户两大类。个人业务主要包括双向机顶盒互动业务(如 VOD 点播、时移电视等)、家庭宽带上网及 VoIP 业务;大客户业务主要是政府、银行等的 VPN 接入。此 IP 城域网必须能够可靠承载这些业务。

(2) 高可靠、高性能。整网要达到运营商级 99.999% 的可靠性,即全年业务中断时间不能超过 5min。同时,还需要实现各类业务数据的高速转发,不能出现大规模拥塞等现象,否则对于语音、视频等高时延敏感业务会产生巨大影响。

(3) 灵活丰富的 QoS 策略。广电业务类型丰富,不同业务对于 QoS 有不同的要求。语音数据对带宽要求不高,但对时延和抖动非常敏感,若时延超过 150ms,就会产生失真、语音

断续等现象;视频数据不但对时延抖动敏感,且对带宽要求较高,若产生拥塞,则图像会产生马赛克甚至停顿;普通的数据服务,如 Web 页面浏览、电子邮件发送等,由于内容越来越丰富而不像以前仅仅局限于文字,故对于带宽的要求也越来越高。这都要求 IP 城域网及设备具备丰富灵活的 QoS 策略,充分保证不同业务的连续性。

(4) 易管理、易维护。广电系统的许多设备数量大、种类多,且分布分散,很多设备都需要进入居民小区及居民家中。若要单个进行维护,则无论人员数量还是工作量均非常庞大,耗时费力,因此需要整网管理功能非常强大。此外,还要求整网设备可靠耐用,无故障工作时间长、故障发生率低。

2. 方案概述

H3C 广电城域网整体解决方案如图 3.4 所示。

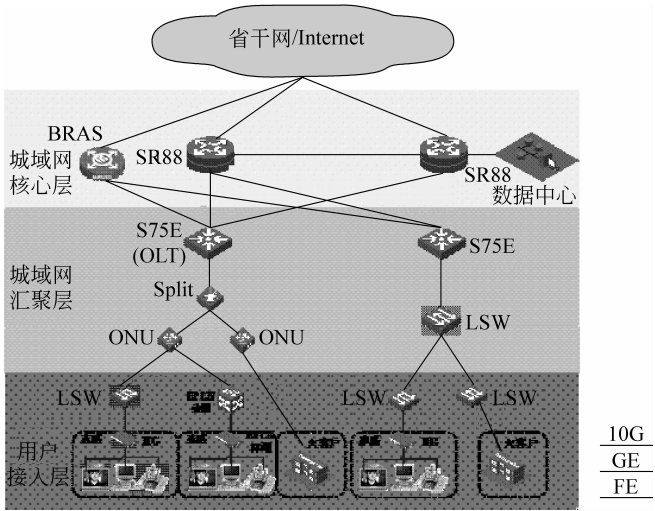


图 3.4 H3C 广电城域网整体解决方案

城域网分为两层：核心层及汇聚层。

(1) 城域网核心层作为城域网核心,其主要功能是 IP 数据包高速转发。使用 H3C 公司的 SR8800 系列高性能核心路由器。SR8800 系列高性能路由器引擎交换容量最大为 1.44TB,包转发率最高可达 586Mbps,全面支持 OSPF、BGP 等路由协议。实现了万兆 NP 平台和无阻塞交换技术的完美融合,完全满足用户对于业务处理性能和容量的要求。

(2) 汇聚层直接面对用户接入层,主要负责接入层至核心层的 IP 数据包汇聚转发,避免大量的接入层设备流量直接冲击城域网核心层设备。使用 H3C 公司的 S7500E 系列高性能多业务交换机。

3.5.2 西安市广电城域网解决方案

西安市广电城域网使用双环状拓扑结构,互为备份,降低故障率,提高可用性,如图 3.5 所示。

在此环状拓扑结构的基础上构造了西安市有线电视宽带综合信息网数据 IP 网络,分级使用了思科公司的 GSR 12012、GSR 12008、Cisco 7507/7504、Cat 5505/2948G-L3 等核心路

由及交换设备,如图 3.6 所示。

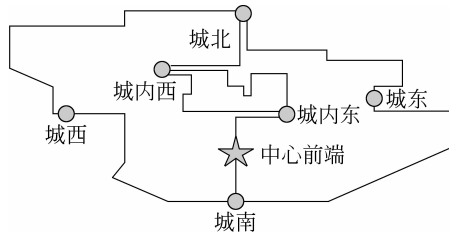


图 3.5 西安市广电城域网环状拓扑

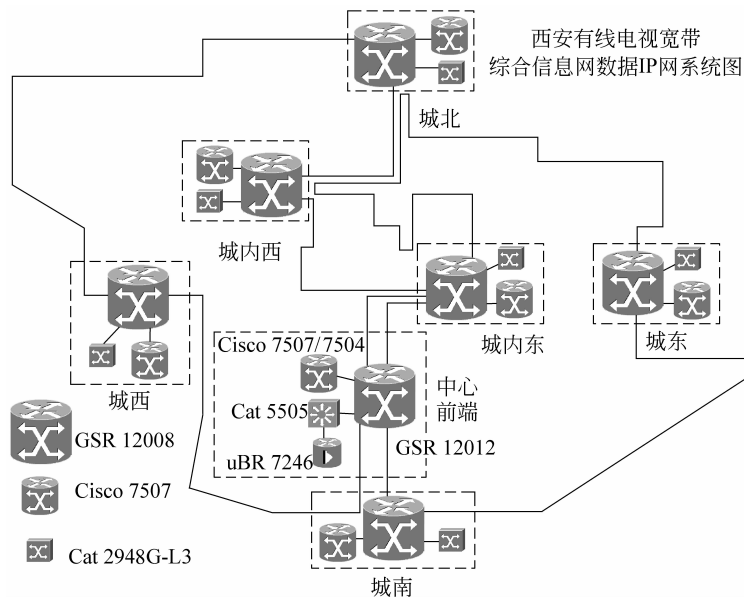


图 3.6 西安市有线电视宽带综合信息网数据 IP 网络

习 题 3

1. 城域网与局域网、广域网的区别是什么？
2. 常见的多路复用技术有几类？
3. 什么是 DWDM 密集型光波复用？
4. 用户接入可以考虑哪几种模式？
5. 什么是无线城域网？什么是 WiMAX？
6. WiMAX 的技术优势及发展面临的问题是什么？

第 4 章 广 域 网

教学要求：

通过本章的学习,学生应该了解广域网的基本概念。

掌握虚电路(Virtual Circuit)方式和数据报(Datagram)方式的理论基础。

了解各类广域数据通信网的概念,掌握现代广域数据通信网的技术标准与应用案例。

了解无线广域网连接的技术方案。

4.1 广域网概述

1. 概述

广域网(Wide Area Network, WAN)也称远程网。通常跨接很大的物理范围,所覆盖的范围从几十千米到几千千米,它能连接多个城市或国家,或横跨几个大洲并能提供远距离通信,是国际性的远程网络。

同一部门不同地区或不同部门不同地区之间的计算机网络互连,即构成广域网。例如,我国正在使用的中国科技网(CSTNET)、金桥网(ChinaGBNET)、教育科研网(CERNET)等都是典型的广域网。

广域网的通信子网主要使用分组交换技术。广域网的通信子网可以利用公用分组交换网、卫星通信网和无线分组交换网,它将分布在不同地区的局域网或计算机系统互连起来,达到资源共享的目的。

通常广域网的数据传输速率比局域网低,而信号的传播延迟却比局域网要大得多。广域网的典型速率是从 56kbps 到 155Mbps,现在已有 622Mbps、2.4Gbps 甚至更高速率的广域网;传播延迟可从几毫秒到几百毫秒(使用卫星信道时)。

2. 结构

广域网是由许多路由器和交换机组成的,路由器之间采用点到点线路连接,几乎所有的点到点通信方式都可以用来建立广域网,包括租用线路、光纤、微波、卫星信道。广域网交换机实际上就是一台计算机,由处理器和输入输出设备进行数据包的收发处理。

广域网一般最多只包含 OSI 参考模型的低 3 层,而且目前大部分广域网都采用存储转发方式进行数据交换,也就是说,广域网是基于报文交换或分组交换技术的(传统的公用电话交换网除外)。广域网中的交换机先将发送给它的数据包完整接收下来,然后经过路径选择找出一条输出线路,最后交换机将接收到的数据包发送到该线路上去,以此类推,直到将数据包发送到目的节点。

3. 广域网与城域网、局域网的区别

1) 局域网

局域网是将小区域内的各种通信设备互连在一起的通信网络。决定局域网特性的主要技术有 3 个。

- ① 用于传输数据的传输媒体。
- ② 用于连接各种设备的拓扑结构。
- ③ 用于共享资源的介质访问方法。

这 3 种技术在很大程度上决定了传输数据的类型、网络的响应时间、吞吐率、利用率和网络应用等各种网络特性。其中,最重要的是介质访问控制方法,它对网络特性有十分重要的影响。

局域网的典型特性: 高速率(0.1~100Mbps), 短距离(0.1~25km), 低误码率($10^{-11} \sim 10^{-8}$)。

其中,常见的为以太网、快速以太网、全双工以太网和交换局域网。

前两种采用的是 CSMA/CD(载波监听多路访问/冲突检测)的介质访问方法,交换局域网采用的是交换技术,全双工以太网中全双工运行在交换器之间,以及交换器和服务器之间。全双工是和交换器一起工作的链路特性,它使数据流在链路中同时向两个方向流动,不是所有收发器都支持它的全双工功能。

2) 城域网

城域网是在一个城市范围内所建立的计算机通信网。这是 20 世纪 80 年代末,在 LAN 的发展基础上提出的,在技术上与 LAN 有许多相似之处,但与广域网区别较大。

MAN 的传输媒体主要采用光缆,传输速率在 100Mbps 以上。所有联网设备均通过专用连接装置与媒体相连,只是媒体访问控制在实现方法上与 LAN 不同。

MAN 的一个重要用途是用作骨干网,通过它将位于同一城市内不同地点的主机、数据库以及 LAN 等互相连接起来,这与 WAN 的作用有相似之处,但两者在实现方法与性能上有很大差别。MAN 不仅用于计算机通信,同时可用于传输语音、图像等信息,成为一种综合利用的通信网,但属于计算机通信网的范畴,不同于综合业务通信网。

3) 广域网

广域网是在一个广泛地理范围内所建立的计算机通信网,其范围可以超越城市和国家以至全球,因而对通信的要求及复杂性都比较高。

WAN 由通信子网与资源子网两部分组成: 通信子网实际上是一个数据网,可以是一个专用网(交换网或非交换网)或一个公用网(交换网);资源子系统是连在网上的各种计算机、终端、数据库等。这不仅指硬件,也包括软件和数据资源。

在实际应用中,LAN 可与 WAN 互连,或通过 WAN 与位于其他地点的 WAN 互连,这时 LAN 就成为 WAN 上的一个端系统。

广域网用于通信的传输装置,一般是由公司或电信部门提供的。互连主要采用公用网络和专用网络两种,如果连接的次数有限,要求不固定,通用性好,可选择公用数据网或增值网;如果连接次数很多,且要 24 小时畅通无阻,则采用专用网络为好。

4.2 数据报和虚电路

广域网可以提供面向连接和无连接两种服务模式,对应于两种服务模式,广域网有两种组网方式: 虚电路方式和数据报(Datagram)方式。

1. 虚电路

对于采用虚电路方式的广域网,源节点与目的节点进行通信之前,首先必须建立一条从源节点到目的节点的虚电路(即逻辑连接),然后通过该虚电路进行数据传送,最后当数据传输结束时,释放该虚电路。在虚电路方式中,每个交换机都维持一个虚电路表,用于记录经过该交换机的所有虚电路的情况,每条虚电路占据其中的一项。在虚电路方式中,其数据报文在其报头中除了序号、校验以及其他字段外,还必须包含一个虚电路号。

在虚电路方式中,当某台机器试图与另一台机器建立一条虚电路时,首先选择本机还未使用的虚电路号作为该虚电路的标识,同时在该机器的虚电路表中填上一项。由于每台机器(包括交换机)独立选择虚电路号,所以虚电路号仅仅具有局部意义,也就是说报文在通过虚电路传送的过程中,报文头中的虚电路号会发生变化。

一旦源节点与目的节点建立了一条虚电路,就意味着在所有交换机的虚电路表上都登记有该条虚电路的信息。当两台建立了虚电路的机器相互通信时,可以根据数据报文中的虚电路号,通过查找交换机的虚电路表得到它的输出线路,进而将数据传送到目的端。

当数据传输结束时,必须释放所占用的虚电路表空间,具体做法是由任意一方发送一个撤除虚电路的报文,清除沿途交换机虚电路表中的相关项。

虚电路技术的主要特点是,在数据传送以前必须在源端和目的端之间建立一条虚电路。

值得注意的是,虚电路的概念不同于前面电路交换技术中电路的概念。后者对应着一条实实在在的物理线路,该线路的带宽是预先分配好的,是通信双方的物理连接。虚电路的概念是指在通信双方之间建立了一条逻辑连接,该连接的物理含义是指明收发双方的数据通信应按虚电路指示的路径进行。虚电路的建立并不表明通信双方拥有一条专用通路,即不能独占信道带宽,到来的数据报文在每个交换机上仍需要缓存,并在线路上进行输出排队。

2. 数据报

广域网另一种组网方式是数据报方式,交换机不必登记每条打开的虚电路,它们只需要用一张表来指明到达所有可能的目的端交换机的输出线路。由于在数据报方式中每个报文都要单独寻址,因此要求每个数据报包含完整的目的地址。

通过网络传输的数据的基本单元,包含一个报头和数据本身,其中报头描述了数据的目的地址以及与其他数据之间的关系。其后是完备的、独立的数据实体,该实体携带要从源计算机传递到目的计算机的信息。

在数据报操作方式中,每个数据报自身携带有足够的信息,它的传送是被单独处理的。在整个数据报传送过程中,不需要建立虚电路,网络节点为每个数据报进行路由选择,各数据报不能保证按顺序到达目的节点,有些还可能会丢失。

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节点时可能出现乱序、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与源地址。
- (4) 数据报方式报文传输延迟较大,适用于突发性通信,不适用于长报文、会话式通信。

3. 两者比较

虚电路方式与数据报方式之间的最大差别在于:虚电路方式为每一对节点之间的通信

预先建立一条虚电路,后续的数据通信沿着建立好的虚电路进行,交换机不必为每个报文进行路由选择;而在数据报方式中,每一个交换机为每一个进入的报文进行一次路由选择,也就是说,每个报文的路由选择独立于其他报文。

广域网内部使用虚电路方式还是数据报方式对应于广域网提供给用户的服务。虚电路方式提供的是面向连接的服务,而数据报方式提供的是无连接的服务。数据报广域网无论在性能、健壮性以及实现的简单性方面都优于虚电路方式。基于数据报方式的广域网将得到更大的发展。

4.3 广域数据通信网

一般来讲,广域网的建设常常以电信部门提供的公共通信网络(即“通信子网”)为基础。我国已建立了帧中继网、综合业务数字网,并在其上开放了分组数据交换、租用电路等各种业务,为建设广域网创造了很好的条件。

经常使用的几种广域网,包括传统的公用电话交换网(PSTN)、分组交换网(X.25)、数字数据网(DDN)、交换式多兆位数据服务(SMDS)以及后期发展的帧中继(Frame Relay, FR)、ISDN 综合业务数字网/ATM 异步传输模式网络、SONET 同步光纤网/SDH 同步数字系列、混合光纤同轴网(HFC)和卫星通信网络。

4.3.1 传统广域网通信技术

1. 公用电话交换网

公用电话交换网(Public Switched Telephone Network, PSTN)是以电路交换技术为基础的用于传输模拟话音的网络。目前,全世界的电话数目早已达数亿部,并且还在不断地增长。要将如此之多的电话连在一起并使其工作,唯一可行的办法就是采用分级交换方式。

电话网概括起来主要由 3 部分组成:本地回路、干线和交换机。其中,干线和交换机一般采用数字传输和交换技术,而本地回路(也称用户环路)基本上采用模拟线路。由于 PSTN 的本地回路是模拟的,因此当两台计算机想通过 PSTN 传输数据时,中间必须经双方 Modem 实现计算机数字信号与模拟信号的相互转换。

PSTN 是一种电路交换的网络,可看作是物理层的一个延伸,在 PSTN 内部并没有上层协议进行差错控制。在通信双方建立连接后电路交换方式独占一条信道,当通信双方无信息时,该信道也不能被其他用户所利用。

用户可以使用普通拨号电话线或租用一条电话专线进行数据传输,使用 PSTN 实现计算机之间的数据通信是最廉价的,但由于 PSTN 线路的传输质量较差,而且带宽有限,再加上 PSTN 交换机没有存储功能,因此 PSTN 只能用于对通信质量要求不高的场合。目前通过 PSTN 进行数据通信的最高速率不超过 56kbps。

2. X.25 分组交换网

X.25 标准是在 20 世纪 70 年代由国际电报电话咨询委员会 CCITT 制定的。从 ISO/OSI 体系结构观点看,X.25 对应于 OSI 参考模型低 3 层,分别为物理层、数据链路层和网络层。

X.25 是面向连接的,它支持交换虚电路(Switched Virtual Circuit, SVC)和永久虚电路

(Permanent Virtual Circuit,PVC)。交换虚电路是在发送方向网络发送请求建立连接报文要求与远程机器通信时建立的。一旦虚电路建立起来,就可以在建立的连接上发送数据,而且可以保证数据正确到达接收方。X.25 同时提供流量控制机制,以防止快速的发送方淹没慢速的接收方。永久虚电路的用法与 SVC 相同,但它是用户和长途电信公司经过商讨而预先建立的,因而它时刻存在,用户不需要建立链路而可直接使用它。PVC 类似于租用的专用线路。

X.25 网络是在物理链路传输质量很差的情况下开发出来的。为了保障数据传输的可靠性,它在每一段链路上都要执行差错校验和出错重传。这种复杂的差错校验机制虽然使它的传输效率受到限制,但确实为用户数据的安全传输提供了很好的保障。

X.25 网络的突出优点是可以在一条物理电路上同时开放多条虚电路供多个用户同时使用;网络具有动态路由功能和复杂完备的误码纠错功能。X.25 分组交换网可以满足不同速率和不同型号的终端与计算机、计算机与计算机之间以及局域网之间的数据通信。X.25 网络提供的数据传输率一般为 64kbps。

3. 帧中继

帧中继技术是由 X.25 分组交换技术演变而来的。FR 的引入是由于过去 20 年来通信技术的改变。20 年前,人们使用慢速、模拟和不可靠的电话线路进行通信,当时计算机的处理速度很慢且价格比较昂贵。结果是在网络内部使用很复杂的协议来处理传输差错,以避免用户计算机来处理差错恢复工作。

随着通信技术的不断发展,特别是光纤通信的广泛使用,通信线路的传输率越来越高,而误码率却越来越低。为了提高网络的传输率,帧中继技术省去了 X.25 分组交换网中的差错控制和流量控制功能,这就意味着帧中继网在传送数据时可以使用更简单的通信协议,而把某些工作留给用户端去完成,这样使得帧中继网的性能优于 X.25 网,它可以提供 1.5Mbps 的数据传输率。

通常可把帧中继看作一条虚拟专线。用户可以在两节点之间租用一条永久虚电路并通过该虚电路发送数据帧,其长度可达 1600B。用户也可以在多个节点之间通过租用多条永久虚电路进行通信。

实际租用专线(DDN 专线)与虚拟租用专线的区别在于:对于实际租用专线,用户可以每天以线路的最高数据传输率不停地发送数据;而对于虚拟租用专线,用户可以在某一个时间段内按线路峰值速率发送数据,当然用户的平均数据传输速率必须低于预先约定的水平。换句话说,长途电信公司对虚拟专线的收费要少于物理专线。

帧中继技术只提供最简单的通信处理功能,如帧开始和帧结束的确定以及帧传输差错检查。当帧中继交换机接收到一个损坏帧时,只是将其丢弃,帧中继技术不提供确认和流量控制机制。

帧中继网和 X.25 网都采用虚电路复用技术,以便充分利用网络带宽资源,降低用户通信费用。但是,由于帧中继网对差错帧不进行纠正,简化了协议,因此帧中继交换机处理数据帧所需的时间大大缩短,端到端用户信息传输时延低于 X.25 网,而帧中继网的吞吐率也高于 X.25 网。帧中继网还提供一套完备的带宽管理和拥塞控制机制,在带宽动态分配上比 X.25 网更具优势。帧中继网可以提供从 2Mbps 到 45Mbps 速率范围的虚拟专线。

4. 数字数据网

数字数据网(Digital Data Network, DDN)是一种利用数字信道提供数据通信的传输网,它主要提供点到点及点到多点的数字专线或专网。

DDN 由数字通道、DDN 节点、网管系统和用户环路组成。DDN 的传输媒体主要有光纤、数字微波、卫星信道等。DDN 采用了计算机管理的数字交叉连接(Data Cross Connection, DXC)技术,为用户提供半永久性连接电路,即 DDN 提供的信道是非交换、用户独占的永久虚电路(PVC)。一旦用户提出申请,网络管理员便可以通过软件命令改变用户专线的路由或专网结构,而无须经过物理线路的改造扩建工程,因此 DDN 极易根据用户的需要,在约定的时间内接通所需带宽的线路。

DDN 为用户提供的业务是点到点的专线。从用户角度来看,租用一条点到点的专线就是租用了一条高质量、高带宽的数字信道。用户在 DDN 上租用一条点到点数字专线与租用一条电话专线十分类似。DDN 专线与电话专线的区别在于:电话专线是固定的物理连接,而且电话专线是模拟信道,带宽窄、质量差、数据传输率低;而 DDN 专线是半固定连接,其数据传输率和路由可随时根据需要申请改变。另外,DDN 专线是数字信道,其质量高、带宽宽,并且采用热冗余技术,具有路由故障自动迂回功能。

DDN 与 X.25 网的区别在于:X.25 是一个分组交换网,X.25 网本身具有 3 层协议,用呼叫建立临时虚电路。X.25 具有协议转换、速度匹配等功能,适合于不同通信规程、不同速率的用户设备之间的相互通信。而 DDN 是一个全透明的网络,它不具备交换功能,利用 DDN 的主要方式是定期或不定期地租用专线。

从用户所需承担的费用角度看,X.25 是按字节收费,而 DDN 是按固定月租收费。所以 DDN 适合于需要频繁通信的 LAN 之间或主机之间的数据通信。DDN 网提供的数据传输率一般为 2Mbps,最高可达 45Mbps 甚至更高。

5. 传统广域网通信技术的比较

前面讨论了 4 种使用传统广域网通信技术,而互不兼容且有些重叠的广域网。下面将对这些不同种类的数据服务做一个简单比较。

PSTN 是采用电路交换技术的模拟电话网。当 PSTN 用于计算机之间的数据通信时,其最高速率不可能超过 56kbps。

X.25 是一种较老的面向连接的网络技术,它允许用户以 64kbps 的速率发送可变长的短报文分组。

DDN 是一种采用数字交叉连接的全透明传输网,它不具备交换功能。

帧中继是一种可提供 2Mbps 数据传输率的虚拟专线网络。

广域网通常跨接很大的物理范围,它能连接多个城市或国家并能提供远距离通信。广域网内的交换机一般采用点到点之间的专用线路连接起来。广域网的组网方式有虚电路方式和数据报方式两种,分别对应面向连接和无连接两种网络服务模式。

PSTN 是采用电路交换技术的模拟电话网。当 PSTN 用于计算机之间的数据通信时,在计算机两端要引入 Modem。X.25 分组交换网是最早用于数据传输的广域网,它的特点是对通信线路要求不高,缺点是数据传输率较低。DDN 是一种采用数字交叉连接的全透明传输网,它不具备交换功能。帧中继网是从 X.25 网络上改进而来的,它是简化的 X.25 协

议,提高了数据传输率。

设计 ATM 的目的是代替整个采用电路交换技术的电话系统,它用信元交换技术,可以处理数据。

4.3.2 现代广域网通信技术

1. ISDN 综合业务数字网/ATM 异步传输模式网络

传统的电话业务和电报业务使用电路交换网,而像帧中继等新型数据业务则使用分组交换网。对于电信公司来说,要分别管理这些不同的网络是一件头痛的事。除了电话网和数据通信网外,还有一种电信公司无法控制的网络:有线电视(CATV)网。

解决上述问题的最好方法是开发一种单一的新型网络,该网络可以替代整个电话网、数据网以及 CATV 网,通过该网络可以传送各种类型的信息。这种新型网络与现存的网络相比,它所支持的数据传输率更大,能提供的业务范围也更广。这种新型网络称为综合业务数字网(ISDN)。

所谓 ISDN,就是在一个统一的网络系统内传送和处理各种类型的数据,向用户提供多种业务服务,如电话、传真、视频以及数据通信业务等。

最早有关 ISDN 的标准是在 1984 年由 CCITT 发布的。第一代 ISDN 称为窄带 ISDN(N-ISDN)。它利用 64kbps 的信道作为基本交换单位,采用电路交换技术。第二代 ISDN 称为宽带 ISDN(B-ISDN)。它支持更高的数据传输速率,发展趋势是采用报文分组交换技术。

目前,N-ISDN 定义了两类用户访问速率:基本访问速率和基群访问速率。

(1) 基本访问速率(Basic Access Rate)。基本访问速率由两个速率为 64kbps 的 B 信道和 1 个速率为 16kbps 的 D 信道组成(2B+D)。B 信道用于传送用户数据;D 信道用于传送控制信息;加上分帧、同步等其他开销,总速率为 192kbps。

(2) 基群访问速率(Primary Access Rate)。基群访问速率可由多种信道混合而成。在北美和日本使用 23B+D 的结构,速率为 1.544Mbps;在欧洲则使用 30B+D 的结构,其中 B、D 信道均为 64kbps。

基本访问速率可利用现有用户电话线支持,提供电话、传真等常规业务。基群访问速率则是针对专用小型电话交换机(PBX)或 LAN 等业务量大的单位用户。ISDN 接口如图 4.1 所示。

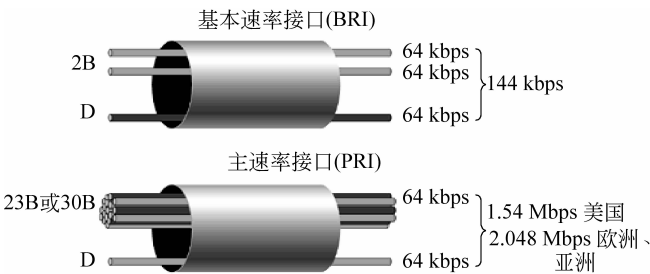


图 4.1 ISDN 接口

随着用户信息传送量和传送速率的不断提高,N-ISDN 已无法满足用户要求。例如,传

送高清晰度电视图像要求达到 155Mbps 量级的速率,要支持多个交互式或分布式应用,一个用户线的总容量需求可能达到 622Mbps 的数量级。在此情况下,人们提出了宽带 ISDN,即 B-ISDN。所谓宽带是指要求传送信道能够支持大于基群数量的服务。B-ISDN 可以提供视频点播、电视会议、高速局域网互连以及高速数据传输等业务。采用 B-ISDN 名称旨在强调 ISDN 的宽带特性,而实际上它应该支持宽带和其他 ISDN 业务。

B-ISDN 要支持如此高的速率,要处理很广范围内各种不同速率和传输质量的需求,需要面临两大技术挑战:一是高速传输,二是高速交换。光纤通信技术已经给前者提供了良好的支持;而异步传输模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)为实现高速交换展示了诱人的前景,使得 B-ISDN 网络的实现成为可能。近年来,电路交换设备的功能日益增强且越来越多地采用光纤干线,但利用电路交换技术难以圆满解决 B-ISDN 对不同速率和不同传输质量控制的需求。

理论分析和模拟表明,ATM 技术可以满足 B-ISDN 的要求。正因为这样,ATM 和 SONET 技术与 B-ISDN 结下了不解之缘。利用 ATM 构造 B-ISDN 是一件非常有意义的事情。

ATM 技术的基本思想是让所有的信息都以一种长度较小且大小固定的信元(Cell)进行传输。信元的长度为 53B,其中信元头是 5B,有效载荷部分占 48B。ATM 既是一种技术(对用户是透明的),又是一种潜在的业务(对用户是可见的)。

使用信元交换技术相对于 100 年前电话系统中所使用的传统电路交换技术是一次巨大的飞跃。信元交换技术具有如下优点。

① 信元交换既适合处理固定速率的业务(如电话、电视等),又适合处理可变速率业务(如数据传输)。

② 在数据传输率极高的情况下,信元交换比传统的多路复用技术更易于实现。

③ 信元交换提供广播机制,使得它能够支持需要广播的业务,而电路交换做不到。

ATM 网络是面向连接的。它首先发送一个报文进行呼叫请求以便建立一条连接;后来的信元沿着相同的路径去往目的节点。ATM 不保证信元一定到达目的节点,但信元到达一定是按先后顺序的。假设发送方依次发送信元 1 和信元 2,如果两个信元都到达目的节点,则一定是信元 1 先到,信元 2 后到。

ATM 网络的结构与传统的广域网一样,由电缆和交换机构成。ATM 网络目前支持的数据传输率主要是 155Mbps 和 622Mbps 两种,今后可能达到 10Gbps 数量级的传输速率。选择 155Mbps 的速率是考虑到对高清晰度电视(HDTV)的支持以及与 AT&T 公司的同步光纤网(Synchronous Optical Network, SONET)相兼容。

2. SONET 同步光纤网/SDH 同步数字系列

1985 年,美国国家标准协会(ANSI)通过一系列有关 SONET 标准。1988 年,国际电报电话咨询委员会 CCITT 接受 SONET 概念并制定了 SDH(Synchronous Digital Hierarchy, 同步数字系列)标准,使它成为不仅适于光纤也适于微波和卫星传输的通用技术体制,SDH 与 SONET 有细微差别,SDH/SONET 定义了一组在光纤上传输光信号的速率和格式,通常统称为光同步数字传输网,是宽带综合数字网 B-ISDN 的基础之一。SDH/SONET 采用 TDM 技术,是同步系统,由主时钟控制,精度为 10^{-9} 。两者都用于骨干网传输。SONET 多用于北美和日本,SDH 多用于中国和欧洲。

1) SONET 同步光纤网

同步光纤网标准是由美国在 1988 年推出的一个标准。标准着重于高次群的统一,方便国际间光纤干线的互通。它是一个全球的物理网络,非常像局域网中的以太网双绞线电缆。

数据传输以 51.84Mbps 为基准进行递增。对于基于铜缆的电信号传输称为第一级同步传送信号(STS-1);对于基于光纤的光信号传输称为第一级光载波(OC-1)。SONET 的基本速率从 51.84Mbps 起,最高达 2.5Gbps,而且能够发送数据、语音和图像。

同步光纤网(SONET)要点如下。

- ① 同步光纤网的概念是由美国贝尔通信研究所首先提出来的。
- ② 设计同步光纤网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,以使不同厂家的产品可以互连,从而能够建立大型的光纤网络。
- ③ 1988 年,ITU-T 接受了 SONET 的概念,并重新命名为同步数字体系 SDH,使它不仅仅适用于光纤,也适用于微波和卫星传输,成为通用性技术体制。
- ④ ITU-T 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,确立了作为国际标准的同步数字体系 SDH。
- ⑤ 目前,各个发达国家都把 SDH 作为新一代的传输体系,加紧对 SDH 的研究、开发与应用工作。

2) SDH 同步数字系列

根据 ITU-T 的建议定义,SDH 是为不同速度的数字信号的传输提供相应等级的信息结构,包括复用方法和映射方法,以及相关的同步方法组成的一个技术体制。

① SDH 的产生背景。随着通信的发展,要求传送的信息不仅是语音,还有文字、数据、图像和视频等。随着数字通信和计算机技术的发展,在 20 世纪 70 年代至 80 年代,陆续出现了 T1(DS1)/E1 载波系统(1.544/2.048Mbps)、X.25 帧中继、ISDN 和 FDDI 等多种网络技术。随着信息社会的到来,人们希望现代信息传输网络能快速、经济、有效地提供各种电路和业务,而上述网络技术由于其业务的单调性,扩展的复杂性,带宽的局限性,仅在原有框架内修改或完善已无济于事。

SDH 就是在这种背景下发展起来的。在各种宽带光纤接入网技术中,采用了 SDH 技术的接入网系统是应用最普遍的。SDH 的诞生解决了由于入户传输媒体的带宽限制而跟不上骨干网和用户业务需求的发展,而产生了用户与核心网之间的接入“瓶颈”问题,同时提高了传输网上大量带宽的利用率。

SDH 技术自从 20 世纪 90 年代引入以来,至今已经是一种成熟、标准的技术,在骨干网中被广泛采用,且价格越来越低,在接入网中应用可以将 SDH 技术在核心网中的巨大带宽优势和技术优势带入接入网领域,充分利用 SDH 同步复用、标准化的光接口、强大的网管能力、灵活网络拓扑能力和高可靠性带来好处,在接入网的建设发展中长期受益。

② SDH 的应用。电信、联通、广电等电信运营商都已经大规模建设了基于 SDH 的骨干光传输网络。利用大容量的 SDH 环路承载 IP 业务、ATM 业务或直接以租用电路的方式出租给企业、事业单位。一些大型的专用网络也采用了 SDH 技术,架设系统内部的 SDH 光环路,以承载各种业务。例如电力系统,就利用了 SDH 环路承载内部的数据、远控、视频、语音等业务。

对于没有可能架设专用 SDH 环路的单位,很多都采用了租用电信运营商电路的方式。SDH 技术可真正实现租用电路的带宽保证,安全性方面也优于 VPN 等方式。在政府机关和对安全性非常注重的企业,SDH 租用线路得到了广泛的应用。一般来说,SDH 可提供 E1、E3、STM-1 或 STM-4 等接口,完全可以满足各种带宽要求。同时,在价格方面,也已经为大部分单位所接受。

综上所述,SDH 以其明显的优越性已成为传输网发展的主流。SDH 技术与一些先进技术相结合,如光波分复用、ATM 技术、Internet 技术(IP over SDH)等,使 SDH 网络的作用越来越大。SDH 已被各国列入 21 世纪高速通信网的应用项目,是电信界公认的数字传输网的发展方向,具有远大的商用前景。

③ SDH 的传输速率。SDH 光端机容量较大,一般是 16E1 到 4032E1。SDH 是一种将复接、线路传输及交换功能融为一体,并由统一网管系统操作的综合信息传送网络。它可实现网络有效管理、实时业务监控、动态网络维护、不同厂商设备间的互通等多项功能,能大大提高网络资源利用率、降低管理及维护费用、实现灵活可靠和高效的网络运行与维护。

SDH 采用的信息结构等级称为同步传送模块 STM-N(Synchronous Transport, $N=1, 4, 16, 64$),最基本的模块为 STM-1,4 个 STM-1 同步复用构成 STM-4,16 个 STM-1 或 4 个 STM-4 同步复用构成 STM-16;SDH 的帧在传输时按由左到右、由上到下的顺序排成串型码流依次传输,每帧传输时间为 $125\mu\text{s}$,每秒传输 $1/125 \times 1\,000\,000$ 帧,对 STM-1 而言每帧字节为 $8\text{b} \times (9 \times 270 \times 1) = 19\,440\text{b}$,则:

STM-1 的传输速率为 $19\,440 \times 8000 = 155.520\text{Mbps}$ 。

STM-4 的传输速率为 $4 \times 155.520\text{Mbps} = 622.080\text{Mbps}$ 。

STM-16 的传输速率为 16×155.520 (或 4×622.080) $= 2488.320\text{Mbps}$ 。

由于网络发展的历史原因,SONET 的 OC 级与 SDH 的 STM 级的速率有一定的对应关系,详见表 4.1。

表 4.1 SONET 的 OC 级与 SDH 的 STM 级的速率对应关系

传输速率/Mbps	OC 级	STS 级	STM 级
51.840	OC-1	STS-1	
155.520	OC-3	STS-3	STM-1
466.560	OC-9		
622.080	OC-12		STM-4
933.120	OC-18		
1243.160	OC-24	STM-8	
1866.240	OC-36	STM-12	
2488.320	OC-48	STM-16	

4.3.3 xDSL 数字用户线

数字用户线(Digital Subscriber Line,DSL)是以铜质电话线为传输介质的传输技术组合,它包括 HDSL、VDSL、ADSL 等,一般称为 xDSL 技术,x 代表不同种类的数字用户线路技术。它们主要的区别体现在信号传输速率和有效距离的不同以及上行速率和下行速率对称性不同。DSL 技术主要分为对称和非对称两大类。

xDSL 技术就是用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造,使它能够承载宽带业务。虽然标准模拟电话信号的频带被限制在 $300\sim 3400\text{kHz}$,但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超过 1MHz 。xDSL 技术就把 $0\sim 4\text{kHz}$ 低端频谱留给传统电话使用,而把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用。

DSL 技术在传统的公用电话网络的用户环路上支持对称和非对称传输模式,解决了经常发生在网络服务供应商和最终用户间的“最后 1km”的传输瓶颈问题。由于电话用户环路已经被大量铺设,如何充分利用现有的铜缆资源,通过铜质双绞线实现高速接入就成为业界的研究重点,因此 DSL 技术很快就得到重视,并在一些国家和地区得到大量应用。

1. 对称 DSL 技术

主要有 HDSL、SDSL、MVL 等。对称 DSL 技术主要用于替代传统的 T1/E1 接入技术。与传统的 T1/E1 接入相比,DSL 技术具有对线路质量要求低、安装调试简单等特点。

1) HDSL

HDSL 是技术上已经比较成熟的一种,已经在数字交换机的连接、高带宽视频会议、远程教学、移动电话基站连接等方面得到了较为广泛的应用。这种技术的特点:利用两对双绞线传输;支持 $N\times 64\text{kbps}$ 各种速率,数据端口速率可选择 64kbps 的任意整倍数,传输速率按欧洲标准或美国标准可达到 $2048\text{kbps}/1544\text{kbps}(E1/T1)$ 。HDSL 是 T1/E1 的有力竞争者。与 T1/E1 相比,HDSL 价格便宜、容易安装,放大器的数量也相对较少。

2) SDSL

SDSL 利用单对双绞线,支持多种速率到 T1/E1,用户可根据数据流量,选择最经济合适的速率。比用 HDSL 节省一对铜线,在 0.4mm 双绞线上的最大传输距离可达 3km 以上。

3) MVL

MVL 是 Paradyne 公司开发的低成本 DSL 传输技术。它利用一对双绞线,安装简便,价格低廉;功耗低,可以进行高密度安装;其上/下行共享速率可达到 768kbps ;传输距离可达 7km 。

2. 非对称 DSL 技术

主要有 ADSL、RADSL、VDSL 等。非对称 DSL 技术非常适用于对双向带宽要求不一样的应用,如 Web 浏览、多媒体点播、信息发布等,因此适用于 Internet 接入、VOD 系统等。

1) ADSL

ADSL 技术是在无中继的用户环路网上,使用有负载电话线提供高速数字接入的传输技术。ADSL 最大的特点是不需要专门的线缆,而是利用普通电话线作为传输介质,配上专用的 Modem 即可实现数据高速传输。ADSL 支持上行速率 $640\text{kbps}\sim 1\text{Mbps}$,下行速率