

第3章

谁构筑了网络的铜墙铁壁

本章从广域网的概念、数据交换方式、公用网技术、传输介质、接入网和无线广域网技术等方面全面剖析了广域网技术的本质。人们常说的通信技术其实就是以广域网技术为基础的技术。通过本章的学习,对读者来说,广域网通信将变得透明而清晰。

3.1 走进广域网

广域网(Wide Area Network, WAN)也称远程网,是一种用来实现不同地区的局域网或城域网的互联,可提供不同地区、城市和国家之间的计算机通信的远程计算机网。

广域网是在传输距离较长的前提下所发展的相关技术的集合,用于将大区域范围内的各种计算机设备和通信设备互连在一起,组成一个资源共享的通信网络。其主要特点如下。

(1) 长距离。一般跨越城市,甚至是进行全球的远距离连接。

(2) 低速率。在很早的时候,广域网的传输速率是以 kb/s 为单位的。当然随着应用的需要,技术的不断创新,现在也出现了许多像 ISDN、ADSL、ATM 这样的高速广域网,其传输速率能达到 Mb/s 级,甚至更高。

(3) 高成本。相对于城域网、局域网来说,广域网的架设成本是很昂贵的。不过,它却给世界带来了前所未有的大发展。

(4) 维护困难。相对于局域网维护来说,广域网管理、维护更为困难。

(5) 传输介质多样。可以使用多种介质进行数据传输,如光纤、双绞线、同轴电缆、微波、卫星、红外线、激光等。

从整个电信网的角度来讲,可以将全网划分为公用网和用户驻地网(Customer Premises Network, CPN)两大块。其中,CPN 属用户所有,因而,通常意义的公用网指的是公用电信网部分。公用网又可以划分为长途网、中继网和接入网(Access Network, AN)三部分。长途网和中继网合并称为核心网。相对于核心网,接入网介于本地交换机和用户之间,主要完成使用户接入到核心网的任务。

具体地说,接入网是由业务结点接口(Service Node Interface, SNI)和相关用户网络接口(User Network Interface, UNI)及为传送电信业务所需承载能力的系统组成的,经 Q3 接口进行配置和管理。因此,接入网可由三个接口界定,即网络经由 SNI 与业务结点相连,用户则通过 UNI 与用户相连,管理方面则经 Q3 接口与电信管理网(Telecommunications

Management Network, TMN)相连。接入网的引入给通信网带来新的变革,使整个通信网络结构发生了根本的变化。

ITU-T 根据近年来电信网的发展演变趋势,提出了接入网的概念。接入网的重要特征可以归纳为如下几点。

- (1) 接入网对于所接入的业务提供承载能力,实现业务的透明传送。
- (2) 接入网对用户信令是透明的,除了一些用户信令格式转换外,信令和业务处理的功能依然在业务结点中。
- (3) 接入网的引入不应限制现有的各种接入类型和业务,接入网应通过有限的标准化的接口与业务结点相连。
- (4) 接入网有独立于业务结点的网络管理系统,该系统通过标准化的接口连接 TMN, TMN 实施对接入网的操作、维护和管理。

3.2 数据交换方式

数据传输的双方若有点对点的链路连接,那么实现数据通信最为方便。但现实中很多时候这种配置很难实现,当数据传输的双方物理距离很远,或者需要相连的传输设备很多,就需要在各工作站之间建立一个通信网络。

这个通信网络通常分成两种:广域网和局域网。虽然现在广域网和局域网无论从技术还是应用上,其分界线都变得越来越模糊,其区别主要在于认为局域网通常在一个较小的范围或组织之内,而且数据的传播速度比广域网快得多。从技术上来说,局域网使用广播,而广域网使用数据交换。

交换即转接,是在交换通信网中实现数据传输必不可少的技术。交换方式按照性质可以分为电路交换、存储交换和信元交换。其中,存储交换又分为报文交换和报文分组交换,而后者通常简称为分组交换。

3.2.1 电路交换

电路交换又称为线路交换。在所有的交换方式中,电路交换是一种直接的交换方式。这种方式提供了一条临时的专用通道,这个通道既可以是物理通道,也可以是逻辑通道(使用时分或频分复用技术)。通信的双方在通信时,确实占有了一条专用的通道,而这个临时的专用通道在双方通信的接收前,即使双方并没有进行任何数据传输,也不能为其他站点服务。

线路交换按其结点直接连通一个输入线和一个输出线(空间分割)或按时间片分配物理通路给多个通道(时间分割)方式又分为空间分割线路交换和时间分割线路交换。

目前公用电话网广泛使用的交换方式是电路交换,经由电路交换的通信包括电路建立、数据传输、电路拆除三个阶段。通过源站点请求完成交换网中对应的所需逐个结点的接续(连接)过程,以建立起一条由源站到目的站的传输通道。在通道建立之后,传输双方可以进行全双工传输。在完成数据或信号的传输后,由源站或目的站提出终止通信,各结点相应拆除该电路的对应连接,释放由原电路占用的结点和信道资源。

1. 电路交换的特点

电路交换要在两站间建立一条专用通信链路需要花费一段时间,这段时间称为呼叫建立时间。在此过程中,会由于交换网繁忙等原因而使建立失败,对于交换网则要拆除已建立的部分电路,用户需要挂断重拨,这称为呼损。电路交换工作原理如图 3-1 所示。

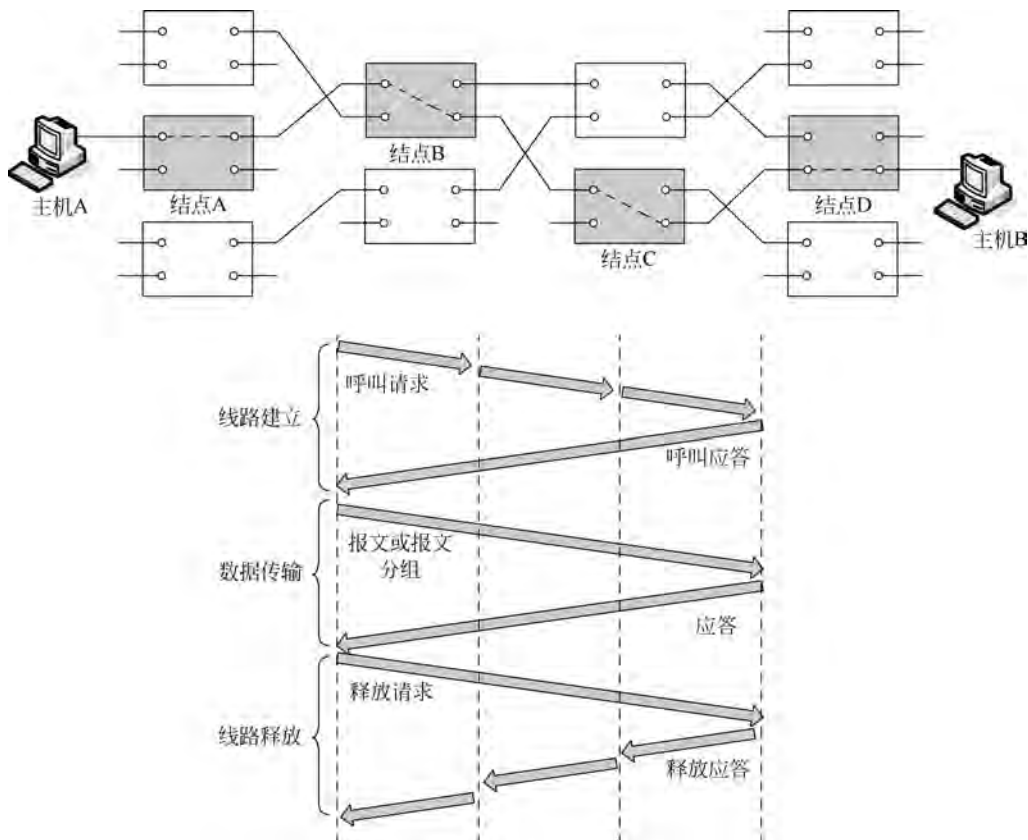


图 3-1 电路交换工作原理

电路交换方式利用率低。通信链路建立,进行数据传输,直至通信链路拆除为止,信道是专用的,即使传输双方暂时没有任何数据,通道也不能为其他任何传输方利用,再加上通信建立时间、拆除时间和呼损,因此,其利用率较低。

2. 电路交换的优势

电路交换的一个优势是,提供给用户的是“透明通路”,即交换网对用户信息的编码方法、信息格式以及传输控制程序等都不加以限制,通信双方的收发速度、编码方法、信息格式、传输控制等完全由传输双方决定。

在传输的过程中,在每个结点的延迟是可以忽略的,数据以固定的数据率传输,除通过传输链路的传播延迟以外,没有别的延迟,适用于实时大批量连续的数据传输。

在交换的数据是相对较为连续的数据流时(如语音),电路交换是一种适宜的、容易使用的交换技术。

3.2.2 存储交换

在数据交换中,对一些实时性要求不高的信息,如图书管理系统中备份数据库信息,允许信息等待一些时间再转发出去,在等待的时间里能进行一些必要的数据处理工作,此时,采用存储转发式的存储交换方式比较合适。存储交换原理是输入信息在交换装置控制下先存入缓冲存储器暂存,并对存储的数据进行一些必要的处理,待输出线路空闲时,再将数据转发输出。转换交换装置起到了交换开关的作用,它可控制输入信息存入缓冲区等待出口的空闲,接通输出并传送信息。存储交换分为报文交换和报文分组交换两种。

1. 报文交换

目前数字数据通信广泛使用报文交换。在报文交换网中,网络结点通常为—台专用计算机配备足够的外存,以便在报文进入时进行缓冲存储。结点接收一个报文之后,暂时将报文存放在结点的存储设备之中,等输出线路空闲时,再根据报文中所附的目的地址将其转发到下一个合适的结点,如此往复,直到报文到达目标数据终端。所以报文交换也称为存储转发(Store and Forward)交换。

在报文交换中,每一个报文由传输的数据和报头组成,报头中有源地址和目标地址。结点根据报头中的目标地址为报文进行路径选择。并且对收发的报文进行相应的处理,如差错检查和纠错、调节输入/输出速度进行数据速率转换,进行流量控制,甚至可以进行编码方式的转换等,所以报文交换是在两个结点间的一段链路上逐段传输,不需要在两个主机间建立多个结点组成的电路通道。

与电路交换相比,报文交换方式不要求交换网为通信双方预先建立一条专用的数据通路,因此就不存在建立电路和拆除电路的过程。报文交换中每个结点都对报文进行“存储转发”,报文数据在交换网中是按接力方式发送的。通信双方事先并不知道报文所要经过的传输路径,并且各个结点不被特定报文所独占。

报文交换具有下列特征。

(1) 在通信时不需要建立一条专用的通路,不会像电路占用专有线路那样而造成线路浪费,线路利用率高,同时也就没有建立和拆除线路所需要的等待和时延。

(2) 每一个结点在存储转发中都有校验、纠错功能,数据传输的可靠性高。

报文交换的主要缺点是,由于采用了对完整报文的存储/转发,要求各站点和网中结点有较大的存储空间,以备存整个报文,只有当链路空闲时才能进行发送,故时延较大,不适用于交互式通信(如电话通信);由于每个结点都要把报文完整地接收、存储、检错、纠错、转发,产生了结点延迟,并且报文交换对报文长度没有限制,报文可以很长,这样就有可能使报文长时间占用某两结点之间的链路,不利于实时交互通信。分组交换即所谓的包交换正是针对报文交换的缺点而提出的一种改进方式。

2. 报文分组交换

该方式是把长的报文分成若干较短的、标准的“报文分组”(Packet),以报文分组为单位进行发送、暂存和转发。每个报文分组,除要传送的数据地址信息外,还有数据分组编号。报文在发送端被分组后,各组报文可按不同的传输路径进行传输,经过结点时,同样要存储、转发,最后在接收端将各报文分组按编号顺序再重新组成报文。报文与报文分组的结构如图 3-2 所示。



图 3-2 报文与报文分组的结构

与报文交换方式相比,报文分组交换的优点有以下几点。

(1) 分组本身较短,在各个结点之间传送比较灵活。

(2) 各分组路径自行选择,每个结点在收到一个报文后,即可向下一个结点转发,不必等其他分组到齐,因此大大减少了对各结点存储容量的要求,同时也缩短了网络延时。

(3) 报文分组传输中由于报文短,故传输中差错较少且一旦出错容易纠正。

当然报文分组也带来一定的复杂性,即发送端要求能将报文分组,而接收端则要求能将报文分组组合成报文,这增加了报文加工处理的时间。

报文分组的主要特点如下。

(1) 报文分组除数据信息外,还必须包括目的地址、分组编号、校验码等控制信息,并按规定的格式排列。每个分组大小限制在 1000 位。

(2) 报文分组采用存储交换方式,一般由存储交换机进行高速传输,分组容量小,交换时间短,因此可传输实时性信息。

(3) 每个报文分组不要求都走相同的路线,各分组可自行选择最佳路径,自己进行差错校验。报文分组到达目的结点时,先去掉附加的冗余控制信号,再按编号组装成原来的报文,传送给目的用户。上述功能在结点机和通信软件的配合下完成。

存储转发方式实际上是报文在各结点可以暂存于缓冲区内,缓冲区大,暂存的信息就多,当结点输入线传来的报文量超过输出线传输容量时,报文就要在缓冲器中暂存、等待,一旦输出线空闲时,暂存的报文就再传送。可见,报文通过结点时会产生延时,报文在一个结点的延迟时间=接收一个报文分组的时间+排队等待发送到下一个结点的时间。采用限定报文长度的方法可以控制报文通过结点的延时,但网络上被访问结点的总延时必须考虑。

应用排队理论分析,一般认为网络中被访问结点上总延时等于报文分组平均长度与线路速度之比。因此采用可变长度的报文,即使有个别的长报文也会严重影响平均延时。因为报文是顺序处理的,一个长报文产生额外的延时势必会影响其后各报文的处理,所以,必须规定报文分组的最大长度。超过规定最大长度的报文需拆成报文组后再发送。

报文分组交换虽然可以控制延时,但由于报文分组各自选择,相应地也存在一些缺点。

(1) 增加了信息传输量。报文分组方式要在每个分组内增加传输的目的地址和附加传输控制信息,因此总的信息量增加约 5%~10%。

(2) 由于报文分组交换允许各报文分组自己选择传输路径,使报文分组到达目的点时的顺序没有规则,可能出现丢失、重复报文分组的情况。因此,接收端需要将报文分组编号进行排序等工作。这需要通过端对端协议解决,因此数据报文分组交换方式适用于传输距离短、结点不多、报文分组较少的情况。



分组交换技术
——数据报

对于短报文来说,一个报文分组就足够容纳所传送的数据信息。一般单个报文分组称为数据报(Datagram)。数据报的服务以传送单个报文分组为主要目标。数据报是报文分组存储转发的一种形式。与线路交换方式相比,在数据报方式中,分组传送不需要预先在源主机与目的主机之间建立“线路连接”。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传输路径,从源主机到达目的主机。典型的数据报方式的工作过程,如图 3-3 所示。

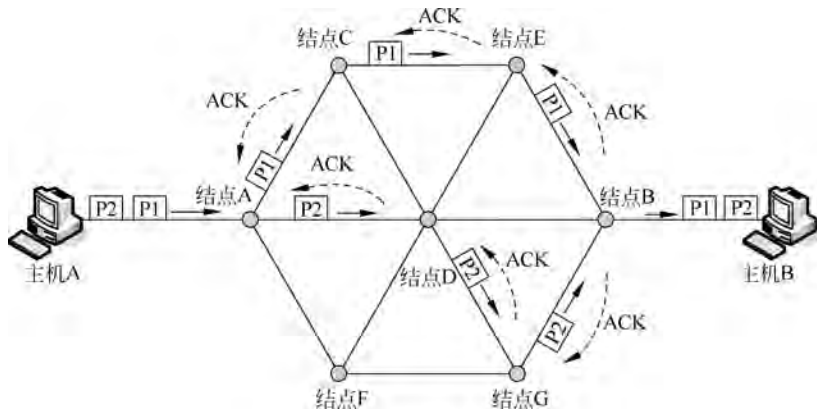


图 3-3 数据报方式工作过程

(1) 源主机 A 将报文 M 分成多个分组 $P_1, P_2, \dots, P_n$, 依次发送到与其直接连接的通信子网的通信控制处理机 A(即结点 A)。

(2) 结点 A 每接收一个分组均要进行差错检测, 以保证主机 A 与结点 A 的数据传输的正确性; 结点 A 接收到分组 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 后, 要为每个分组进入通信子网的下一结点启动路由选择算法。由于网络通信状态是不断变化的, 分组 P_1 的下一个结点可能选择为结点 C, 而分组 P_2 的下一个结点可能选择为结点 D, 因此同一报文的不同分组通过子网的路径可能是不同的。

(3) 结点 A 向结点 C 发送分组 P_1 时, 结点 C 要对 P_1 传输的正确性进行检测。如果传输正确, 结点 C 向结点 A 发送正确传输的确认信息 ACK; 结点 A 接收到结点 C 的 ACK 信息后, 确认 P_1 已正确传输, 则废弃 P_1 的副本。其他结点的工作过程与结点 C 的工作过程相同。这样, 报文分组 P_1 通过通信子网中多个结点的存储转发, 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. 虚电路服务

为了弥补报文分组交换方式的不足, 减轻目的结点对报文分组进行重组的负担, 引进了虚电路(Virtual Circuit)服务。为了进行数据传输, 在发送者和接收者之间首先建立一条逻辑电路, 以后的数据就按照相同的路径进行传送, 直到通信完毕后该通路被拆除。在一条物理通路上可以建立多条逻辑通路, 一对用户之间通信, 占用其中一条逻辑通路。虚电路可以

包括各段不相同的实际电路,经过若干中间结点的交换机或通信处理机制连接起来的逻辑通路构成。它是一条物理链路,在逻辑上复用为多条逻辑信道。虚电路一经建立就要赋予虚电路号,它反映信息的传输通道。这样报文分组中就不必再注明全部地址,相应地缩短了信息量,每个报文分组的虚电路可以各不相同。虚电路的工作原理如图 3-4 所示。

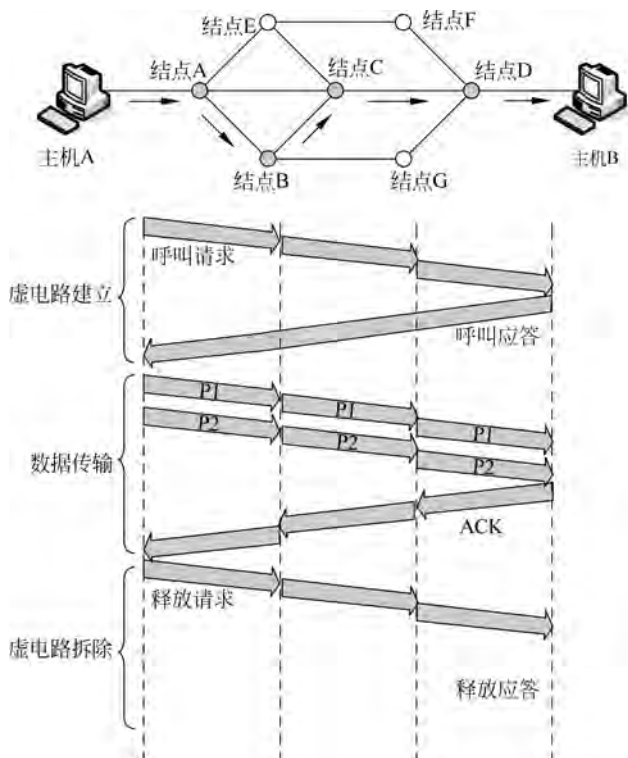


图 3-4 虚电路的工作原理

虚电路服务的工作过程如下。

1) 虚电路建立阶段

在虚电路建立阶段,结点 A 启动路由选择算法选择下一个结点(例如结点 B),向结点 B 发送呼叫请求分组;同样,结点 B 也要启动路由选择算法选择下一个结点。以此类推,呼叫请求分组依次经过结点 A、结点 B、结点 C,送到目的结点 D。目的结点 D 向源结点 A 发送呼叫接收分组,至此虚电路建立。

2) 数据传输阶段

在数据传输阶段,虚电路方式利用已建立的虚电路,逐站以存储转发方式顺序传送分组。

3) 虚电路拆除阶段

在虚电路拆除阶段,将按照结点 D—结点 C—结点 B—结点 A 的顺序依次拆除虚电路。虚电路方式的特点如下。

(1) 在每次报文分组发送之前,必须在发送方与接收方之间建立一条逻辑连接。之所以说是一条逻辑连接,是因为不需要真正去建立一条物理链路,因为连接发送方与接收方的物理链路已经存在。



分组交换技术
——虚电路

(2) 一次通信的所有报文分组都通过这条虚电路顺序传送,因此报文分组不必带目的地址、源地址等辅助信息。报文分组到达目的结点时不会出现丢失、重复与乱序的现象。

(3) 报文分组通过虚电路上的每个结点时,结点只需要做差错检测,而不需要做路径选择。

(4) 通信子网中每个结点可以和任何结点建立多条虚电路连接。

有以下两种建立虚电路的方法。

1) 交换虚电路

交换虚电路的建立像打电话一样,按主叫用户的要求临时在两个(主、被叫)客户之间建立虚电路。使用这种方式通信的客户,一次完整的通信过程分为 3 个阶段:呼叫建立、数据传送和拆线阶段。它适用于数据传送量小、随机性强的场合。

2) 永久虚电路

这种方式如同租用专线一样,在两个客户之间建立固定的通路。它的建立由网络管理中心预先根据客户需求而设定,因此在客户使用中,只有数据传送阶段,而无呼叫建立和拆线阶段。

表 3-1 列出了虚电路服务和数据报服务之间的不同点。

表 3-1 虚电路服务和数据报服务的比较

比较项目	虚电路	数据报
端-端连接	要	不要
目标站地址	仅连接时需要	每个分组都需要
分组顺序	按序	不保证
端-端差错处理和流程	均由通信子网负责	均由主机负责
状态信息	建立好的每条虚电路都要占用子网路由表的空间	子网不存储状态信息
路由器失败的影响	所有经过失效路由器的虚电路都要终止	除了崩溃丢失全部分组外,无其他影响
拥塞控制	比较容易	难



信元交换

3.2.3 信元交换

信元交换又叫 ATM(异步传输模式)交换,是一种面向连接的快速分组交换技术,它是通过建立虚电路来进行数据传输的。

1. ATM 交换的原理

信元交换技术是一种快速分组交换技术,它结合了电路交换技术延迟小和分组交换技术灵活的优点。信元是固定长度的分组,ATM 采用信元交换技术,其信元长度为 53B。信元头长 5B,数据长 48B。ATM 信元结构如图 3-5 所示。

信元传输采用异步时分复用(Asynchronous Time Division Multiplexing,ATDM),又称统计复用(Statistic Multiplexing)。信息源随机地产生信息,因为信元到达队列也是随机的。高速的业务信元来得十



图 3-5 ATM 信元结构

分频繁、集中,低速的业务信元来得很稀疏。这些信元都按顺序在队列中排队,然后按输出次序复用到传输线上。具有同样标志的信元在传输线上并不对应某个固定的时间间隙,也不是按周期出现的,信息和它在时域的位置之间没有关系,信息只是按信头中的标志来区分的。而在同步时分复用方式(如 PCM 复用方式)中,信息以它在一帧中的时间位置(时隙)来区分,一个时隙对应着一条信道,不需要另外的信息头来表示信息的身份。

ATM 网中的 ATM 主机在传输数据之前,首先将数据组织成若干个信元,每个信元的长度为 53B。通信子网中的 ATM 交换机的数据交换单元是信元。由于信元长度与格式固定,因此可以减少交换机的处理负荷,这就为交换机的高速交换创造了有利条件。

在 ATM 网中,ATM 主机也称为 ATM 端用户。ATM 端用户与 ATM 交换机统称为 ATM 设备。源 ATM 端主机在数据传输之前将根据对网络带宽的需求,发出连接建立请求。ATM 交换机在接收到请求后,将根据网络状况选择从源 ATM 端主机,经过 ATM 网到达目的 ATM 端主机的路径,构造相应的路由表,从而建立源与目的 ATM 主机的虚拟连接。这种虚拟连接也是一种逻辑连接,因为网络只需要为这条虚电路分配一定的网络资源(如带宽),而不需要建立真正的物理链路。每个信元的信元头部分不需要带有目的地址与源地址,只需要带有虚连接标识符。ATM 交换机根据虚连接标识符和路由表中的记录,就可以将信元送到合适的交换机输出端口。

物理链路是连接 ATM 交换机—ATM 交换机、ATM 交换机—ATM 主机的物理线路。每条物理链路可以包含一条或多条虚通路,每条虚通路又可以包含一条或多条虚通道。有人形象地把它比喻成:物理链路好比是连接两个城市之间的高速公路,虚通路好比是高速公路上的两个方向的道路,而虚通道好比是每条道路中的一条条的车道,那么信元就好比是高速公路上行驶的车辆。ATM 中的物理链路、虚通路与虚通道间的关系如图 3-6 所示。

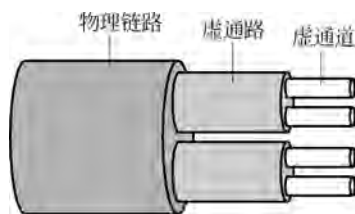


图 3-6 物理链路、虚通路与虚通道间的关系

1) 虚通路

在虚通路一级,两个 ATM 端用户间建立的连接被称为虚通路连接,而两个 ATM 设备间的链路被称为虚通路链路(Virtual Path Link,VPL)。那么,一条虚通路连接是由多段虚通路链路组成的。图 3-7(a)给出了虚通路连接的工作原理。

每一段虚通路链路 VPL 都是由虚通路标识符(Virtual Path Identifier,VPI)标识的。每条物理链路中的 VPI 值是唯一的。虚通路可以是永久的,也可以是交换式的。每条虚通路中可以有单向或双向的数据流,ATM 支持不对称的数据传输速率,即允许两个方向的数据传输速率可以是不同的。

2) 虚通道

在虚通道一级,两个 ATM 端用户间建立的连接被称为虚通道连接,而两个 ATM 设备间的链路称为虚通道链路(Virtual Channel Link,VCL)。虚通道连接 VCC 是由多条虚通道链路 VCL 组成的。每一条虚通道链路 VCL 都是用虚通道标识符(Virtual Channel Identifier,VCI)来标识的。图 3-7(b)给出了虚通道连接的工作原理。

根据虚通道建立方式的不同,虚通道又可分为以下两类:永久虚通道(Permanent Virtual Channel,PVC),交换虚通道(Switched Virtual Channel,SVC)。虚通道中的数据流

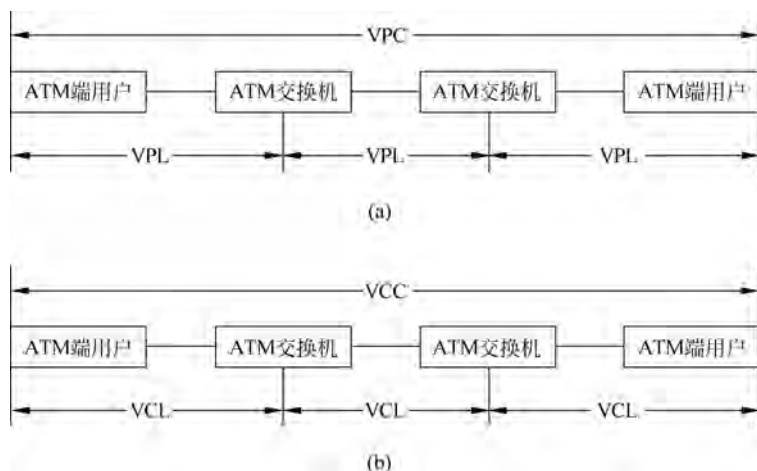


图 3-7 虚通路连接与虚通道连接

可以是单向的,也可以是双向的。当虚通道双向传输信元时,两个方向的通信参数可以是不相同的。

2. ATM 交换的应用

图 3-8 给出了利用 ATM 进行远程教学的例子。这个例子说明的是一位教授与一位学生通过 ATM 网络授课的过程。这位教授的工作站装有 ATM 接口卡、声卡、摄像机,并连接到本地的 ATM 交换机,成为一台能产生多媒体信息的 ATM 端主机。学生的计算机也连接到 ATM 网中,形成一种基于 ATM 网络的远程教学系统。在教学过程中,教授与学生之间要传送文本、语音、视频信息。对于这种应用要求,传统的数据通信网是无法满足的。但是,可以通过 ATM 网络为教授与学生的 ATM 端主机之间建立一条虚通路($VPI=1$)。在 $VPI=1$ 的虚通路上,可以分别为文本、语音与视频数据的传输定义三条虚通道 VC,如图 3-9 所示。

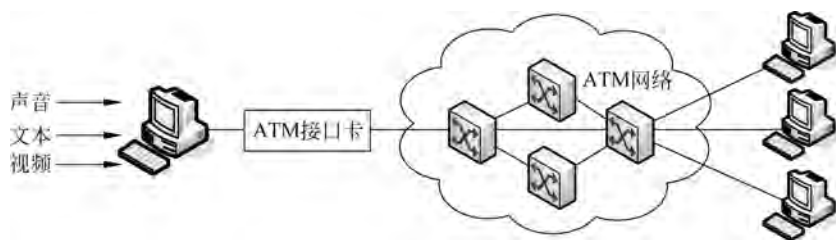


图 3-8 支持远程教学的 ATM 网络

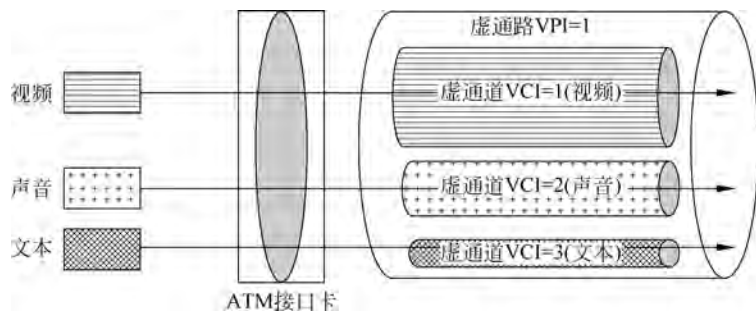


图 3-9 信息在虚通路内分为三条虚通道传播

3.2.4 多协议标签交换

1. MPLS 概述

多协议标签交换(Multi-Protocol Label Switching,MPLS)是新一代的 IP 高速骨干网络交换标准,由因特网工程任务组(Internet Engineering Task Force,IETF)提出。

MPLS 是利用标记(label)进行数据转发的。当分组进入网络时,要为其分配固定长度的短的标记,并将标记与分组封装在一起,在整个转发过程中,交换结点仅根据标记进行转发。

MPLS 独立于第二和第三层协议,如 ATM 和 IP。它提供了一种方式,将 IP 地址映射为简单的具有固定长度的标签,用于不同的包转发和包交换技术。它是现有路由和交换协议的接口,如 IP、ATM、帧中继、资源预留协议(RSVP)、开放最短路径优先(OSPF)等。

在 MPLS 中,数据传输发生在标签交换路径(LSP)上。LSP 是每一个沿着从源端到终端的路径上的结点的标签序列。

MPLS 主要设计来解决网络问题,如网络速度、可扩展性、服务质量(QoS)管理以及流量工程,同时也为下一代 IP 中枢网络解决宽带管理及服务请求等问题。

在这部分,主要关注通用 MPLS 框架。有关 LDP、CR-LDP 和 RSVP-TE 的具体内容可以参考个别文件。

MPLS 最初是为了提高转发速度而提出的。与传统 IP 路由方式相比,它在数据转发时,只在网络边缘分析 IP 报文头,而不用在每一跳都分析 IP 报文头,从而节约了处理时间。

MPLS 起源于 IPv4(Internet Protocol version 4),其核心技术可扩展到多种网络协议,包括 IPX(Internet Packet eXchange)、Appletalk、DECnet、CLNP(Connectionless Network Protocol)等。MPLS 中的“Multiprotocol”指的就是支持多种网络协议。

2. MPLS 基本结构

1) 网络拓扑结构

MPLS 网络的典型结构如图 3-10 所示。MPLS 基于标签进行转发,图 3-10 中进行 MPLS 标签交换和报文转发的网络设备称为标签交换路由器(Label Switching Router, LSR);由 LSR 构成的网络区域称为 MPLS 域(MPLS Domain)。位于 MPLS 域边缘、连接其他网络的 LSR 称为边缘路由器(Label Edge Router,LER),区域内部的 LSR 称为核心 LSR(Core LSR)。

IP 报文进入 MPLS 网络时,MPLS 入口的 LER 分析 IP 报文的内容并且为这些 IP 报文添加合适的标签,所有 MPLS 网络中的 LSR 根据标签转发数据。当该 IP 报文离开 MPLS 网络时,标签由出口 LER 弹出。

IP 报文在 MPLS 网络中经过的路径称为标签交换路径(Label Switched Path,LSP)。LSP 是一个单向路径,与数据流的方向一致。

如图 3-10 所示,LSP 的入口 LER 称为入结点(Ingress);位于 LSP 中间的 LSR 称为中间结点(Transit);LSP 的出口 LER 称为出结点(Egress)。一条 LSP 可以有 0 个、1 个或多个中间结点,但有且只有一个入结点和一个出结点。

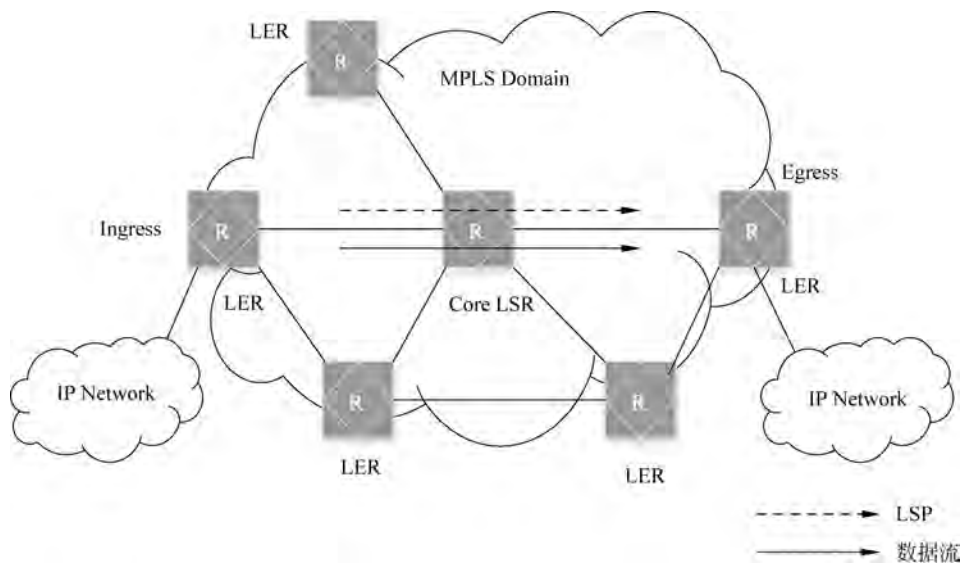


图 3-10 MPLS 网络拓扑结构图

根据 LSP 的方向,MPLS 报文由 Ingress 发往 Egress,则 Ingress 是 Transit 的上游结点,Transit 是 Ingress 的下游结点。同理,Transit 是 Egress 的上游结点,Egress 是 Transit 的下游结点。

2) 体系结构

MPLS 的体系结构如图 3-11 所示,它由控制平面 (Control Plane) 和转发平面 (Forwarding Plane) 组成。

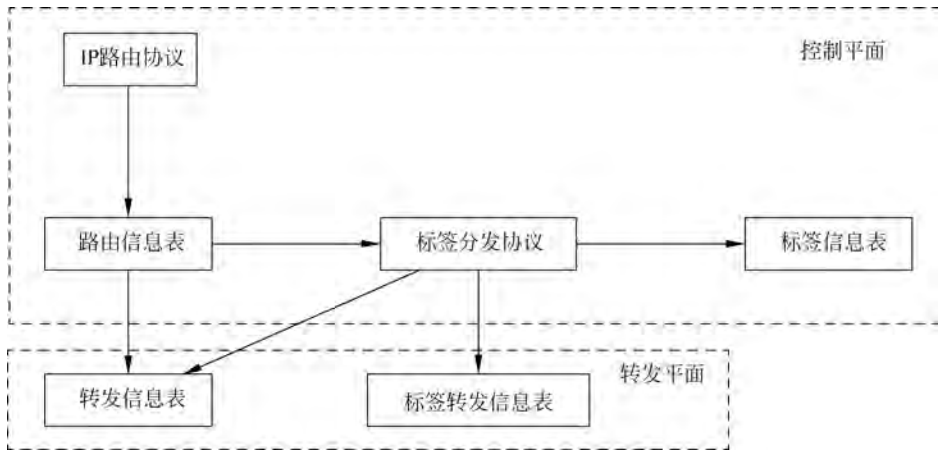


图 3-11 MPLS 体系结构图

(1) 控制平面：负责产生和维护路由信息以及标签信息。

路由信息表(Routing Information Base,RIB)：由 IP 路由协议(IP Routing Protocol)生成,用于选择路由。

标签分发协议(Label Distribution Protocol,LDP)：负责标签的分配、标签转发信息表

的建立、标签交换路径的建立、拆除等工作。

标签信息表(Label Information Base, LIB): 由标签分发协议生成, 用于管理标签信息。

(2) 转发平面: 即数据平面(Data Plane), 负责普通 IP 报文的转发以及带 MPLS 标签报文的转发。

转发信息表(Forwarding Information Base, FIB): 从 RIB 提取必要的路由信息生成, 负责普通 IP 报文的转发。

标签转发信息表(Label Forwarding Information Base, LFIB): 简称标签转发表, 由标签分发协议在 LSR 上建立 LFIB, 负责带 MPLS 标签报文的转发。

3. MPLS 服务功能

MPLS 可以提供以下 4 个主要的服务功能。

1) 提供面向连接与保证 QoS 的服务

MPLS 的设计思路是借鉴 ATM 面向连接和可以提供 QoS 保障的设计思想, 在 IP 网络中提供一种面向连接的服务。

2) 合理利用网络资源

流量工程(Traffic Engineering, TE)研究的目的是更合理地利用网络资源, 提高服务质量。流量工程不是特定于 MPLS 的产物, 而是一种通用的概念和方法, 是拥塞控制研究中的均衡负荷方法。基于 MPLS 的流量工程是利用面向连接的流量工程技术与 IP 路由技术相结合, 动态地定义路由。MPLS 引入流(Flow)的概念。流是从某个源主机发出的分组序列, 利用 MPLS 可以为单个流建立路由。

3) 支持虚拟专网服务

MPLS 提供虚拟专网(Virtual Private Network, VPN)服务, 提高分组传输的安全性与服务质量。

4) 支持多协议

支持 MPLS 协议的路由器可以与普通 IP 路由器、ATM 交换机、支持 MPLS 的帧中继交换机共存。因此, MPLS 可以用于纯 IP 网络、ATM 网络、帧中继网络及多种混合型网络, 同时可以支持 PPP、SDH、DWDM 等多种底层网络协议。

4. MPLS VPN 的应用

MPLS 将面向连接的标记路由机制与 VPN 的建设需求结合起来, 可以为所有连入 MPLS 网络的用户之间方便地建立第三层 VPN(L3VPN)。

MPLS VPN 的主要特点如下。

(1) 在基于 MPLS 的 VPN 中, 服务提供商为每个 VPN 分配一个路由标识符(RD)。这个路由标识符在 MPLS 网络中是唯一的。标记交换路由器(LSR)和边界标记交换路由器(E-LSR)的标记转发表中记录了该 VPN 中用户 IP 地址与路由标识符的对应关系。只有属于同一个 VPN 的用户之间才能通信。

(2) MPLS VPN 技术可以满足用户关于保证数据通信安全性、网络服务质量的要求, 操作方便, 具有很好的可扩展性。

目前, MPLS VPN 技术已经在大型信息网络系统、物联网应用系统、云计算系统中得到广泛应用。

3.3 公用网技术

3.3.1 ISDN

电话网在实现了数字传输和数字交换后,就形成了电话的综合数字网(Integrated Digital Network, IDN)。然后,在用户线上实现二级双向数字传输,以及将各种话音和非话音业务综合起来处理和传输,实现不同业务终端之间的互通。也就是说,把数字技术的综合和电信业务的综合结合起来,这就是综合业务数字网 ISDN 的概念。

1. ISDN 的网络接口标准

实际上,ISDN 是一种接入的结构形式,各组成部件按一定的规约、协议、标准相连接。图 3-12 是 ISDN 用户/网络间参考配置模型。

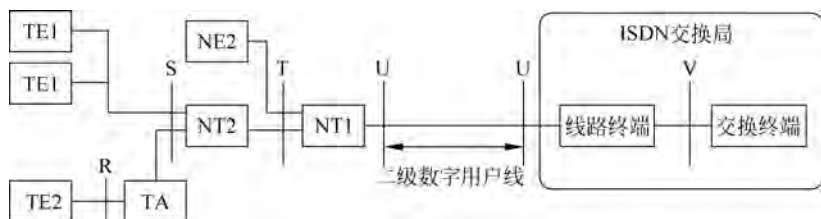


图 3-12 ISDN 用户/网络间参考配置模型

1) ISDN 终端

标准 ISDN 终端(TE1): TE1 是符合 ISDN 接口标准的用户设备,如数字电话机和四类传真机等。

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 ISDN 标准接口。

2) 网络终端设备

网络终端 1(NT1): NT1 是端接 U 形环路的网络接口,放置在用户处的物理和电器终端装置,它属于网络服务提供商的设备,是网络的边界。

网络终端 2(NT2): NT2 又称为智能网络终端,如数字 PBX、集中器等。它有多路 ISDN 接口,可以完成交换和集中的功能。

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。

ISDN 采用标准的基本速率接口(Basic Rate Interface, BRI)或基群速率接口(Primary Rate Interface, PRI),使用户能接入多种业务。电话局采用一种国际标准格式,通过数字信号单元的形式,向 ISDN 用户提供所有的业务。

BRI 含有两个 64kb/s 的 B 信道(提供 64kb/s 带宽来传送语音或数据资料)和一个用作控制的 16kb/s 的 D 信道,如图 3-13 所示。因此,BRI 接口的容量可以为下列三者之一。

- (1) 两个话路+16kb/s 的数据包。
- (2) 两路高速数据+16kb/s 的数据包。
- (3) 一个话路+一路高速数据+16kb/s 的数据包。

PRI(Primary Rate Interface)又叫作一次群接口,根据各国数字传输系统的体系不同,又分为两种速率。

欧洲和中国采用 30B+D 的信道结构,其中,B 信道的速率为 64kb/s,用来传送用户信息,D 信道的速率也为 64kb/s,但用来传送用户网络指令,总速率为 2.048Mb/s。在美国和日本采用 23B+D 的信道结构,提供 1.544Mb/s 的传输速率,如图 3-14 所示。



图 3-13 BRI 的结构



图 3-14 PRI 的结构

2. ISDN 的种类

ISDN 可分为窄带综合业务数字网(Narrow Integrated Services Digital Network, N-ISDN)和宽带综合业务数字网(Broadband Integrated Services Digital Network, B-ISDN)两种。

N-ISDN 常用于家庭及小型办公室,向用户提供两种接口,分别为基本速率即 BRI(2B+D,144kb/s,其中 B 为 64kb/s 速率的数字信道,D 为 16kb/s 速率的数字信道)和基群速率即 PRI(30B+D,2Mb/s,B 和 D 均为 64kb/s 的数字信道)。BRI 包括两个能独立工作的 B 信道(运载信道),一般用来传输语音、数据和图像,一路语音暂用的数据传输率是 64kb/s,占用户可用带宽的 50%(一个 B 通道)。D 通信是控制信道,用来传输信令或分组信息。PRI 能够提供的最高速率就是 E1 的速率,即一次群速率。

B-ISDN 是从 N-ISDN 发展而来的,它定义兆到千兆位的数据、声音、视频传输操作。B-ISDN 用户接口连接在所有用户所在地的光缆上。B-ISDN 的速率大大高于 N-ISDN 服务。B-ISDN 最初的速率在 150~600Mb/s 范围内。

3.3.2 DDN

DDN 是利用数字信道来连续传输数据信号的,它不具备数据交换的功能,不同于通常的报文交换网和分组交换网。DDN 的主要作用是向用户提供永久性和半永久性连接的数字数据传输信道,既可用于计算机之间的通信,也可用于传送数字化传真、数字语音、数字图像信号或其他数字化信号。永久性连接的数字数据传输信道是指用户间建立固定连接,传输速率不变的独占带宽电路。半永久性连接的数字数据传输信道对用户来说是非交换性的,但用户可提出申请,由网络管理人员对其提出的传输速率、传输数据的目的地和传输路由进行修改。

1. DDN 的特点

归纳起来,DDN 有以下几个特点。

1) 传输速率高

在 DDN 内的数字交叉连接复用设备能提供 2Mb/s 或 $N \times 64\text{kb/s}$ ($\leq 2\text{Mb/s}$) 速率的数字传输信道。

2) 传输质量较高

数字中继大量采用光纤传输系统,用户之间专有固定连接,网络时延小。

3) 协议简单

采用交叉连接技术和时分复用技术,由智能化程度较高的用户端设备来完成协议的转换,本身不受任何规程的约束,是全透明网,面向各类数据用户。

4) 灵活的连接方式

可以支持数据、语音、图像传输等多种业务,它不仅可以和用户终端设备进行连接,也可以和用户网络连接,为用户提供灵活的组网环境。

5) 电路可靠性高

采用路由迂回和备用方式,使电路安全可靠。

6) 网络运行管理简便

采用网管对网络业务进行调度监控。

2. DDN 用户接入方式

DDN 用户接入方式有以下三种。

(1) 通过 2 线或 4 线 Modem 接入,如图 3-15 所示。

(2) 通过 2B+D 速率(144kb/s)的数据终端单元(DTU)接入,如图 3-16 所示。

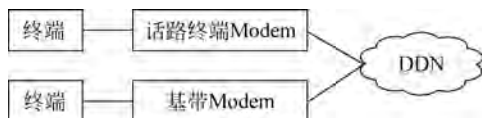


图 3-15 2 线或 4 线 Modem 接入

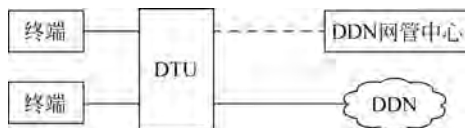


图 3-16 DTU 接入

(3) 通过用户集中设备接入,如图 3-17 所示。

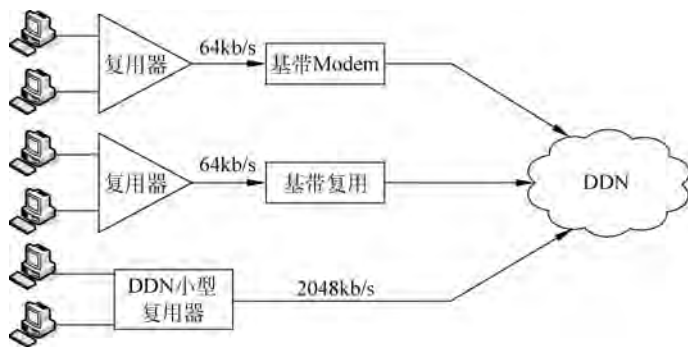


图 3-17 用户集中设备接入

3. DDN 提供的业务

DDN 是一个全透明网络,能提供多种业务来满足各类用户的需求。

(1) 提供速率可在一定范围内任选的信息量大、实时性强的中高速数据通信业务。如局域网互联、大中型主机互联、计算机互联网业务提供者(Internet Service Provider, ISP)等。

(2) 为分组交换网、公用计算机互联网等提供中继电路。

(3) 可提供点对点、一点对多点的业务,适合于金融证券公司、科研教育系统、政府部门租用 DDN 专线组建自己的专用网。

(4) 提供帧中继业务,扩大了 DDN 的业务范围。用户通过一条物理电路可同时配置多条虚连接。

(5) 提供语音、G3 传真、图像、智能用户电报等通信。

(6) 提供虚拟专用网业务。大的集团用户可以租用多个方向、较多数量的电路,通过自己的网络管理工作站,自己管理,自己分配电路带宽资源,组成虚拟专用网。

DDN 把数据通信技术、数字通信技术、光纤通信技术、数字交叉连接技术和计算机技术有机地结合在一起。通过发展,DDN 应用范围从单纯提供端到端的数据通信扩大到能提供和支持多种通信业务,成为具有众多功能和应用的传输网络。网络规划设计师要顺应发展潮流,积极追踪新技术的发展,扩大网络服务对象,搞好网络的建设管理,最大限度地发挥网络优势。

3.3.3 SDH

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,是美国贝尔通信技术研究提出来的同步光网络(Synchronous Optical Network, SONET)。ITU-T 于 1988 年接受了 SONET 概念并重新命名为 SDH,使其成为不仅适用于光纤也适用于微波和卫星传输的通用技术体制。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,因此是当今世界信息领域在传输技术方面的发展和应用的热点,受到人们的广泛重视。

SDH 由于其自身的特点,所以能快速发展,它的具体特点如下。

(1) SDH 有统一的帧结构,数字传输标准速率和标准的光路接口,向上兼容性能好,能与现有的 PDH 完全兼容,并容纳各种新的业务信号,形成了全球统一的数字传输体制标准,提高了网络的可靠性。

(2) SDH 的码流在帧净负荷区内排列非常有规律,而净负荷与网络是同步的,它简化了 DXC,减少了背靠背的接口复用设备,改善了网络的业务传送透明性。

(3) 采用较先进的分插复用器(Add Drop Multiplexer, ADM)、数字交叉连接(Digital Cross Connect),网络的自愈功能和重组功能非常强大。

(4) SDH 有多种网络拓扑结构,它运行管理和自动配置功能,优化了网络性能,同时也使网络运行灵活、安全、可靠,使网络的功能非常齐全和多样化。

(5) SDH 可以在多种介质上传输。

(6) SDH 是严格同步的,误码少,且便于复用和调整。

(7) 对于基本速率 STM-1 而言,传输速率为 $8 \times 9 \times 270 \times 8000 = 155.52 \text{ Mb/s}$ 。对于更高等级的 STM-N 信号的传输速率,可以从基本传输速率的整数倍得出。

(8) SDH 是一种基于光纤的传输网络,具有光纤本身所具有的许多优点:不怕潮湿,不受电磁干扰,抗腐蚀能力强,有抗核辐射的能力,重量轻。

(9) SDH 的高带宽与其他技术如 WDM 技术、ATM 技术、IP over SDH 等的结合,使得 SDH 的作用越来越重要,成为信息高速公路不可缺少的主要物理传送平台。

3.4 接入网技术

接入网(Access Network, AN)除了包含用户线传输系统、复用设备外,还包括数字交叉连接设备和用户/网络接口设备。接入网为本地交换机(LE)与用户端设备(TE)之间的实施系统,其目的是综合考虑本地交换局、用户环路和终端设备,通过有限的标准化接口将各种用户所需求的业务接入结点。

接入网的引入给通信网带来新的变革,使整个通信网络拓扑结构发生了根本的变化。然而,接入网一直是通信网中耗资最大、技术变化最慢、成本最敏感和运行环境最恶劣的领域。

当核心网和用户驻地网频繁地更换和应用各种现代新技术时,接入网领域基本维持着原始的模拟技术和窄带接入技术为主的局面。显然,接入网技术已成为制约通信发展的瓶颈。为了给用户提供端到端的宽带连接,保证宽带业务的开展,网络的宽带化、数字化是接入网的前提和基础,同时也是网络技术中的一大热点。接入网的技术实现手段有多种,当前各种宽带接入技术都在发展和应用中。

3.4.1 帧中继接入

帧中继是在 X.25 协议的基础上发展起来的面向可变长度帧的数据传输技术。通信的数字化提高了网络的可靠性和终端设备的智能化程度,使数据传输的差错率降低到可以忽略不计的地步。帧中继正是利用现代通信网的这一优点,以帧为单位在网络上传输,并将流量控制、纠错等功能全部交由智能终端设备处理的一种新型高速网络接口技术。

帧中继取消了流量与差错控制:帧中继对协议进行了简化,取消了第3层的流量与差错控制,仅有端到端的流量与差错控制,且这部分功能由高层协议来完成。

取消了第3层的协议处理:将第3层的复用与交换功能移到了第2层,需要指出的是,帧中继在数据传送阶段的协议只有两层。对交换虚电路(Switching Virtual Circuit, SVC)方式而言,在呼叫建立与释放阶段的协议有3层,其第3层为呼叫信令控制协议。目前世界上所应用的帧中继网均为固定虚电路(Permanent Virtual Circuit, PVC)方式,采用固定路由表,并不存在呼叫的建立与释放过程。

采用“带外信令”:X.25在通信建立后,通信过程中所需的某些控制、管理功能由控制数据分组传送。控制数据分组和信息数据分组具有相同的逻辑信道号,故可称为“带内信令”。而帧中继单独指定一条数据链路,专门用于传送信令,故可称为“带外信令”。

利用链路帧的拥塞通知位进行拥塞管理:帧中继没有流量控制功能,对用户发送的数据量不做强制,以满足用户传送突发数据的要求。这样有可能造成网络的拥塞,帧中继对拥塞的处理是通过链路帧的拥塞通知位,通知始发用户降低数据发送速率或暂停发送。

采用带宽管理机制:帧中继采用了非强制性的拥塞管理,为防止网络过度拥塞,以及防止某一用户大量地发送数据而影响对其他用户的服务质量,帧中继对用户使用的带宽进行了一定的控制。

帧中继网络的接入方式包括以下几种。

(1) 用户设备与公用 FR 的物理层接口: X 系列、V 系列、G 系列、I 系列接口。

(2) 2 线/4 线话带 Modem 接入 FR, 支持的用户传输速率由线路长度、线路质量、Modem 决定, 可达 14.4kb/s、19.2kb/s 全双工等。

(3) 基带传输方式, 它具有 TDM 功能, 可同时为多个用户入网提供连接; 另外还可以使用 2 线/4 线速率为 16kb/s、32kb/s 或 64kb/s 的基带传输设备。

(4) 用户通过网桥/路由器、帧中继接入设备或 FRAD、交换机/复用器接入帧中继网。

3.4.2 X.25 网络

X.25 是由 ITU 第 VII 组根据一系列的数字网络计划设计出来的。在 Donald Davies 领导下的英国国家物理实验室的研究项目, Donald Davies 率先提出了分组交换的概念。20 世纪 60 年代末期, 一个实验性的网络开始运营, 到了 1974 年已经有一系列的网络都以 SERCnet 的形式相互联接了。SERCnet 在之后不断成长并在 1984 年改名叫 JANET, 这个网络直到今天仍然在运行, 只是变成了一个 TCP/IP 网络。其他的对这个标准实施做出贡献的还有 20 世纪 70 年代开始的由法国、加拿大、日本以及斯坎迪纳维亚半岛的国家合作开发的 ARPA 计划。各种各样的升级和附加功能使得这一标准日益完善, 每 4 年 ITU 都会出版一本不同封面颜色新的技术手册来描述这些变化。

X.25 的首要原则是基于位差错校验基础上创建一个模拟电话网络之上的全球性的分组交换网络。许多 X.25 系统的误码率都很高, 达不到这一要求, 所以需要接入规程 LAP-B。X.25 模型实质上是建立基于面向连接的虚电路, 通过 DTE 来提供给用户看似点对点的虚连接。

X.25 是在一个哑终端的时代发展起来的, 需要连接到主计算机。要取代直接连接到主计算机——这需要主计算机拥有自己的调制解调器和电话线, 而且还需要没有本地通话来进行长距离呼叫请求——主机可以同网络服务器建立 X.25 连接。这样哑终端用户就可以直接拨号连接到网络。本质上来说, 调制解调器和端口为一端, X.25 连接在另一端, 这是由 ITU-T X.29 和 X.3 标准定义的。

已经和 PAD 建立好连接之后, 哑终端的用户通知 PAD 一个类似于电话号码的 X.121 地址的方式来表明和哪一个主机建立连接。接下来 PAD 发送一个 X.25 请求到主机, 建立一个虚电路。指出 X.25 建立好了一个虚电路, 从而形成了一个电路交换网络, 尽管实际上数据仍然是通过分组交换网络传输的。如果是两个 X.25 通信的话, 当然就可以直接呼叫对方, 不用 PAD 了。理论上来说, 不用在乎 X.25 呼叫方和 X.25 定义方是否在同一个传输上, 单是实际上一个传输同其他传输相互呼叫并不总是可行的。

3.4.3 拨号接入

PSTN 是一种全球语音通信电路交换网络, 拥有近 10 亿用户。最初它是一种固定线路的模拟电话网。如今, 除了使用者和本地电话总机之间的最后连接部分, 公共交换电话网络在技术上已经实现了完全的数字化。在和因特网的关系上, PSTN 提供了因特网相当一部分的长距离基础设施。因特网服务供应商为了使用 PSTN 的长距离基础设施, 以及在众多使用者之间通过信息交换来共享电路, 需要付给设备拥有者费用。这样因特网的用户就只需要对因特网服务供应商付费了。

公共交换电话网是基于标准电话线路的电路交换服务,用来作为连接远程端点的连接方法。典型的应用有远程端点和本地 LAN 之间的连接和远程用户拨号上网。

如今,基于无线接入网的移动电话日益流行,它通过 PSTN 干线网络传输语音信号。当今的公共交换电话网,用于无线和有线接入网络的语音和数据通信。

1. PSTN 接入方式

PSTN 的接入方式比较简便灵活,通常有以下几种。

1) 通过普通拨号电话线入网

只要在通信双方原有的电话线上并接 Modem,再将 Modem 与相应的上网设备相连即可。目前,大多数上网设备,如 PC 或者路由器,均提供若干个串行端口,串行口和 Modem 之间采用 RS232 等串行接口规范。这种连接方式的费用比较低,收费标准与普通电话相同,可适用于通信不太频繁的场合。

2) 通过租用电话专线入网

与普通拨号电话线方式相比,租用电话专线可以提供更高的通信速率和数据传输质量,但相应的费用也较前一种方式高。使用专线的接入方式与使用普通拨号线的接入方式没有太大的区别,但是省去了拨号连接的过程。通常,当决定使用专线方式时,用户必须向所在地的电信局提出申请,由电信局负责架设和开通。

3) 经普通拨号或租用专用电话线方式由 PSTN 转接入公共数据交换网(X.25 或 Frame-Relay 等)的入网方式

利用该方式实现与远地的连接是一种较好的远程方式,因为公共数据交换网为用户提供可靠的面向连接的虚电路服务,其可靠性与传输速率都比 PSTN 强得多。

2. 信令系统

PSTN 属于电路交换网,它是通过控制信令进行管理的,它在用户设备与交换机之间、交换机与交换局之间传递控制信息,用于建立、维持和终止呼叫,维持网络的正常运行。在日常生活中常见的“遇忙转移”“三方通话”的功能实现都与信令系统息息相关。

根据作用域可以分为用户信令(在用户和交换机之间)和局间信令(在交换机和交换机之间)。

根据功能可以分为监视信令(提供建立呼叫的机制)、地址信令(携带被呼叫用户的电话号码)、呼叫信令(提供与呼叫状态相关的信息)和网络管理信令(用于网络的操作、维护和故障诊断)4 种。

根据传送方式划分,可以分为随路信令(将控制信令与用户信息在同一物理线路上传送,又可再分为使用同一频带的带内信令和使用不同频带的带外信令)和共路信令(独立于话音通道之外的通路传输信息技术,又可再分为并联方式和非并联方式)两种。

我国电话网络使用自行研制的 1 号随路信令系统和 7 号共路信令系统。7 号信令(SS7)是 ITU-T 定义的支持综合业务数字网的共路信令系统,也是目前使用最广泛的信令系统。

3.4.4 xDSL 接入

目前流行的铜线接入技术主要是 xDSL 技术。DSL(Digital Subscriber Line,数字用户线)技术是基于普通电话线的宽带接入技术,它在同一铜线上分别传送数据和语音信号。数

据信号并不通过电话交换机设备,减轻了电话交换机的负载,并且不需要拨号,一直在线,属于专线上网方式,这意味着使用 xDSL 上网并不需要缴付另外的电话费。xDSL 中的“x”代表各种数字用户环路技术,包括高速率 DSL(High speed DSL, HDSL)、对称 DSL(Symmetric DSL, SDSL)、ADSL、速率自适应 DSL(Rate Adaptive DSL, RADSL)、超高速 DSL(Very high-bit-rate DSL, VDSL)等。

1. HDSL

HDSL 技术是一种对称的 DSL 技术,即上下行速率一样。HDSL 利用现有的普通电话双绞铜线(两对或三对)来提供全双工的 1.544Mb/s(T1)或 2.048Mb/s(E1)信号传输,无中继传输距离可达 6~10km。

HDSL 的优点是双向对称,速率比较高,充分利用现有电缆实现扩容。其缺点是需要两对线缆,住宅用户难以使用,费用也比较高。

HDSL 主要用在企事业单位,其应用包括会议电视线路、LAN 互联、PBX 程控交换机互连等。

HDSL 技术的升级型号 HDSL2 可单线提供速率为 160kb/s~2.3Mb/s、距离达 4km 的对称传输,若用两对双绞线,传输速率可翻一番,距离也可提高 30%。

2. SDSL

SDSL 与 HDSL 的区别在于只使用一对铜线。SDSL 可以支持各种上/下行通信速率相同的应用。

3. ADSL

ADSL 是一种非对称的宽带接入方式,即用户线的上行速率和下行速率不同。它采用 FDM 技术和 DMT 调制技术,在保证不影响正常电话使用的前提下,利用原有的电话双绞线进行高速数据传输。ADSL 的优点是可在现有的任意双绞线上传输,误码率低,系统投资少;缺点是有选线率问题、带宽速率低。

ADSL 不仅继承了 HDSL 技术成果,而且在信号调制与编码、相位均衡及回波抵消等方面采用了更加先进的技术,性能更佳。由于 ADSL 的特点,ADSL 主要用于 Internet 接入、居家购物、远程医疗等。

从实际的数据组网形式上看,ADSL 所起的作用类似于窄带的拨号 Modem,担负着数据的传送功能。按照 OSI/RM 的划分标准,ADSL 的功能从理论上应该属于物理层。它主要实现信号的调制及提供接口类型等一系列底层的电气特性。同样地,ADSL 的宽带接入仍然遵循数据通信的对等通信原则,在用户侧对上层数据进行封装后,在网络侧的同一层上进行开封。因此,要实现 ADSL 的各种宽带接入,在网络侧也必须有相应的网络设备相结合。

ADSL 的接入模型主要由中央交换局端模块(ATU-C)和远端用户模块(ATU-R)组成。中央交换局端模块包括中心 ADSL Modem 和接入多路复用系统 DSLAM,远端模块由用户 ADSL Modem 和滤波器组成。

ADSL 能够向终端用户提供 1~8Mb/s 的下行传输速率和 512kb/s~1Mb/s 的上行速率,有效传输距离为 3~5km。

目前,众多 ADSL 厂商在技术实现上,普遍将先进的 ATM 服务质量保证技术融入到 ADSL 设备中,DSLAM(ADSL 的用户集中器)的 ATM 功能的引入,不仅提高了整个

ADSL 接入的总体性能,为每一用户提供了可靠的接入带宽,为 ADSL 星状组网方式提供了强有力的支撑,而且完成了与 ATM 接口的无缝互联,实现了与 ATM 骨干网的完美结合。

4. RADSL

RADSL 是自适应速率的 ADSL 技术,可以根据双绞线质量和传输距离动态地提交 $640\text{kb/s} \sim 22\text{Mb/s}$ 的下行速率,以及 $272\text{kb/s} \sim 1.088\text{Mb/s}$ 的上行速率。在 RADSL 技术中,软件可以决定在特定客户电话线上信号的传输速率,并可以相应地调整传输速率。

与 ADSL 的区别在于:RADSL 的传输速率可以根据传输距离动态自适应,当距离增大时,传输速率降低。

5. VDSL

VDSL 技术是鉴于现有 ADSL 技术在提供图像业务方面的带宽十分有限以及经济上成本偏高的弱点而开发的。VDSL 是 xDSL 技术中最快的一种,其最大的下行速率为 $51 \sim 55\text{Mb/s}$,传输线长度不超过 300m 。当下行速率在 13Mb/s 以下时,传输距离可达 1.5km 。上行速率则为 1.6Mb/s 以上。但 VDSL 的传输距离较短,一般只在几百米以内。由于国内的一般小区在 1km^2 以内,因此,如果使用 VDSL 技术,普通居民小区能够在一两个中心点内集中管理所有的接入设备,对网络管理、设备维护有重要的意义。另外,由于 VDSL 覆盖的范围比较广,能够覆盖足够的初始用户,初始投资少,也便于设备集中管理和系统扩展,因此,使用 VDSL 技术的解决方案是适合中国实际情况的宽带接入解决方案。

和 ADSL 相比,VDSL 传输带宽更高,而且由于传输距离缩短,所以码间干扰小,数字信号处理技术简化,成本显著降低。它和 FTTC(Fiber To The Curb,光纤到路边)相结合,可作为无源光网络(Passive Optical Network,PON)的补充,实现宽带综合接入。

3.4.5 HFC 接入

HFC 原义是指采用光纤传输系统代替全同轴 CATV 网络中的干线传输部分。而现在则是指利用混合光纤同轴网络来进行宽带数据通信的 CATV(有线电视)网络。它是指将光缆架设到小区,然后通过光电转换,利用 CATV 的总线式同轴电缆连接到用户,提供综合业务。

1. HFC 网络的逻辑结构

HFC 网络通常是星状或总线型结构,有线电视台的前端设备通过路由器与数据网相连,并通过局用数据端机与公用电话网相连。有线电视台的电视信号、公用电话网来的话音信号和数据网的数据信号送入合路器并形成混合信号后,通过光缆线路送到各个小区的光纤结点,然后再经同轴分配网将其送到用户综合服务单元。整个网络的逻辑结构如图 3-18 所示。

2. HFC 网络的物理拓扑

HFC 网络的物理拓扑结构如图 3-19 所示,通常包括局端系统(CMTS)、用户端系统和 HFC 传输网络三部分。

Cable Modem 局端系统(Cable Modem Termination Systems,CMTS)一般在有线电视的前端,或在管理中心的机房,负责将数据信息与视频信息混合,送到 HFC(将数据封装为 MPEG2-TS 帧形式,经过 64QAM 调制,下载给端用户)。而上行时,CMTS 负责将收到的

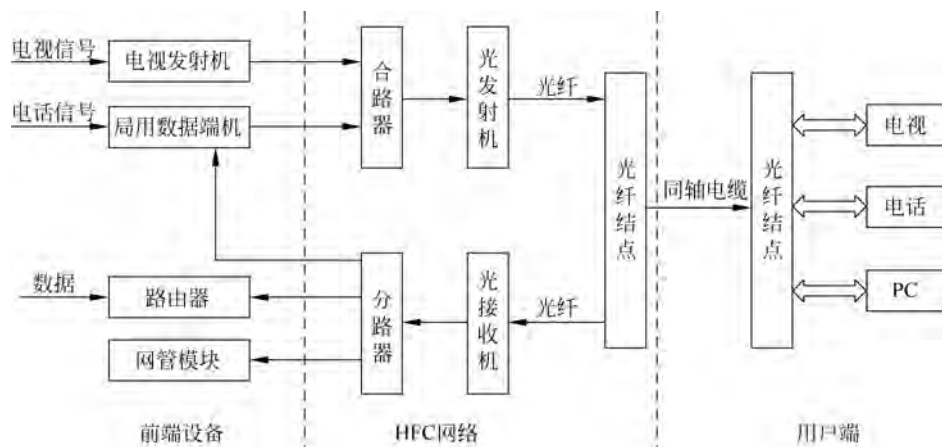


图 3-18 HFC 网络的逻辑结构示意图

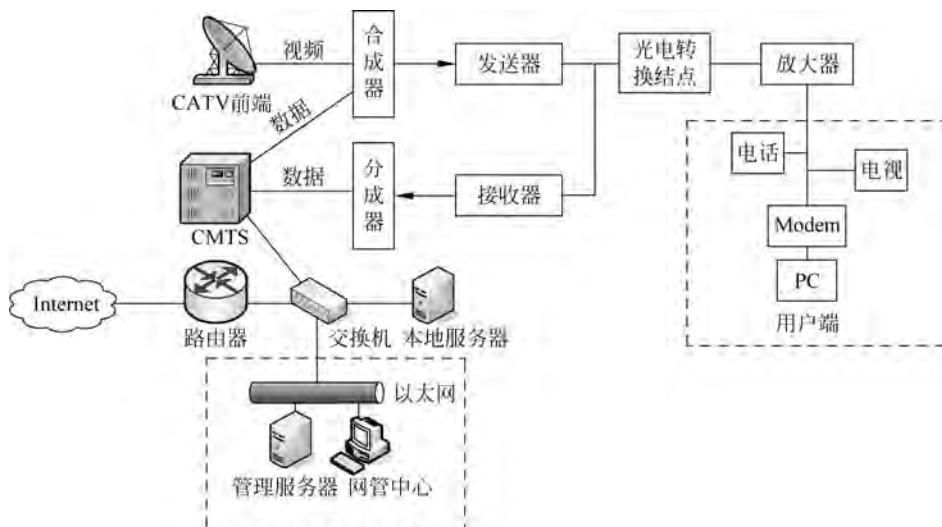


图 3-19 HFC 网络的物理拓扑结构示意图

经 QPSK 调制的数据进行解调,传给路由器。

用户端系统最主要的就是 Cable Modem,它不仅是 Modem,还集成了调谐器、加密/解密设备、桥接器、网卡、以太网集线器等设备。通常具有两个接口,一个用于连接计算机,另一个用于连接有线电视网络。一开始 Cable Modem 大都采用的是私用的协议,后来随着技术的逐渐成熟,形成了一个兼容标准,即 DOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specification),现在使用 Cable Modem 技术,上行速度通常能够达到 10Mb/s 以上,下行则可以达到更高的速度。

3. FTTx+LAN 实现宽带接入

随着光纤通信的不断普及,现在许多小区宽带都是采用 FTTx+LAN 的模式提供服务的,其最终都通过光纤汇聚到汇聚层的核心交换机上,因此通常是星状拓扑结构。其物理组网如图 3-20 所示。

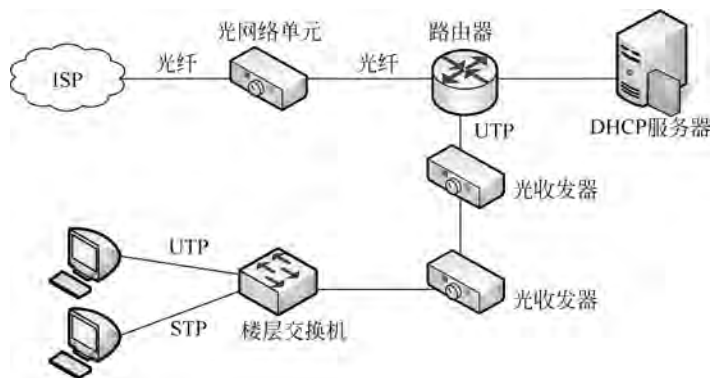


图 3-20 FTTx+LAN 网络物理拓扑结构示意图

3.4.6 局域网接入

当前 90% 的局域网采用以太网(Ethernet)技术组网。以太网的传输速率高、组网设备价格低廉,其传输链路可采用光纤、同轴电缆、铜缆双绞线等物理媒体。随着以太网技术的迅速发展,该技术进入 IP 城域网和接入网领域。

目前新建住宅小区和商务楼流行局域网(LAN)方式接入。小区接入结点(ZAN)提供住宅小区接入,采用千兆以太网交换机;楼宇接入点(BAN)提供居民楼宇接入,采用百兆以太网交换机,实现千兆光纤到住宅小区、百兆光纤或 5 类线到住宅楼、十兆 5 类线到用户的宽带用户接入方案;或商务楼的千兆到大楼、百兆到楼层、十兆到用户的用户接入方案。小区或大楼的千兆光纤经由城域网汇聚层的路由交换机进入城域核心网。

城域网的汇聚层将电话、数据以及各种宽带多媒体接入业务,汇聚为 IP(ATM)数据流进入城域骨干网。汇聚层可提供诸如点播电视、有线电视、信息广播等一些业务。该层还有一个重要作用是对用户进行鉴权、认证、计费和管理。用于汇聚层的典型设备包括各类路由器、路由交换机、各类网关、宽带综合接入服务器、Web、DNS、AAA(鉴权、认证、计费)等服务器以及各类信息源。

3.5 无线广域网技术

3.5.1 无线广域网的概念

无线广域网(Wireless Wide Area Network, WWAN)是采用无线网络把物理距离极为分散的局域网(LAN)联接起来的通信方式。

WWAN 联接地理范围较大,常常是一个国家或是一个洲。其目的是为了分布较远的各局域网互联,它的结构分为末端系统(两端的用户集合)和通信系统(中间链路)两部分。典型的无线广域网的例子就是 GSM 全球移动通信系统和卫星通信系统,以及 3G、4G、5G 均属于 WWAN。

IEEE 802.20 是 WWAN 的重要标准。IEEE 802.20 是由 IEEE 802.16 工作组于 2002 年 3 月提出的,并为此成立专门的工作小组,这个小组于 2002 年 9 月独立为 IEEE 802.20

工作组。802.20 是为了实现高速移动环境下的高速率数据传输,以弥补 IEEE 802.1x 协议族在移动性上的劣势。802.20 技术可以有效解决移动性与传输速率相互矛盾的问题,它是一种适用于高速移动环境下的宽带无线接入系统空中接口规范,其工作频率小于 3.5GHz。

IEEE 802.20 标准在物理层技术上,以正交频分复用技术(OFDM)和多输入多输出技术(MIMO)为核心,充分挖掘时域、频域和空间域的资源,大大提高了系统的频谱效率。

3.5.2 无线广域网的发展

1. 第一代移动通信系统

第一代移动通信(1G)系统是指最初的模拟、仅限语音的蜂窝电话标准,制定于 20 世纪 80 年代。第一代移动通信主要采用的是模拟技术和频分多址(FDMA)技术。由于受到传输带宽的限制,不能进行移动通信的长途漫游,只能是一种区域性的移动通信系统。

第一代移动通信有很多不足之处,如容量有限、制式太多、互不兼容、保密性差、通话质量不高、不能提供数据业务和不能提供自动漫游等。

2. 第二代移动通信系统

第二代移动通信(2G)系统的典型代表是 GSM/GPRS。GSM(Global System for Mobile Communication,全球移动通信系统)是一种数字移动通信,较之第一代的模拟移动通信,具有较多的优点。

GPRS(General Packet Radio Service,通用无线分组业务)是一种基于 GSM 系统的无线分组交换技术,提供端到端的、广域的无线 IP 连接。相对原来 GSM 的拨号方式的电路交换数据传送方式,GPRS 是分组交换技术,具有“实时在线”“按量计费”“快捷登录”“高速传输”“自如切换”的优点。

3. 第三代移动通信系统

第三代移动通信(3G)简单地说就是提供覆盖全球的宽带多媒体服务的新一代移动通信,能够实现高速数据传输和宽带多媒体服务是第三代移动通信的另一个主要特点。这就是说,用第三代手机除了可以进行普通的寻呼和通话外,还可以上网读报纸、查信息、下载文件和图片;由于带宽的提高,第三代移动通信系统还可以传输图像,提供可视电话业务。

目前 3G 存在 3 种标准:CDMA2000,WCDMA,TD-SCDMA。

CDMA2000 体制是基于 IS-95 的标准基础上提出的 3G 标准,其标准化工作由 3GPP2 来完成。

WCDMA 由欧洲标准化组织 3GPP(3rd Generation Partnership Project)所制定,受全球标准化组织、设备制造商、器件供应商、运营商的广泛支持,成为 3G 的主流体制。

TD-SCDMA 标准由中国无线通信标准组织 CWTS 提出,已经融合到了 3GPP 关于 WCDMA-TDD 的相关规范中。

3G 网络相对于 2G 网络的最大区别在于可以提供高速数据业务,根据无线电磁环境情况,如果用户距离基站较远,其空中前反向链路衰耗较大,上网速率就会很慢。考虑到用户的实际使用情况,在网络规划设计时并不追求最大覆盖范围,而是尽可能地合理布置站点,调整天线位置和角度等,以实现精确覆盖,并对接入用户数进行限制,以保证接入用户的速率在合理范围内。

4. 第四代移动通信系统

第四代移动通信(4G)信息系统是基于 3G 通信技术基础上不断优化升级、创新发展而来,融合了 3G 通信技术的优势,并衍生出了一系列自身固有的特征,以 WLAN 技术为发展重点。4G 通信技术的创新使其与 3G 通信技术相比具有更大的竞争优势。首先,4G 通信在图片、视频传输上能够实现原图、原视频高清传输,其传输质量与计算机画质不相上下;其次,利用 4G 通信技术,在软件、文件、图片、音视频下载上其速度最高可达到最高每秒几十兆,这是 3G 通信技术无法实现的,同时这也是 4G 通信技术的一个显著优势;这种快捷的下载模式能够为人们带来更佳的通信体验,也便于人们日常学习中学习资料的下载;同时,在网络高速便捷的发展背景下,用户对流量成本也提出了更高的要求,从当前 4G 网络通信收费来看,价格比较合理,同时各大运营商针对不同的群体也推出了对应的流量优惠政策,能够满足不同消费群体的需求。

LTE 根据其具体实现细节、采用技术手段和研发组织的差别,形成了许多分支,最主要的两大分支是 LTE-TDD(TD-LTE)和 LTE-FDD(FD-LTE)。其中,TD 和 FD 分别代表时分双工和频分双工。

3.5.3 第五代无线通信技术

1. 5G 网络概述

第五代移动通信技术(5G)是最新一代蜂窝移动通信技术,是 4G(LTE-A、WiMax)、3G(UMTS、LTE)和 2G(GSM)系统后的延伸。5G 的性能目标是高数据速率、减少延迟、节省能源、降低成本、提高系统容量和大规模设备连接。Release-15 中的 5G 规范的第一阶段是为了适应早期的商业部署。Release-16 的第二阶段将于 2020 年 4 月完成,作为 IMT-2020 技术的候选提交给国际电信联盟(ITU)。ITU IMT-2020 规范要求速度高达 20 Gb/s,可以实现宽信道带宽和大容量 MIMO。

与早期的 2G、3G 和 4G 移动网络一样,5G 网络是数字蜂窝网络,在这种网络中,供应商覆盖的服务区域被划分为许多被称为蜂窝的小地理区域。表示声音和图像的模拟信号在手机中被数字化,由模数转换器转换并作为比特流传输。蜂窝中的所有 5G 无线设备通过无线电波与蜂窝中的本地天线阵和低功率自动收发器(发射机和接收机)进行通信。收发器从公共频率池分配频道,这些频道在地理上分离的蜂窝中可以重复使用。本地天线通过高带宽光纤或无线回程连接与电话网络和互联网连接。与现有的手机一样,当用户从一个蜂窝穿越到另一个蜂窝时,他们的移动设备将自动“切换”到新蜂窝中的天线。

5G 网络的主要优点是数据传输速率远远高于以前的蜂窝网络,最高可达 10Gb/s,比当前的有线互联网要快,比 4G LTE 蜂窝网络快 100 倍。另一个优点网络延迟较低(更快的响应时间),低于 1ms,而 4G 为 30~70ms。由于数据传输更快,因此 5G 网络将不仅为手机提供服务,而且还将成为一般性的家庭和办公网络提供商,与有线网络提供商竞争。以前的蜂窝网络提供了适用于手机的低数据率互联网接入,但是一个手机发射塔不能经济地提供足够的带宽作为家用计算机的一般互联网供应商。5G 网络架构如图 3-21 所示。

2. 5G 网络特点

(1) 峰值速率需要达到 Gb/s 的标准,以满足高清视频、虚拟现实等大数据量传输的需要。

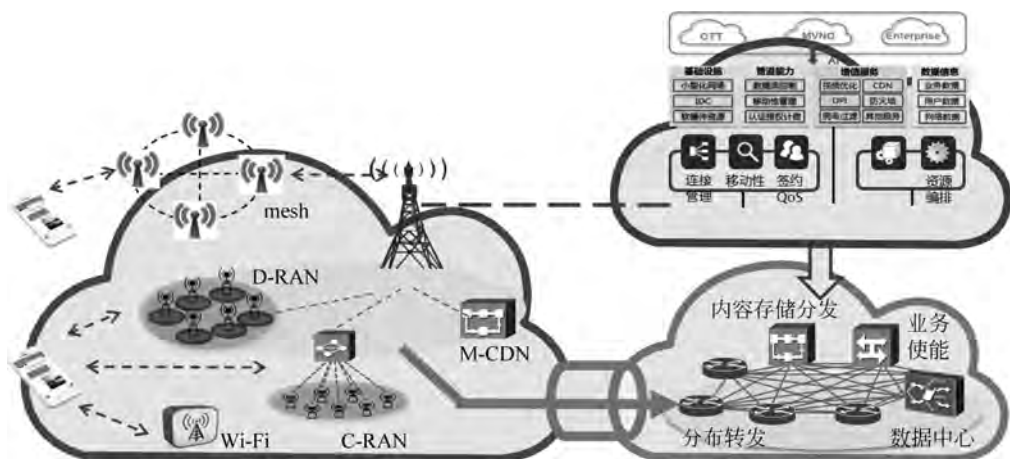


图 3-21 5G 网络架构

(2) 空中接口时延水平需要在 1ms 左右,以满足自动驾驶、远程医疗等实时应用。

(3) 超大网络容量,提供千亿设备的连接能力,满足物联网通信需求。

(4) 频谱效率要比 LTE 提升 10 倍以上。

(5) 连续广域覆盖和高移动性下,用户体验速率达到 100Mb/s。

(6) 流量密度和连接数密度大幅度提高。

(7) 系统协同化,智能化水平提升,表现为多用户、多点、多天线、多摄取的协同组网,以及网络间灵活地自动调整。

3. 5G 关键技术

1) 超密集异构网络

5G 网络正朝着网络多元化、宽带化、综合化、智能化的方向发展。随着各种智能终端的普及,面向 2020 年及以后,移动数据流量将呈现爆炸式增长。在未来 5G 网络中,减小小区半径,增加低功率结点数量,是保证未来 5G 网络支持 1000 倍流量增长的核心技术之一。因此,超密集异构网络成为未来 5G 网络提高数据流量的关键技术。

2) 自组织网络

传统移动通信网络中,主要依靠人工方式完成网络部署及运维,既耗费大量人力资源又增加运行成本,而且网络优化也不理想。在未来 5G 网络中,将面临网络的部署、运营及维护的挑战,这主要是由于网络存在各种无线接入技术,且网络结点覆盖能力各不相同,它们之间的关系错综复杂。因此,自组织网络(Self-Organizing Network, SON)的智能化将成为 5G 网络必不可少的一项关键技术。

3) 内容分发网络

在 5G 中,面向大规模用户的音频、视频、图像等业务急剧增长,网络流量的爆炸式增长会极大地影响用户访问互联网的服务质量。如何有效地分发大流量的业务内容,降低用户获取信息的时延,成为网络运营商和内容提供商面临的一大难题。仅依靠增加带宽并不能解决问题,它还受到传输中路由阻塞和延迟、网站服务器的处理能力等因素的影响,这些问题的出现与用户服务器之间的距离有密切关系。内容分发网络(Content Distribution Network, CDN)会对未来 5G 网络的容量与用户访问具有重要的支撑作用。

4) D2D 通信

在 5G 网络中,网络容量、频谱效率需要进一步提升,更丰富的通信模式以及更好的终端用户体验也是 5G 的演进方向。设备到设备通信(Device-to-Device communication,D2D)具有潜在的提升系统性能、增强用户体验、减轻基站压力、提高频谱利用率的前景。因此,D2D 是未来 5G 网络中的关键技术之一。

D2D 通信是一种基于蜂窝系统的近距离数据直接传输技术。D2D 会话的数据直接在终端之间进行传输,不需要通过基站转发,而相关的控制信令,如会话的建立、维持、无线资源分配以及计费、鉴权、识别、移动性管理等仍由蜂窝网络负责。蜂窝网络引入 D2D 通信,可以减轻基站负担,降低端到端的传输时延,提升频谱效率,降低终端发射功率。当无线通信基础设施损坏,或者在无线网络的覆盖盲区,终端可借助 D2D 实现端到端通信甚至接入蜂窝网络。在 5G 网络中,既可以在授权频段部署 D2D 通信,也可在非授权频段部署。

5) M2M 通信

M2M(Machine to Machine,M2M)作为物联网最常见的应用形式,在智能电网、安全监测、城市信息化、环境监测等领域实现了商业化应用。3GPP 已经针对 M2M 网络制定了一些标准,并已立项开始研究 M2M 关键技术。M2M 的定义主要有广义和狭义两种。广义的 M2M 主要是指机器对机器、人与机器间以及移动网络和机器之间的通信,它涵盖了所有实现人、机器、系统之间通信的技术;从狭义上说,M2M 仅指机器与机器之间的通信。智能化、交互式是 M2M 有别于其他应用的典型特征,这一特征下的机器也被赋予了更多的“智慧”。

6) 信息中心网络

随着实时音频、高清视频等服务的日益激增,基于位置通信的传统 TCP/IP 网络无法满足数据流量分发的要求。网络呈现出以信息为中心的发展趋势。信息中心网络(Information-Centric Network,ICN)的思想最早是 1979 年由 Nelson 提出来的,后来被 Baccala 强化。作为一种新型网络体系结构,ICN 的目标是取代现有的 IP。

ICN 所指的信息包括实时媒体流、网页服务、多媒体通信等,而信息中心网络就是这些片段信息的总集合。因此,ICN 的主要概念是信息的分发、查找和传递,不再是维护目标主机的可连通性。不同于传统的以主机地址为中心的 TCP/IP 网络体系结构,ICN 采用的是以信息为中心的网络通信模型,忽略 IP 地址的作用,甚至只是将其作为一种传输标识。全新的网络协议栈能够实现网络层解析信息名称、路由缓存信息数据、多播传递信息等功能,从而较好地解决计算机网络中存在的扩展性、实时性以及动态性等问题。

4. 5G 技术的应用

1) 车联网与自动驾驶

车联网技术经历了利用有线通信的路侧单元(道路提示牌)以及 2G/3G/4G 网络承载车载信息服务的阶段,正在依托高速移动的通信技术,逐步步入自动驾驶时代。根据中国、美国、日本等国家的汽车发展规划,依托传输速率更高、时延更低的 5G 网络,将在 2025 年全面实现自动驾驶汽车的量产,市场规模将达到 1 万亿美元。

2) 外科手术

2019 年 1 月 19 日,中国一名外科医生利用 5G 技术实施了全球首例远程外科手术。这名医生在福建省利用 5G 网络,操控 48km 以外一个偏远地区的机械臂进行手术。在进行的

手术中,延时只有 0.1s,外科医生用 5G 网络切除了一只实验动物的肝脏。5G 技术的其他好处还包括大幅减少了下载时间,下载速度从约 20MB/s 上升到 50KMB/s——相当于在 1s 内下载超过 10 部高清影片。5G 技术最直接的应用很可能是改善视频通话和游戏体验,但机器人手术很有可能给专业外科医生为世界各地有需要的人实施手术带来很大希望。

5G 技术将开辟许多新的应用领域,以前的移动数据传输标准对这些领域来说还不够快。5G 网络的速度和较低的延时性首次满足了远程呈现甚至远程手术的要求。

3) 智能电网

因电网高安全性要求与全覆盖的广度特性,智能电网必须在海量连接以及广覆盖的测量处理体系中,做到 99.999% 的高可靠度;超大数量末端设备的同时接入、小于 20ms 的超低时延,以及终端深度覆盖、信号平稳等是其可安全工作的基本要求。

3.5.4 移动互联网技术

1. 移动互联网的特点

移动互联网是互联网与移动通信应用高度融合的产物。移动互联网应用的主要特点是随时、随地与永远在线。正是由于移动互联网具有这样的特点,使得移动互联网的应用正在以超常规的速度向各行各业与社会的各个方面渗透。移动互联网对人们上网行为模式的变化产生了深刻的影响。

移动互联网的无线传输网包括计算机网络的 WiFi、WiMax 与电信网的 4G/5G,它充分体现出现代电信、信息技术、互联网、媒体与娱乐等产业相互渗透,形成融合的 TIIME 业务环境,促使产业生态的结构、价值创造与分配方式的演变。

近年来,随着智能手机、笔记本电脑、可穿戴计算设备与移动终端设备的快速发展以及无线网络技术的大规模应用,促进了移动互联网的发展。移动互联网的应用规模与影响已经超过传统意义上的互联网,它将推动全球信息与通信产业重大的变革。

当前,互联网应用呈现出以下发展趋势。

- (1) 网络服务的对象正在从桌面向移动终端转移。
- (2) 人们获取信息与享受网络服务的方式正在从固定向移动方式转移。
- (3) 网络服务范围正在从中心城市向小城镇、农村的全覆盖方向扩展。
- (4) 接入设备正在从手机向可穿戴计算设备与多样化的移动终端设备方向发展。

2. 移动接入设备

传统的移动互联网终端设备主要是智能手机、笔记本电脑、PDA 等,iPad、iPhone、智能眼镜、智能手环等新的嵌入式、可穿戴接入设备的出现,使得移动互联网接入设备的种类发生了很大的变化。

随着智能眼镜的应用,可穿戴计算设备进入人们的视野。可穿戴计算技术的成熟与应用给移动接入技术的发展带来了活力。随着 2013 年 Google Project Glass 从概念变为产品,各种智能眼镜、智能手表、智能手环等产品的出现,让人们看到了可穿戴计算技术的成熟以及可穿戴计算设备正在从概念走向产品的发展过程。目前,头戴式、身着式、手戴式与脚穿式等各种可穿戴智能产品纷纷向接入移动互联网的方向发展。

移动互联网为新技术的应用开拓了广阔的舞台,新技术的成熟与应用又进一步推动了移动互联网接入设备类型与使用方式的变化。柔性显示屏的成功量产将给智能手机、可穿

戴计算设备、智能电视的设计与应用带来重大的变化,将引发接入设备外形与功能的革命性变革。相比于传统的平板显示屏,柔性显示屏不仅在外观上更加轻薄,功耗上也低于原有器件,同时可弯曲、柔韧性好,耐用程度也会大大高于传统的显示屏。

语音指令、面部识别、手势控制、增强现实等人机交互技术在移动互联网接入设备的应用进入高潮,并且开始从高端智能头盔、智能眼镜等可穿戴计算领域逐渐向智能电视、智能冰箱、智能手表等普及型的智能家电领域扩展。这种发展趋势也正在影响物联网应用研究的发展,语音指令、面部识别、手势控制等人机交互技术已经开始应用于智能交通、智能电网、智能医疗、智能环保、智能安防等领域。

3. 移动互联网的服务功能

随着智能手机、智能可穿戴计算设备的发展,移动互联网应用也从简单地访问互联网网站,看新闻、小说、图片、音乐、视频以及人与人之间的交互,向移动购物、移动支付、移动金融、移动健康服务、移动社交网络、移动位置服务、移动安保服务与扩展移动感知能力等深层次应用的方向发展。

3.6 网络传输介质

传输介质是数据传输系统中在发送设备和接收设备之间的物理通路,也称为传输媒体,可分为导向传输介质和非导向传输介质两类。在导向传输介质中,电磁波或光波被导向沿着固体媒体传播,其包括双绞线、同轴电缆、光纤等,而非导向传输介质就是指自由空间,其传输方式包括微波、无线电、红外线等。

3.6.1 双绞线

把两根互相绝缘的铜导线并排放在一起,然后用规则的方法绞合起来就构成了双绞线。绞合可减少相邻导线的电磁干扰。为了提高双绞线的抗电磁干扰的能力,可以在双绞线的外面再加上一个金属丝编织成的屏蔽层,这就是屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair, STP),无屏蔽层的双绞线就称为非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair, UTP),它们的结构如图 3-22 所示。



图 3-22 屏蔽双绞线和非屏蔽双绞线

1991 年,美国电子工业协会 EIA 和电信工业协议 TIA 联合发布了一个标准 EIA/TIA-568,这个标准规定用于室内传送数据的非屏蔽双绞线和屏蔽双绞线的标准。随着局域网上传数据传送速率的不断提高,EIA/TIA 在 1995 年将布线标准更新为 EIA/TIA-

568-A,此标准规定了从1类线到5类线的5个种类的UTP标准,其中,3类线和5类线用于计算机网络。3类线由两条轻轻拧在一起的线构成,一般在塑料外壳内有4对这样的线。5类线和3类线相似,但拧得更密,并以特富龙材料绝缘,交互感应少,更适用于高速计算机通信。

模拟传输和数字传输都可以使用双绞线,其通信距离一般为几千米到十几千米。距离太长时,对于模拟传输要加放大器以便将衰减的信号放大到合适的数值,对于数字传输则要加中继器以便将失真的数字信号进行整形。由于双绞线的价格便宜且性能也不错,使用十分广泛。

3.6.2 同轴电缆

同轴电缆由内导体铜质芯线、绝缘层、网状编织的外导体屏蔽层以及保护塑料外层所组成,如图3-23所示。由于外导体屏蔽层的作用,同轴电缆具有很好的抗干扰特性,广泛用于传输速率较高的数据。

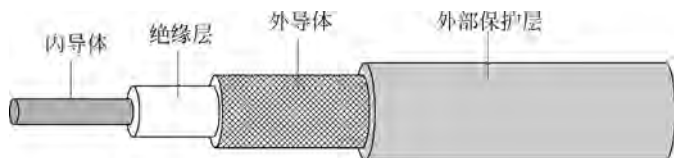


图 3-23 同轴电缆

当需要将计算机连接到同轴电缆上的某处时,比用双绞线要麻烦得多,通常使用T型分接头。T型分接头主要有两种,一种必须先把电缆剪断,然后进行连接;另一种则不必剪断电缆,使用较昂贵的、特制的插入式分接头,利用螺丝分别将两根电缆的内外导线连接好。

通常按特性阻抗数值的不同,将同轴电缆分为两类。

1. 50Ω 同轴电缆

50Ω同轴电缆主要用于在数据通信中传送基带数字信号,又称为基带同轴电缆,在局域网中得到广泛应用。用这种同轴电缆以10Mb/s的速率可将基带信号传送1km。

在传输基带数字信号时,可以使用曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码解决同步问题。

2. 75Ω 同轴电缆

75Ω同轴电缆主要用于模拟传输系统,是有线电视系统(CATV)中的标准传输电缆。在这种电缆上传送的信号采用了频分复用的宽带信号,因此75Ω同轴电缆又称为宽带同轴电缆。宽带同轴电缆用于传输模拟信号时,其频率可高达500MHz以上,传输距离可达100km。但在传送数字信号时,需要在接口处安装一个电子设备,用以把进入网络的数字比特流转换为模拟信号,把网络输出的模拟信号转换成比特流。

由于在宽带系统中要用到放大器来放大模拟信号,而放大器仅能单向传输信号,因此在宽带电缆的双工传输中,一定要有数据发送和数据接收两条分开的数据通路。

3.6.3 光纤

光纤就是能导光的玻璃纤维,利用光纤传递光脉冲进行通信就是光纤通信,有光脉冲表示比特1,无光脉冲表示比特0。

在信源端,电信号通过光电转换设备,转换成光信号在光纤中传输。在信宿端,光信号又被转换为电信号进而被处理。光纤传输系统的工作过程如图 3-24 所示。

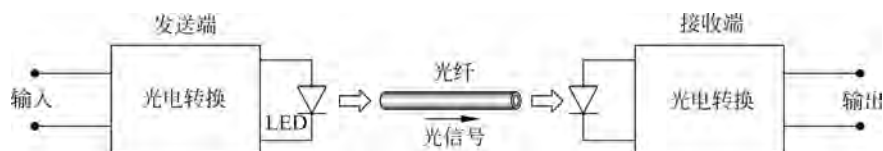


图 3-24 光纤传输系统的工作过程

光纤具有如下显著特点。

- (1) 光纤直径很小,只有 0.1mm 左右,因而重量轻。
- (2) 传输损耗小,中继距离长,对远距离传输特别经济。
- (3) 由于可见光的频率非常高,约为 10^8 MHz 的数量级,因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前其他各种传输介质的带宽。
- (4) 不受电磁干扰,防腐,不会锈蚀。
- (5) 不怕高温,防爆、防火性能强。
- (6) 无串音干扰,保密性好。
- (7) 光纤的主要缺点是将两根光纤精确地连接需要专用设备。

光纤按传输方式可分为多模光纤和单模光纤。

1. 多模光纤

多模光纤是利用光的全反射特性来导光的。若光从光密媒质射向光疏媒质,则折射角大于入射角。如果不断增大入射角可使折射角达到 90° ,这时的入射角称为临界角。如果继续增大入射角,则折射角会大于临界角,使光线全部返回光密媒质中,这种现象称为光的全反射。根据这一原理,光纤主要由纤芯和包层构成,纤芯的折射率高,包层的折射率低。光纤的结构和传输过程如图 3-25 所示。

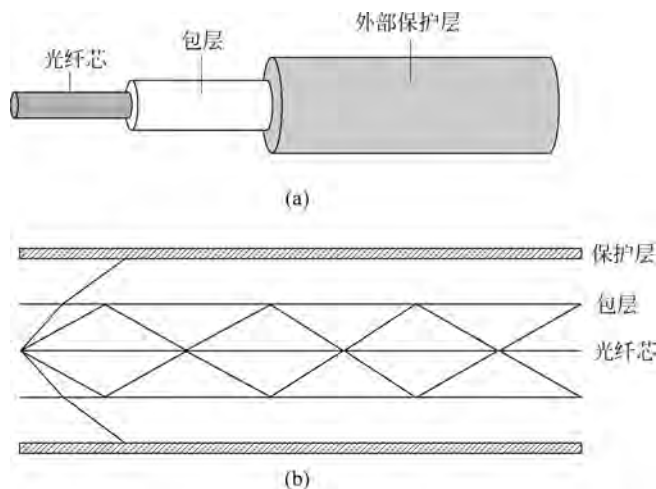


图 3-25 多模光纤

多模光纤的光源为发光二极管,发出的可见光定向性较差,光以不同的角度进入纤芯。实际上,只要从纤芯中射到纤芯表面的光线的入射角大于某一个临界角,就可产生全反射,

因此,存在许多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输。光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽,造成失真,因此多模光纤只适合于近距离传输。

为了克服多模光纤的缺点,出现了梯度型多模光纤。根据经过媒体的光密越小,光传播越快的特性,梯度型多模光纤纤芯的折射率从中间往边缘逐渐变小,光在其中传输的路径变成了曲线。

2. 单模光纤

如果光纤的直径减小到只有一个光的波长大小,则光纤就像一根波导那样,它可使光线沿直线传播,而不会产生多次反射。单模光纤就是按这样的原理



图 3-26 单模光纤

制成的,如图 3-26 所示。单模光纤的纤芯很细,直径只有几微米,制造成本较高。同时,单模光纤的光源使用定向型很好的激光二极管。因此,单模光纤的损耗较小,传输距离远。

光纤有三种连接方式。首先,可以将它们接入接头并插入光纤插座;其次,将两根切割好的光纤的一端放在一个套管中,然后钳起来,让光纤通过结合处来调整;第三,两根光纤可以被融合在一起形成坚实的连接。

由于光纤很细,连包层一起的直径也不到 0.2mm,因此必须将光纤制作成很结实的光缆。一根光缆少则只有一根光纤,多则可包括数十至数百根光纤,再加上加强元件和填充物就可以大大提高其机械强度,最后加上包带层和外护套,就可以使抗拉强度达到几千克,完全可以满足工程施工的强度要求。

3.6.4 陆地微波

微波是指频率在 0.3~300GHz 范围的电磁波,陆地微波通信就是利用此频段的电磁波来传递信息,目前主要是使用 2~40GHz 的频率范围。

陆地微波系统的主要用途是完成远距离远程通信服务和楼宇间建立短距离的点对点通信。

与其他传输介质相比,微波具有如下特点。

(1) 微波波长短,接近于光波,在空间中主要是直线传播,而地球表面是个曲面,微波会穿透电离层而进入宇宙空间,因此传播距离受到限制,必须设立中继站增大传输距离。

(2) 微波频率高,频段范围也很宽,因此通信信道的容量大。

(3) 因为工业干扰和天电干扰的主要频谱成分比微波频率低得多,因而微波传输质量较高。

(4) 由于波长短,天线尺寸可制作得很小,通常制作成面式天线,增益高,方向性强。

(5) 与相同容量和长度的电缆载波通信比较,微波接力通信建设投资少,见效快。

(6) 微波无法穿透障碍物,因此相邻微波站之间必须直视,距离不会太远,一般为 50km。

(7) 微波的损耗与距离和波长有关,可由下式表达:

$$L = 10 \lg \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \text{ dB}$$

其中, d 是天线之间的距离, λ 是波长。

(8) 微波在空间中会发散,某些微波可能被较低的大气层或障碍物折射,从而比直线传播的微波多走一段距离,产生多路衰减。

(9) 微波的传播有时会受到恶劣气候的影响。

3.6.5 卫星微波

卫星微波是陆地微波的发展,利用人造地球卫星作为中继站,转发微波信号,在多个微波站或称地球站之间进行信息交流。卫星微波通信已经广泛用于长途电话通信、蜂窝电话、电视传播和其他应用。

卫星从上行链路接收传输来的信号,将其放大或再生,再从下行链路上发送。如图 3-27 所示。

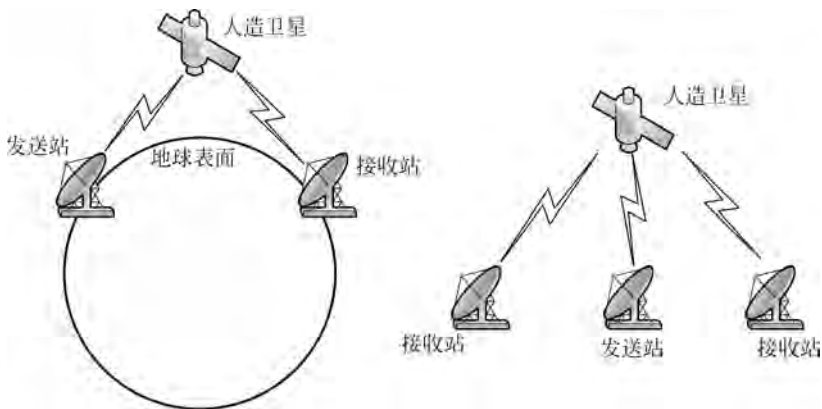


图 3-27 卫星微波工作示意图

但是卫星必须在空中移动,卫星落下水平线后,通信就必须停止,一直到它重新在另一个水平线上出现。采用同步卫星能保证持续地进行传输,因为同步卫星与地球保持固定的位置,它位于赤道轨道,离地面 35 784km。三颗相隔 120° 的同步卫星几乎能覆盖整个地球表面,基本实现全球通信。

卫星微波与陆地微波相比,具有以下特点。

- (1) 卫星通信的距离远,且通信费用与通信距离无关。
- (2) 卫星微波具有广播性质。
- (3) 卫星信道的传播时延较大。

3.6.6 无线电

无线电波很容易产生,可以传播很远,容易穿过建筑物,可以被电离层反射,因此被广泛用于通信,不管是室内还是室外,如图 3-28 所示。无线电波同时还是全方向传播的,因此发射和接收装置不必在物理上很准确地对准。

无线电波的特性与频率有关。在较低频率上,无线电波能轻易地通过障碍物,但是能量随着与信号源距离的增大而急剧减小。在高频上,无线电波趋于直线传播并受障碍物的阻挡,还会被雨水吸收。在所有频率上,无线电波易受发送机和其他电子设备的干扰。

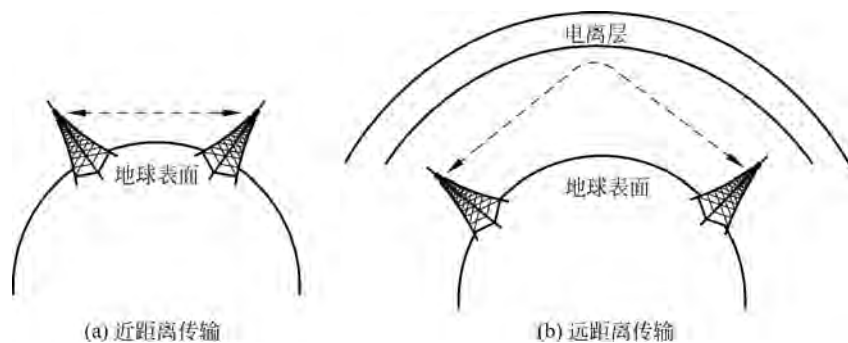


图 3-28 无线电的传输

由于无线电波能传得很远,用户间的相互串扰就是个大问题,所以,所有的政府都控制对用户使用发射器的授权。无线电各波段的划分及用途见表 3-2。

表 3-2 无线电波各波段的划分

波段名称		波长范围	频段名称	频率范围	主要用途
超长波		$>10\,000\text{m}$	VLF	$3\sim30\text{kHz}$	水下通信
长波		$1000\sim10\,000\text{m}$	LF	$30\sim300\text{kHz}$	电报
中波		$200\sim100\text{m}$	MF	$300\sim3000\text{kHz}$	调幅无线电广播
短波		$50\sim200\text{m}$	IF	$3\sim30\text{MHz}$	电报、业余通信、调幅无线电广播
		$10\sim50\text{m}$	HF		
超短波	米波	$1\sim10\text{m}$	VHF	$30\sim300\text{MHz}$	电视、导航、业余通信、调幅无线电广播
	分米波	$10\sim100\text{cm}$	UHF	$300\sim3000\text{MHz}$	电视、导航、雷达
微波	厘米波	$1\sim10\text{cm}$	SHF	$3\sim30\text{GHz}$	电视、导航、雷达、卫星
	毫米波	$1\sim10\text{mm}$	EHF	$30\sim300\text{GHz}$	雷达、通信、遥感
	亚毫米波	$<1\text{mm}$		$300\sim3000\text{GHz}$	雷达、通信、遥感

3.6.7 红外线

红外线的主要特点是不能穿透坚实的物体,这意味着一间房屋里的红外系统不会对其他房间里的系统产生干扰。红外线网络适用于例如教室的环境,或是小型、封闭的区域。对于要求信息保全的人而言,红外线网络或许是一个不错的选择,因其无法穿透墙壁传输,位于建筑物之外的人将不可能直接截取到散布在建筑物内的红外线信号。但相对地,这也构成其缺点——红外线传输极容易受到墙壁的阻碍。

红外通信使用调制非相干红外线光的收发机进行,收发机互相置于视线内对准,直接或间接经房间天花板的浅色表面反射传递信息,被广泛用于短距离通信。电视、录像机使用的遥控装置都利用了红外线装置。红外线具有方向性、便宜并且容易制造的特点,也成为室内无线网的首选对象。

3.7 组网设备

3.7.1 集线器

1. 集线器的概念

集线器(Hub)属于数据通信系统中的基础设备,它和双绞线等传输介质一样,是一种无须任何软件支持或只需很少管理软件管理的硬件设备。它被广泛应用到各种场合。集线器工作在局域网(LAN)环境,像网卡一样,应用于 OSI 参考模型的第一层,因此又被称为物理层设备。集线器内部采用了电气互连,当维护 LAN 的环境是逻辑总线型或环状结构时,完全可以用集线器建立一个物理上的星状或树状网络拓扑结构。在这方面,集线器所起的作用相当于多端口的中继器。其实,集线器实际上就是中继器的一种,其区别仅在于集线器能够提供更多的端口服务,所以集线器又叫多口中继器。

普通集线器外部板面结构非常简单。就拿 TP-Link TL-HP8MU 型集线器来说,它采用的是 8 口单 10M 以太网集线器,适用于中小型办公网络。端口速度 10M,提供级联端口 Uplink,方便网络扩容。LED 面板灯动态显示电源、网路通断、网络碰撞情况。出错端口自动隔离,以保证网络的正常运行,如图 3-29 所示。



图 3-29 TP-Link TL-HP8MU 型集线器

高档集线器从外表上看,与现代路由器或交换式路由器没有多大区别。尤其是现代双速自适应以太网集线器,由于普遍内置有可以实现内部 10Mb/s 和 100Mb/s 网段间相互通信的交换模块,使得这类集线器完全可以在以该集线器为结点的网段中,实现各结点之间的通信交换,有时也将此类交换式集线器简单地称为交换机,这些都使得初次使用集线器的用户很难正确地辨别它们。但根据背板接口类型来判别集线器,是一种比较简单的方法。

2. 集线器的功能

依据 IEEE 802.3 协议,集线器功能是随机选出某一端口的设备,并让它独占全部带宽,与集线器的上连设备(交换机、路由器或服务器等)进行通信。由此可以看出,集线器在工作时具有以下两个特点。

首先 Hub 只是一个多端口的信号放大设备,工作中当一个端口接收到数据信号时,由于信号在从源端口到 Hub 的传输过程中已有了衰减,所以 Hub 便将该信号进行整形放大,使被衰减的信号再生(恢复)到发送时的状态,紧接着转发到其他所有处于工作状态的端口上。从 Hub 的工作方式可以看出,它在网络中只起到信号放大和重发作用,其目的是扩大网络的传输范围,而不具备信号的定向传送能力,是一个标准的共享式设备。因此有人称集线器为“傻 Hub”或“哑 Hub”。

其次是 Hub 只与它的上连设备(如上层 Hub、交换机或服务器)进行通信,同层的各端

口之间不会直接进行通信,而是通过上连设备再将信息广播到所有端口上。由此可见,即使是在同一 Hub 的两个不同端口之间进行通信,都必须经过两步操作:第一步是将信息上传到上连设备;第二步是上连设备再将该信息广播到所有端口上。

不过,随着技术的发展和需求的变化,目前的许多 Hub 在功能上进行了拓宽,不再受这种工作机制的影响。由 Hub 组成的网络是共享式网络,同时 Hub 也只能在半双工下工作。

Hub 主要用于共享网络的组建,是解决从服务器直接到桌面最经济的方案。在交换式网络中,Hub 直接与交换机相连,将交换机端口的数据送到桌面。使用 Hub 组网灵活,它处于网络的一个星状结点,对结点相连的工作站进行集中管理,不让出问题的工作站影响整个网络的正常运行,并且用户的加入和退出也很自由。

3. 集线器的分类

按结构和功能分类,集线器可分为未管理的集线器、堆叠式集线器和底盘集线器三类。

1) 未管理的集线器

最简单的集线器通过以太网总线提供中央网络连接,以星状的形式连接起来,这称为未管理的集线器,只用于很小型的至多 12 个结点的网络中(在少数情况下,可以更多一些)。未管理的集线器没有管理软件或协议来提供网络管理功能,这种集线器可以是无源的,也可以是有源的,有源集线器使用得更多。

2) 堆叠式集线器

堆叠式集线器是稍微复杂一些的集线器。堆叠式集线器最显著的特征是 8 个转发器可以直接彼此相连。这样只需简单地添加集线器并将其连接到已经安装的集线器上就可以扩展网络,这种方法不仅成本低,而且简单易行。

3) 底盘集线器

底盘集线器是一种模块化的设备,在其底板电路板上可以插入多种类型的模块。有些集线器带有冗余的底板和电源。同时,有些模块允许用户不必关闭整个集线器便可替换那些失效的模块。集线器的底板给插入模块准备了多条总线,这些插入模块可以适应不同的段,如以太网、快速以太网、光纤分布式数据接口(Fiber Distributed Data Interface, FDDI)和异步传输模式(Asynchronous Transfer Mode, ATM)中。有些集线器还包含网桥、路由器或交换模块。有源的底盘集线器还可能会有重定时的模块,用来与放大的数据信号关联。

从局域网角度来区分,集线器可分为以下五种不同类型。

1) 单中继网段集线器

最简单的集线器,是一类用于最简单的中继式 LAN 网段的集线器,与堆叠式以太网集线器或令牌环网多站访问部件(MAU)等类似。

2) 多网段集线器

从单中继网段集线器直接派生而来,采用集线器背板,这种集线器带有多个中继网段。其主要优点是可以将用户分布于多个中继网段上,以减少每个网段的信息流量负载,网段之间的信息流量一般要求独立的网桥或路由器。

3) 端口交换式集线器

该集成器是在多网段集线器基础上,将用户端口和多个背板网段之间的连接过程自动化,并通过增加端口交换矩阵(PSM)来实现的集线器。PSM 可提供一种自动工具,用于将

任何外来用户端口连接到集线器背板上的任何中继网段上。端口交换式集线器的主要优点是,可实现移动、增加和修改的自动化特点。

4) 网络互联集线器

端口交换式集线器注重端口交换,而网络互联集线器在背板的多个网段之间可提供一些类型的集成连接,该功能通过一台综合网桥、路由器或 LAN 交换机来完成。目前,这类集线器通常都采用机箱形式。

5) 交换式集线器

目前,集线器和交换机之间的界限已变得模糊。交换式集线器有一个核心交换式背板,采用一个纯粹的交换系统代替传统的共享介质中继网段。此类产品已经上市,并且混合的(中继/交换)集线器很可能在以后几年控制这一市场。应该指出,这类集线器和交换机之间的特性几乎没有区别。

3.7.2 网桥

1. 网桥的概念

网桥(Bridge)是一种在链路层实现中继,常用于连接两个或更多个局域网的网络互连设备。网桥像一个“聪明”的中继器。中继器从一个网络电缆里接收信号,放大它们,将其送入下一个电缆。相比较而言,网桥对从网卡上传下来的信息更敏锐一些。网桥是一种对帧进行转发的技术,根据 MAC 分区块,可隔离碰撞。网桥将网络的多个网段在数据链路层连接起来。

网桥将两个相似的网络连接起来,并对网络数据的流通进行管理。它工作于数据链路层,不但能扩展网络的距离或范围,而且可提高网络的性能、可靠性和安全性。如图 3-30 所示,网络 1 和网络 2 通过网桥连接后,网桥接收网络 1 发送的数据包,检查数据包中的地址,如果地址属于网络 1,它就将其放弃;相反,如果是网络 2 的地址,它就继续发送给网络 2。这样可利用网桥隔离信息,将网络划分成多个网段,隔离出安全网段,防止其他网段内的用户非法访问。由于网络的分段,各网段相对独立,一个网段的故障不会影响到另一个网段的运行。

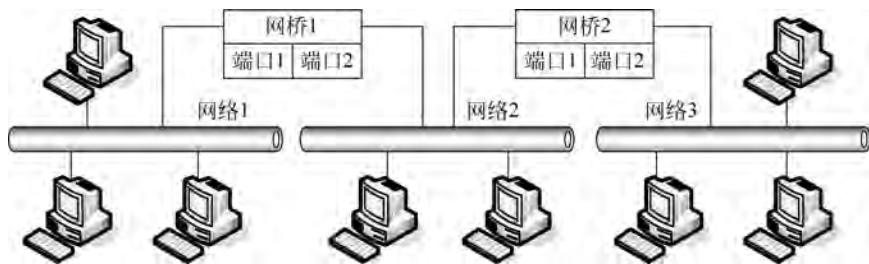


图 3-30 网桥的工作过程

网桥可以是专门的硬件设备,也可以由计算机加装的网桥软件来实现,这时计算机上会安装多个网络适配器(网卡)。

2. 网桥的功能

网桥的功能在延长网络跨度上类似于中继器,然而它能提供智能化连接服务,即根据帧

的终点地址处于哪一网段来进行转发和滤除。网桥对站点所处网段的了解是靠“自学习”实现的。

当使用网桥连接两个网段时,网桥对来自网段 1 的 MAC 帧,首先要检查其终点地址。如果该帧是发往网段 1 上某一站的,网桥则不将帧转发到网段 2,而将其滤除;如果该帧是发往网段 2 上某一站的,网桥则将它转发到网段 2。这表明,如果网段 1 和网段 2 上各有一对用户在本网段上同时进行通信,显然是可以实现的。因为网桥起到了隔离作用。可以看出,网桥在一定条件下具有增加网络带宽的作用。

网桥的存储和转发功能与中继器相比有优点也有缺点,其优点如下。

(1) 使用网桥进行互连克服了物理限制,这意味着网络内的数据站总数和网段数很容易扩充。

(2) 网桥纳入存储和转发功能可使其适应于连接使用不同 MAC 协议的两个网络,因而构成一个不同网络混连在一起的混合网络环境。

(3) 网桥的中继功能仅依赖于 MAC 帧的地址,因而对高层协议完全透明。

(4) 网桥将一个较大的网络分成若干网段,有利于改善可靠性、可用性和安全性。

网桥的主要缺点是:由于网桥在执行转发前先接收帧并进行缓冲,与中继器相比会引入更多时延。由于网桥不提供流控功能,因此在流量较大时有可能使其过载,从而造成帧的丢失。

网桥的优点多于缺点正是其广泛使用的原因。

3. 网桥的分类

所有网桥都是在数据链路层提供连接服务,根据其路由算法不同,可将网桥分为透明网桥和源路由选择网桥。

1) 透明网桥

“透明网桥”是指,它对任何数据站都完全透明,用户感觉不到它的存在,也无法对网桥寻址。所有的路由判决全部由网桥自己确定。当网桥连入网络时,它能自动初始化并对自身进行配置。用户不需要改动硬件和软件,无须设置地址开关,无须装入路由表或参数。只须插入电缆就可以,现有的局域网的运行完全不受网桥的任何影响。

2) 源路由选择网桥

源路由选择网桥规定,发送帧的源工作站负责路由选择。为此,在每个工作站中都配置一张路由选择表,在表中为本站所能到达的工作站都建立一个表目,其中列出了由本站到达目的站沿途所有工作站和网桥的站址。由本站发往该目的站的所有帧,都将沿着这条路径传输。

源路由网桥选择网桥能按用户要求寻找最佳路由,这对保密性很强的信息传输来说是很重要的。但网络工作站的实现较复杂,因为要在工作站中设置路由选择表,采用某种算法的路由选择程序,特别是当互连网络规模很大时,广播帧的数目会剧增,引起拥塞。因此,市场上透明网桥居多。

3.7.3 交换机

1. 交换机的概念

交换(Switching)是按照通信两端传输信息的需要,用人工或设备自动完成的方法,把



要传输的信息送到符合要求的相应路由上的技术的统称。广义的交换机(Switch)就是一种在通信系统中完成信息交换功能的设备,如图 3-31 所示。



图 3-31 交换机

在计算机网络系统中,交换概念的提出改进了共享工作模式。前面介绍过的 Hub 集线器就是一种共享设备,Hub 本身不能识别目的地址,当同一局域网内的 A 主机给 B 主机传输数据时,数据包在以 Hub 为架构的网络上是以广播方式传输的,由每一台终端通过验证数据包头的地址信息来确定是否接收。也就是说,在这种工作模式下,同一时刻网络上只能传输一组数据帧,如果发生碰撞还得重试。但是交换机的出现,恰恰弥补了 Hub 结构的网络的缺点。

目前市场上交换机产品繁多,其中常见的品牌及系列如下。

- (1) H3C 公司的高中低端交换机。
- (2) Cisco 公司的 6500、3500、2900、1900 系列。
- (3) 华为公司的 Quidway S9300、S8500、S7800 系列。
- (4) D-link、TP-link 的桌面交换机。

2. 交换机工作原理

典型的局域网交换机结构与工作过程如图 3-32 所示。图中的交换机有 6 个端口,其中端口 1、4、5、6 分别连接了结点 A、结点 B、结点 C 与结点 D。那么交换机的“端口号/MAC 地址映射表”就可以根据以上端口号与结点 MAC 地址的对应关系建立起来。如果结点 A 与结点 D 同时要发送数据,那么它们可以分别在以太网帧的目的地址字段(DA, Destination Address)中填上该帧的目的地址。

例如,结点 A 要向结点 C 发送帧,那么该帧的目的地址 DA=结点 C; 结点 D 要向结点 B 发送,那么该帧的目的地址 DA=结点 B。当结点 A、结点 D 同时通过交换机传送以太网帧时,交换机的交换控制中心根据“端口号/MAC 地址映射”的对应关系找出对应帧目的地址的输出端口号,那么它就可以为结点 A 到结点 C 建立端口 1 到端口 5 的连接。同时,为结点 D 和结点 B 建立端口 6 到端口 4 的连接。这种端口之间的连接可以根据需要同时建立多条,也就是说可以在多个端口之间建立多个并发连接。

以太网交换机的帧转发方式可以分为以下三类。

1) 直接交换方式

在直接交换方式中,交换机只要接收并检测到目的地址字段,立即将该帧转发出去,而不管这一帧数据是否出错。帧出错检测任务由结点主机完成。这种交换方式的优点是交换

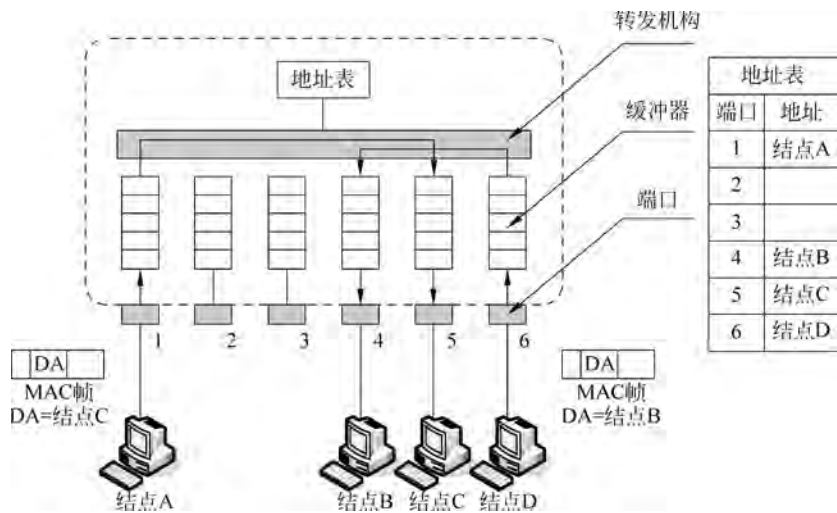


图 3-32 交换机的工作原理

延迟时间短；缺点是缺乏差错检测能力，不支持不同输入输出速率的端口之间的帧转发。

2) 存储转发交换方式

在存储转发方式中，交换机首先完整地接收发送帧，并先进行差错检测。如果接收帧是正确的，则根据帧目的地址确定输出端口号，然后再转发出去。这种交换方式的优点是具有帧差错检测能力，并能支持不同输入输出速率的端口之间的帧转发，缺点是交换延迟时间将会增长。

3) 改进直接交换方式

改进的直接交换方式则将二者结合起来，它在接收到帧的前 64B 后，判断以太网帧的帧头字段是否正确，如果正确则转发出去。这种方法对于短的以太网帧来说，其交换延迟时间与直接交换方式比较接近；而对于长的以太网帧来说，由于它只对帧的地址字段与控制字段进行了差错检测，因此交换延迟时间将会减少。

3. 交换机的功能

交换机的主要功能包括物理编址、网络拓扑结构、错误校验、帧序列以及流控。目前交换机还具备了一些新的功能，如对 VLAN(虚拟局域网)的支持、对链路汇聚的支持，甚至有的还具有防火墙的功能。

1) 学习

以太网交换机了解每一端口相连设备的 MAC 地址，并将地址同相应的端口映射起来存放在交换机缓存中的 MAC 地址表中。

2) 转发/过滤

当一个数据帧的目的地址在 MAC 地址表中有映射时，它被转发到连接目的端口的端口而不是所有端口(如该数据帧为广播/组播帧则转发至所有端口)。

3) 消除回路

当交换机包括一个冗余回路时，以太网交换机通过生成树协议避免回路的产生，同时允许存在后备路径。

交换机除了能够连接同种类型的网络之外，还可以在不同类型的网络(如以太网和快速

以太网)之间起到互连作用。如今许多交换机都能够提供支持快速以太网或 FDDI 等的高速连接端口,用于连接网络中的其他交换机或者为带宽占用量大的关键服务器提供附加带宽。

一般来说,交换机的每个端口都用来连接一个独立的网段,但是有时为了提供更快的接入速度,可以把一些重要的网络计算机直接连接到交换机的端口上。这样,网络的关键服务器和重要用户就拥有更快的接入速度,支持更大的信息流量。

在如图 3-33 所示的 Switch-Hub 组合式网络中,若交换机的每个端口的数据转发速率是 10Mb/s 的话,那么计算机 A、B 和 C 将共享这 10M 的速率。而对于计算机 D 来说,它将独享这 10M 的速率。

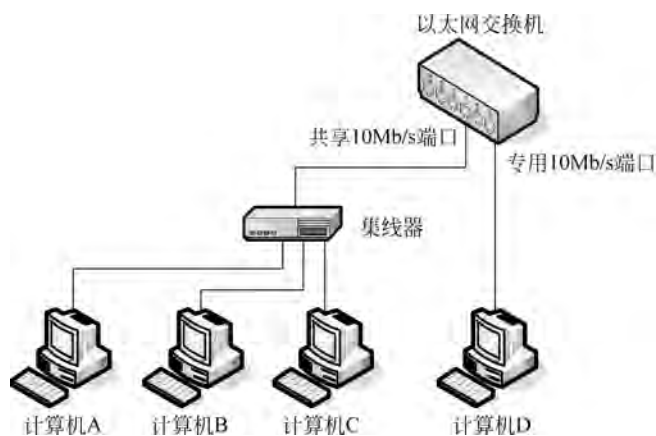


图 3-33 Switch-Hub 组合式网络

最后简略地概括一下交换机的基本功能。

(1) 像集线器一样,交换机提供了大量可供线缆连接的端口,这样可以采用星状拓扑布线。

(2) 像中继器、集线器和网桥那样,当它转发帧时,交换机会重新产生一个不失真的方形电信号。

(3) 像网桥那样,交换机在每个端口上都使用相同的转发或过滤逻辑。

(4) 像网桥那样,交换机将局域网分为多个冲突域,每个冲突域都有独立的带宽,因此大大提高了局域网的带宽。

(5) 除了具有网桥、集线器和中继器的功能以外,交换机还提供了更先进的功能,如虚拟局域网(VLAN)和更高的性能。

4. 交换机的级联与堆叠

1) 级联

级联可以定义为两台或两台以上的交换机通过一定的方式相互连接。根据需要,多台交换机可以以多种方式进行级联。在较大的局域网例如园区网(校园网)中,多台交换机按照性能和用途一般形成总线型、树状或星状的级联结构。

城域网是交换机级联的极好例子。目前各地电信部门已经建成了许多市地级的宽带 IP 城域网。这些宽带城域网自上向下一般分为 3 个层次:核心层、汇聚层、接入层。核心层一般采用千兆以太网技术,汇聚层采用 1000M/100M 以太网技术,接入层采用 100M/10M

以太网技术,所谓“千兆到大楼,百兆到楼层,十兆到桌面”。

这种结构的宽带城域网实际上就是由各层次的许多台交换机级联而成的。核心交换机下连若干台汇聚交换机,汇聚交换机下连若干台小区中心交换机,小区中心交换机下连若干台楼宇交换机,楼宇交换机下连若干台楼层交换机。

交换机间一般是通过普通用户端口进行级联,有些交换机则提供了专门的级联端口(Uplink Port)。这两种端口的区别仅在于普通端口符合 MDI 标准,而级联端口(或称上行口)符合 MDIX 标准。由此导致了两种方式下接线方式不同:当两台交换机都通过普通端口级联时,端口间电缆采用交叉电缆(Crossover Cable);当且仅当其中一台通过级联端口时,采用直通电缆(Straight Through Cable)。

为了方便进行级联,某些交换机上提供一个两用端口,可以通过开关或管理软件将其设置为 MDI 或 MDIX 方式。更进一步,某些交换机上全部或部分端口具有 MDI/MDIX 自校准功能,可以自动区分网线类型,进行级联时更加方便。

用交换机进行级联时要注意以下几个问题。原则上任何厂家、任何型号的以太网交换机均可相互进行级联,但也不排除一些特殊情况下两台交换机无法进行级联。交换机间级联的层数是有一定限度的。成功实现级联的最根本原则,就是任意两结点之间的距离不能超过媒体段的最大跨度。多台交换机级联时,应保证它们都支持生成树(Spanning-Tree)协议,既要防止网内出现环路,又要允许冗余链路存在。

进行级联时,应该尽力保证交换机间中继链路具有足够的带宽,为此可采用全双工技术和链路汇聚技术。交换机端口采用全双工技术后,不但相应端口的吞吐量加倍,而且交换机间中继距离大大增加,使得异地分布、距离较远的多台交换机级联成为可能。链路汇聚也叫端口汇聚、端口捆绑、链路扩容组合,由 IEEE 802.3ad 标准定义。即两台设备之间通过两个以上的同种类型的端口并行连接,同时传输数据,以便提供更高的带宽、更好的冗余度以及实现负载均衡。链路汇聚技术不但可以提供交换机间的高速连接,还可以为交换机和服务器之间的连接提供高速通道。需要注意的是,并非所有类型的交换机都支持这两种技术。

2) 堆叠

堆叠是指将一台以上的交换机组合起来共同工作,以便在有限的空间内提供尽可能多的端口。多台交换机经过堆叠形成一个堆叠单元。可堆叠的交换机性能指标中有一个“最大可堆叠数”的参数,它是指一个堆叠单元中所能堆叠的最大交换机数,代表一个堆叠单元中所能提供的最大端口密度。

堆叠与级联这两个概念既有区别又有联系。堆叠可以看作级联的一种特殊形势。它们的不同之处在于:级联的交换机之间可以相距很远(在媒体许可范围内),而一个堆叠单元内的多台交换机之间的距离非常近,一般不超过几米;级联一般采用普通端口,而堆叠一般采用专用的堆叠模块和堆叠电缆。一般来说,不同厂家、不同型号的交换机可以互相级联,堆叠则不同,它必须在可堆叠的同类型交换机(至少应该是同一厂家的交换机)之间进行;级联仅仅是交换机之间的简单连接,堆叠则是将整个堆叠单元作为一台交换机来使用,这不但意味着端口密度的增加,而且意味着系统带宽的加宽。

目前,市场上的主流交换机可以细分为可堆叠型和非堆叠型两大类。而号称可以堆叠的交换机中,又有虚拟堆叠和真正堆叠之分。虚拟堆叠,实际就是交换机之间的级联。交换机并不是通过专用堆叠模块和堆叠电缆,而是通过 Fast Ethernet 端口或 Giga Ethernet 端

口进行堆叠,实际上这是一种变相的级联。即便如此,虚拟堆叠的多台交换机在网络中已经可以作为一个逻辑设备进行管理,从而使网络管理变得简单起来。

真正意义上的堆叠应该满足:采用专用堆叠模块和堆叠总线进行堆叠,不占用网络端口;多台交换机堆叠后,具有足够的系统带宽,从而保证堆叠后每个端口仍能达到线速交换;多台交换机堆叠后,VLAN 等功能不受影响。

目前市场上有相当一部分可堆叠的交换机属于虚拟堆叠类型而非真正堆叠类型。很显然,真正意义上的堆叠比虚拟堆叠在性能上要高出许多,但采用虚拟堆叠至少有两个好处:虚拟堆叠往往采用标准 Fast Ethernet 或 Giga Ethernet 作为堆叠总线,易于实现,成本较低;堆叠端口可以作为普通端口使用,有利于保护用户投资。采用标准 Fast Ethernet 或 Giga Ethernet 端口实现虚拟堆叠,可以大大延伸堆叠的范围,使得堆叠不再局限于一个机柜之内。

堆叠可以大大提高交换机端口密度和性能。堆叠单元具有足以匹敌大型机架式交换机的端口密度和性能,而投资却比机架式交换机便宜得多,实现起来也灵活得多。这就是堆叠的优势所在。

机架式交换机可以说是堆叠发展到更高阶段的产物。机架式交换机一般属于部门以上级别的交换机,它有多个插槽,端口密度大,支持多种网络类型,扩展性较好,处理能力强,但价格昂贵。

5. 交换机的分类

1) 按网络覆盖范围分类

根据网络覆盖范围划分,交换机可以分为局域网交换机和广域网交换机。

局域网交换机应用于局域网络,用于连接终端设备,如服务器、工作站、集线器、路由器、网络打印机等网络设备,提供高速独立通信通道。

广域网交换机主要是应用于电信城域网互联、互联网接入等领域的广域网中,提供通信用的基础平台。

2) 按传输介质和传输速度分类

按传输介质和传输速度分类,交换机可分为以太网交换机、快速以太网交换机、千兆以太网交换机、10 千兆以太网交换机、ATM 交换机、FDDI 交换机和令牌环交换机。

(1) 以太网交换机。以太网交换机是最普遍和便宜的,它的档次比较齐全,应用领域也非常广泛,在大大小小的局域网都可以见到它们的踪影。以太网包括三种网络接口:RJ-45、BNC 和 AUI,所用的传输介质分别为:双绞线、细同轴电缆和粗同轴电缆。不要以为一讲以太网就都是 RJ-45 接口的,只不过双绞线类型的 RJ-45 接口在网络设备中非常普遍而已。当然现在的交换机通常不可能全是 BNC 或 AUI 接口的,因为目前采用同轴电缆作为传输介质的网络现在已经很少见了,而一般是在 RJ-45 接口的基础上为了兼顾同轴电缆介质的网络连接,配上 BNC 或 AUI 接口。

(2) 快速以太网交换机。这种交换机是用于 100Mb/s 快速以太网。快速以太网是一种在普通双绞线或者光纤上实现 100Mb/s 传输带宽的网络技术。要注意的是,不要一讲到快速以太网就认为全都是纯正 100Mb/s 带宽的端口,事实上目前基本上还是 10/100Mb/s 自适应型的为主。同样一般来说,这种快速以太网交换机通常所采用的介质也是双绞线,有的快速以太网交换机为了兼顾与其他光传输介质的网络互联,或许会留有少数的光纤接口

“SC”。

(3) 千兆以太网交换机。千兆以太网交换机是用于目前较新的一种网络——千兆以太网中,也有人把这种网络称为“吉比特(GB)以太网”,那是因为它的带宽可以达到1000Mb/s。它一般用于一个大型网络的骨干网段,所采用的传输介质有光纤、双绞线两种,对应的接口为SC和RJ-45接口两种。

(4) 10千兆以太网交换机。10千兆以太网交换机主要是为了适应当今10千兆以太网网络的接入,它一般用于骨干网段上,采用的传输介质为光纤,其接口方式也就相应为光纤接口。同样,这种交换机也称为“10G以太网交换机”。

(5) ATM交换机。ATM交换机是用于ATM网络的交换机产品。ATM网络由于其独特的技术特性,现在还只用于电信、邮政网的主干网段,因此其交换机产品在市场上很少看到。相比在ADSL宽带接入方式中采用PPPoA协议,在局端(NSP端)就需要配置ATM交换机,有线电视的Cable Modem互联网接入法在局端也采用ATM交换机。它的传输介质一般采用光纤,接口类型同样一般有两种:以太网RJ-45接口和光纤接口,这两种接口适合与不同类型的网络互联。相对于物美价廉的以太网交换机而言,ATM交换机的价格比较高,在普通局域网中应用很少。

(6) FDDI交换机。FDDI技术是在快速以太网技术还没有开发出来之前开发的,它主要是为了解决当时10Mb/s以太网和16Mb/s令牌网速度的局限,它的传输速率可达到100Mb/s。但它当时是采用光纤作为传输介质的,比以双绞线为传输介质的网络成本高许多,所以随着快速以太网技术的成功开发,FDDI技术失去了应有的市场。正因如此,FDDI设备(如FDDI交换机)目前比较少见,FDDI交换机是用于老式中、小型企业的快速数据交换网络中的,它的接口形式都为光纤接口。

(7) 令牌环交换机。主流局域网中曾经有一种被称为“令牌环网”的网络。它是由IBM在20世纪70年代开发的,在老式的令牌环网中,数据传输率为4Mb/s或16Mb/s,新型的快速令牌环网传输速率可达100Mb/s,目前已经标准化了。令牌环网的传输方法在物理上采用星状拓扑结构,在逻辑上采用环状拓扑结构。与之相匹配的交换机产品就是令牌环交换机。令牌环网逐渐失去了市场,相应的纯令牌环交换机产品也非常少见。但是在一些交换机中仍留有一些BNC或AUI接口,以方便令牌环网进行连接。

3) 按交换机应用网络层次分类

按交换机应用网络层次分类,交换机可分为企业级交换机、校园网交换机、部门级交换机、工作组交换机和桌面型交换机。

(1) 企业级交换机。企业级交换机属于一类高端交换机,一般采用模块化的结构,可作为企业网络骨干构建高速局域网,所以它通常用于企业网络的最顶层。企业级交换机可以提供用户化定制、优先级队列服务和网络安全控制,并能很快适应数据增长和改变的需要,从而满足用户的需求。对于有更多需求的网络,企业级交换机不仅能传送海量数据和控制信息,更具有硬件冗余和软件可伸缩性的特点,保证网络的可靠运行。这种交换机从它所处的位置可以清楚地看出它自身的要求非同一般,起码在带宽、传输速率以及背板容量上要比一般交换机高出许多,所以企业级交换机一般都是千兆以上以太网交换机。企业级交换机所采用的端口一般都为光纤接口,这主要是为了保证交换机高的传输速率。那么什么样的交换机可以称为企业级交换机呢?其实还没有一个明确的标准,只是现在通常这么认为,如

果是作为企业的骨干交换机时,能支持 500 个信息点以上大型企业应用的交换机为企业级交换机。企业交换机还可以接入一个大底盘。这个底盘产品通常支持许多不同类型的组件,比如快速以太网和以太网中继器、FDDI 集中器、令牌环 MAU 和路由器。企业交换机在建设企业级别的网络时非常有用,尤其是对需要支持一些网络技术和以前的系统的情况。基于底盘设备通常有非常强大的管理特征,因此非常适合于企业网络的环境。

(2) 校园网交换机。校园网交换机应用相对较少,主要应用于较大型网络,且一般作为网络的骨干交换机。这种交换机具有快速数据交换能力和全双工能力,可提供容错等智能特性,还支持扩充选项及第三层交换中的虚拟局域网(VLAN)等多种功能。这种交换机因通常用于分散的校园网而得名,其实它不一定要应用在校园网络中,只表示它主要应用于物理距离分散的较大型网络中。因为校园网比较分散,传输距离比较长,所以在骨干网段上,这类交换机通常采用光纤或者同轴电缆作为传输介质,交换机当然也就需提供 SC 光纤口和 BNC 或者 AUI 同轴电缆接口。

(3) 部门级交换机。部门级交换机是面向部门级网络使用的交换机。这类交换机可以是固定配置,也可以是模块配置,一般除了常用的 RJ-45 双绞线接口外,还带有光纤接口。部门级交换机一般具有较为突出的智能型特点,支持基于端口的 VLAN(虚拟局域网),可实现端口管理,可任意采用全双工或半双工传输模式,可对流量进行控制,有网络管理的功能,可通过 PC 的串口或经过网络对交换机进行配置、监控和测试。如果作为骨干交换机,则一般认为支持 300 个信息点以下中型企业的交换机为部门级交换机。

(4) 工作组交换机。工作组交换机是传统集线器的理想替代产品,一般为固定配置,配有一定数目的 10Base-T 或 100Base-TX 以太网口。交换机按每一个包中的 MAC 地址相对简单地决策信息转发,这种转发决策一般不考虑包中隐藏的更深的其他信息。与集线器不同的是交换机转发延迟很小,操作接近单个局域网性能,远远超过了普通桥接互联网络之间的转发性能。工作组交换机一般没有网络管理的功能,如果是作为骨干交换机,则一般认为支持 100 个信息点以内的交换机为工作组交换机。

(5) 桌面型交换机。桌面型交换机是最常见的一种最低档的交换机,它区别于其他交换机的一个特点是支持的每端口 MAC 地址很少,通常端口数也较少(12 口以内,但不是绝对),只具备最基本的交换机特性,当然价格也是最便宜的。这类交换机虽然在整个交换机中属最低档的,但是相比集线器来说它还是具有交换机的通用优越性,况且有许多应用环境也只需这些基本的性能,所以它的应用还是相当广泛的。它主要应用于小型企业或中型以上企业办公桌面。在传输速度上,目前桌面型交换机大都提供多个具有 10/100Mb/s 自适应能力的端口。



路由器

3.7.4 路由器

1. 路由器的概念

路由就是指通过相互连接的网络把信息从源地点移动到目标地点的活动。一般来说,在路由过程中,信息至少会经过一个或多个中间结点。通常,人们会把路由和交换进行对比,这主要是因为普通用户看来两者所实现的功能是完全一样的。其实,路由和交换之间的主要区别就是交换发生在 OSI 参考模型的第二层(数据链路层),而路由发生在第三层,即网络层。这一区别决定了路由和交换在移动信息的过程中需要使用不同的控制信息,所

以两者实现各自功能的方式是不同的。

早在四十多年前就已经出现了对路由技术的讨论,但是直到 20 世纪 80 年代路由技术才逐渐进入商业化的应用。路由技术之所以在问世之初没有被广泛使用,主要是因为 20 世纪 80 年代之前的网络拓扑结构都非常简单,路由技术没有用武之地。直到最近十几年,大规模的互联网络才逐渐流行起来,为路由技术的发展提供了良好的基础和平台。

路由器是互联网的主要结点设备,如图 3-34 所示。路由器通过路由决定数据的转发。转发策略称为路由选择(routing),这也是路由器名称的由来。作为不同网络之间互相连接的枢纽,路由器系统构成了基于 TCP/IP 的国际互联网络 Internet 的主体脉络,也可以说,路由器构成了 Internet 的骨架。它的处理速度是网络通信的主要瓶颈之一,它的可靠性则直接影响着网络互联的质量。因此,在园区网、地区网乃至整个 Internet 研究领域,路由器技术始终处于核心地位,其发展历程和方向成为整个 Internet 研究的一个缩影。在当前我国网络基础建设和信息建设方兴未艾之际,探讨路由器在互联网络中的作用、地位及其发展方向,对于国内的网络技术研究、网络建设,以及明确网络市场上对于路由器和网络互联的各种似是而非的概念,都有重要的意义。



图 3-34 路由器

目前市场上路由器产品比较多,其中常见的品牌及系列如下。

- (1) Cisco 公司的 Cisco 系列路由器。
- (2) 3Com 公司的 Office Connect Net Builder 系列。
- (3) Nortel 公司的 Accelar 系列。
- (4) Intel 公司的 Express Router 系列。
- (5) 华为公司的 Quidway 系列。
- (6) TP-LINK。
- (7) D-LINK。

2. 路由器的功能

路由器的一个作用是联通不同的网络,另一个作用是选择信息传送的线路。选择通畅快捷的近路,能大大提高通信速度,减轻网络系统通信负荷,节约网络系统资源,提高网络系统畅通率,从而让网络系统发挥出更大的效益来。

从过滤网络流量的角度来看,路由器的作用与交换机和网桥非常相似。但是与工作在网络物理层,从物理上划分网段的交换机不同,路由器使用专门的软件协议从逻辑上对整个网络进行划分。例如,一台支持 IP 协议的路由器可以把网络划分成多个子网段,只有指向特殊 IP 地址的网络流量才可以通过路由器。对于每一个接收到的数据包,路由器都会重新计算其校验值,并写入新的物理地址。因此,使用路由器转发和过滤数据的速度往往要比只

查看数据包物理地址的交换机慢。但是,路由器对于那些结构复杂的网络,使用路由器可以提高网络的整体效率。路由器的另外一个明显优势就是可以自动过滤网络广播。从总体上说,在网络中添加路由器的整个安装过程要比即插即用的交换机复杂很多。

一般说来,异种网络互联与多个子网互联都应采用路由器来完成。

路由器的主要工作就是为经过路由器的每个数据帧寻找一条最佳传输路径,并将该数据有效地传送到目的站点。由此可见,选择最佳路径的策略即路由算法是路由器的关键所在。为了完成这项工作,在路由器中保存着各种传输路径的相关数据——路径表(Routing Table),供路由选择时使用。路径表中保存着子网的标志信息、网上路由器的个数和下一个路由器的名字等内容。路径表可以由系统管理员固定设置好,也可以由系统动态修改,可以由路由器自动调整,也可以由主机控制。

由系统管理员事先设置好固定的路径表称为静态(Static)路径表,一般是在系统安装时就根据网络的配置情况预先设定的,它不会随未来网络拓扑结构的改变而改变。

动态(Dynamic)路径表是路由器根据网络系统的运行情况而自动调整的路径表。路由器根据路由选择协议(Routing Protocol)提供的功能,自动学习和记忆网络运行情况,在需要时自动计算数据传输的最佳路径。

3. 路由器的工作原理

路由器的工作过程如图 3-35 所示,原理简述如下。

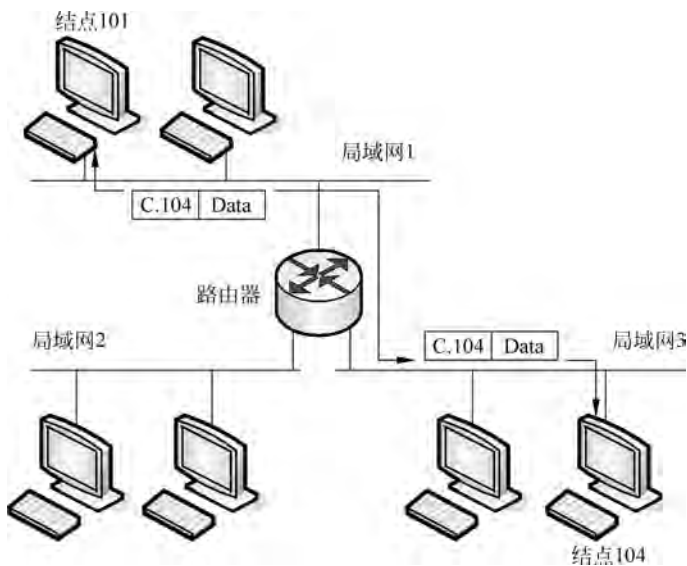


图 3-35 路由器的工作过程

(1) 当数据包到达路由器,根据网络物理接口的类型,路由器调用相应的链路层功能模块,以解释处理此数据包的链路层协议报头。主要是对数据的完整性进行验证,如 CRC 校验、帧长度检查等。

(2) 在链路层完成对数据帧的完整性验证后,路由器开始处理此数据帧的 IP 层。根据数据帧中 IP 包头的目的 IP 地址,路由器在路由表中查找下一跳的 IP 地址;同时,IP 数据包头的 TTL(Time To Live)域开始减数,并重新计算校验和(Checksum)。

(3) 根据路由表中所查到的下一跳 IP 地址,将 IP 数据包送往相应的输出链路层,被封装上相应的链路层包头,最后经输出网络物理接口发送出去。

4. 路由器的分类

路由器产品,按照不同的划分标准有多种类型。常见的分类有以下几种。

1) 按性能档次分类

按性能档次划分,通常将路由器分为高、中、低三类。

通常将路由器吞吐量大于 40Gb/s 的路由器称为高档路由器,吞吐量为 25~40Gb/s 的路由器称为中档路由器,而将低于 25Gb/s 的看作低档路由器。

当然这只是一种宏观上的划分标准,各厂家划分并不完全一致,实际上路由器档次的划分不仅是以其吞吐量为依据的,是有一个综合指标的。以市场占有率最大的 Cisco 公司为例,12000 系列为高端路由器,7500 以下系列路由器为中低端路由器。

2) 按结构分类

按结构划分,可将路由器分为模块化路由器和非模块化路由器。

模块化结构可以灵活地配置路由器,以适应企业不断增加的业务需求,非模块化结构的就只能提供固定的端口。通常中高端路由器为模块化结构,低端路由器为非模块化结构。

3) 按功能分类

从功能划分,可将路由器分为骨干级路由器、企业级路由器和接入级路由器。

骨干级路由器是实现企业级网络互联的关键设备,它数据吞吐量较大,非常重要。对骨干级路由器的基本性能要求是高速度和高可靠性。为了获得高可靠性,网络系统普遍采用诸如热备份、双电源、双数据通路等传统冗余技术,从而使得骨干路由器的可靠性一般不成问题。

企业级路由器连接许多终端系统,连接对象较多,但系统相对简单,且数据流量较小,对这类路由器的要求是以尽量便宜的方法实现尽可能多的端点互连,同时还要求能够支持不同的服务质量。

接入级路由器主要应用于连接家庭或 ISP 内的小型企业客户群体。

4) 按所处网络位置分类

按所处网络位置划分,通常把路由器划分为边界路由器和中间结点路由器。

很明显,边界路由器是处于网络边缘,用于不同网络路由器的连接;而中间结点路由器则处于网络的中间,通常用于连接不同网络,起到一个数据转发的桥梁作用。

由于各自所处的网络位置有所不同,其主要性能也就有相应的侧重,如中间结点路由器因为要面对各种各样的网络,如何识别这些网络中的各结点呢?靠的就是这些中间结点路由器的 MAC 地址记忆功能。

基于上述原因,选择中间结点路由器时就需要在 MAC 地址记忆功能方面更加注重,也就是要求选择缓存更大,MAC 地址记忆能力较强的路由器。但是边界路由器由于可能要同时接受来自许多不同网络路由器发来的数据,所以就要求这种边界路由器的背板带宽要足够宽,当然这也要由边界路由器所处的网络环境而定。

5) 按性能分类

从性能上可分为线速路由器和非线速路由器。

线速路由器就是完全可以按传输介质带宽进行通畅传输,基本上没有间断和延时。通

常线速路由器是高端路由器,具有非常高的端口带宽和数据转发能力,能以媒体速率转发数据包;中低端路由器是非线速路由器。但是一些新的宽带接入路由器也有线速转发能力。

5. 静态路由

静态路由需要管理员根据实际需要一条条自己手动配置,路由器不会自动生成所需的静态路由。

1) 静态路由的参数

静态路由包括 5 个主要参数:目的 IP 地址和子网掩码、出接口和下一跳 IP 地址、优先级。

目的 IP 地址就是路由要到达的目的主机或目的网络的 IP 地址,子网掩码就是目的地址所对应的子网掩码。当目的地址和子网掩码都为零时,表示静态默认路由。

根据不同的出接口类型,在配置静态路由时,可指定出接口,也可指定下一跳 IP 地址,还可以同时指定出接口和下一跳 IP 地址。

(1) 对于点到点类型的接口(如 PPP 链接接口),只需指定出接口。当然也可同时指定下一跳 IP 地址,但这时已没有意义了。因为在点对点网络中,对端是唯一的,指定了发送接口即隐含指定可下一跳 IP 地址,这时认为与该接口相连的对端接口地址就是路由器的下一跳 IP 地址。

(2) 对于 NBMA(NonBroadcast Multiple Access,非广播多路访问)类型的接口(如 FR、ATM 接口),只需要配置下一跳 IP 地址。当然,也可同时指定出接口,但这时已没有意义,因为除了配置 IP 路由外,这类接口还需在链路层建立 IP 地址到链路层地址的映射,相当于指定了出接口。

(3) 对于广播类型的接口(如以太网接口)和 VT(Virtual-Template)接口,必须指定下一跳 IP 地址,有些情况下还需要同时指定出接口。因为以太网接口是广播类型的接口,而 VT 接口下可以关联多个虚拟访问接口(Virtual Access Interface),这都会导致出现多个下一跳,无法唯一确定下一跳。而在广播型网络中,还可能有多出接口到达同一个下一跳 IP 地址,此时就必须同时指定出接口。

对于不同的静态路由,可以配置不同的优先级。配置到达相同目的地的多条静态路由,如果指定相同优先级,则可实现负载分担;如果指定不同优先级,则可实现路由备份。

2) 静态路由的特征

因为静态路由是手动配置的,静态的,所以每个配置的静态路由在本地路由器上的路径基本上是不变的,除非由管理员自己修改。另外,当网络的拓扑结构或链路的状态发生变化时,这些静态路由也不能自动修改,需要网络管理员需要手工去修改路由表中相关的静态路由信息。也因为静态路由是由管理员手工创建的,所以一旦创建完成,它会永久在路由表中存在,除非管理员自己删除了它,或者静态路由中指定的出接口关闭,或者下一跳 IP 地址不可达。

静态路由信息在默认情况下是私有的,不会通告给其他路由器,也就是当在一个路由器上配置了某条静态路由时,它不会被通告到网络中相连的其他路由器上。但网络管理员还是可以通过重发布静态路由为其他动态路由,使得网络中其他路由器也可获得此静态路由。

静态路由是具有单向性的,也就是它仅为数据提供沿着下一跳的方向进行路由,不提供反向路由。所以如果想要使源结点与目标结点或网络进行双向通信,就必须同时配

置回程静态路由。如图 3-36 所示,如果想要使得 PC1(PC1 已配置了 A 结点的 IP 地址 10.16.1.2/24 作为网关地址)能够 ping 通 PC2,则必须同时配置以下两条静态路由:正向路由和回程路由。

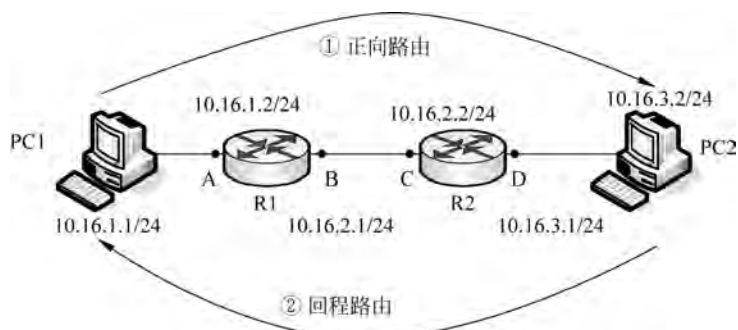


图 3-36 静态路由单向性示例

正向路由: 在 R1 路由器上配置了到达 PC2 的正向静态路由(以 PC2 10.16.3.2/24 作为目标结点,以 C 结点 IP 地址 10.16.2.2/24 作为下一跳地址)。

回程路由: 在 R2 路由器上配置到达 PC1 的回程静态路由(以 PC1 10.16.1.1/24 作为目标结点,以 B 结点 IP 地址 10.16.2.1/24 作为下一跳地址),以提供 ping 过程回程 ICMP 消息的路由路径。

如果某条静态路由中间经过的跳数大于 1(也就是整条路由路径经历了三个或以上路由器结点),则必须在除最后一个路由器外的其他路由器上依次配置到达相同目标结点或目标网络的静态路由,这就是静态路由的“接力”特性,否则仅在源路由器上配置这个静态路由还是不可达的。就像你要从长沙到北京去,假设中间要途经的站点包括:武汉-郑州-石家庄,可人家只告诉你目的地是北京,以及从长沙出发的下一站是武汉。对于一个没有多少旅游经验的人来说,你不可能知道到了武汉后又该如何走,必须有人告诉你到了武汉后再怎么走,到了郑州后又该怎么走,……这就是“接力性”。如图 3-37 所示是一个三个路由器串联的简单的网络,各个路由器结点及 PC 的 IP 地址均在图中进行了标注,PC1 已配置好指向 R1 的 A 结点地址的网关,现假设要使 PC1 能 ping 得通 PC2,则需要配置以下四条静态路由(两条正向,两条回程)。

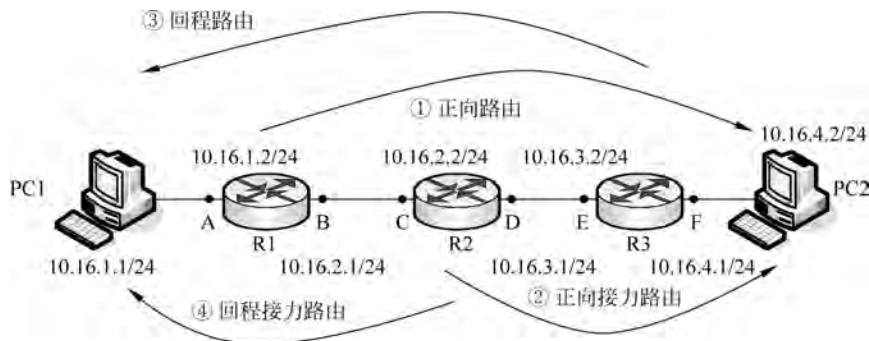


图 3-37 静态路由接力性示例

正向路由 1：在 R1 路由器上配置了到达 PC2 的正向静态路由(以 PC2 10.16.4.2/24 作为目标结点,以 C 结点 IP 地址 10.16.2.2/24 作为下一跳地址)。

正向路由 2：在 R2 路由器上配置了到达 PC2 的正向接力静态路由(同样以 PC2 10.16.4.2/24 作为目标结点,以 E 结点 IP 地址 10.16.3.2/24 作为下一跳地址)。

回程路由 1：在 R3 路由器上配置到达 PC1 的回程静态路由(以 PC1 10.16.1.1/24 作为目标结点,以 D 结点 IP 地址 10.16.3.1/24 作为下一跳地址),以提供 ping 通信回程 ICMP 消息的路由路径。

回程路由 2：在 R2 路由器上配置到达 PC1 的回程接力静态路由(同样以 PC1 10.16.1.1/24 作为目标结点地址,以 B 结点 IP 地址 10.16.2.1/24 作为下一跳地址),以提供 ping 通信回程 ICMP 消息的接力路由路径。

路由器各端口上所直接连接的各个网络都是直接互通的,因为它们之间默认就有直连路由,无须另外配置其他路由。也即连接在同一路由器上的各网络之间的跳数为 0。如图 3-37 中 R1 路由器上连接的 10.16.1.0/24 和 10.16.2.0/24 网络,R2 路由器上连接的 10.16.2.0/24 和 10.16.3.0/24 网络,R3 路由器上连接的 10.16.3.0/24 和 10.16.4.0/24 网络都是直接互通的。也正因如此,PC1 要 ping 通 PC2,只需要配置图中所示的正、反向各两条静态路由,而不用配置从 R2 到 R3 路由器,以及从 R2 到 R1 路由器的静态路由。

3) 静态路由配置举例

有一复杂网络,如图 3-38 所示,为了实现网络内所有计算机能够互连互通,且能够访问 Internet,需要对网络中的所有路由器的静态路由表进行配置。具体方案如表 3-3~表 3-6 所示。

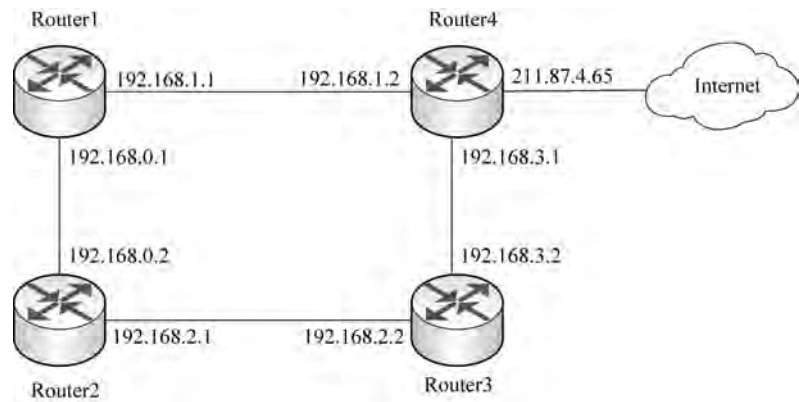


图 3-38 复杂网络静态路由配置

表 3-3 Router1 静态路由配置

目标网络	子网掩码	下一跳	接口
192.168.0.0	255.255.255.0	—	192.168.0.1
192.168.1.0	255.255.255.0	—	192.168.1.1
192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.0.2	192.168.0.1
192.168.3.0	255.255.255.0	192.168.0.2	192.168.0.1
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.0.2	192.168.0.1

表 3-4 Router2 静态路由配置

目 标 网 络	子 网 掩 码	下 一 跳	接 口
192.168.0.0	255.255.255.0	—	192.168.0.2
192.168.1.0	255.255.255.0	192.168.0.1	192.168.0.2
192.168.2.0	255.255.255.0	—	192.168.2.1
192.168.3.0	255.255.255.0	192.168.2.2	192.168.2.1
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.2.2	192.168.2.1

表 3-5 Router3 静态路由配置

目 标 网 络	子 网 掩 码	下 一 跳	接 口
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.2.1	192.168.2.2
192.168.1.0	255.255.255.0	192.168.3.1	192.168.3.2
192.168.2.0	255.255.255.0	—	192.168.2.2
192.168.3.0	255.255.255.0	—	192.168.3.2
0.0.0.0	0.0.0.0	192.168.3.1	192.168.3.2

表 3-6 Router4 静态路由配置

目 标 网 络	子 网 掩 码	下 一 跳	接 口
192.168.0.0	255.255.255.0	192.168.1.1	192.168.1.2
192.168.1.0	255.255.255.0	—	192.168.1.2
192.168.2.0	255.255.255.0	192.168.3.2	192.168.3.1
192.168.3.0	255.255.255.0	—	192.168.3.1
0.0.0.0	0.0.0.0	—	211.87.4.65

3.7.5 网关

1. 网关的概念

网关(Gateway)又称网间连接器、协议转换器。网关在传输层上以实现网络互联,是最复杂的网络互联设备,仅用于两个高层协议不同的网络互联。网关既可以用于广域网互联,也可以用于局域网互联。

网关是一种充当转换重任的计算机系统或设备,如图 3-39 所示。在使用不同的通信协议、数据格式或语言,甚至体系结构完全不同的两种系统之间,网关是一个翻译器。与网桥只是简单地传达信息不同,网关对收到的信息要重新打包,以适应目的系统的需求。同时,网关也可以提供过滤和安全功能。大多数网关运行在 OSI 7 层协议的顶层——应用层。



图 3-39 网关

2. 网关的功能

从一个房间走到另一个房间,必然要经过一扇门。同样,从一个网络向另一个网络发送信息,也必须经过一道“关口”,这道关口就是网关。顾名思义,网关(Gateway)就是一个网络联接到另一个网络的“关口”。

那么网关到底是什么呢?网关实质上是一个网络通向其他网络的 IP 地址。比如有网络 A 和网络 B,网络 A 的 IP 地址范围为 192.168.1.1~192.168.1.254,子网掩码为 255.255.255.0;网络 B 的 IP 地址范围为 192.168.2.1~192.168.2.254,子网掩码为 255.255.255.0。在没有路由器的情况下,两个网络之间是不能进行 TCP/IP 通信的,即使是两个网络连接在同一台交换机(或集线器)上,TCP/IP 也会根据子网掩码 255.255.255.0 判定两个网络中的主机处在不同的网络里。而要实现这两个网络之间的通信,则必须通过网关。如果网络 A 中的主机发现数据包的目的主机不在本地网络中,就把数据包转发给它自己的网关,再由网关转发给网络 B 的网关,网络 B 的网关再转发给网络 B 的某个主机。网络 A 向网络 B 转发数据包的过程如图 3-40 所示。

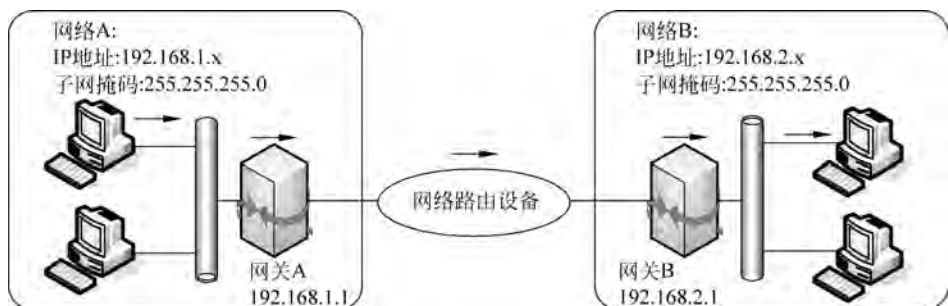


图 3-40 网络 A 向网络 B 转发数据包的过程

所以说,只有设置好网关的 IP 地址,TCP/IP 才能实现不同网络之间的相互通信。那么这个 IP 地址是哪台机器的 IP 地址呢?实际上,网关的 IP 地址是具有路由功能的设备的 IP 地址,具有路由功能的设备有路由器、启用了路由协议的服务器、代理服务器等。

3. 网关的分类

1) 按工作层次分类

按照工作层次划分,网关分为传输网关和应用网关。

传输网关用于在两个网络间建立传输连接。利用传输网关,不同网络上的主机间可以建立起跨越多个网络的、级联的、点对点的传输连接。例如,通常使用的路由器就是传输网关,网关的作用体现在连接两个不同的网段,或者是两个不同的路由协议之间的连接,如 RIP、EIGRP、OSPF、BGP 等。

应用网关在应用层上进行协议转换。例如,一个主机执行的是 ISO 电子邮件标准,另一个主机执行的是 Internet 电子邮件标准,如果这两个主机需要交换电子邮件,那么必须经过一个电子邮件网关进行协议转换。这个电子邮件网关是一个应用网关。再例如,在和 Novell NetWare 网络交互操作的上下文中,网关在 Windows 网络中使用的服务器信息块(SMB)协议以及 NetWare 网络使用的 NetWare 核心协议(NCP)之间起着桥梁的作用。NCP 是工作在 OSI 第七层的协议,用以控制客户站和服务站间的交互作用,主要完成不同方式下文件的打开、关闭、读取功能。

2) 按作用分类

按照网关的作用来划分,网关可以分为信令网关、中继网关、接入网关、协议网关和安全网关。

信令网关主要完成 7 号信令网与 IP 网之间信令消息的中继。在 3G 初期,用于完成接

入侧到核心网交换之间的消息的转接(3G 之间的 RANAP 消息,3G 与 2G 之间的 BSSAP 消息),另外还能完成 2G 的 MSC/GMSC 与软交换机之间 ISUP 消息的转接。

中继网关又叫 IP 网关,同时满足电信运营商和企业需求的 VoIP 设备。中继网关(IP 网关)由基于中继板和媒体网关板建构,单板最多可以提供 128 路媒体转换,两个以太网口,机框采用业界领先的 CPCI 标准,扩容方便,具有高稳定性、高可靠性、高密度、容量大等特点。

接入网关是基于 IP 的语音/传真业务的媒体接入网关,提供高效、高质量的话音服务,为运营商、企业、小区、住宅用户等提供 VoIP 解决方案。

协议网关通常在使用不同协议的网络区域间做协议转换。这一转换过程可以发生在 OSI 参考模型的不同层次之间。

安全网关是各种技术有机的融合,具有重要且独特的保护作用,其范围从协议级过滤到十分复杂的应用级过滤。

习 题

- (1) 什么是广域网?
- (2) 广域网的特点有哪些?
- (3) 简述报文交换的工作原理。
- (4) 报文交换的特点和缺点各有何些?
- (5) 简述虚电路服务的工作原理。
- (6) 虚电路服务方式的特点有哪些?
- (7) 简述 ATM 交换方式的工作原理。
- (8) 公用网技术包含几大部分?
- (9) 接入网的接入方式有哪些?