

第3章 物 理 层

物理层是计算机网络体系结构中的最底层,也是各层的通信基础。本章首先讨论物理层的基本概念,然后介绍数据通信的基础知识,接着介绍各种传输介质,但传输介质本身不属于物理层的范围,最后讨论几种常用的宽带接入技术。本章还给出了双绞线 RJ-45 水晶头的制作方法及步骤。

本章主要内容:

- (1) 物理层的任务;
- (2) 数据通信基础知识;
- (3) 几种宽带接入技术;
- (4) 双绞线制作技术。

3.1 物理层的基本概念

要通过网络传输数据,发送节点必须将要发送的数据转换为传输介质上的信号,而接收设备必须对传输介质上的信号进行解读,这个功能由物理层负责完成。

物理层从数据链路层接收完整的帧,将这些帧编码为一系列信号,再传输到本地介质上。经过编码的比特构成了帧,这些比特在传输过程中被终端设备或中间设备接收。由于计算机网络中的硬件设备和传输介质的种类繁多,而通信手段也有多种不同的通信方式,在物理层上就需要尽可能地屏蔽掉这些差异,使上层的数据链路层感觉不到这些差异。因此,物理层的主要功能是透明地传送比特流。

为实现透明地传送比特流,物理层定义了与传输媒体接口有关的一些特性。这些特性定义了与传输媒体接口的标准。只有定义了这些接口的标准,各厂家生产的网络设备接口才能相互连接和通信,例如,思科交换机和华为交换机使用双绞线就能够连接。物理层定义了以下几个方面接口特性。

(1) 机械特性。指明接口所用连接器的形状和尺寸、引脚的数目和排列、固定和锁定装置等。平时常见的各种规格和连接插件都有严格的标准化的规定,如图 3-1 所示。

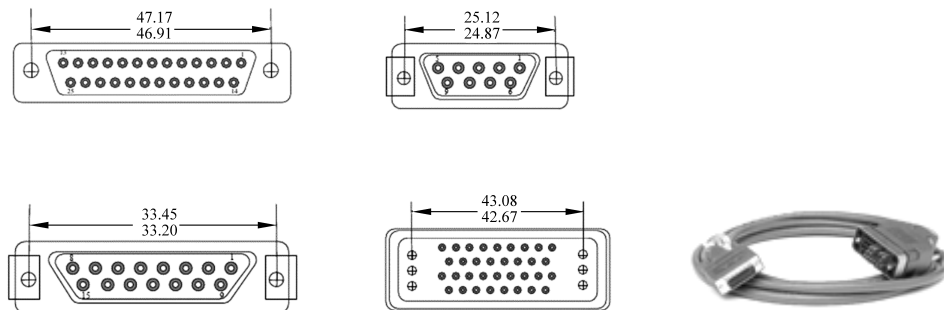


图 3-1 机械特型

(2) 电气特性。指明在接口电缆的各条线上出现的电压范围,如 $-5\sim+5\text{V}$ 。

(3) 功能特性。指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。

(4) 过程特性。定义了信号线上进行二进制比特流传输的一组操作过程,包括各信号线的工作顺序和时序,使得比特流传输得以完成。

在物理层标准的制定和维护中涉及许多不同的国际和国家组织、政府监管机构和私营企业。例如,物理层硬件、介质、编码和信令标准由以下组织定义和管理。

- 国际标准化组织(ISO)。
- 电信工业协会/电子工业协会(TIA/EIA)。
- 国际电信联盟(ITU)。
- 美国国家标准学会(ANSI)。
- 电气电子工程师协会(IEEE)。
- 国家级电信管理局包括美国联邦通信委员会(FCC)和欧洲电信标准协会(ETSI)。

除了这些组织之外,现在还设有地方性布线标准组织,例如 CSA(加拿大标准协会)、CENELEC(欧洲电工标准化委员会)和 JSA/JIS(日本标准协会),开发本地规范。

3.2 数据通信基础知识

3.2.1 数据通信模型

下面列出几种常见的计算机通信模型。

1. 局域网通信模型

如图 3-2 所示,使用集线器或交换机组建的局域网,计算机 A 和计算机 B 通信,计算机 A 将要传输的信息变换成数字信号通过集线器或交换机发送给计算机 B,这个过程不需要对数字信号进行转换。

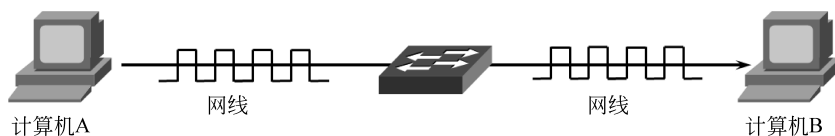


图 3-2 局域网通信模型

2. 广域网通信模型

为了对计算机传输的数字信号进行长距离传输,需要把传输的数字信号转换成模拟信号或光信号。例如,现在家庭用户的计算机(计算机 A)通过 ADSL 接入互联网,如图 3-3 所示,就需要将计算机网卡的数字信号调制成模拟信号,以便适合在电话线上长距离传输,接收端需要使用调制解调器将模拟信号转换成数字信号,以便和互联网中的计算机 B 通信。

现在很多家庭用户已经通过光纤接入互联网了,如图 3-4 所示,这就需要将计算机网卡的数字信号通过光电转换设备转换成光信号进行长距离传输,在接收端再使用光电转换设备将光信号转换成数字信号。

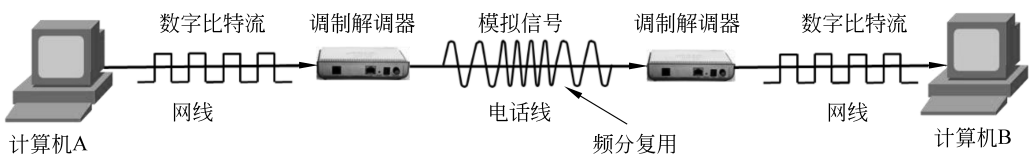


图 3-3 广域网通信模型

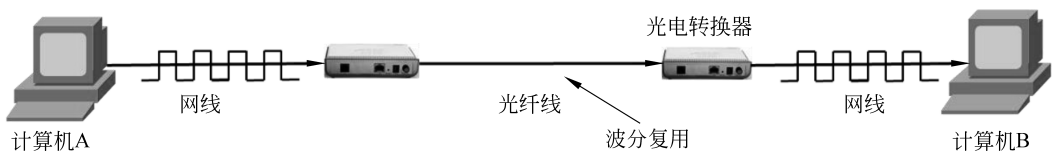


图 3-4 广域网通信模型

3.2.2 数据通信的一些常用术语

信息：通信的目的是传送信息，如文字、图像、视频和音频等都是信息。

数据：信息在传输之前需要进行编码，编码后的信息就变成数据。

信号：数据在通信线路上传递需要变成电信号或光信号。

如图 3-5 所示浏览器访问网站过程，展现了信息、数据和信号之间的关系。网页内容就是要传送的信息，经过 M 字符集（字符集就是给一个国家文字或字符进行编码，英文字符集有 ASCII 码，中文字符集有 GBK、UTF-8 等，为了便于说明字符集的作用，案例中的字符集只是列举了 4 个字符）进行编码，变成了二进制数据。网卡将二进制数据转换成电信号或光信号在网络中传递，接收端网卡接收到电信号，转换为二进制数据，再经过 M 字符集编码，得到信息。

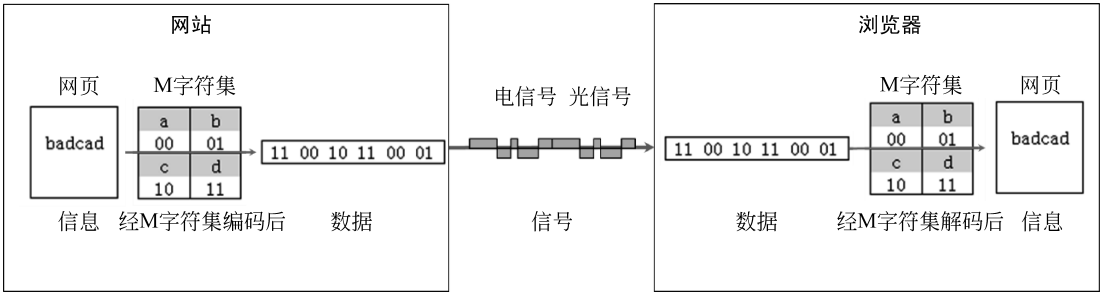


图 3-5 信息、数据和信号关系

当然，为了传送图片或声音文件，可以将图片中每一个像素颜色使用数据表示，将声音文件中声音高低使用数据来表示，这样声音和图片都可以编码成数据。

3.2.3 物理层信号和编码

通信的目的是传送消息，如话音、文字、图像、视频等都是消息。数据是运送消息的实体。数据是使用特定方式表示信息，通常是有意义的符号序列。这种信息的表示可用计算机或其他机器（或人）处理或产生。信号则是数据的电气或电磁的表现。

在计算机通信中,传送的消息都为二进制代码形式的数字逻辑。物理层的任务之一就是代表数据链路层的帧的二进制数字编码成信号,并通过连接网络设备的物理介质发送和接收这些信号。

根据信号代表信息的参数取值方式不同,信号可以分为以下两大类。

1. 模拟信号或连续信号

指用连续变化的物理量所表达的信息,如温度、湿度、压力、长度、电流、电压等,通常又称为模拟信号或连续信号,它在一定时间范围内可以有无限多个不同的取值。如图 3-3 中调制解调器之间的用户线上传送的就是模拟信号。

2. 数字信号或离散信号

代表信息的参数取值是离散的。如图 3-3 中,计算机到调制解调器之间或调制解调器到计算机之间传送的就是数字信号。在数字通信中常常用时间间隔相同的符号来表示一个二进制数字,这样的时间间隔内的信号称为(二进制)码元。例如,计算机传输二进制数据 111011000110010101001100,就可以使用数字信号进行表示。如图 3-6 所示的二进制码元,一个码元表示一个二进制数。

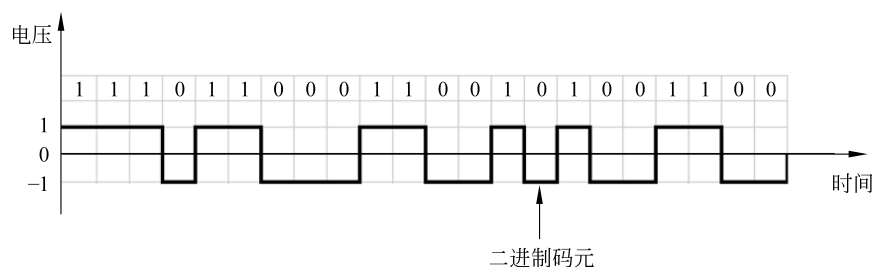


图 3-6 二进制码元

当然也可以使用一个码元表示两位二进制数,两位二进制数有 00、01、10 和 11 四个取值,这就要求码元有四个波形。对上面的一组二进制数进行分组: 11 10 11 00 01 10 01 01 01 00 11 00,将分组后的二进制数转换成数字信号,波形如图 3-7 所示,可以看出,同样传输这些二进制数需要的码元数量减少了。

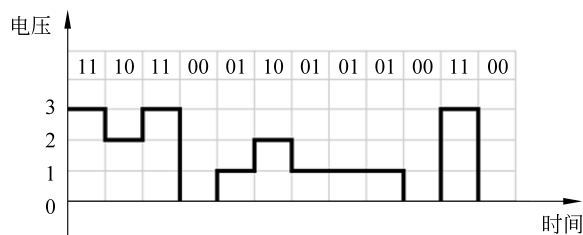


图 3-7 一码元携带 2b 信息

当然也可以使用一个码元表示三位二进制数,三位二进制数有 000、001、010、011、100、101、110、111 八种取值,这就要求码元有八个波形。对以上二进制进行分组: 111 011 000 110 010 101 001 100,并将分组后的二进制数转换成数字信号,波形如图 3-8 所示。

通过上面的学习可见,如果打算让一个码元承载四位二进制数,则需要的码元波形有

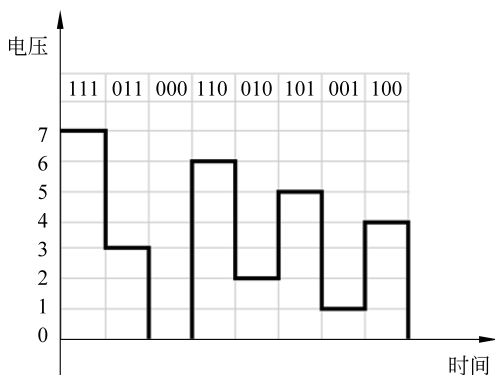


图 3-8 一码元携带 3b 信息

16 种,这样的码元就是十六进制码元。可以看到,要想让一个码元承载更多信息就需要有更多的波形。

综上所述,码元是信号的传输单位,码元传输的基本单位是波特。一个码元可以承载一个比特的信息,也可以承载多个比特的信息。信息的传输速率“比特/秒”与码元的传输速率“波特”在数量上有一定的关系。若 1 个码元只携带 1b 的信息量,则“比特/秒”和“波特”在数值上相等。若 1 个码元携带 n b 的信息量,则 M 波特的码元传输速率所对应的信息传输速率为 $(M \times n)$ b/s。

数字信号在传输过程中由于信道本身的特性及噪声干扰会使得数字信号波形产生失真和信号衰减,如图 3-9 所示。为了消除这种波形失真和衰减,每隔一定距离需要添加“再生中继器”,经过“再生中继器”的波形恢复到发送信号的波形。模拟信号没有办法消除噪声干扰造成的波形失真,所以现在电视信号逐渐以数字信号替换以前的模拟信号。



图 3-9 数字信号波形恢复

3.2.4 信道和调制

信道(Channel)是信息传输的通道,即信息传输时所经过的一条通路,信道的一端是发送端,另一端是接收端。一条传输介质上可以有多条信道(多路复用)。如图 3-10 所示计算

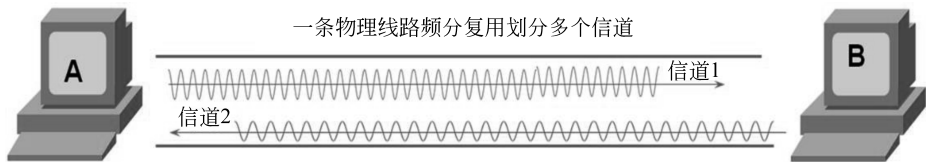


图 3-10 物理线路多信道

机 A 和计算机 B 通过频分复用技术,将一条物理线路划分为两个信道。对于信道 1,A 是发送端,B 是接收端;对于信道 2,B 是发送端,A 是接收端。

信道和电路并不等同,信道一般都是用来表示向某一个方向传送信息的媒体。因此,一条通信电路往往包含一条发送信道和一条接收信道。

从通信的双方信息交互的方式来看,可以有以下三种基本方式。

(1) 单向通信。又称为单工通信,即只能有一个方向的通信而没有反方向的交互。无线电广播或有线电视广播就是这种类型。

(2) 双向交替通信。又称为半双工通信,即通信的双方都可以发送信息,但不能双方同时发送(当然也就不能同时接收)。这种通信方式是一方发送另一方接收,过一段时间后可以再反过来。

(3) 双向同时通信。又称为全双工通信,即通信的双方可以同时发送和接收信息。

单向通信只需要一条信道,而双向交替通信或双向同时通信则都需要两条信道(每个方向各一条)。显然,双向同时通信的传输效率最高。

来自信源的信号常称为基带信号(即基本频带信号)。像计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。基带信号往往包含较多的低频成分,甚至有直流成分,而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。为了解决这一问题,必须对基带信号进行调制(Modulation)。

如图 3-11 所示,调制可以分为两大类。一类是仅对基带信号的波形进行变换,使它能够与信道特性相适应,变换后的信号仍然是基带信号,这类调制称为基带调制。由于这种基带调制是把数字信号转换为另一种形式的数字信号,因此人们更愿意把这种过程称为编码。另一类调制则需要使用载波进行,把基带信号的频率范围搬移到较高的频段,并转换为模拟信号,这样应能够更好地在模拟信道中传输。经过载波调制后的信号称为带通信号(即仅在一段频率范围内能够通过信道),而使用载波调制称为带通调制。

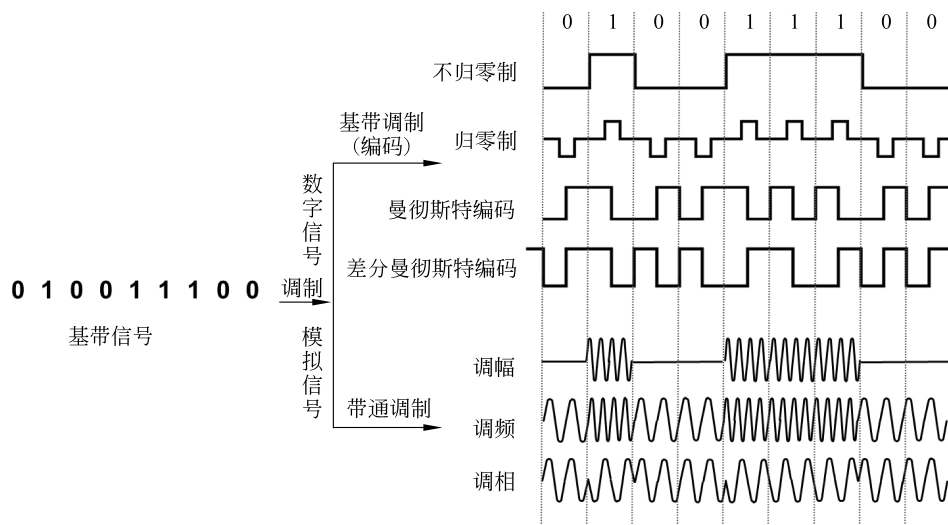


图 3-11 调制技术分类

1. 常用编码方式

(1) 不归零制。正电平代表1,负电平代表0。不归零制编码是效率最高的编码,但是如果发送端发送连续的0或连续的1,接收端不容易判断码元的边界。

(2) 归零制。正脉冲代表1,负脉冲代表0。码元中间信号归到零电平,每传输完一位数据,信号返回到零电平,也就是说,信号线上会出现三种电平:正电平、负电平、零电平。因为每位传输之后都要归零,所以接收者只要在信号归零后采样即可,不再需要单独的时钟信号,这样的信号也叫作自同步信号。归零制虽然省了时钟数据线,但还是有缺点的,因为在归零制编码中,大部分的数据带宽都用来传输“归零”而浪费掉了。

(3) 曼彻斯特编码。在曼彻斯特编码中,每一位的中间有一个跳变,位中间的跳变既作时钟信号,又作数据信号。从低到高跳变表示1,从高到低跳变表示0。常用于局域网传输。曼彻斯特编码将时钟和数据包含在数据流中,在传输代码信息的同时,也将时钟同步信号一起传输到对方,每位编码中有跳变,不存在直流分量,因此具有自同步能力和良好的抗干扰性能。但每一个码元都被调制成两个电平,所以数据传输速率只有调制速率的1/2。使用曼彻斯特编码1b需要两个码元。

(4) 差分曼彻斯特编码。在信号位开始时改变信号极性,表示逻辑“0”,在信号位开始时不改变信号极性,表示逻辑“1”。识别差分曼彻斯特编码的方法:主要看两个相邻的波形,如果后一个波形和前一个波形相同,则后一个波形表示0,如果波形不同,则表示1。因此画差分曼彻斯特波形要给出初始波形。

差分曼彻斯特编码比曼彻斯特编码的变化要少,因此更适合于传输高速的信息,被广泛应用于宽带高速网中。然而,由于每个时钟位都必须有一次变化,所以这两种编码的效率仅可达到50%左右。使用差分曼彻斯特编码1b也需要两个码元。

2. 常用带通调制方法

最基本的二元制调制方法有以下几种。

(1) 调幅(AM)。载波的振幅随基带数字信号而变化。例如,0或1分别对应于无载波或有载波输出。

(2) 调频(FM)。载波的频率随基带数字信号而变化。例如,0或1分别对应于频率 f_1 或 f_2 。

(3) 调相(PM)。载波的初始相位随基带数字信号而变化。例如,0或1分别对应相位 0° 或 180° 。

3.3 物理层下面传输媒体

传输媒体也称为传输介质或传输媒介,它就是数据传输系统中在发送器和接收器之间的物理通路。传输媒体可分为两大类,即导向型传输媒体和非导向型传输媒体。在导向型传输媒体中,电磁波被导向沿着固体媒体(铜线或光纤)传播,而非导向型传输媒体就是指自由空间,在非导向型传输媒体中电磁波的传输常称为无线传输。

3.3.1 导向型传输媒体

1. 双绞线

双绞线也称为双扭线,是最古老但又最常用的传输媒体。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。用这种方式,不仅可以抵御一部分来自外界的电磁波干扰,也可以减少相邻导线的电磁干扰。使用双绞线最多的地方就是到处都有的电话系统。几乎所有的电话都用双绞线连接到电话交换机。这段从用户电话机到交换机的双绞线称为用户线或用户环路。通常将一定数量的这种双绞线捆成电缆,在其外面包上护套。

为了提高双绞线抗电磁干扰的能力,可以在双绞线的外面再加上一层用金属丝编织成的屏蔽层。这就是屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair,STP)。它的价格当然比无屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair,UTP)要贵一些。图 3-12 是无屏蔽双绞线和屏蔽双绞线的示意图。

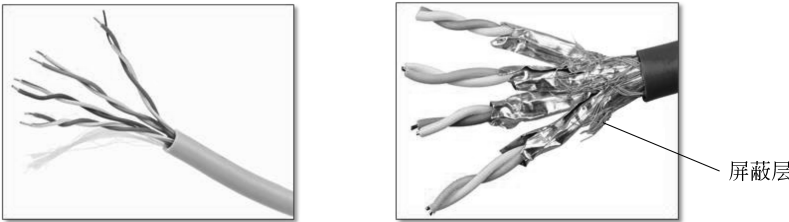


图 3-12 无屏蔽双绞线和屏蔽双绞线

1991 年,美国电子工业协会(Electronic Industries Association,EIA)和电信行业协会(Telecommunications Industries Association,TIA)联合发布了标准 EIA/TIA-568,它的名称是“商用建筑物电信布线标准”(Commercial Building Telecommunications Cabling Standard)。这个标准规定了用于室内传送数据的无屏蔽双绞线和屏蔽双绞线的标准。随着局域网上数据传输速率的不断提高,EIA/TIA 也不断对其标准进行更新。

UTP 布线遵循由 TIA/EIA 共同制定的标准。具体来讲,TIA/EIA-568 规定了局域网商业布线标准,它是局域网环境最常用的标准,定义的一些要素包括电缆类型、电缆长度、接头和电缆端接。表 3-1 给出了常用的绞合线的类别、带宽和典型应用。

表 3-1 常用的绞合线的类别、带宽和典型应用

绞合线类别	带 宽	典 型 应 用
3	16MHz	用于语音通信,最常用于电话线
4	20MHz	短距离的 10BASE-T 以太网
5	100MHz	10BASE-T 以太网;某些 100BASE-T 快速以太网
5E(超 5 类)	100MHz	100BASE-T 快速以太网;某些 1000BASE-T 吉比特以太网
6	250MHz	1000BASE-T 吉比特以太网;ATM 网络
7	600MHz	只使用 STP,可用于 10Gb/s 以太网

现在计算机连接交换机使用的网线就是双绞线,其中有八根线,网线两头连接着 RJ-45 连接头(俗称水晶头)。对于传输信号来说它们所起的作用:1、2 用于发送,3、6 用于接收,4、5 和 7、8 是双向线。对与其相连接的双绞线来说,为降低相互干扰,标准要求 1、2 必须是绞缠的一对线,3、6 也必须是绞缠的一对线,4 和 5 相互绞缠,7 和 8 相互绞缠。

EIA/TIA 的布线标准中规定了两种双绞线的线序：568A 与 568B。八根线的接法标准分别为 TIA/EIA 568B 和 TIA/EIA 568A。

TIA/EIA 568B: 1-橙白,2-橙,3-绿白,4-蓝,5-蓝白,6-绿,7-棕白,8-棕

TIA/EIA 568A: 1-绿白,2-绿,3-橙白,4-蓝,5-蓝白,6-橙,8-棕白,9-棕

如图 3-13 所示,网线的水晶头两端的线序如果都是 T568B,就称为直通线;如果网线一端的线序是 T568B,另一端是 T568A,就称为交叉线。直通线是最常见的电缆类型,常用于主机到交换机和交换机到路由器的互连。交叉线用于连接类似的设备,如两台主机、两台交换机或两台路由器;还用于将主机连接到路由器。不过,现在计算机网卡大多能够自适应线序。

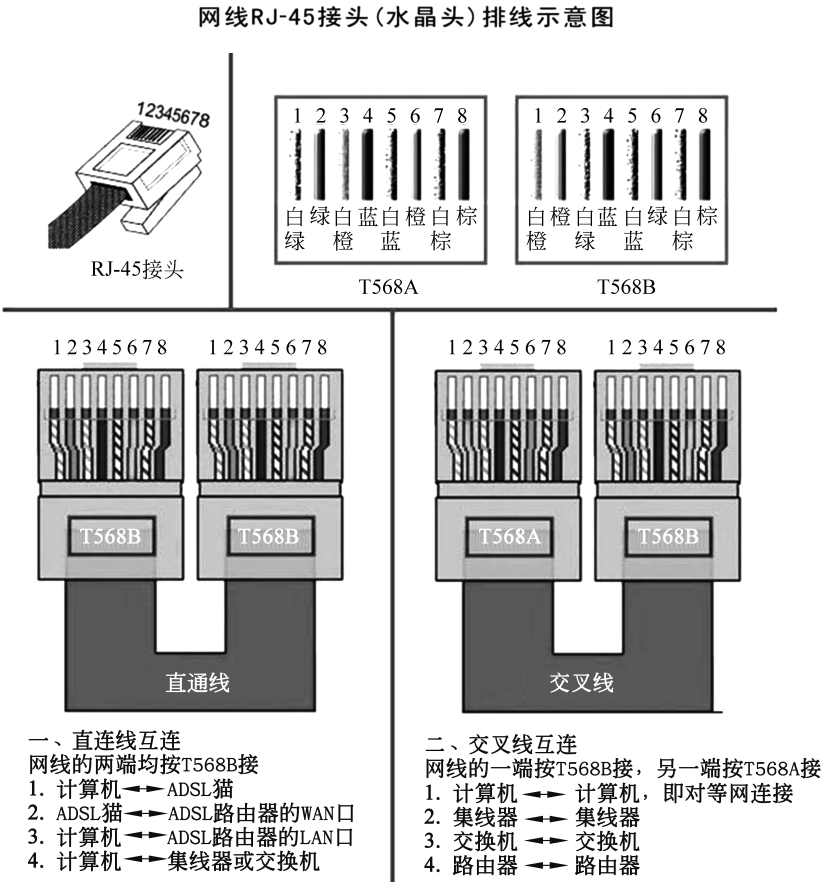


图 3-13 直通线和交叉线

2. 同轴电缆

同轴电缆由同质内芯、绝缘层、网状编织金属屏蔽层以及保护塑料外皮组成,同轴电缆的结构形式如图 3-14 所示。这种结构中的金属屏蔽网可防止中心导体向外辐射电磁波,也可用来防止外界电磁场干扰中心导体的信号,它具有较好的抗干扰特性,被广泛应用于传输较高速率的数据。

在局域网发展的初期曾广泛地使用同轴电缆作为传输媒体。但随着技术的进步,在局域

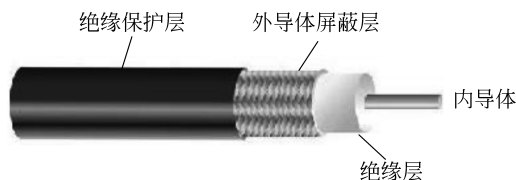


图 3-14 同轴电缆结构

网领域都是采用双绞线作为传输介质。目前同轴电缆主要用于有线电视网的居民小区中。

3. 光纤

光纤通信作为一门新兴技术,近年来其发展速度之快,应用面之广是通信史上罕见的。光纤的信息传输速率从 20 世纪 70 年代的 56kb/s 提高到现在的几吉比特每秒至几十吉比特每秒(Gb/s)(使用光纤通信技术)。因此光纤通信成为现代通信技术中一个十分重要的领域。

光纤通信就是利用光导纤维(以下简称为光纤)传递光脉冲来进行通信。有光脉冲相当于 1,而没有光脉冲相当于 0。由于可见光的频率非常高,约为 10^8 MHz 的量级,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媒体的带宽。光纤发送端有光源,可以采用发光二极管或半导体激光器,它们在电脉冲作用下能产生光脉冲。在接收端利用发光二极管做成光检测器,在检测到光脉冲时可还原出电脉冲。

光纤通常由非透明的石英玻璃拉成细丝,它主要是由纤芯和包层构成的双层通信圆柱体。纤芯很细,其直径只有 $8\sim 100\mu\text{m}$ ($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$)。光波正是通过纤芯进行传导的。包层较纤芯有较低的折射率。当光线从高折射率的媒体射向低折射率的媒体时,其折射角将大于入射角(见图 3-15)。因此,如果入射角足够大,就会出现全反射,即光线碰到包层时就会折射回纤芯。这个过程不断重复,光也就沿着光纤传输下去。

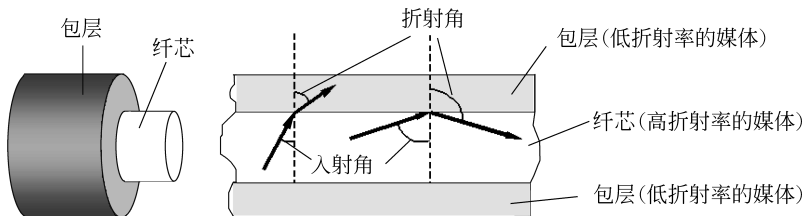


图 3-15 光线在光纤中折射

图 3-16 画出了光波在纤芯中的传播示意图。现代生产工艺可以制造出超低损耗的光纤,即做到光线在纤芯中传输数千米而基本上没有什么衰耗。这一点乃是光纤通信得到飞速发展的最关键因素。

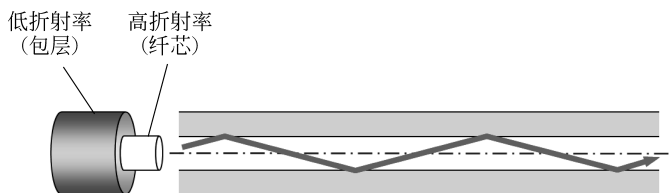


图 3-16 光波在纤芯中的传播

光纤有多模和单模之分。只要从纤芯中射到纤表面的光线的入射角大于某一临界角度,就可以产生全反射。图 3-16 中只画出了一条光线。实际上,可以有多条不同角度入射的光线在一条光纤中传输,这种光纤称为多模光纤(见图 3-17(a))。光脉冲在多模光纤中传输时会逐渐展宽,造成失真。因此多模光纤只适于近距离传输。若光纤的直径减小到只有一个波长,则光纤就像一根波导那样,可以使光纤一直向前传播,而不会产生多次反射。这样的光纤称为单模光纤(见图 3-17(b))。单模光纤的纤芯很细,其直径只有几微米,制造成本高。同时单模光纤的光源要使用昂贵的半导体激光器,而不能使用较便宜的发光二极管。但单模光纤的衰耗较小,在 100Gb/s 的高速率下可传输 100km 而不必采用中继器。

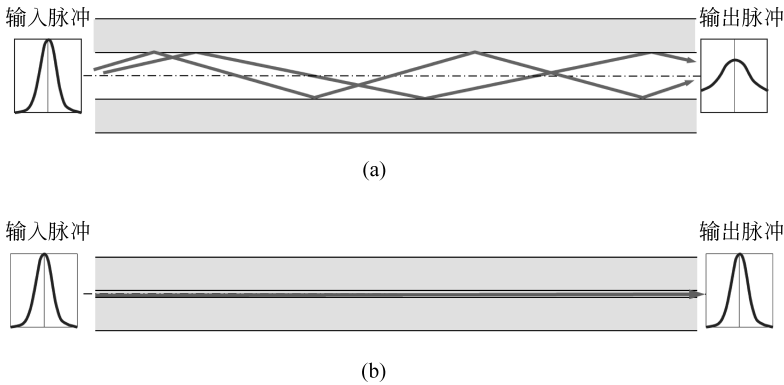


图 3-17 单模光纤和多模光纤的比较

由于光纤非常细,连包层一起的直径也不到 0.2mm,因此必须将光纤做成很结实的光缆。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,再加上加强芯和填充物就可以大大提高其机械强度。必要时还可放入远供电源线。最后加上包带层和保护套,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。图 3-18 为四芯光缆剖面的示意图。

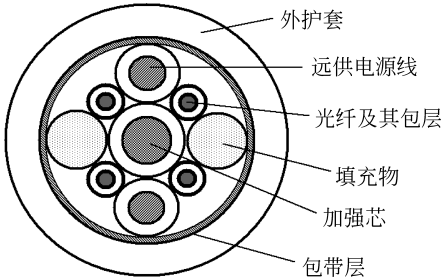


图 3-18 四芯光缆的示意图

光纤不仅具有通信容量非常大的优点,还具有以下几个特点。

- (1) 传输损耗小,对远距离传输特别经济。
- (2) 抗雷电和电磁干扰性能好,这在有大电流脉冲干扰的环境下尤为重要。
- (3) 无串音干扰,保密性好,也不易被窃听或截取数据。
- (4) 体积小,重量轻。这在现有电缆管道已堵塞不堪的情况下特别有利。例如,1km 长的 1000 对双绞线电缆约重 8000kg,而同样长度但容量大得多的一对两芯光缆仅重 100kg。但光纤也有一定缺点,这就是将两根光纤精确地连接需要专用设备。

3.3.2 非导向型传输媒体

前面介绍了三种导向型传输媒体。但若通信线路要通过一些高山或岛屿,有时就很难施工。即使在城市中,挖开马路敷设电缆也不是一件很容易的事。当通信距离很远时,敷设

电缆既昂贵又费时,但利用无线电波在自由空间的传播就可较快地实现多种通信。由于这种通信方式不使用前面所介绍的各种导向传输媒体,因此就将自由空间称为“非导向型传输媒体”。

特别要指出的是,由于信息技术的发展,社会各方面的节奏都变快了,人们不仅要求能够在运动中进行电话通信(即移动电话通信),而且还要求能够在运动中进行计算机数据通信(俗称上网),现在智能手机大多使用 4G 技术访问互联网。因此在最近十几年无线电通信发展得特别快,因为利用无线信道进行信息的传输,是移动通信的唯一手段。

1. 无线电频段

无线传输可使用的频段很广,如图 3-19 所示。现在已经利用了好几个波段进行通信,紫外线和更高的波段目前还不能用于通信。ITU(国际电信联盟)对不同波段取了正式名称。例如,LF 波段的波长为 1~10km(对应于 30kHz~300kHz)。LF、MF 和 HF 的中文名称分别是低频、中频和高频。更高频段中的 V、U、S 和 E 分别对应于 Very、Ultra、Super 和 Extremely,相应的频段中文名称是甚高频、特高频、超高频和极高频。在低频(LF)的下面其实还有几个更低的频段,如甚低频(VLF)、特低频(ULF)、超低频(SLF)和极低频(ELF)等,因不用于一般的通信,故未在图中画出。

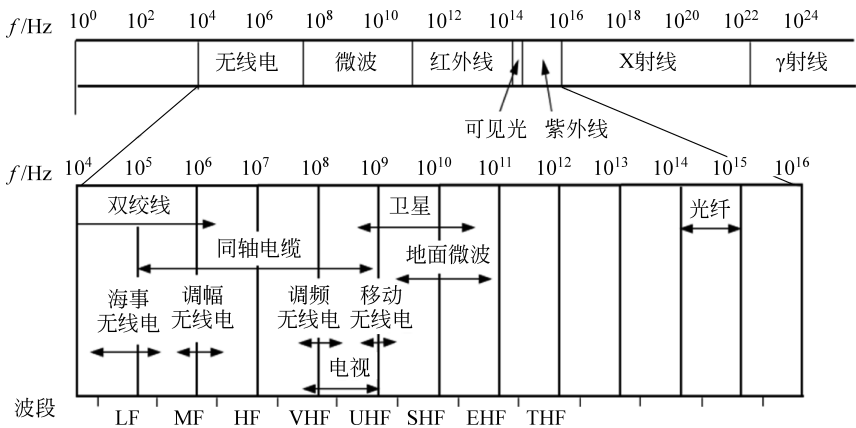


图 3-19 电信领域使用的电磁波的频谱

表 3-2 列出了无线电波频段和波段的名称和范围。

表 3-2 无线电波频段和波段

频段名称	频率范围	波段名称	波长范围
甚低频(VLF)	3kHz~30kHz	万米波,甚长波	10~100km
低频(LF)	30kHz~300kHz	千米波,长波	1~10km
中频(MF)	300kHz~3000kHz	百米波,中波	100~1000m
高频(HF)	3MHz~30MHz	十米波,短波	10~100m
甚高频(VHF)	30MHz~300MHz	米波,超短波	1~10m
特高频(UHF)	300MHz~3000MHz	分米波	10~100cm
超高频(SHF)	3GHz~30GHz	厘米波	1~10cm

续表

频段名称	频率范围	波段名称	波长范围
极高频(EHF)	30GHz~300GHz	毫米波	1~10mm
	300GHz~3000GHz	亚毫米波	0.1~1mm

2. 短波通信

短波通信即高频通信,主要是靠电离层的反射。人们发现,当电波以一定的入射角到达电离层时,它会像光学中的反射那样以相同的角度离开电离层。显然,电离层越高或电波进入电离层时与电离层的夹角越小,电波从发射点经电离层反射到达地面的跨越距离越大,这就是短波可以进行远程通信的根本原因。而且,电波返回地面时又可能被大地反射而再次进入电离层,形成电离层的第二次、第三次反射,如图 3-20 所示。由于电离层对电波的反射作用,这就使本来直线传播的电波有可能到达地球背面或其他任何一个地方。电波经电离层一次反射称为“单跳”,单跳的跨越距离取决于电离层的高度。

但电离层的不稳定所产生的衰弱现象和电离层反射所产生的多径效应使得短波信道的通信质量较差。因此,当必须使用短波无线电台传送数据时,一般都是低速传输,即速率为一个标准模拟话路传几十至几百比特/秒。只有采用复杂的调制解调技术后,才能使数据的传输速率达到几千比特/秒。

3. 微波通信

微波是指频率为 300MHz~300GHz 的电磁波,但主要是 2GHz~40GHz 的频率范围。微波在空间主要是直线传播。由于微波会穿透电离层而进入宇宙空间,因此它不像短波那样可以经电离层反射传播到地面上很远的地方。传统的微波通信主要有两种主要的方式,即地面微波接力通信和卫星通信。

由于微波在空间是直线传播,而地球表面是个曲面,地球上还有高山或高楼等障碍,因此其传播距离受到限制,一般只有 50km 左右。但若采用 100m 高的天线塔,则传播距离可增大到 100km。如图 3-21 所示,为实现远距离通信必须在一条无线电通信信道的两个终端之间建立若干个中继站,中继站把前一站送来的信号经过放大后再发送到下一站,故称为“接力”。

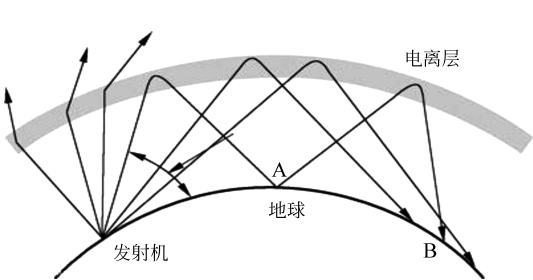


图 3-20 微波通信(1)

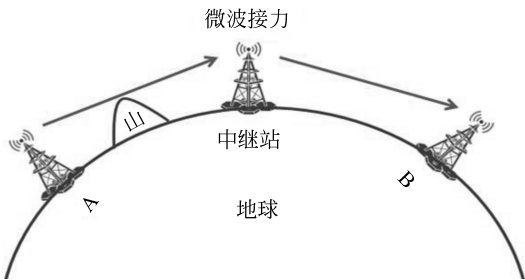


图 3-21 微波通信(2)

微波接力通信可以传输电话、电报、图像、数据等信息。其主要特点如下。

- 微波波段频率很高,其频段范围也很宽,因此其通信信道的容量很大。
- 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,因此对微波通信的危

害比对短波和米波通信小得多,因而微波传输质量较高。

- 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,易于跨越山区、江河。

当然,微波接力通信也存在如下一些缺点。

- 相邻站之间必须直视,不能有障碍物。有时一个天线发射出的信号也会分成几条略有差别的路径到达接收天线,因而造成失真。
- 微波的传播有时也会受到恶劣气候的影响。
- 与电缆通信系统比较,微波通信的隐蔽性和保密性较差。
- 对大量中继站的使用和维护要耗费较多的人力和物力。

另一个微波中继是使用地球卫星,如图 3-22 所示。卫星通信是在地球站之间利用位于约 36 000km 高空的人造地球同步卫星作为中继器的一种微波接力通信。对地静止通信卫星就是在太空的无人值守的微波通信中继点。卫星通信的主要缺点和地面微波通信差不多。

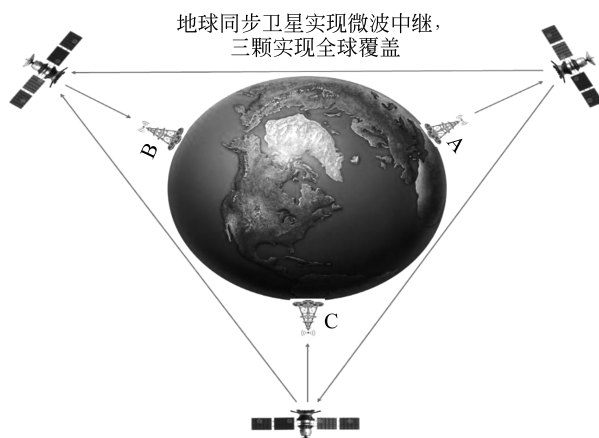


图 3-22 短波使用通信卫星

卫星通信的最大特点是通信距离远,且通信费用与通信距离无关。地球同步卫星发射出的电磁波能辐射地球上的通信覆盖区的跨度为 18000 多千米,约占全球面积的三分之一。只要在地球赤道上空的同步轨道上,等距离地放置 3 颗相隔 120° 的卫星,就能基本上实现全球通信。

和微波接力通信相似,卫星通信的频带很多,通信容量很大,信号所受到的干扰也比较小,通信比较稳定。为了避免产生干扰,卫星之间相隔如果不小于 2° ,那么整个赤道上只能放置 180 颗同步卫星,好在人们想出来可以在卫星上使用不同的频段来进行通信。因此总的通信容量资源还是很大的。

卫星通信的另一特点就是具有较大的传播时延。由于各地球站的天线仰角并不相同,因此不管两个地球站之间的地面距离是多少(相隔一条街或相隔上万千米),从一个地球站经卫星到另一地球站的传播时延为 $250\sim 300\text{ms}$ 。一般可取 270ms 。这和其他通信有较大的差别(请注意:这两个地球站之间的距离没有什么关系)。对比之下,地面微波接力通信链路的传播时延一般取为 $3.3\mu\text{s}/\text{km}$ 。

请注意,“卫星信道的传播时延较大”并不等于“卫星信道传送数据的时延较大”。这是因为传送数据的总时延除了传播时延外,还有传输时延、处理时延和排队时延等部分。传播时延在总时延中所占比例有多大,取决于具体情况。但利用卫星信道进行交互式的网上游戏显然是不合适的。卫星通信非常适合于广播通信,因为它的覆盖面很广。但从安全方面考虑,卫星通信系统的保密性是较差的。

4. 无线局域网

从20世纪90年代起,无线通信和互联网一样,得到了飞速发展。与此同时,使用无线信道的计算机局域网也得到了越来越广泛的应用。我们知道,要使用某一段无线频谱进行通信,通常必须得到本国政府有关无线电频谱管理机构的许可证。但是,也有一些无线电频段是可以自由使用的(只要不干扰他人在这个频段中的通信),这正好满足计算机无线局域网的需求。图3-23给出了美国的ISM频段,现在的无线局域网就使用其中的2.4GHz和5.8GHz频段。ISM是Industrial, Scientific, and Medical(工业、科学与医药)的缩写,即所谓的“工、科、医频段”。各国的ISM标准有可能略有差别。

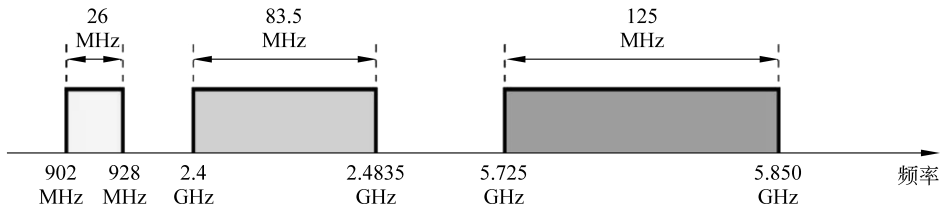


图 3-23 无线局域网使用的 ISM 频段

红外通信、激光通信也使用非引导型媒体。可使用近距离的笔记本电脑相互传送数据。

3.4 宽带接入技术

用户要想接入互联网,必须经过ISP(如电信、移动、联通等)。近年来,互联网服务提供商为用户提供了宽带接入方式,提高用户的上网速率。宽带接入是相对于窄带接入而言,一般把速率超过1Mb/s的接入称为宽带接入。宽带接入技术主要包括铜线宽带接入技术(电话线)、HFC技术(有线电视线路)、光纤接入技术和移动互联接入技术(4G技术)。

3.4.1 光纤接入技术

光纤接入是指ISP服务商与用户之间完全以光纤作为传输媒体。目前,互联网上已经有大量的视频信息资源,因此近年来宽带上网的普及率增长得很快。为了更快地下载视频文件,更流畅地在线看高清电视节目,尽快把用户的上网速度进行提升成为ISP的重要任务。

根据光纤深入用户的程度不同,有多种光纤接入方式,称为FTTx(Fiber-To-The-x)光纤接入,其中,x代表不同的光纤接入点。

所谓光纤到户,就是把光纤一直铺设到用户家庭,在用户家中才把光信号转换成电信号,这样用户可以得到更高的上网速率。根据光纤到用户的距离来分类,可分成光纤到小区(Fiber To The Zone, FTTZ)、光纤到路边(Fiber To The Curb, FTTC)、光纤到大楼(Fiber

To The Building, FTTB), 光纤到楼户 (Fiber To The Home, FTTH), 以及光纤到桌面 (Fiber To The Desk, FTTD)。

光纤是宽带网络中多种传输媒介中最理想的一种, 它的特点是传输容量大, 传输质量好, 损耗小, 中继距离长等。

3.4.2 移动互联技术

移动通信技术和互联网技术是信息技术领域中重要的组成部分, 这两项技术的发展直接影响着人们的生活和工作方式。移动互联网是一个新型的融合型网络, 是移动通信技术和互联网技术充分融合的产物。在移动互联网环境下, 人们可以通过智能手机、PDA、车载终端等设备通过移动网访问互联网, 随时随地地享受互联网提供的服务。

移动互联网, 就是将移动通信和互联网二者结合起来, 成为一体, 是互联网技术、平台、商业模式和应用与移动通信技术结合并实践的活动的总称。4G 时代的开启以及移动终端设备的凸显必将为移动互联网的发展注入巨大的能量。

4G 即第四代移动电话行动通信标准, 指的是第四代移动通信技术, 具有非对称的超过 2Mb/s 的数据传输能力, 是支持高速数据率 (2~20Mb/s) 连接的理想模式, 上网速度从 2Mb/s 提高到 100Mb/s, 具有不同速率间的自动切换能力。

4G 系统总的技术目标和特点可以概括如下。

- (1) 系统具有更高的数据率、更好的业务质量 (QoS)、更高的频谱利用率、更高的安全性、更高的智能性、更高的传输质量、更高的灵活性。
- (2) 4G 系统能够支持非对称性业务, 并能支持多种业务。
- (3) 4G 系统应体现移动与无线接入网和 IP 网络不断融合的发展趋势。

下面介绍移动互联网 IP 的网络结构。

对于基于 IP 网络的宽带无线接入, 可以有两种设计架构。一种是全 IP 网络架构, 如图 3-24 所示。在这种网络设计模型中, 基站不仅可以具有信号的物理传输功能, 还可以对无线资源进行管理, 扮演接入路由器功能, 缺点是会引入较大的开销, 尤其是在移动终端从

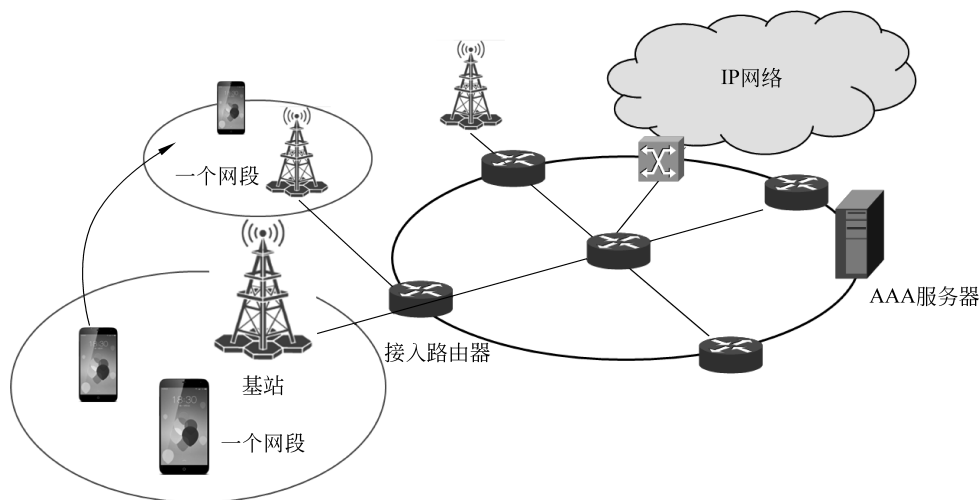


图 3-24 4G 的全 IP 网络

一个基站移动到另一个基站时需要对移动 IP 地址进行重新配置。

另一种是基于子网的 IP 架构,如图 3-25 所示,其中几个相邻基站组成子网接入基于 IP 接入网的路由器。这时,基站和接入路由器分别负责管理第二层和第三层协议,当用在相邻基站间发生切换时,只涉及第二层的切换协议,不需要改变第三层的移动 IP 的地址。

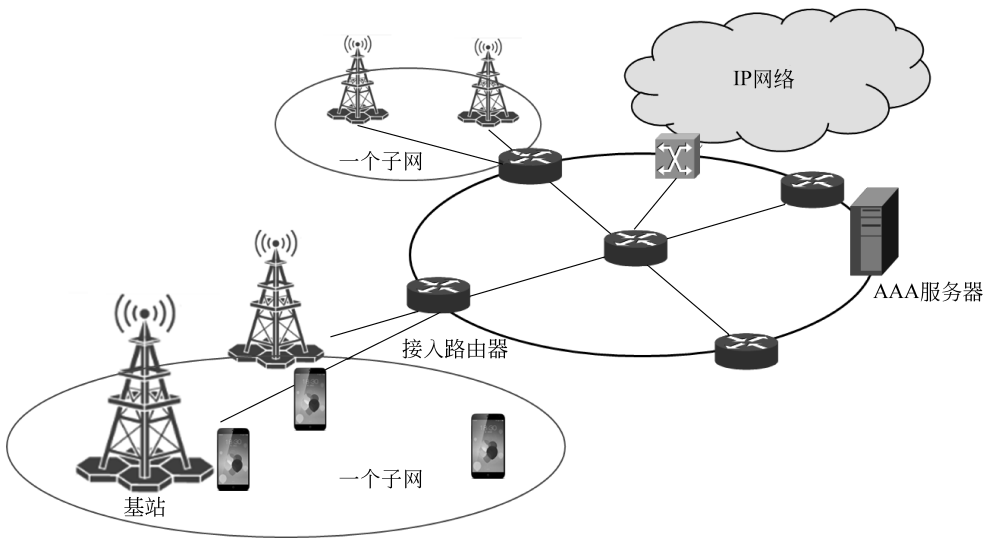


图 3-25 基于子网的 4G IP 网络

3.4.3 HFC 技术

HFC 是 Hybrid Fiber Coax 的缩写,光纤同轴 HFC 网(混合网)在 1988 年被提出。HFC 是在目前覆盖面很广的有线电视网(CATV)的基础上开发的一种居民宽带接入网。除可传送 CATV 外,还提供电话、数据和其他宽带业务。现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络,它采用模拟技术频分复用对电视节目进行单向传输。

为了提高传输的可靠性和电视信号的质量,HFC 网把原有的有线电视网中的同轴电缆主干部分改换为光纤(见图 3-26)。光纤从头端连接到光纤节点。在光纤节点光信号被转换为电信号,然后通过同轴电缆送到每个用户家庭。从头端到用户家庭所需的放大器数目

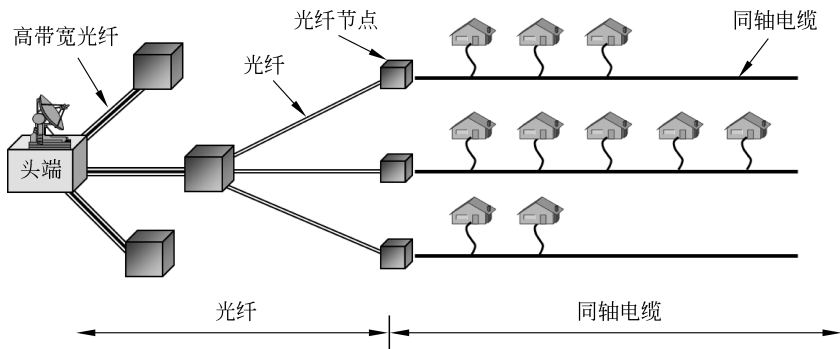


图 3-26 HFC 网的结构图

也就减少到 4~5 个,这就大大提高了网络的可靠性和电视信号的质量。连接到一个光纤节点的典型用户数是 500 左右,但不超过 2000。

光纤节点与头端的典型距离是 25km,而从光纤节点到其用户距离不超过 2~3km。原来的有线电视网的最高传输频率是 450MHz,并且仅用于电视信号的下行传输。但现有的 HFC 网具有双向传输功能,而且扩展了传输频带。根据有线电视频率配置标准 GB/T 17786—1999,目前我国 HFC 网的频带划分如图 3-27 所示。

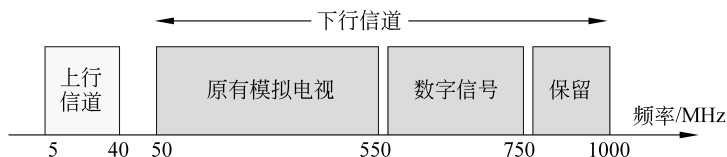


图 3-27 我国 HFC 网的频带划分

要使用现有的模拟电视机能够接收数字电视信号,需要把一个叫作机顶盒的设备连接在同轴电缆和用户的电视机之间,但为了使用户能够利用 HFC 接入互联网,以及在上行信道中传送交互数字电视所需要的信息,还需增加一个为 HFC 网使用的调制解调器,它又称为电缆调制解调器。电缆调制解调器可以做成一个单独的设备(类似于 ADSL 的调制解调器),也可以做成内置的、安装在电视机的机顶盒里面。用户只要把自己的计算机连接到电缆调制解调器,就可以接入互联网了。

电缆调制解调器不需要成对使用,而只需要安装在客户端。电缆调制解调器比 ADSL 使用的调制解调器复杂得多。因为它必须解决共享信道中可能出现的冲突问题。在使用 ADSL 调制解调器时,用户计算机所连接的电话用户线是该用户专用的,因此在用户线上所能达到的最高速率是确定的,与其他用户是否上网是无关的。但在使用 HFC 的电缆调制解调器时,在同轴电缆这一段用户所享用的最高数据率是不确定的,因为某个用户所能享用的数据率大小取决于这段电缆上现有多少个用户正在传送数据,因为 HFC 网上行信道是一个用户群所共享的,而每个用户都可在任何时刻发送上行信息,当所有用户都要使用上行信道时,每个用户所能分配的带宽就要减少。

习 题

一、填空题

- 常用的有线传输介质有_____、_____和_____。
- 物理层定义了与传输媒体的接口有关的特性,即_____特性、_____特性、_____特性和_____特性。
- 物理层的功能就是透明地传送_____,物理层上所传数据的单位是_____。
- _____特性用来说明接口所用接线器的形状和尺寸、引脚数目和排列、固定和锁定装置等。
- _____特性用来说明在接口电缆的哪条线上出现的电压应在什么范围,即什么样的电压表示 1 或 0。
- _____特性用来说明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。

7. _____ 特性用来说明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。
8. 为了提高双绞线的_____能力,可以在双绞线的外面再加上一个用金属丝编织成的屏蔽层,这就是屏蔽双绞线。

二、选择题

1. 在下列传输介质中,哪种传输介质的抗电磁干扰性最好? ()
A. 双绞线 B. 同轴电缆 C. 光缆 D. 无线介质
2. 下列传输介质中,哪种传输介质的典型传输速率最高? ()
A. 双绞线 B. 同轴电缆 C. 光缆 D. 无线介质
3. 在物理层接口特性中,用于描述完成每种功能的事件发生顺序的是()。
A. 机械特性 B. 功能特性 C. 规程特性 D. 电气特性
4. 双绞线中电缆相互绞合的作用是()。
A. 使线缆更粗 B. 使线缆更便宜
C. 使线缆强度加强 D. 减弱噪声
5. 下面哪两项是数据网络物理层的用途和功能? ()
A. 控制将数据传输到物理介质上的方式 B. 将数据编码成信号
C. 提供逻辑地址 D. 将位封装成数据单元
E. 控制介质访问

三、简答题

1. 物理层要解决哪些问题? 物理层的主要特点是什么?
2. 物理层的接口有哪几个方面的特性? 各包含什么内容?
3. 常用的传输媒体有哪几种? 各有何特点?