

教学提示：

物理层是计算机网络体系结构的底层,定义了数据在该层实体间传输的接口特性,而在计算机网络中的数据传输则依赖于物理介质。本章的目的是通过学习,了解传输介质及其特性,了解有关现代数字通信的一些最基本的知识和重要的结论,理解物理层接口的4个特性,了解几种常见的宽带接入技术及原理。在完成本章的教学任务后,学生可选做双绞线制作与测试、超级终端(Hyper Terminal)的使用及计算机 RS-232 通信 C 语言编程实验,以认知常见的传输介质,学习制作计算机网络中常用的双绞线电缆,学会连接两台计算机的串行口、编写串行口通信的 C 程序并传送数据。

物理层并不关注连接计算机的具体物理设备或具体的传输媒体及相关数据通信技术,它考虑的是怎样通过连接计算机的物理设备和传输媒体传输数据。计算机网络采用的物理设备和传输媒体种类很多,而相关数据通信技术也有许多不同。物理层的作用就是要尽可能地屏蔽掉这些差异,以使其用户(数据链路层实体)感觉不到这些差异,从而数据链路层只须考虑如何实施本层的协议以提供向上的服务,而不必考虑具体传输媒体的特性。因为物理连接的方式很多(例如,可以是点到点的,也可以采用多点连接或广播连接),而传输媒体的种类也很多(如架空明线、平衡电缆、同轴电缆、光纤、双绞线,以及各种波段的无线信道等),这就使相关数据通信技术差异明显,导致物理层协议复杂多样。因此,学习物理层的重点是理解其基本概念和常用的物理层标准,同时也要对连接计算机的物理设备、传输媒体及数据通信技术有初步了解。

由于物理层的数据传输基于连接计算机的物理设备、传输媒体及数据通信技术,故 3.1 节对此做一简介,包括数据传输系统的基本组成、传输介质、数字信号的编码方式、信道的极限容量、模拟传输与数字传输等基础知识。3.2 节以 EIA-232-E 接口标准为例,以理解物理层协议标准,即将物理层实现的主要功能描述为 DTE 和 DCE 之间的接口特性,包括机械特性、电气特性、功能特性和规程特性,这就是通常所谓物理层标准的含意。为了解主要接入技术的特点和应用场景,3.3 节介绍了非对称数字用户线技术的原理和应用、光纤同轴混合网的功能结构和特点、FTTx 及应用。

3.1 数据传输基本原理

消息一般是用数据来表示的,例如,断路用 0 表示,导通用 1 表示。通常要把表示消息的数据转换为信号进行传递,例如,0 对应低电平,1 对应高电平。即信号是消息(或数据)的

一种电磁编码,信号中包含了所要传递的消息。

香农(C. E. Shannon)规定,一个消息所荷载的信息量 I 等于该消息所表示的事件发生的概率 P 的倒数的对数:

$$I = \log \frac{1}{P} = -\log P \quad (3-1)$$

若对数以 2 为底,信息量的单位为比特(b);若对数以 e 为底,信息量的单位为奈特(nat);当对数以 10 为底时,则信息量的单位称为哈特莱(hartley)。

对于含有两个符号 S_1 、 S_2 的信息源,且两个符号出现的概率均为 1/2,则接收到其中一个符号 S_i 后,所获得的信息量为 $I = -\log_2(1/2) = 1$ (b)。

3.1.1 数据传输系统组成

数据传输的任务是将表示消息(或数据)的信号从发送方(信源)传递到接收方(信宿)。

数据传输系统模型如图 3-1 所示。数据传输系统通常由信源、信源编码器、信道编码器、发送端信号变换器、信道、接收端信号变换器、信道译码器、信源译码器、信宿、噪声源以及发送端和接收端的时钟同步组成。

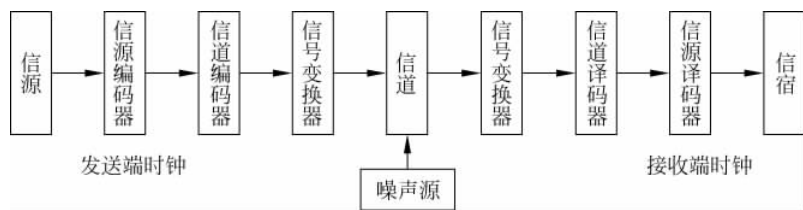


图 3-1 数据传输系统模型

在数据传输系统中,如果信源发出的是模拟信号,就需要经过信源编码器对模拟信号进行采样、量化及编码,将其变换为数字信号(二进制代码)。信源编码有两个主要作用:一个是实现模/数变换,另一个是降低信号的误码率。而信源译码则是信源编码的逆过程。

直接来自计算机的二进制代码(不需再经信源编码)或由信源编码器输出的二进制代码序列,通过信道编码增加冗余,以提高抗干扰能力,信道编码器将二进制代码序列变换成离散的编码序列,称为码字,码字通常也是二进制序列。信道译码则是信道编码的逆变换。

从信道编码器输出的数字信号是基带信号(若干伏的直流脉冲),基带信号往往包含有较多的低频分量,甚至有直流成分,除某些近距离的数字通信可以采用基带传输外(如 IEEE 802.3 LAN),通常都要将基带信号先变换成适合于在信道上传输的信号,随后再传输,这就是信号变换器所要完成的工作。根据采用的信道不同,相应的变换也不同。例如,若采用传统的电话网,就需要调制为交流模拟信号;若信道是光纤,就需要转换为光脉冲;即便直接采用数字信道,经常还需要进行电平和码形的变换,把数字信号转换为另一种形式的数字信号,以适应该数字信道的特性,称为编码(Coding)。而接收端的信号变换则是发送端的信号变换的逆过程。

接收端的接收时钟必须与发送端的发送时钟保持同步,以使接收端能正确地接收数据。

两个或多个系统之间进行数据传输时所需的物理介质、硬件和软件构成物理链路。图 3-2 中,计算机与调制解调器之间的连线是物理接口点,此接口点上传送的是二进制数字

信号,两个物理接口点之间的全部设施组成了一条物理链路。

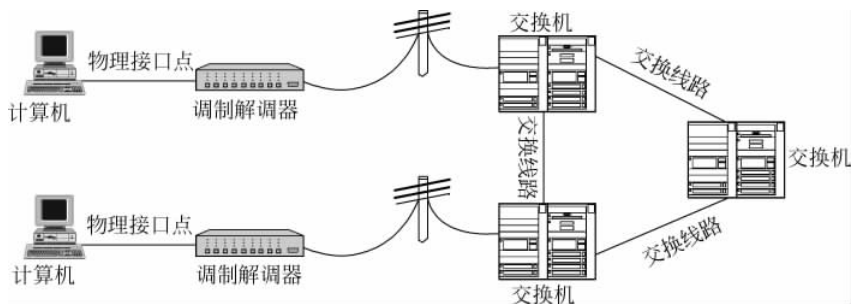


图 3-2 物理链路

3.1.2 数字信号及其编码

数字信号是一种只能取有限个值的离散信号,典型的数字信号是只取“1”和“0”的二进制数字信号。

数据通信传送的通常都是只取“1”和“0”的二进制数字信号,连续的二进制数字信号可以看成二进制数字串,于是可把其中的每一个信号称为一个“二进制位”,简称“位”。每个二进制数字信号携带的信息量都是 1 比特(bit 或 b)。于是,在这样的语境下,根据上下文,本书不再对二进制数字信号、位、比特加以严格的区分。

图 3-3 为 6 种具有代表性的二进制数字信号的编码方式。

1. 单极性码和双极性码

图 3-3 中的(a)和(c)都是单极性码,只有一个极性的电流,表示“1”时有电流,表示“0”时无电流。

图 3-3 中的(b)和(d)都是双极性码,具有两个极性的电流,表示“1”时发出正电流,表示“0”时发出负电流。

2. 归零码 RZ 和不归零码 NRZ

图 3-3 中的(c)和(d)都是归零码 RZ(Return to Zero),每当进行 0-1 变换或 1-0 变换时,都要在无电流处停留一下。

图 3-3 中的(a)和(b)都是不归零码 NRZ(Non-Return to Zero),不归零码是全宽码,即 0-1 变换和 1-0 变换都直接进行,不在无电流处停留。

3. 曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码

图 3-3 中的(e)是曼彻斯特编码(Manchester),图 3-3 中的(f)是差分曼彻斯特编码(Different Manchester),它是对曼彻斯特编码的改进。

4. 评价数字信号编码方式的优缺点

对数字信号编码方式的评价可以从以下几点考虑。

- (1) 脉冲的宽度。脉冲宽度大,信号的能量就大,对于接收端的信噪比有利。
- (2) 占用的频带宽度。脉冲宽,占用的频带就窄,如归零码比全宽码占用的频带要宽。
- (3) 直流分量成分。直流分量低有利于传输,如双极性码的直流分量较低,曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码的每个码元中都有电平的跳变,因而没有直流分量。

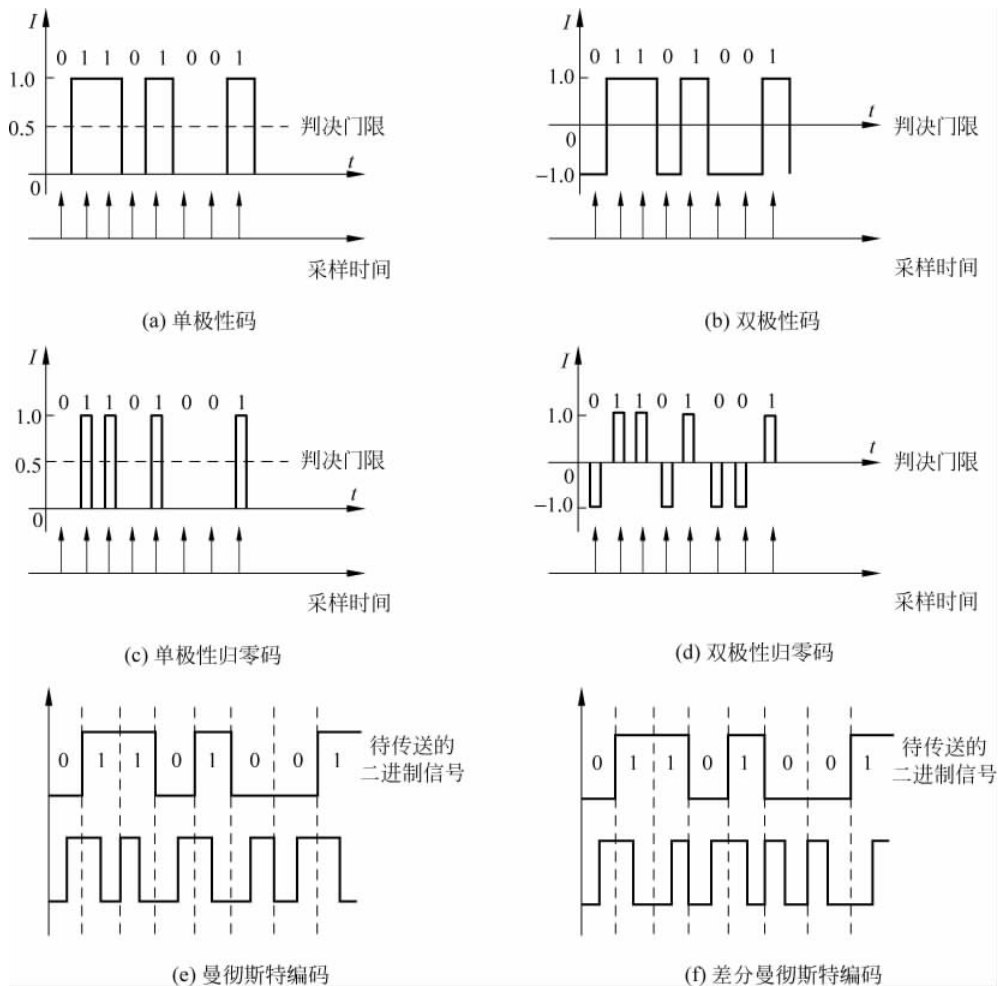


图 3-3 6 种二进制数字信号的编码方式

(4) 自同步能力。曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码的每个码元中都有电平的跳变，可以提供自同步能力。如在 IEEE 802.5 中，正常的信号编码都采用差分曼彻斯特编码，只有起始和结束字段中各有 4 位的“特殊比特”，对应这些特殊比特的码元中间没有跳变，以此作为帧的起始和结束定界符。

3.1.3 传输介质

穿越传输介质(媒体)的通信以电磁波的形式实现，根据电磁波在媒体中传输的情况，可将媒体分为制导和非制导两类。使用制导媒体时，电磁波会沿着媒体传输。例如，双绞线、电缆和光缆。大气层与外层空间是非制导媒体的例子，它们提供传输电磁信号的通道，但并不对其制导。图 3-4 显示的是制导型的传输媒体。

3.1.3.1 双绞线

双绞线由两根绝缘铜线绞合在一起，作为一条通信链路，双绞形式可减少低频干扰。通常，将若干对双绞线置于护套中以构成一条电缆，长距离电缆经常由数百对双绞线组成。

双绞线廉价,易于使用,但性能较差,在传输距离、带宽和数据速率上有一定限制,且易受干扰。双绞线的连接头为 RJ-45。

- 分别绝缘
- 绞在一起
- 经常捆成缆线
- 一般大楼建成时已有



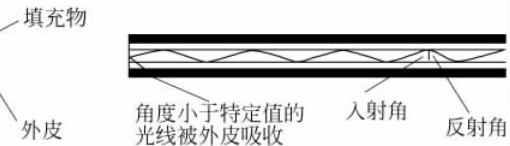
(a) 双绞线

- 外层导体为辫状保护层
- 内层导体是固体金属
- 由绝缘物体分开
- 由垫料覆盖



(b) 同轴电缆

- 玻璃或塑料核心
- 激光或发光二极管
- 尺寸小且重量轻
- 特别设计的外皮



(c) 光纤

图 3-4 制导型的传输媒体

1. 非屏蔽和屏蔽双绞线

非屏蔽双绞线(Unshielded Twisted Pair, UTP)就是常用的普通电话线,特性阻抗为 100Ω 。一般新建筑预设的 UTP 通常都超过了电话业务所需要的数量,这一部分 UTP 可用作 LAN 的传输介质。

UTP 易受外部干扰,包括环境噪音及邻近的双绞线串扰。提高其性能的主要方法是采用金属护套屏蔽,称为屏蔽双绞线(Shielded Twisted Pair, STP),特性阻抗为 150Ω ,在低速时可提供良好的性能,但比 UTP 昂贵。

2. 第 5 类与第 3 类 UTP

美国电子/通信工业协会(EIA/TIA)把 UTP 分为 7 类,其中主要几类是:

- 3 类 UTP 电缆及其端接设备的传输特性定义为 16MHz;
- 4 类 UTP 电缆及其端接设备的传输特性定义为 20MHz;
- 5 类 UTP 电缆及其端接设备的传输特性定义为 100MHz;
- 超 5 类 UTP 电缆及其端接设备的传输特性定义为 100MHz,但已有 125MHz 和 200MHz 的产品;
- 6 类 UTP 电缆及其端接设备的传输特性定义为 200MHz 或 250MHz;
- 7 类 UTP 电缆及其端接设备的传输特性定义为 600MHz,最高为 1200MHz。

一般办公大楼预设的声音级电缆属于 3 类 UTP,经过合适的设计,数据速率可以达到 16Mbps。5 类 UTP 电缆,已成为新建大楼的必备设施。在一定范围内,经过合适的设计,数据速率可以达到 100Mbps,采用特殊方法编码,可达 1000Mbps。

各类 UTP 的关键区别在于单位距离上的扭绞次数。例如,5 类 UTP 的典型扭绞距离为 $0.6\sim 0.85\text{cm}$,3 类 UTP 的典型扭绞距离为 $7.5\sim 10\text{cm}$,扭绞得越紧则性能越好,但价格也更昂贵。

3.1.3.2 同轴电缆

屏蔽层使同轴电缆具有较好的抗干扰特性,因而广泛用于较高速率的数据传输。

1. 50Ω同轴电缆

50Ω同轴电缆主要用于传送基带数字信号,故称为基带同轴电缆。20世纪70—80年代,局域网广泛使用这种同轴电缆作为物理媒体。通常,传输速率越高,所能传送的距离就越短。RG58为细同轴电缆, RG11为粗同轴电缆,在10Mbps以太网中最大传输距离分别为185m和500m。

在传输基带数字信号时,可以采用不同的编码方法,包括未经编码的基带数字信号和在局域网中常用的曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码。具体编码方法的波形如图3-3所示。

使用未经编码的二进制基带数字信号(如高电平和低电平的交替信号序列)的问题在于,接收端无法从收到的连续1或连续0的比特流中提取位同步信号。曼彻斯特编码解决该问题的方法是将每一个码元分成两个相等的间隔,码元1的前一个间隔为高电平而后一个间隔为低电平,码元0则正好相反,从低电平变到高电平。于是,可以保证每一个码元的正中间都有电平的跳变,从而有利于接收端提取位同步信号。曼彻斯特编码的缺点是,它所占据的频带宽度比原始的基带信号增加了一倍。

差分曼彻斯特编码是曼彻斯特编码的变种,其编码规则是:对码元1,其前半个码元的电平与上一个码元的后半部分的电平一样;对码元0,其前半个码元的电平与上一个码元的后半部分的电平相反。同样,在每个码元的正中间都出现一次电平的转换。差分曼彻斯特编码的技术较复杂,但可以获得较好的抗干扰性能。

2. 75Ω同轴电缆

有线电视系统CATV(Community Antenna TV)中的标准传输电缆是75Ω同轴电缆,采用模拟传输技术和频分复用的宽带信号,故75Ω同轴电缆又称为宽带同轴电缆。

宽带同轴电缆的频率特性可高达300~450MHz或更高,而传输距离可达100km。采用宽带同轴电缆传送数字信号时,需将数字信号转换成模拟信号。在接收时,则要把收到的模拟信号转换成数字信号。通常,每秒传送1比特需要1~4Hz的带宽。因而一条带宽为300MHz的电缆可以支持150Mbps左右的数据率。

通常把宽带同轴电缆划分为若干个独立信道。例如,每一个6MHz的信道可以传送一路模拟电视信号,一个6MHz的信道可传送3Mbps的数字信号。

3.1.3.3 光纤

光纤的包层比纤芯的折射率低。光线从高折射率媒质(光密媒质)射向低折射率媒质(光疏媒质)时,折射角将大于入射角(如图3-5(a)所示)。随着入射角的加大,折射角也会加大。上述过程继续下去,当入射角达到某一个值(称为临界角),折射角成为90°。当入射角在临界角基础上进一步增大时,就会出现全反射,入射角等于反射角,此时,入射角和反射角都与折射角互补。这个过程不断重复,光线就沿着光纤传输下去了。图3-5(b)画出了光波在纤芯中传播的示意图。先进的生产工艺可以制造出超低损耗的光纤,光线在纤芯中传输若干公里而衰耗很小,这正是光纤通信得到飞速发展的关键因素。

以某一角度射到光纤端面,并能在光纤的包层与纤芯的界面上全反射传播的光线,称为光的一个传输模式。当多条以不同角度入射的光线射到光纤表面时,只要各自的入射角均

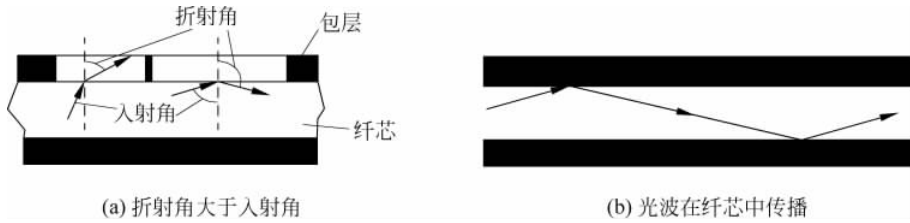


图 3-5 光线射到光纤和包层的界面时的情况

大于临界角, 就都会产生全反射, 使多条不同角度入射的光线可以同时一条光纤中传输, 这种光纤就称为多模光纤。多模光纤 (MultiMode Fiber, MMF) 直径较大 ($50\mu\text{m}$ 或 $62.5\mu\text{m}$), 在给定的波长上, 光能以多个模式同时传输, 即光径有多条。当光纤的直径减小到接近光的波长时, 光线就像在波导中那样一直向前传播, 而不会像图 3-5(b) 那样多次反射, 称为单模光纤。单模光纤 (SingleMode Fiber, SMF) 直径 $9\mu\text{m}$, 光纤中只有一条光径。采用单模光纤需使用半导体激光器作为光源, 而不能使用便宜的发光二极管。单模光纤的衰耗小, 可以 2.5Gbps 的速率无中继传输数十公里。

光通信中常用的 3 个波段的中心分别位于 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 。 $1.31\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 波段衰减较小, 而 $0.85\mu\text{m}$ 波段衰减较大, 但此波段的其他特性较好。3 个波段都具有 $25\,000\sim 30\,000\text{GHz}$ 的带宽, 显然光纤的容量很大。

接收端采用光电二极管将光信号转换成电信号。由于光电二极管的响应时间一般为 10^{-9}s , 这就使传输速率限制在 1Gbps 左右。要达到更高的速率, 必须采用更新的技术。波分复用 (Wavelength Division Multiplexing, WDM) 和密集波分复用 (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM) 可以达到更高的传输速率。

光纤的其他优点是: 损耗小, 中继距离长, 适合于远距离传输; 抗雷电和电磁干扰性能好; 无串音干扰, 保密性好; 体积小, 重量轻。

光电接口比较昂贵, 对接光纤技术较复杂。

3.1.3.4 无线传输

1. 电磁波的频谱

图 3-6 展示了电磁波的频谱及相应的应用领域。

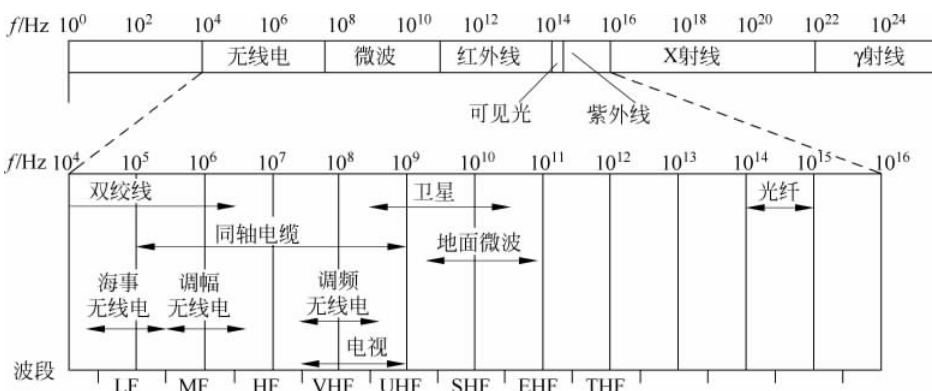


图 3-6 电磁波的频谱及相应的应用领域

通常需要获得政府无线电频谱管理机构的许可,才能使用某一段频谱进行通信。但也有一些特定的无线电频谱可以自由使用,条件是不干扰他人在此频段上的通信,这正好是无线 LAN 的要求。美国的工业、科学和医药(Industrial, Scientific, and Medical, ISM)频段就是这样的可自由使用的频段: 902~928MHz(频带宽度为 26MHz), 2.4~2.4835GHz(频带宽度为 83.5MHz), 5.725~5.850GHz(频带宽度为 125MHz)。当前无线 LAN 就使用其中的 2.4GHz 和 5.8GHz 频段。

红外通信、激光通信也使用非制导型媒体,常用于近距离数据传送。

2. 地面微波接力通信系统

微波通信利用微波波段(300MHz~300GHz,波长范围为 1m~1mm)的电磁波在对流层的视距范围内进行信息传输,是国际公认的最有发展前途的 3 种传输方式(微波、光纤、卫星)之一。受地形和天线高度的限制,地面微波接力通信系统中,通信站距离约为 40~60km。为实现远距离接力通信,需在微波信道的两个终端之间建立若干个中继站。

微波接力通信的主要优点是:微波的 3 个频段(分米波、厘米波、毫米波)的宽度几乎是长波、中波、短波及特高频各频段总和的 1000 倍,因而微波工作频段范围宽,其通信信道的容量特别大;由于工业干扰和天电干扰的主要频谱成分比微波频率低得多,故对微波通信的危害小,因而微波传输质量较高,通信的稳定性和可靠性较高;由于微波束的方向性强,又容易制成高增益天线,因而微波接力通信的可靠性较高;微波接力通信与相同容量和长度的电缆载波通信比较,建设投资仅为后者的 1/3~1/2,且施工也简单。

微波接力通信的缺点主要是:相邻站之间不能有障碍物;有时信号会分成几条略有差别的路径到达接收天线,因而造成失真;微波信号受对流层中的对流、平流、湍流及天气的影响,加上地面反射波的影响,会使收信点的场强产生随机性的变化,从而使接收电平随时间变化(称为衰落);此外,微波通信的隐蔽性和保密性较差。

3. 卫星通信

卫星通信是在地面站之间利用卫星(太空中的无人值守的微波中继站)作为中继器的一种微波接力通信。卫星通信的主要优缺点和地面微波通信类似。常用的卫星通信采用位于 36 000 千米高空的人造同步地球卫星作为中继器。

应将卫星通信的工作频段选定为电磁波能穿越电离层的特高频或微波频段,常用的 3 个频段是 C、Ku 和 Ka,它们的工作频率(下行/上行,GHz)分别为 4/6,12/14,19/29。C 频段应用较多。通常,卫星有 12~20 个转发器,每个转发器的带宽为 36~50MHz,因此卫星通信系统的容量很大。

利用人造同步地球卫星作为中继站进行通信的传播时延较大,不管地面距离是多少,两个地球站经卫星的传播时延均在 250~300ms 之间,一般取为 270ms。这是与其他通信方式的主要差别。虽然卫星信道的传播时延较大,但并不意味着用卫星信道传送数据的总时延(传播时延加发送及处理时间)就一定更大。

3.1.4 信道的极限容量

3.1.4.1 关于信道的基本概念

1. 通信电路和信道

通信电路用于在计算机间传输电磁信号,信道表示向某一个方向传送信息的媒体。通

信电路通常包含一条发送信道和一条接收信道。信道可以看成是电路的逻辑部件。

2. 通信方式

单工通信是只有一个方向的通信而没有反方向通信的单向通信。

半双工通信即双向交替通信,一方发送另一方接收,该次发送结束后,再改变发送方向。

全双工通信即双向同时通信,双方可以同时发送和接收信息,因而需要两条信道。

3. 信号形式

模拟信号即连续的信号,例如,话音信号就是模拟信号。

数字信号即离散的信号,例如,计算机通信所用的二进制代码“1”和“0”组成的信号。

和信号的分类相似,信道也分为传送模拟信号的模拟信道和传送数字信号的数字信道。将数字信号经过数模变换就可以在模拟信道上传送,而模拟信号经过模数变换也可以在数字信道上传送。

信道上传送的信号分为基带(Base Band)信号和宽带(Broad Band)信号。基带信号就是将数字信号 1 或 0 直接用不同的电压表示,并发送到线路上去。基带信号经调制后,每一路基带信号的频谱被搬移到不同的频段,就可以在一条电路中同时传送多路数字信号(频分复用),从而使线路的利用率得到了提高。这种将基带信号进行调制后形成的频分复用模拟信号称为宽带信号。

当前,计算机通信所使用的信道,主干线路是数字信道,但用户线则基本上还是传统的模拟信道。模拟信道与数字信道并存的局面使物理层的内容比较复杂。

3.1.4.2 信道的截止频率与带宽

当信号通过信道后,某个频率分量的振幅衰减到原来的 0.707(即输出信号的功率降低了一半)时,则称该频率为信道的截止频率 f_c ,并称该信道的带宽为 f_c 。

截止频率反映了信道固有的物理特性。有时候,为限制每个用户使用的带宽,特意在线路中安装滤波器,如图 3-7(a)所示的低通滤波器。当在信道中安装了带通滤波器时,信道就对应两个截止频率 f_1 和 f_2 ,分别称为下截止频率和上截止频率。这两个截止频率之差 $f_2 - f_1$ 称作信道的带宽,如图 3-7(b)所示。

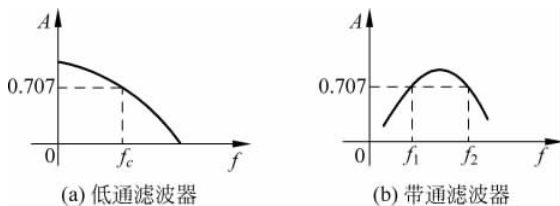


图 3-7 信道截止频率

如果输入信号的带宽小于信道的带宽,则输入信号的全部频率分量都能通过信道(虽然不同频率分量的衰减还是会有差别的),因而信道输出端得到的输出波形失真较小。如果输入信号的带宽大于信道的带宽,则信号中某些频率分量被大大衰减,这就使输出端得到的信号严重失真。为了保证数据传输的正确性,在信道带宽固定的前提下,必须限制信号带宽。

3.1.4.3 信道的最高码元传输速率

信道的码元传输速率是有上限的。奈奎斯特(Nyquist)于 1924 年推导出在理想信道

(低通矩形振幅频率特性和线性相位特性)下的最高码元传输速率公式,即奈氏准则:

$$\text{理想低通信道的最高码元传输速率} = 2W \text{ Baud}$$

其中, W 是理想低通信道的带宽,单位为赫兹(Hz); Baud 是波特,是码元传输速率的单位,1 波特为每秒传送 1 个码元。奈氏准则给出的是,理想信道输出波形的最大振幅不产生前后串扰(即码间串扰)的条件。每赫兹带宽的理想低通信道的最高码元传输速率是每秒 2 个码元。实际上,信道所能传输的最高码元速率低于奈氏准则给出的这个上限数值。

波特和比特是两个不同的概念。波特是码元传输的速率单位,即每秒传送的码元数。码元传输速率也称为调制速率、波形速率或符号速率。比特是信息量的单位,与码元的传输速率“波特”是两个完全不同的概念。如果让 1 个码元携带 nb 的信息量,则 m Baud 的码元传输速率所对应的信息传输速率为 mn bps。

$$\text{理想带通信道的最高码元传输速率} = W \text{ Baud}$$

即每赫兹带宽的带通信道的最高码元传输速率为每秒 1 个码元。

3.1.4.4 信道的极限信息传输速率

香农在 1948 年用信息论的理论推导出受高斯白噪声干扰的有限带宽信道的极限信息传输速率,当采用此速率传输时,可以不产生差错。信道的极限信息传输速率可表示为香农公式:

$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ (bps)} \quad (3-2)$$

其中 W 是以 Hz 为单位的信道带宽, S 为信道内所传信号的平均功率, N 为信道内的高斯噪声功率。 S/N 称为信噪比,因为通常需要在接收机所在位置处理信号并排除有关的噪声,所以在接收端对 S/N 进行测量。通常将 S/N 转换为分贝(dB)值: $10 \log_{10} \frac{S}{N}$ (dB)。

香农公式表明,信道的带宽越大或信道中的信噪比越大,则信息的极限传输速率就越高。香农公式的意义在于,只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率,就可以找到某种办法来实现无差错的传输。具体的办法要由研究通信的专家去寻找。香农理论给出的是信息传输速率的理论上限值,在实际应用中很难达到这个上限值。信道的极限信息传输速率的典型示例可见本章习题第 7 题的参考答案。

直观地看香农公式,好像只要信噪比 S/N 没有上限,则信道的极限信息传输速率 C 也就没有上限。实际的信道当然不可能是这样的,因为

$$N = Wn_0 \quad (n_0 \text{ 为噪声功率谱密度}) \quad (3-3)$$

$$\begin{aligned} C &= W \log_2(1 + S/N) = \log_2(1 + S/Wn_0)^W \\ &= \log_2[(1 + S/Wn_0)^{Wn_0/S}]^{S/n_0} \\ &= \frac{S}{n_0} \log_2(1 + S/Wn_0)^{Wn_0/S} \end{aligned} \quad (3-4)$$

令 $x = S/Wn_0$, 则上式可以改写为

$$C = \frac{S}{n_0} \log_2(1 + x)^{1/x}$$

利用 $\log_2 a = \log_2 e \ln a$ 及 $\lim_{x \rightarrow 0} \ln(1+x)^{1/x} = 1$, 当 W 趋于无穷大时, x 趋于零, C 的极限为

$\frac{S}{n_0} \log_2 e \approx 1.44 \frac{S}{n_0}$, $\frac{S}{n_0}$ 是有限的(S 不可能趋于无穷大, n_0 不可能为 0), 则 C 的极限是有限值。

3.1.5 模拟传输与数字传输

传送计算机数据最合适的是数字信道。当前,光纤技术在干线网中得到了广泛的使用,传输干线已实现数字化,但是,用户到市话局还大量使用老式的双绞用户线,因而模拟传输与数字传输将长期并存。

3.1.5.1 模拟信道传输

将用户计算机输出的数字基带信号转变为适合在所采用的介质(例如双绞线)上传输的信号,这个过程称为调制(Modulation),到了接收方,再从接收到的信号中提取出原来的数字信号,这个过程称为解调(Demodulation)。为了支持全双工通信,每一方需要一个调制器用于发送数据,还需要一个解调器用于接收数据。为降低成本以及更易于安装和操作,一般将两者结合在单个设备中,称其为调制解调器,缩写为 Modem。

调制就是进行频谱变换,将基带数字信号的频谱变换为适合于在模拟信道中传输的频谱。

模拟载波信号可以简单地表示为

$$X(t) = A\cos(2\pi ft + \theta) \quad (3-5)$$

其中 A 是载波的幅度, f 是载波的频率,而 θ 是载波的相位。当用计算机输出的数字基带信号对载波的幅度、频率或相位进行调制,使载波波形的参量(A 、 f 或 θ)随数字基带信号的变化而变化,就可以得到不同的调制波。调制不仅仅可以满足信号传输的需要,还可实现多路复用,完成频率分配以及减少噪声干扰的影响等。图 3-8 给出了 3 种不同调制方式的调制原理。

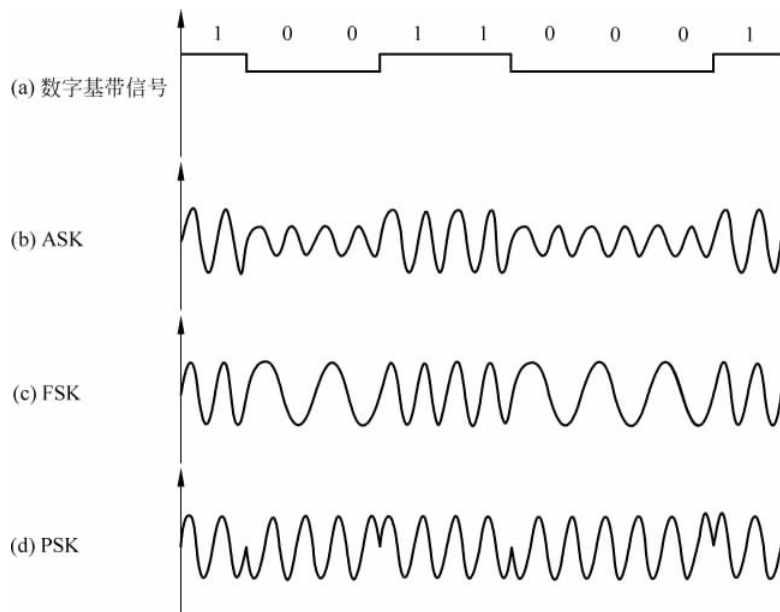


图 3-8 3 种常见的数字调制方式

图 3-8(b)显示的是用数字基带信号对载波的幅度进行调制,调制后载波的幅度将随基带信号变化,例如,1 或 0 分别对应于载波的全幅度或半幅度,因而根据调制后载波信号的

幅度就可以还原出原信号。这种用基带数字信号控制载波幅度的调制方式称为数字调幅,也称为振幅键控(Amplitude Shift Keying,ASK)。

图 3-8(c)显示的是用数字基带信号对载波的频率进行调制,调制后载波的频率随着数字基带信号变化,例如,1 或 0 分别对应于 f_1 或 $0.5 f_1$,在解码端,就可以根据载波的频率变化恢复原信号。用基带数字信号控制载波频率的调制方式称为数字调频。数字调频也称为频移键控(Frequency Shift Keying,FSK)。

图 3-8(d)显示的是采用数字基带信号改变载波相位以实现数字调制,调制后载波的相位在某些点上发生了突变,例如,1 或 0 分别对应于相位 0 度或 180 度,解码端就可以根据这些相位突变点来解调出原信号。用基带数字信号控制载波相位的调制方式称为数字调相,也称为相移键控(Phase Shift Keying,PSK)。

更为复杂的多元制的幅度相位混合调制方法,例如,正交调幅(Quadrature Amplitude Modulation,QAM)在中高速 Modem 中应用非常广泛。

将基带数字信号的频谱变换为适合于在模拟信道中传输的频谱称为调制,相反的变换称为解调,既具有调制功能又具有解调功能的设备称为调制解调器。

3.1.5.2 数字信道传输

PSTN(Public Switched Telephone Network)网络就是数字网络,PSTN 网络的传输和交换完全实现了数字化,即在 PSTN 网络中(两个端局之间)传输和交换的都是数字信号。

连接到数字端局的用户打电话时,其本地回路(本地环)出现的信号是模拟信号,该模拟信号在端局被编码解码器(Codec)数字化,产生 7 比特或 8 比特组成的数,该技术称为脉冲编码调制(Pulse Code Modulation,PCM)。由 PSTN 发展形成的现代电信网已不是仅有话音这一传统业务,还包括大量数据业务(含视频、图像等业务),因而需要建设一种能承载来自其他各种业务网络数据的传输网络。此外,在 PSTN 数字化的同时,光纤正成为长途干线最主要的传输媒体。然而,早期的数字传输系统存在着以下两个突出缺点。

(1) PCM 有两个互不兼容的国际标准,北美和日本的 T1 速率(1.544Mbps)和欧洲、中国采用的 E1 速率(2.048Mbps)。而再往上的复用,日本又采用了另一种不兼容的标准,这就使世界范围内基于光纤的高速数据传输难于实现。

(2) 过去很长时间,各国的数字网主要采用了各支路信号的时钟频率有一定偏差的准同步系统,不是同步传输,给时分复用和分用造成困扰。

为了解决这些问题,1985 年,美国国家标准协会(American National Standards Institute,ANSI)为实现设备在光接口上的互连,定义了光纤传输系统线路传输速率的等级标准,命名为同步光纤网(Synchronous Optical Network,SONET)。SONET 的传输速率以 51.84Mbps 为基础。上述速率对电信号称为第 1 级同步传送信号(Synchronous Transport Signal),即 STS-1;对光信号则称为第 1 级光载波(Optical Carrier),即 OC-1。目前已经定义了从 51.84Mbps 一直到 9953.280Mbps(即 OC-192/STS-192)的系列标准。

以 SONET 为基础,国际电信联盟-电信标准局(International Telecommunication Union-Telecommunication Sector,ITU-T)于 1988 年通过 G.707-G.709 等 3 个国际标准建议书,称为同步数字系列(Synchronous Digital Hierarchy,SDH)。SDH 不仅适用于光纤传输,也适用于微波等其他传输形式。到 1992 年又增加了 10 个建议书。SDH 的基本速率为 155.52Mbps,称为第 1 级同步传送模块(STM-1),对应 SONET 的 OC-3 速率。表 3-1 为

SONET 和 SDH 的比较。通常无须严格区分 SONET 和 SDH。SONET 和 SDH 已经成为数据传输体制的国际标准,采用 SONET 和 SDH 标准的数据传输网络能承载来自各种业务的数据。

表 3-1 SONET 的 OC 级/STS 级与 SDH 的 STM 级的对应关系

| 线路速率/Mbps | SONET 符号 | ITU-T/SDH 符号 | 线路速率的常用近似值 | 折合话路数(64Kbps) |
|------------|----------------|--------------|-----------------|---------------|
| 51.840 * | OC-1/STS-1 | — | | 810 |
| 155.520 * | OC-3/STS-3 | STM-1 | 155Mbps/156Mbps | 2430 |
| 466.560 | OC-9/STS-9 | STM-3 | | 7290 |
| 622.080 * | OC-12/STS-12 | STM-4 | 622Mbps | 9720 |
| 933.120 | OC-18/STS-18 | STM-6 | | 14 580 |
| 1244.160 | OC-24/STS-24 | STM-8 | | 19 440 |
| 1866.240 | OC-36/STS-36 | STM-12 | | 29 160 |
| 2488.320 * | OC-48/STS-48 | STM-16 | 2.5Gbps | 38 880 |
| 4976.640 | OC-96/STS-96 | STM-32 | | 77 760 |
| 9953.280 | OC-192/STS-192 | STM-64 | 10Gbps | 155 520 |

SONET/SDH 规定使用波长为 1310nm 和 1550nm 的激光光源,为各种终端用户提供了一种通用的、高速的和安全的物理通道。SDH 可分为 4 个子层,如图 3-9。光子层(Photonic Layer)关心的是光和光纤的物理性质,处理穿越光缆的比特传送,并负责进行 STS 的电信号和 OC 的光信号之间的转换,此层通过电光转换器进行通信。其余 3 个子层分别对应数字段层(Section Layer)、线路层(Line Layer)和路径层(Path Layer)。数字段子层处理单个点对点的光纤连接,传送 STS-N 帧,具有成帧和差错检测功能;线路层则是把多个支流复用到一条线路上;路径层处理终端到终端(源设备与目的地设备之间)业务的传输。

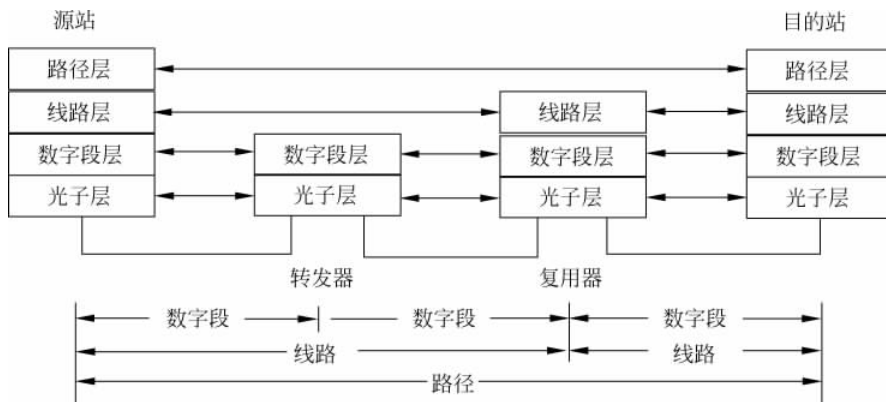


图 3-9 SONET 的体系结构

SONET/SDH 帧采用一种块状结构。其基本信号是 STS-1,它包含 810B,每字节有 8 位(Octet)。每帧占时 125 μ s,即帧速率为 8000fps,这刚好匹配数字电话中采用的 PCM 的采样速率,即这种排列中的每一个字节对应的数据速率是 64Kbps;故 STS-1 信号的数据速率为 $8 \times 810 \times 8000 = 51.840\text{Mbps}$ 。为了便于理解,一个 STS-1 帧可以从逻辑上用 9 行 \times

90 列的字节矩阵来描述。3 个 STS-1 帧复合成一个 STM-1 帧(见图 3-10 的 STM-N 帧结构)。更高的等级是用 N 个 STM-1 复用组成 STM-N, 比如 4 个 STM-1 构成 STM-4, 16 个 STM-1 构成 STM-16。

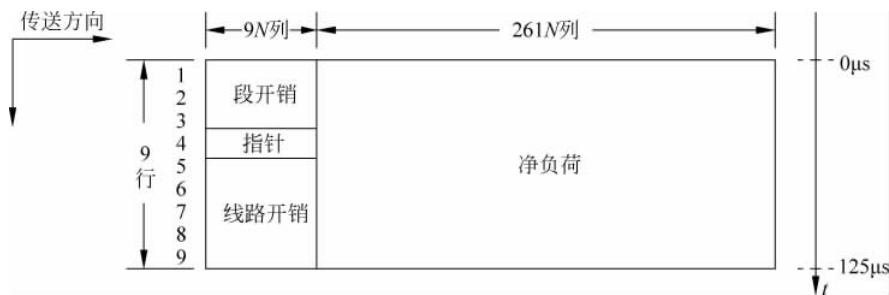


图 3-10 SDH 帧结构(STM-N)

SDH 的特点如下。

(1) 灵活的分接功能。SDH 规定了严格的映射复接方法, 采用指针技术, 使支路信号在线路信号(STM-N)中的位置是透明的, 可以直接从 STM-N 中灵活地上下线, 无须通过逐级复用实现复接功能, 减少了设备数量, 简化了网络结构。

(2) SDH 有强大的网络管理功能。SDH 帧结构中有由足够的开销比特(占总容量的 1/30), 不仅满足目前的告警、性能监控、网络配置等的需要, 而且还有进一步扩展的余地, 用以满足将来的监控和网管需要。

(3) 强大的自愈能力。具有智能检测的 SDH 网管系统和网络动态配置功能, 使 SDH 网络容易实现自愈。在设备发生故障时, 能迅速地恢复业务, 提高网络的可靠性, 降低维护费用。

(4) SDH 具有标准的光接口规范。不同厂家的设备可以在光路上互连, 真正做到横向兼容。

(5) SDH 具有后向兼容性。所谓后向兼容性是指 SDH 的 STM-1 既可复用 E1 系列的准同步数字系列(Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH)信号, 又可复用 T1 系列的 PDH 信号, 使两大速率系列在 STM-1 中得到统一。

3.2 一个简单的物理层标准示例

在数据通信中, 通常将数据终端设备简称为 DTE(Data Terminal Equipment), DTE 是具有一定的数据处理能力以及发送和接收数据能力的设备。DCE(Data Circuit-terminating Equipment)是数据电路端接设备的简称, DCE 的作用是在 DTE 和传输线路之间提供信号变换和编码的功能, 并且负责建立、保持和释放数据链路的连接。

DTE 可以是计算机或终端, 也可以是各种 I/O 设备。典型的 DCE 则是与模拟话路相连接的调制解调器。

用于物理层的协议通常称为物理层规程(procedure)。

许多物理层协议制定于 OSI 模型公布之前, 因此没有像 OSI 那样将服务与协议区分开。显然不便使用 OSI 的术语介绍 OSI 模型公布之前制定的物理层协议, 只能将物理层实

现的主要功能描述为 DTE 和 DCE 之间的接口特性,这就是通常所谓物理层标准的含义。

3.2.1 物理层接口(DTE/DCE)特性

DTE/DCE 接口具有以下四方面的特性。

(1) 机械特性。涉及接口的机械结构,说明接口所用接线器的形状和尺寸、引线数目和排列、固定和锁定装置等等。

(2) 电气特性。规定 DTE/DCE 之间各条信号线的电气连接及有关电路特性,说明在接口电缆的哪条线上出现的电压应处于什么范围,即什么样的电压表示 1 或 0。

(3) 功能特性。对各接口信号线做出确切的功能定义,说明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。

(4) 规程特性。说明对于不同功能,各种可能事件的出现顺序。

3.2.2 EIA-232-E 接口标准

美国电子工业协会(Electronic Industries Association,EIA)制订的物理层标准是 EIA-232-E,最早是 1962 年制订的 RS-232 标准。其中,RS 表示“推荐标准”,232 是编号。1969 年修订为 RS-232 的第三个修订版本 RS-232-C,1987 年 1 月修订为 EIA-232-D,1991 年又修订为 EIA-232-E。上述标准差别并不大,故很多厂商仍用旧的名称,简称 EIA-232,甚至更简单地说:“提供 232 接口”。当初制定 232 标准是为了促进使用公用电话网进行数据通信,当前也普遍用于主机与终端间的短距离连接。

3.2.2.1 机械特性

EIA-232 的机械特性与 ISO 2110 标准兼容,插头座采用的是具有 25 根引线的 DB-25。DB-25 的引线分为上、下两排,分别有 13 和 12 根引线,规定其编号分别为 1~13 和 14~25,当引线指向人时,从左到右计数。由于可以不采用标准的全集(所有信号线),因此也可采用引线较少的标准连接器,例如,9 针连接器。

3.2.2.2 电气特性

EIA-232 的电气特性与 ITU-T V. 28(即 CCITT V. 28)建议书一致。EIA-232 采用负逻辑,逻辑 0 相当于对信号地有 +5V 或更高的电压,而逻辑 1 相当于对信号地有 -5V 或更低的电压。在 -3V~+3V 的过渡区,逻辑状态不定,故噪声容限为 2V。逻辑 0 相当于数据线的“0”(空号)或控制线的“接通”状态,而逻辑 1 则相当于数据线的“1”(传号)或控制线的“断开”状态。在 15m 内的连接电缆长度下,允许数据传输速率不超过 20Kbps。RS-232-C 的电气特性如表 3-2 所示。

表 3-2 RS-232-C 的电气特性

| 交换的电压 | 二进制逻辑状态 | 信号状态 | 接口控制功能 |
|-------|---------|------|--------|
| 正 | 0 | 空号 | 通 |
| 负 | 1 | 传号 | 断 |

3.2.2.3 功能特性

EIA-232 的功能特性与 ITU-T V. 24(即 CCITT V. 24)建议书一致。功能特性主要体

现在引线分配上,即规定什么电路应当连接到 25 根引线中的哪一根以及该引线的作用,如图 3-11 所示。其中,20 条信号线分为 4 类:数据线 4 条,控制线 11 条,定时线 3 条和信号地线 2 条,余下 5 条(9、10、11、18、25)未用或专用(用于测试)。232 接口中有两个信道,第二路信道用于在互连设备之间传送辅助控制信息,速率较低。下面简介主要的几条引线。

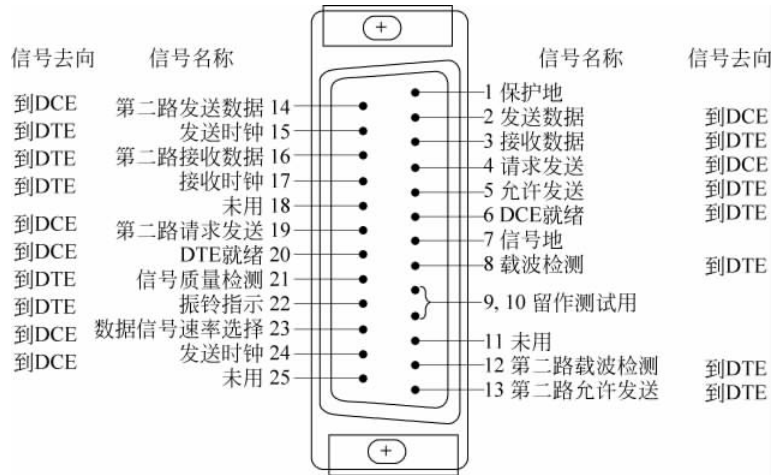


图 3-11 RS-232 引线分配

引线 2: 发送数据(TD),该引线把数据发送到 DCE。在无数据发送时,异步通信适配器使这条线保持在传号状态,即等效于停止位的逻辑状态 1。

引线 3: 接收数据(RD),该引线上的信号从 DCE 发送到 DTE 的异步通信适配器上。当无数据发送时,该引线也保持在传号状态。

引线 4: 请求发送(RTS),发送信号至 DCE,以请求允许在引线 2 上发送数据。该信号和允许发送(Clear To Send)一起用来控制从 DTE 到 DCE 的数据流。

引线 5: 允许发送(CTS),DCE 向 DTE 表示它已做好接收数据的准备。当该引线是 OFF(负电压或逻辑 1)状态时,表明 DCE 未做好接收数据的准备。

引线 6: DCE 就绪(DSR),当此线为 ON(逻辑 0)状态时,DCE 通知 DTE,它已正确地连接到电话线上并处在数据传输方式。自动拨号的 DCE 在成功地拨通主计算机后就将该信号送到 DTE。

引线 7: 信号地(SG)作为所有其他电路的公共地线,以便为相应的信号线构成回路。

引线 8: 载波检测(CD),当 DCE 接收到来自远程 DCE 的正确的载波信号时,便由该引线向 DTE 送出一个 ON 信号,该信号还用来使位于 DCE 面板上的发光二极管指示灯 CD (载波检测)点亮。

引线 20: DTE 就绪(DTR),当该引线处于 ON 状态时,表示 DTE 准备好。

引线 22: 振铃指示(RI),自动应答的 DCE 用此引线信号作为电话铃振铃指示。在铃响期间,该引线保持为 ON,铃不响时为 OFF。

其他一些引线的作用是:选择数据的发送速率,测试 DCE,传送数据的码元定时信号等,第二路信道的作用已如前述。这些引线在实际中很少使用。

3.2.2.4 规程特性

在 EIA-232 中, DTE 与 DCE 之间事件的合法序列由其规程特性确定, 与 ITU-T V. 24 (即 CCITT V. 24) 建议书一致。规程特性确定了通信过程中通信双方可能发生各种事件的合法次序, 事件出现的次序可能有多种组合, 因而规程特性比较复杂, 状态变迁图是描述规程特性的较好方法。图 3-12 是 DTE-A 向 DTE-B 发送数据所要经过的几个主要步骤的简要说明。

(1) DTE-A 将引线 20“DTE 就绪”置为 ON, 并从引线 2“发送数据”向 DCE-A 传送电话号码。

(2) DCE-B 置引线 22“振铃指示”为 ON, 通知 DTE-B 有呼叫信号。DTE-B 则将引线 20“DTE 就绪”置为 ON, DCE-B 随即产生载波信号, 并将引线 6“DCE 就绪”置为 ON, 准备好接收数据。

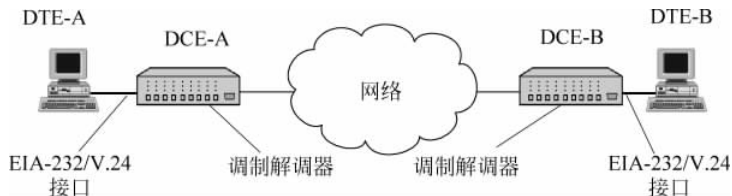


图 3-12 两个 DTE 通过 DCE 通信

(3) DCE-A 一旦检测到载波信号, 就置引线 8“载波检测”和引线 6“DCE 就绪”为 ON, 以告诉 DTE-A 通信电路已建立。

(4) DCE-A 随后向 DCE-B 发送载波信号, DCE-B 接收到载波信号后, 将其引线 8“载波检测”置为 ON。

(5) 一旦 DTE-A 要发送数据, 就将引线 4“请求发送”置为 ON, 作为响应, DCE-A 将引线 5“允许发送”置为 ON。然后 DTE-A 通过引线 2“发送数据”发送数据, DCE-A 则将该数字信号转换为模拟信号发送出去。

(6) DCE-B 将收到的模拟信号转换为数字信号后, 经过引线 3“接收数据”向 DTE-B 发送。

很多调制解调器只使用该接口 25 根引线中的 4~12 根, 所实现的只是整个 EIA-232 标准的一个子集, 这是使用 RS-232 接口时要注意的。

3.3 接入网技术

用户的 Host 首先要通过接入网(AN)连接到本地因特网服务提供商的边缘路由器, AN 可以是机构或单位的 LAN, 也可以是经 Modem 的拨号电话线, 还可以是其他高速通信链路。

在局域网环境下, 对位置固定的用户, 以太网是 AN 的较好选择, 以 IEEE 802.11 为代表的无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)采用的是非制导型传输介质(大气), 主要作为移动用户的 AN。局域网将在本书第 8 章介绍。

ITU-T G. 902 定义为: AN 由业务结点接口(SNI)和用户网络接口(UNI)之间的一系

列传送实体(如线路设施和传输设施)组成,是为电信业务提供承载能力的实施系统,AN 可通过管理接口进行配置和管理。可见,从电信公司的角度看,AN 通常包括用户线传输系统、复用设备,还包括数字交叉连接设备和用户/网络接口,AN 是用户与本地交换机之间的连接部分,与网络业务和应用无关。

目前,传送网和交换网已基本实现数字化,而现有的 AN 基本上还是以模拟技术为主。电信新业务的大量涌现,迫切要求增强 AN 的传送能力;而技术的进步则为满足这种需求提供了可能。ITU-T 对 AN 的技术框架和标准化进行了大量的工作,其标准建议已形成了 G、Q、I、Y 等系列的多个标准。

常用的有线接入技术主要有 ISDN、ADSL 和 HFC 几种。无线接入技术主要有 WLAN 和人造卫星接入等。ISDN 既是交换和传输技术,也是一种常用的接入技术。本节主要介绍 ADSL、HFC 和 FTT_x 技术。

3.3.1 ADSL 接入技术

3.3.1.1 ADSL 概述

ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)是非对称数字用户线,它是 x DSL 技术中的一个子集。 x DSL 采用数字编码技术对现有的铜质模拟电话线路进行改造,以获取更大的数据传输速率。 x 表示在数字用户线上实现的不同宽带接入方案,表 3-3 就是 x DSL 的几种类型,各自的极限传输距离与用户线的线径、线路质量有很大关系。其中 HDSL(High speed DSL)是高速数字用户线,SDSL(Single-line DSL)是一对线的数字用户线,VDSL(Very high speed DSL)是甚高速数字用户线,DSL 就是 ISDN 用户线。

应用最普遍的是 ADSL,它是 DSL 的一种非对称版本。同其他 x DSL 一样,ADSL 也是利用数字编码技术,在现有铜质电话线上使用话音传输以外的频率传输数据,因而不干扰在同一条线上进行的常规电话话音服务。

ADSL 的非对称性指的是下行传输速率(8Mbps)和上行传输速率(1Mbps)不同,这对于用户访问互连网既经济又能满足其需求。ADSL 与众多用户分享同一带宽的 Cable Modem 相比,其优势是能够提供针对单一电话线路用户的专线服务。ADSL 是当前主要的数字接入网技术。

表 3-3 x DSL 的几种类型

| x DSL | 对 称 性 | 下 行 带 宽 | 上 行 带 宽 | 极限传输距离 |
|------------|-------|---------|---------------|-----------|
| ADSL | 非对称 | 1.5Mbps | 64Kbps | 4.6~5.5km |
| ADSL | 非对称 | 6~8Mbps | 640Kbps~1Mbps | 2.7~3.6km |
| HDSL(2 对线) | 对称 | 1.5Mbps | 1.5Mbps | 2.7~3.6km |
| HDSL(1 对线) | 对称 | 768Kbps | 768Kbps | 2.7~3.6km |
| SDSL | 对称 | 1.5Mbps | 1.5Mbps | 3km |
| VDSL | 非对称 | 25Mbps | 1.6~2.3Mbps | 0.9km |
| VDSL | 非对称 | 52Mbps | 1.6~2.3Mbps | 0.3km |
| ISDN | 对称 | 160Kbps | 160Kbps | 4.6~5.5km |

3.3.1.2 ADSL 标准

ADSL 有无载波振幅相位调制(Carrierless Amplitude Phase Modulation, CAP)、离散

多音调制(Discrete Multi-Tone, DMT)和 G. Lite 共 3 种标准。CAP 由 AT&T Paradyne 设计,而 DMT 由 Amati 通信公司发明。ANSI 标准 T1.413 是基于 DMT 的,DMT 已经成为国际标准,CAP 不受重视。DMT 和 G. Lite 两种标准各有所长,分别适用于不同的领域。DMT 支持 8Mbps/1.5Mbps 的高速下行/上行速率,但要求用户端安装 POTS(Plain Old Telephone Service)分离器,比较复杂;G. Lite 虽然速率较低,下行/上行速率为 1.5Mbps/512Kbps,但省去了复杂的 POTS 分离器。DMT 适用于小型或家庭办公室;G. Lite 可以像使用普通 Modem 一样,从商店购买用户终端设备(Customer Premises Equipment, CPE),而且安装也很简便,所以更适用于普通家庭用户。

1. CAP

CAP 是 AT&T Paradyne 的专有调制方式,是以 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)调制技术为基础发展而来的,是 QAM 技术的一个变种。其调制原理是输入数据被送入编码器,在编码器内, m 位输入比特被映射为 $k=2m$ 个不同的复数符号 $A_n = a_n + jb_n$,由 k 个不同的复数符号构成 k-CAP 线路编码。编码后 a_n 和 b_n 被分别送入同相正交数字整形滤波器,求和后送入 D/A 转换器,最后经低通滤波器发送。

CAP 用于 ADSL 的主要技术难点是要克服近端串音对信号的干扰,一般可通过使用近端串音抵消器或近端串音均衡器来解决这一问题。

2. DMT

DMT 将可用带宽划分为 256 个带宽各为 4kHz 的子信道,并将数据自适应地动态分配给每一个子信道,从而在约 1MHz 的可用带宽内实现超过 6Mbps 的数据率。DMT 用离散快速傅里叶变换创建这些子信道。

当两个 DMT 调制解调器连接时,它们根据线路的噪声和衰减,可自动避免工作在干扰较大的频段,以能够达到的最高速率进行传输。

与 CAP 方式相比,DMT 具有以下优点。

(1) 带宽利用率更高。DMT 技术可以自适应地调整各个子信道的比特率,可以达到比单频调制更高的信道速率。

(2) 可实现动态带宽分配。DMT 技术将上述 1MHz 的可用带宽分成多个子信道,并根据特定业务的带宽需求,灵活地选取子信道的数目,从而达到按需分配带宽的目的。

(3) 抗窄带噪声能力强。在 DMT 方式下,如果线路中出现窄带噪声干扰,可以直接关闭被窄带噪声覆盖的几个信道,从而降低噪声对传输系统的影响。

(4) 抗脉冲噪声能力强。根据傅里叶分析理论,频域中越窄的信号其时域延续时间越长。DMT 方式下各子信道的频带都非常窄,因而各子信道信号在时域中都是延续时间较长的信号,因而可以抵御短时脉冲的干扰。

DMT 也存在一些问题,比如 DMT 对某个子信道的比特率进行调整时,会在该子信道的频带上引起噪声,对相邻子信道产生干扰,而且实现起来比 CAP 要复杂。

3. G. Lite

G. Lite 标准(G.992.2)也称为消费者 ADSL(Consumer ADSL),G. Lite 的第一版工作文档是 1998 年 6 月公布的。ITU 在 1998 年底认可 G. Lite 的部分标准。1999 年 6 月,ITU 最终通过该标准。

G. Lite 是一个轻量级的相对较低速的 DSL 技术,在客户端不用安装 POTS 分离器,有

较高的性能价格比。G. Lite 标准是基于 ANSI 标准 T1.413(DMT)之上,并将 1.5Mbps 的下行速率和 384Kbps 的上行速率定为最大速率。在速率允许范围内,G. Lite 也具有速率自适应(Rate-Adaptive)功能。

目前市场上的 ADSL 产品大都支持 DMT 和 G. Lite 两种编码方式。

3.3.1.3 ADSL 原理简介

如图 3-13 所示,ADSL 调制解调器使用频分复用的方法,将用户线带宽划分成 3 个频段: 0~4kHz 用于传送传统电话信号,20~50kHz 用于传送上行数字信息,150~500kHz 或 140~1100kHz 则分别用于速率为 1.5Mbps 或 8Mbps 下行数字信息的传送。还有一种方案是使下行频段的低端与上行频段重叠,这样可使下行频段更宽,但这时必须使用回波抑制(Echo Cancellation,EC)技术(即当发送信号与接收信号使用相同频带时,发送信号的回波对接收信号产生干扰。通过估计回波值并将其与实际回波值相减从而减少回波干扰的方法)。ADSL 使用先进的 DSP 和压缩技术以获取较高速率。

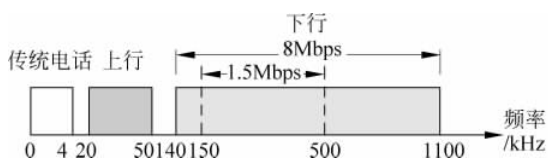


图 3-13 ADSL 调制解调器的频谱分布

3.3.1.4 ADSL 应用

ADSL 是一种接入技术,当用户访问 Internet 时,使用 ADSL 接入到电话端局后,再通过 ATM 网络连接到 Internet 服务提供者 ISP,以接入 Internet。

基于 ADSL 的接入网由三大部分组成: 位于局端的 DSL 接入复用器(DSL Access Multiplexer,DSLAM)、用户线、家庭用户和单位用户中的一些通信设施,如图 3-14 所示。

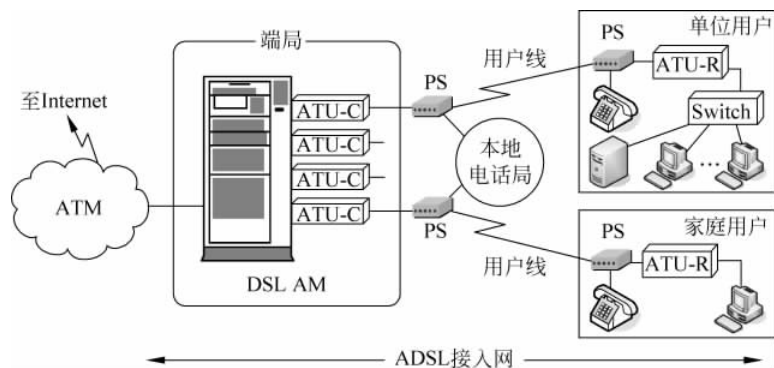


图 3-14 基于 ADSL 的接入网组成

DSLAM 集成多个 ADSL 调制解调器,ADSL 调制解调器又称为接入端接单元(Access Termination Unit,ATU)。因为 ATU 必须成对使用,故将在端局和用户家中使用的 ATU 分别记为 ATU-C(C 代表端局 Central Office)和 ATU-R(R 代表远端 Remote)。一个 DSLAM 可支持多达上千个用户,要求 DSLAM 必须具有很高的数据转发能力,且 ATU-C

要使用复杂的 DSP 技术,因此 DSLAM 的价格通常较高。

用户端的 ADSL Modem 有内置和外置之分,功能上有所不同。内置 ADSL Modem 功能简单,价格便宜,适合于家庭上网。外置 Modem 适合于单位使用,功能较强。除了普通的宽带上网应用外,有的 Modem 还具备路由功能,内置 RIP、NAT 等路由协议以及虚拟服务器功能。ADSL Modem 主要有电话线接口(RJ-11)和 LAN 接口(RJ-45)两种接口。

用户电话通过电话分路器 PS(POTS Splitter)和 ATU-R 连在一起,经用户线到端局,并再次经过一个电话分路器 PS 将电话连到本地电话局。PS 利用低通滤波器将电话信号与数字信号分开,为使停电不影响电话的使用,故 PS 无源。

为了满足不同用户的带宽需求,ISP 一般提供虚拟拨号(路由模式下的 PPPoE)和专线(静态 IP)两种方式,且将速率分成几个等级(主要是下行速率)提供给用户。

3.3.2 光纤同轴混合网

由于有线电视网(CATV)采用的同轴电缆的衰耗和温度特性的影响,在有线电视网上难以发展数字接入业务。1994 年 AT&T 提出光缆与同轴电缆混合网(Hybrid Fiber/Coaxial Cable,HFC)的概念,采用光缆将信号从有线电视的前端传送到服务小区,用光接收机将光信号转换成电信号后,再用同轴电缆传送到用户家庭。我国的有线电视网基本采用 HFC 结构,由于 HFC 网覆盖面广,通过 HFC 网提供接入服务是一个不错的选择。

3.3.2.1 HFC 网的特点

HFC 网对 CATV 网进行了改造,以实现数字接入业务。

HFC 的主要特点如下所述。

1. HFC 网的主干线路采用光纤传输介质

HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分改换为光纤,使用模拟光纤技术传输电视信号和数据。图 3-15 显示了 HFC 网的拓扑结构。模拟光纤从头端控制中心连接到光分配结点(Optical Distribution Node,ODN),一个 ODN 可连接 1~6 根同轴电缆。光信号在 ODN 被转换为电信号,并通过同轴电缆向下传送,从头端到用户家庭所需的放大器数目约为 4~5 个。采用这种网络结构后,提高了网络的可靠性和电视信号的质量。

2. HFC 网具有比 CATV 网更宽的频谱,且具有双向传输功能

CATV 网的最高传输频率是 450MHz,仅用于电视信号的单向广播。要在 HFC 网上开展多种业务,要求网络具备双向传输功能,因此线路放大器必须有双向放大能力。

HFC 网络的传输带宽受同轴电缆限制,最高约为 1000MHz,将其分割为上行、下行通道。根据下行通道的带宽,有高分割、中分割和低分割 3 种。为了不与现行模拟电视传输频道冲突,一般采用低分割的方式,即 5~40MHz 为上行通道,这比 ADSL 的上行信道要宽得多。上行信道还可进一步划分为几个子频段,分别用于电话通信、数据通信以及对整个 HFC 网的管理与监视。

目前 HFC 网的频带划分还没有统一的国际标准。国家广电总局有线电视研究所提出有线电视 HFC 网的带宽应在 5~1000MHz 之间,其中 5~65MHz 为上行通道,87~108MHz 和 108~550MHz 分别传输 FM 广播和模拟电视节目,每一通路的带宽为 6~8MHz,因而总共可以传输各种不同制式的电视信号 60~80 路。550~750MHz 为下行数字信道,750~1000MHz 用于未来可能出现的通信业务。图 3-16 给出上述频带划分示意图。

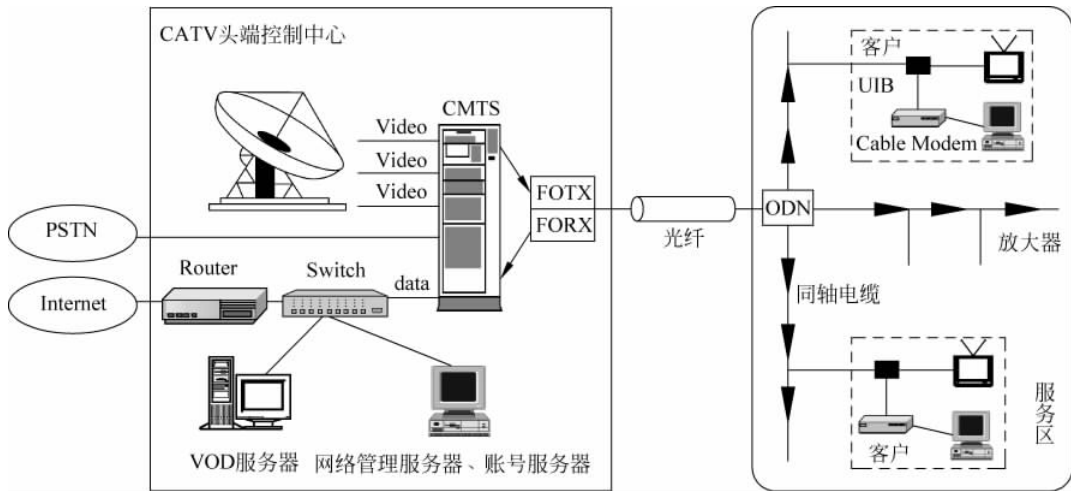


图 3-15 HFC 网的拓扑结构和功能框图



图 3-16 HFC 网频谱划分

3. 模拟信号和数字信号并存

目前电视信号仍以模拟信号为主,因此在 HFC 传送的信号中,模拟电视信号占有相当大的比重。数字信号目前主要在交互式通信中使用,如计算机数据传输和数字电话。今后在 HFC 网络上传输采用 64QAM 方式调制的数字电视信号的比重将逐步增加。

3.3.2.2 HFC 网的功能结构

HFC 网与 CATV 网相比有重大改进。HFC 网使用结点体系结构,特点是从头端到各个光纤分配结点(ODN)用模拟光纤连接,构成一个星形网,如图 3-15 所示。ODN 以下是同轴电缆组成的树形网,对应一个用户服务区。服务区内的所有用户形成一个用户群。

采用结点体系结构的好处是能够提高网络的可靠性。由于每一个用户群都独立于其他的用户群,因此某一个光纤结点或模拟光纤的故障不会影响其他的用户群,这也对整个网络可靠性的提高起了重要的作用。

一个完整的 HFC 网络功能结构图如图 3-15 所示。整个系统可分为 CATV 头端控制中心、光纤/同轴电缆传输部分、用户端三大部分。

1. CATV 头端控制中心

CATV 头端控制中心的主要设备之一是电缆调制解调器端接系统(Cable Modem Termination System,CMTS)。它包括信号分接、复接与接口转换,以及数据调制和解调等功能。对于下行通道,它将通信或图像数字信号及 CATV 模拟信号,按一定的频谱划分方案(如图 3-16 所示)进行射频(RF)调制,并通过光纤传输干线送至各光分配结点。对于上行通道,它接收来自用户端的数字及控制信号,经过处理后再分别送入电话交换机、VOD 服

务器或转交给通往 Internet 的路由器。

在 CMTS 的网络侧,有一些与网络连接有关的设备,如本地服务器、通向互连网的路由器、本地网络管理服务器、账号服务器等,应该指出这些设备的种类很多,名称可能也不一样,但作用应该大致相同。

在 CMTS 的射频侧,有数模混合器、分接器、光发射机(FOTX)和光接收机(FORX)等设备。

2. 光纤/同轴电缆传输部分

光纤/同轴电缆传输部分包括:

(1) 光纤传输干线。由于 HFC 光纤系统中的高动态范围的收发器和无源光器件均比同轴电缆系统价格高,因此光纤主要应用于干线网。

(2) 光分配结点(ODN)。ODN 从光纤干线接收来自头端的下行调制信号,并由线性放大器加以“混合”后通过同轴电缆分配网传至用户。ODN 同时还必须将来自用户的 RF 上行信号转换成光信号并回送给头端。

(3) 同轴电缆分配网。这一部分采用与 CATV 网相同的树形结构,但其覆盖范围则已大大扩展,可达 5~10km,因而仍需保留几个干线/桥接放大器。在此采用服务区概念,将一个大网分解为一个个物理上独立的基本相同的子网,每一个子网服务较少的用户。这样既可使用价格较低的上行通道设备,同时又允许各个子网采用同一套频谱安排而互不影响,实现最大的频谱复用。

3. 用户端

用户端包括用户引入线和用户设备。引入线将射频信号从分支器引入用户家中的用户接口盒(User Interface Box,UIB)。UIB 主要提供 3 种连接:使用同轴电缆连接到机顶盒(Set-Top Box),然后再连接到用户的电视机;使用双绞线连接到用户的电话机;使用线缆调制解调器连接到用户的计算机。

3.3.2.3 线缆调制解调器

线缆调制解调器(Cable Modem)的主要功能是将用户的上行数字信号调制到规定的上行 RF 范围,以及将经头端调制的下行射频信号中的数字信息解调出来。此外,Cable Modem 还提供标准的以太网接口,完成部分网桥、路由器、网卡和集线器的功能,因此,其结构比电话拨号调制解调器复杂得多。

Cable Modem 下行速率一般在 3~10Mbps 之间,最高可达 36Mbps,而上行速率一般为 0.2~2Mbps,最高可达 10Mbps。

Cable Modem 在物理层采用的下行调制方式主要有 QAM-64(Quadrature Amplitude Modulation,正交振幅调制)和 QAM-256,上行调制方式有 QPSK(Quaternary Phase Shift Keying,四相移相键控调制)和 QAM-16。由于上行频段(5~40MHz)容易受到各种噪音的干扰,而 QPSK 调制具有良好的抗干扰性能而被广泛应用。

Cable Modem 的 MAC 子层协议还必须解决上行信道中可能出现的冲突问题。产生冲突的原因是因为 HFC 网的上行信道(5~40MHz)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,这和以太网的信道争用是相似的。共享的用户越多,每个用户所能分配到的带宽就越小。

到目前为止,有许多组织或机构都在参与 Cable Modem 标准的制定。其中有两个组织

制订的 Cable Modem 标准获得较多的应用。它们是：

(1) IEEE 802.14 委员会。主要制订 CATV 网的物理层和 MAC 子层的标准,目前推出 IEEE 802.14 标准,下行调制使用 QAM-64,上行调制使用 QPSK 和 QAM-16。

(2) MCNS(Multimedia Cable Network System) 伙伴公司。主要制订 HFC 网的物理层和 MAC 子层以及安全协议的标准,其 J.112 标准已被 ITU 批准,下行调制使用 QAM-64 和 QAM-256,上行调制使用 QPSK 和 QAM-16。

Cable Modem 存在的问题是,采用模拟技术的 HFC 不符合“数字化”的大方向。此外,将现有的 450MHz 单向传输的 CATV 网改造为 750MHz 双向传输的 HFC 网需要相当大的资金和较长的时间。

3.3.3 FTTx 接入方式

3.3.3.1 FTTx 概述

FTTx 是一种先进的实现居民宽带接入的方案, x 表示不同的方案。

采用光纤传输技术的光接入网(OAN),指的是本地交换机或远端模块与用户之间采用光纤通信或部分采用光纤通信的系统。目前在骨干网和城域网中已广泛应用光纤通信,随着技术进步,光纤接入网将成为发展的重点,光纤到户(Fiber To The Home, FTTH)是今后发展的重要方向。

虽然 FTTH 是居民接入网的最终解决方案,但在相当长时间内,将光纤铺设到家庭的时机还不成熟。原因在于,用户需承担较昂贵的光纤到户的建设费用和运行费用。此外,目前多数用户对如此大的带宽并无迫切需求,而且 ISP 所能提供的信息类型也有限,并非必须使用光纤才行。目前,FTTH 在部分国家和地区已有应用。使用的技术主要有 3 种:波分复用光纤到户技术、无源光网络光纤到户技术和点对点光纤到户技术,速率可达 155Mbps。

光纤到大楼(Fiber To The Building, FTTB)和光纤到路边(Fiber To The Curb, FTTC)都是目前应用较广的光纤接入方式,光信号进入大楼内或到路边后就转换为电信号,然后用电缆或双绞线分配到各用户。这两种方案均可支持大中型企业、商业或大公司以及居民家庭的高速率宽带业务需求。和 FTTH 相比,由于多个公司或用户分担费用,且可利用现有的电缆系统,故比较经济,将来也比较容易转换为 FTTH。

FTTx 还有许多其他种类。如光纤到办公室 FTTO(Office),光纤到邻里 FTTN(Neighbour),光纤到门户 FTTD(Door),光纤到楼层 FTTF(Floor),光纤到小区 FTTZ(Zone)等,它们之间的区别在于光纤介质延伸到的位置不同,从技术上讲各种方式没有太大区别。

3.3.3.2 FTTx 应用

各网络运营商分别推出了 FTTx 和其他接入方式相结合的用户入网方式。当采用 FTTZ 时,可根据小区的地理位置、通信条件,选择采用 FTTZ+ADSL+LAN、FTTZ+HFC、FTTZ+LAN 等方式之一。图 3-17 显示了一个采用 FTTZ+LAN 组建住宅小区信息网的结构图。

在 FTTZ+LAN 模式下,利用多业务接入单元对上可通过千兆以太网 GE 接口接入 IP 城域网,对下通过 100Mbps 接口连接 LAN Switch 到达小区的楼宇,再经 10Mbps 以太网

口向用户提供宽带业务,并可同时满足各种智能化信息管理的需求。图中的 STB(Set-Top-Box)表示机顶盒, IDT(Intelligent Data Terminal)表示智能数字终端设备。

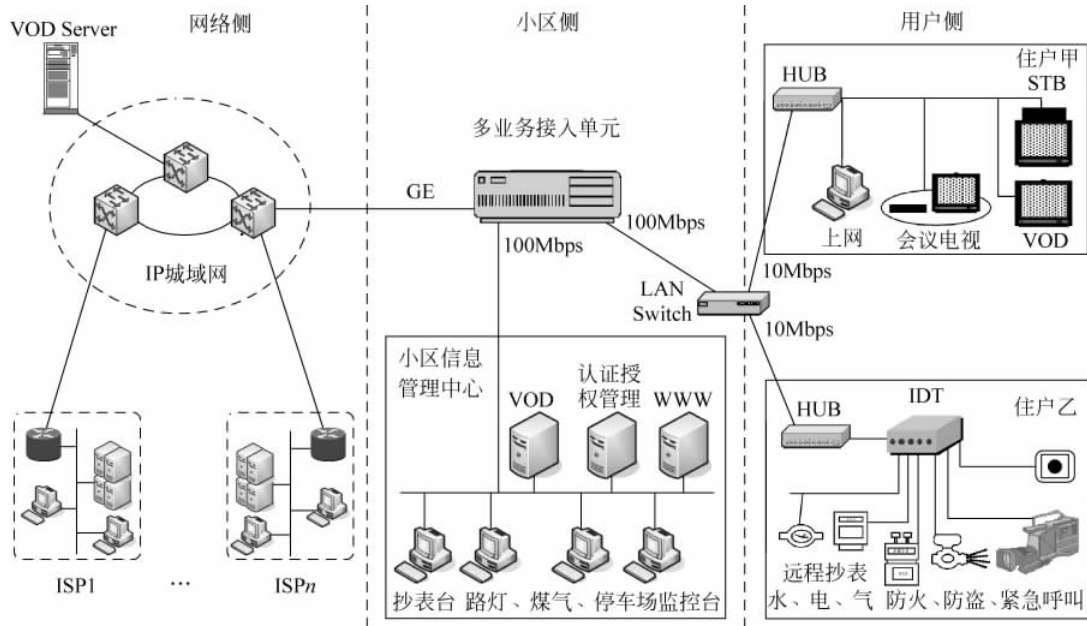


图 3-17 采用 HTTZ+LAN 方式组建小区信息网的结构图

3.4 本章小结

数据传输的任务是将表示消息(或数据)的信号从发送方(信源)传递到接收方(信宿)。数据传输系统通常由信源、信源编码器、信道编码器、发送端信号变换器、信道、接收端信号变换器、信道译码器、信源译码器、信宿、噪声源以及发送端和接收端的时钟同步组成。

两个或多个系统之间进行数据传输时所需的物理介质、硬件和软件构成物理链路。

在信道中直接传送基带信号时,称为基带传输。传输中,有两个问题需要解决:一是如何将数字信号用电信号的波形表示出来(编码);二是发送脉冲与信道的关系。

对数字信号编码方式的评价可以从脉冲的宽度、占用的频带宽度、直流分量成分和自同步能力四个方面综合考虑。

穿越传输介质(媒体)的通信以电磁波的形式实现,根据电磁波在媒体中传输的情况,可将媒体分为制导和非制导的。双绞线、同轴电缆和光纤是制导型传输媒体。

信道的极限信息传输速率可表示为(香农公式)

$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ (bps)}$$

其中, W 是以 Hz 为单位的信道带宽, S 为信道内所传信号的平均功率, N 为信道内的高斯噪声功率。 S/N 称为信噪比,因为通常需要在接收机所在位置处理信号并排除有关的噪声,所以在接收端对 S/N 进行测量。

传送计算机数据最合适的是数字信道。当前传输干线已实现数字化,但是还有大量使用双绞线的用户,因而模拟传输与数字传输将长期并存。

将基带数字信号的频谱变换为适合于在模拟信道中传输的频谱称为调制,用数字信号对载波的幅度、频率或相位进行调制,就可以得到不同的调制波。相反的变换称为解调。既具有调制功能又具有解调功能的设备称为调制解调器。

SONET 和 SDH 已经成为数据传输体制的国际标准,采用 SONET 和 SDH 标准的数据传输网络能承载来自各种业务的数据。

许多物理层协议制定于 OSI 模型公布之前,因此没有像 OSI 那样将服务与协议区分开。显然不便使用 OSI 的术语介绍 OSI 模型公布之前制定的物理层协议,只能将物理层实现的主要功能描述为 DTE 和 DCE 之间的接口特性,这就是通常所谓物理层标准的含义。

DTE/DCE 接口具有以下 4 方面的特性:机械特性、电气特性、功能特性和规程特性。

ADSL 是非对称数字用户线,它是 x DSL 技术中的一个子集。ADSL 也是利用数字编码技术,在现有铜质电话线上使用话音传输以外的频率传输数据,因而不干扰在同一条线上进行的常规电话话音服务。

光缆与同轴电缆混合网(HFC),采用光缆将信号从有线电视的前端传送到服务小区,用光接收机将光信号转换成电信号后,再用同轴电缆传送到用户家庭。我国的有线电视网基本采用 HFC 结构,由于 HFC 网覆盖面广,通过 HFC 网提供接入服务是一个不错的选择。

FTTx 是一种先进的实现居民宽带接入的方案, x 表示不同的方案。采用光纤传输技术的光接入网(OAN),指的是本地交换机或远端模块与用户之间采用光纤通信或部分采用光纤通信的系统。目前在骨干网和城域网中已广泛应用光纤通信,随着技术进步,光纤接入网将成为发展的重点,光纤到户(FTTH)是今后发展的重要方向。

习 题 3

1. 物理层的接口有哪几个方面的特性?各包含些什么内容?
2. 将 1000MB 的数据从成都传送到北京,既可以将数据写到磁盘上,通过特快专递(设需 24 小时)传递,也可以用计算机通过长途电话线(设信息传送的速率是 9.6Kbps)发送。试比较这两种方法的优劣。若信息传送速率为 33.6Kbps,其结果又如何?
3. 在光纤通信中常用的 3 个波段的中心分别位于 $0.85\mu\text{m}$ 、 $1.30\mu\text{m}$ 和 $1.55\mu\text{m}$ 。所有这 3 个波段都具有 25 000GHz 的带宽,因此光纤的通信容量非常大。以一路电话占用 4kHz 带宽计,一根光纤(只用一个波段)可承载多少路电话信号?
4. 若一个电话公司有 1000 万个用户,每部电话都通过铜双绞线连接到中心局,这些双绞线的平均长度是 10km。问本地回路的铜价值是多少?此答案具有的经济、技术意义是什么?(假定铜双绞线的直径为 1mm,铜的密度为 $9.0\text{g}/\text{cm}^3$,铜的价格是 30 元/kg。)
5. 在不考虑信道误码率影响的情况下,分别计算以下两种情况的报文传送时延(发送时间+电磁信号的传播时间)。设数据块的长度为 5000b,广域网的跨距为 6000km,链路速率为 9.6Kbps,卫星信道的速率为 5Mbps。
6. 一条光线由光密媒质射向光疏媒质,临界角为 60° ,画出以下几种情况下光线通过这两种媒质的路径,即入射角分别为 40° 、 50° 、 60° 、 70° 、 80° 。
7. 现有的电话线路中音频使用的有效频谱在 300~3400Hz 之间,带宽只有 3.1kHz 左右,通常情况下信噪比约为 30dB,在这样的信道上可以传送的最高信息速率为多少?

8. 一个信噪比为 20dB, 3100Hz 宽的信道, 用于发送二进制信号, 求其最大信息传输速率。
9. 某信道带宽为 6MHz, 为获得 3Mbps 的信息传输速率, 信噪比至少应为多大?
10. 画出图 3-18 中数据的曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码(假定信号开始前的状态为高电平)。

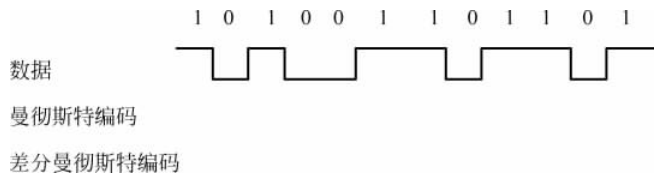


图 3-18 数据及其曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码

11. 请举例说明信息、数据与信号之间的关系。
12. 请说明串行通信与并行通信的区别。
13. 请说明单工通信、半双工通信与全双工通信的区别。
14. 通过比较说明双绞线、同轴电缆与光纤等 3 种常用传输介质的特点。
15. 数据传输速率的定义是什么? 如果在信道上发送 1b 二进制信号所需时间为 0.05ms, 那么通信信道的数据传输速率为多少?
16. 电视频道的带宽是 6MHz。如果使用 4 级数字信号, 则每秒钟可以发送多少位? 假设电视频道为无噪声信道。
17. 如果在一条 3kHz 的信道上发送一个二进制信号, 该信道的信噪比为 20dB, 则最大可达到的数据传输速率为多少?
18. 在 $1\mu\text{m}$ 的波长上, 在 $0.1\mu\text{m}$ 的频段中有多少带宽?
19. 在光纤上发送一系列计算机屏幕图像, 屏幕的分辨率为 480 像素 \times 640 像素, 每个像素为 24 位, 每秒钟有 60 幅屏幕图像。请问: 需要多大带宽(假设 1bps/Hz)? 在 $1.30\mu\text{m}$ 波长上, 这段带宽需要多少 μm 的频段?
20. 设信道带宽为 4kHz, 采用四进制调制技术, 根据奈奎斯特定理, 理想信道的信息传输速率为多少?
21. 在光纤通信中, OC-3 的数据速率是多少 Mbps?
22. 当无线电天线的直径等于无线电波长的时候, 天线通常工作得最好。常见的天线直径范围为 1~5m, 请问这将覆盖多大的频率范围?
23. 请问单线铁路是单工系统、半双工系统? 还是全双工系统? 或者三者都不是?

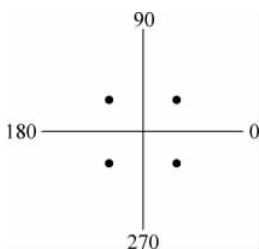


图 3-19 调制解调器星座图

24. 一个类似于图 3-19 的调制解调器星座图有以下几个坐标点: (1,1)、(1,-1)、(-1,1) 和 (-1,-1), 请问一个具备这些参数的调制解调器在 1200 波特上可以达到多少 bps?
25. 一个类似于图 3-19 的调制解调器星座图有两个坐标点 (0,1) 和 (0,2), 请问调制解调器使用相位调制还是振幅调制?
26. 在一个星座图中, 所有的点都位于一个以原点为中心的圆上, 请问它使用了哪种调制方案?
27. 一个全双工的 QAM-64 调制解调器使用了多少频率?

28. 如图 3-20 所示,一个使用 DMT(Discrete Multi-Tone,离散多音)的 ADSL 系统将 3/4 可用信道都分配给下行链路了。在每条信道上它使用 QAM-64 调制方法,请问下行链路的容量是多少?

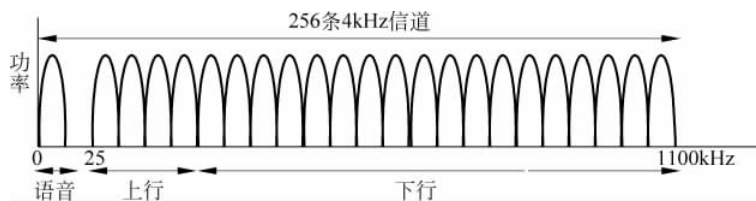


图 3-20 使用 DMT 的 ADSL 频谱划分方案

29. 有 10 个信号,每个都需占用 4000Hz 带宽,现在用 FDM 将它们复用一条信道上。假设防护频段为 400Hz 宽,对于被复用的信道,最小要求多少带宽?

30. 一个有线电视公司决定在一个包含 5000 户家庭的区域内提供 Internet 访问服务。该公司使用一根同轴电缆,它的频谱分配方案允许每根电缆有 100Mbps 的下行带宽。为了吸引顾客,该公司决定,保证每户家庭在任何时候都至少有 2Mbps 的下行带宽。请描述一下该公司需要采取什么措施才能提供这样的保证。

31. 利用图 3-16 中显示的频谱分配方案,计算一下,一个有线电视系统分配给上行数据信道(调制方式 QPSK)多少 Mbps? 给下行数据信道(调制方式 QAM-64)多少 Mbps?

32. 在 HFC 网中,线缆调制解调器(Cable Modem)的作用是什么?

33. 一个客户-服务器系统使用了卫星网络,卫星的高度为 40 000km。在对一个请求进行响应的时候,最佳情形下的延迟时间是多少?

34. 一幅图像的分辨率为 1024 像素×768 像素,每个像素用 3 个字节来表示。假设该图像没有被压缩。请问,通过 56Kbps 的调制解调器信道来传输这幅图像需要多长时间? 通过 1Mbps 的电缆调制解调器呢? 通过 10Mbps 的以太网呢? 用过 100Mbps 的以太网呢?

35. 一条 100km 的电缆运行在 T1 数据速率上,电缆的传输速度是真空中光速的 2/3,请问电缆中可以容纳多少位?

实验 3

实验 3.1 超级终端 Hyper Terminal 的使用

1. 实验目的

- (1) 学习超级终端 Hyper Terminal 的使用方法,参数设置。
- (2) 使用超级终端传送按键信息、文件。

2. 实验设备及实验条件

- (1) PC 2 台(需有串行口或 USB 转串行口线)。
- (2) DB9 接口的串行口交叉线 1 条。

3. 实验内容

- (1) 超级终端的参数设置。

(2) 使用超级终端传送按键信息、文件。

4. 实验方法

详见本书电子版教学资源。

实验 3.2 双绞线制作与测试

1. 实验目的

- (1) 了解认识计算机网络中常用的传输介质双绞线。
- (2) 了解双绞线的制作标准、线序,掌握双绞线的制作过程及应用。
- (3) 学习双绞线连通性测试方法。

2. 实验材料与设备

双绞线(网线)、RJ-45 水晶头、压线钳、网线测试仪、计算机。

3. 实验内容

- (1) 认识双绞线、RJ-45 水晶头、压线钳、网线测试仪。
- (2) 双绞线压制。
- (3) 双绞线连通性测试。

4. 实验方法

详见本书电子版教学资源。

实验 3.3 计算机 RS-232 通信 C 语言编程

1. 实验目的

- (1) 理解计算机 RS-232 串行通信的原理。
- (2) 了解 RS-232 串行通信的参数设置及参数的含义。

2. 实验设备及实验条件

- (1) PC 2 台(有串行口,Windows XP 系统),DB9 接口的串行口交叉线 1 条。
- (2) Turbo C 3.0,串口调试软件 SSCOM 4.2。

3. 实验内容

- (1) 串行口通信的 C 语言编程实现。
- (2) 串行口通信的参数设置、测试。

4. 实验方法

详见本书电子版教学资源。

推荐阅读

[1] <http://www.fsxunlian.com/xdsl.html>(该网站有多种计算机网络常用介质线缆图片及技术参数)