计算机网络

第2章 物理层

第2章物理层

- 2.1 物理层的基本概念
 - (2.2 数据通信的基础知识)
 - 2.2.1 数据通信系统的模型
 - 2.2.2 有关信道的几个基本概念
 - 2.2.3 信道的极限容量
 - 2.2.4 信道的极限信息传输速率
- 2.3 物理层下面的传输媒体
 - 2.3.1 导向传输媒体
 - 2.3.2 非导向传输媒体

第2章物理层(续)

- 2.4 信道复用技术
 - 2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用
 - 2.4.2 波分复用
 - 2.4.3 码分复用
- 2.5 数字传输系统
- 2.6 宽带接入技术
 - 2.6.1 xDSL技术
 - 2.6.2 光纤同轴混合网(HFC 网)
 - 2.6.3 FTTx 技术

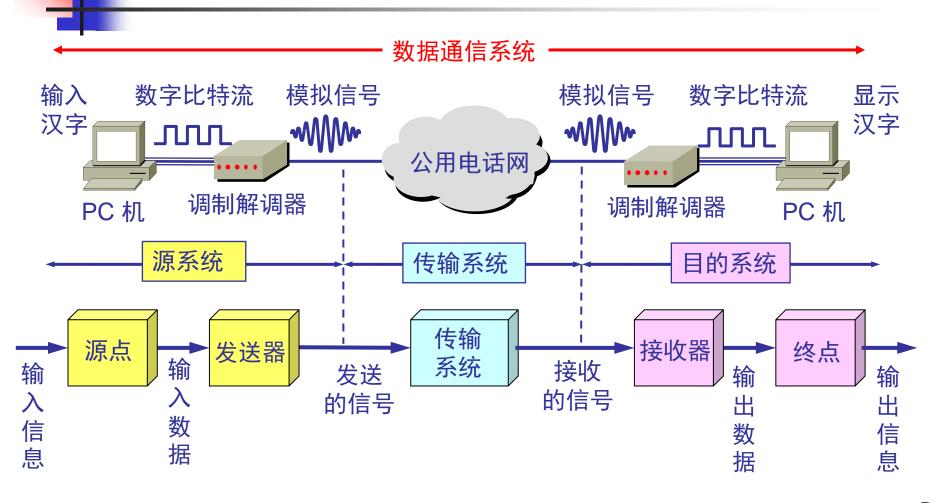
2.1 物理层的基本概念

物理层位于传输媒体(传输介质)之上,它的作用是尽量 屏蔽具体物理设备或传输媒体的<mark>差异</mark>,为上层(数据链路层) 提供统一的服务。

因此,物理层的主要任务是确定与传输媒体的接口的一些 特性,即:

- 机械特性 指明采用的连接器的几何尺寸、插件的引脚及分布位置。
- 电气特性 指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。
- 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。
- 过程特性 指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

2.2 数据通信的基础知识2.2.1 数据通信系统的模型





几个术语

- 数据(data)——运送消息的实体。
- 信号(signal)——数据的电气的或电磁的表现。
- "模拟的" (analogous)——代表消息的参数的取值是连续的。
- "数字的" (digital)——代表消息的参数的取值是离散的。
- 码元(code)——在使用时间域(或简称为时域)的波形表示数字信号时,代表不同离散数值的基本波形。

2.2.2 有关信号的几个基本概念

- 单向通信(单工通信)——只能有一个方向的通信而没有反方向的交互。
- 双向交替通信(半双工通信)——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)。
- 双向同时通信(全双工通信)——通信的双方可以同时发送和接收信息。



基带(baseband)信号和 带通(band pass)信号

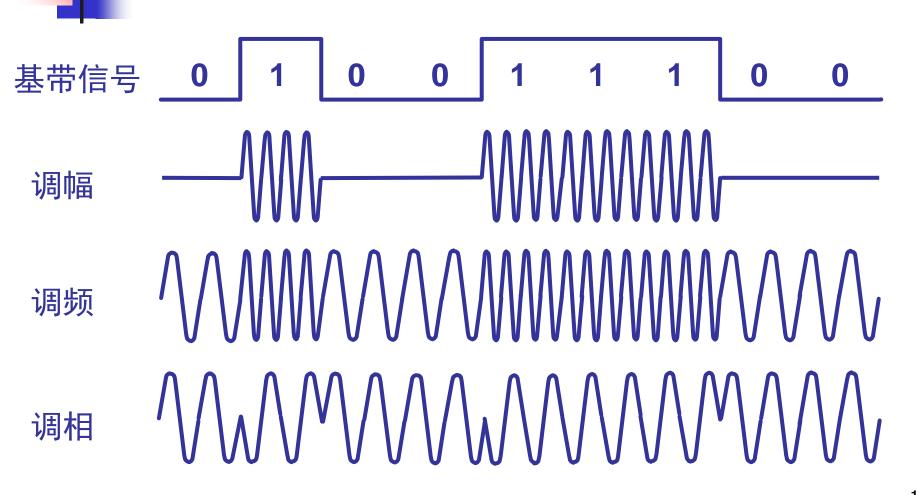
- 基带信号(即基本频带信号)——来自信源的信号。像计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。
- 带通信号——把基带信号经过载波调制后,把信号的频率范围搬移到较高的频段以便在信道中传输(即仅在一段频率范围内能够通过信道)。



几种最基本的调制方法

- 基带信号往往包含有较多的低频成分,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,就必须对基带信号进行调制(modulation)。
- 最基本的二元制调制方法有以下几种:
 - 调幅(AM): 载波的振幅随基带数字信号而变化。
 - 调频(FM): 载波的频率随基带数字信号而变化。
 - 调相(PM): 载波的初始相位随基带数字信号而变化。

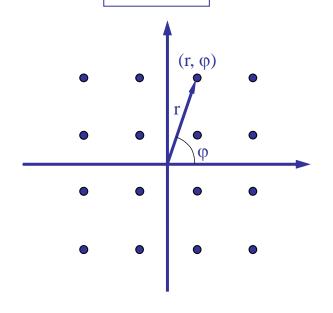
对基带数字信号的几种调制方法



正交振幅调制 QAM

(Quadrature Amplitude Modulation)

举例



- 可供选择的相位有 12 种, 而对于每一种相位有 1 或 2 种振幅可供选择。
- 由于4 bit 编码共有16 种不同的组合,因此这 16 个点中的每个点可对应于一种 4 bit 的编码。
- 若每一个码元可表示的比特数越多,则在接收端进行 解调时要正确识别每一种状态就越困难。



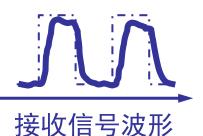
2.2.3 信道的极限容量

- 任何实际的信道都不是理想的,在传输信号时会 产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的速率越高,或信号传输的距离越远, 在信道的输出端的波形的失真就越严重。

数字信号通过实际的信道

■ 有失真,但可识别





■ 失真大,无法识别



实际的信道 (带宽受限、有噪声、干扰和失真)



接收信号波形



(1) 信道能够通过的频率范围

- 1924 年,奈奎斯特(Nyquist)就推导出了著名的奈氏准则。他给出了在假定的理想条件下,为了避免码间串扰,码元的传输速率的上限值。
- 在任何信道中,码元传输的速率是有上限的, 否则就会出现码间串扰的问题,使接收端对码 元的判决(即识别)成为不可能。
- 如果信道的频带越宽,也就是能够通过的信号 高频分量越多,那么就可以用更高的速率传送 码元而不出现码间串扰。



(2) 信噪比

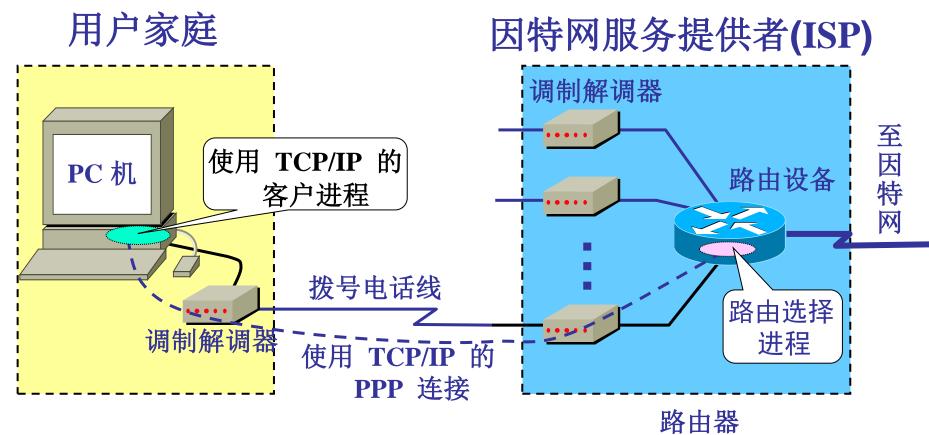
- 香农(Shannon)用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限、无差错的信息传输速率。
- 信道的极限信息传输速率 C 可表达为
- $C = W \log_2(1 + S/N)$ b/s
 - W为信道的带宽(以Hz为单位);
 - S 为信道内所传信号的平均功率;
 - N 为信道内部的高斯噪声功率。



香农公式表明

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大,则信息的 极限传输速率就越高。
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率,就一定可以找到某种办法来实现无差错的 传输。
- 若信道带宽 W或信噪比 S/N 没有上限(当然实际信道不可能是这样的),则信道的极限信息 传输速率 C 也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。







2.3 物理层下面的传输媒体

- 传输媒体又称为传输介质、传输媒介。
- 分为两大类:
 - ■导向传输媒体
 - ■非导向传输媒体



2.3.1 导向传输媒体

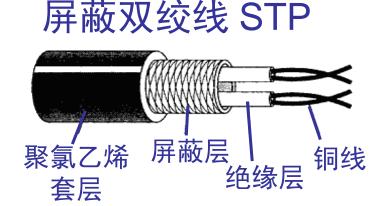
- 双绞线
 - 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair)
 - 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair)
- 同轴电缆
 - 50Ω 同轴电缆
 - 75Ω 同轴电缆
- ■光缆



(1)双绞线

- 两根相互绝缘的铜导线并排放在一起,按照规则方法绞合,减少对相邻导线的电磁干扰。
- 数字传输时,若传输速率几兆比特,传输距离可达几公里。
- 因此,应用十分广泛几乎所有的电话都采用双绞线连接至交换机。

无屏蔽双绞线 UTP 聚氯乙烯 绝缘层 铜线 套层



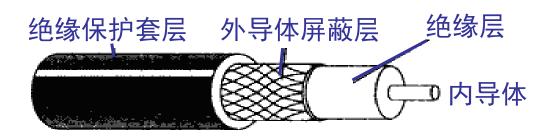


常用双绞线的类别

双绞线	带宽	典型应用
类别		
3	16 MHz	低速网络; 模拟电话
4	20 MHz	16Mbps令牌环局域网;短距离的10BASE-T以 太网
5	100 MHz	10BASE-T以太网;某些100BASE-T快速以太网
5E(超5类)	100 MHz	100BASE-T快速以太网;某些1000BASE-T千 兆以太网
6	250 MHz	1000BASE-T千兆以太网;ATM网络
7	600 MHz	屏蔽双绞线,可能用于今后的万兆以太网 2

(2) 同轴电缆

- 同轴电缆比双绞线有更好的抗干扰性能,可传输更长的距离(>100km),广泛应用于高速率数据传输,如有线电视或某些局域网。
- 两种广泛使用的同轴电缆
 - 50 Ω 同轴电缆:基带数字传输,主要用于局域以太网
 - 75 Ω 同轴电缆: 宽带模拟传输,主要用于有线电视



(3) 光纤

光纤(光导纤维)是一种直径为8μm~100μm的柔软、能传导光波的介质,多种玻璃和塑料可以用来制造光纤,其中使用超高纯度石英玻璃纤维制作的光纤可以得到最低的传输损耗。

◆ 在折射率较高的单根光纤外面,用折射率较低的包层包裹起来,就可以构成一条光纤通道;多条光纤组成一束,就构成

一条光缆。

四

芯

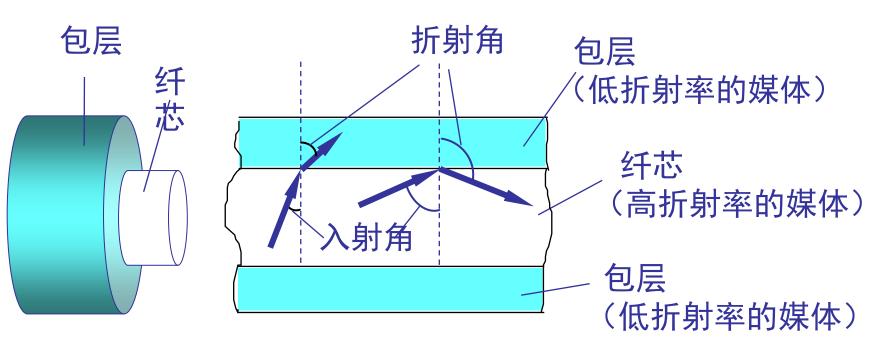
光

缆

外护套 远供电源线 光纤及其包层 填充物 加强芯 包带层

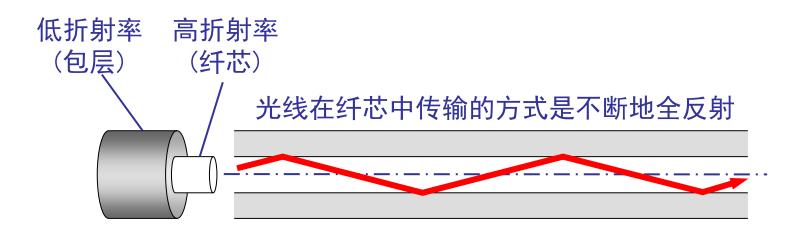


光线在光纤中的折射





光纤的工作原理





- 按光纤传输模式的不同,可以分为:
 - (1) 单模光纤(直径8μm~10μm)
 - (2) 多模光纤(通常为50µm或62.5µm)
- 只要从纤芯中射到纤芯表面的光线的入射角大于临界角, 就可产生全反射。因此,可以存在许多条不同角度入射 的光线在一条光纤中传输。这种光纤就称为多模光纤。
- 若光纤的直径减小到只有一个光的波长,它可使光线一直向前传播,而不会产生多次反射。这样的光纤就称为单模光纤。

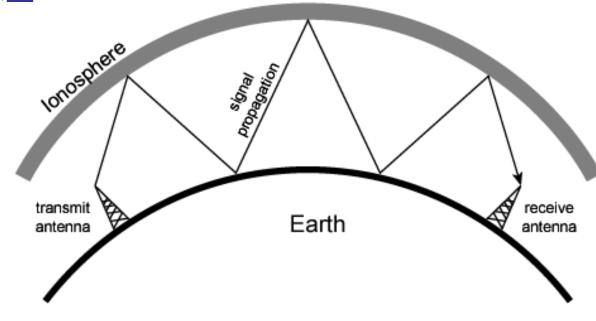


多模光纤与单模光纤



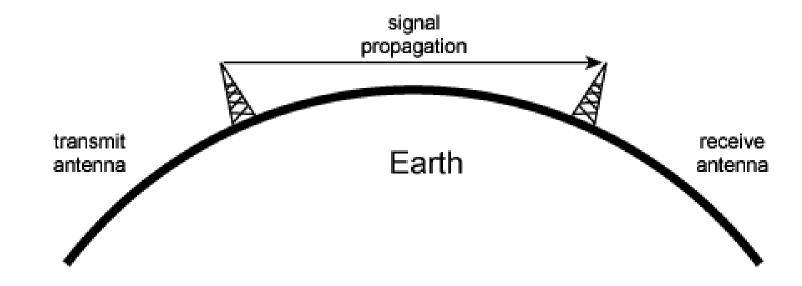


- 无线传输所使用的频段很广。
- 短波通信主要是靠电离层的反射,但短波信道的通信质量较差。

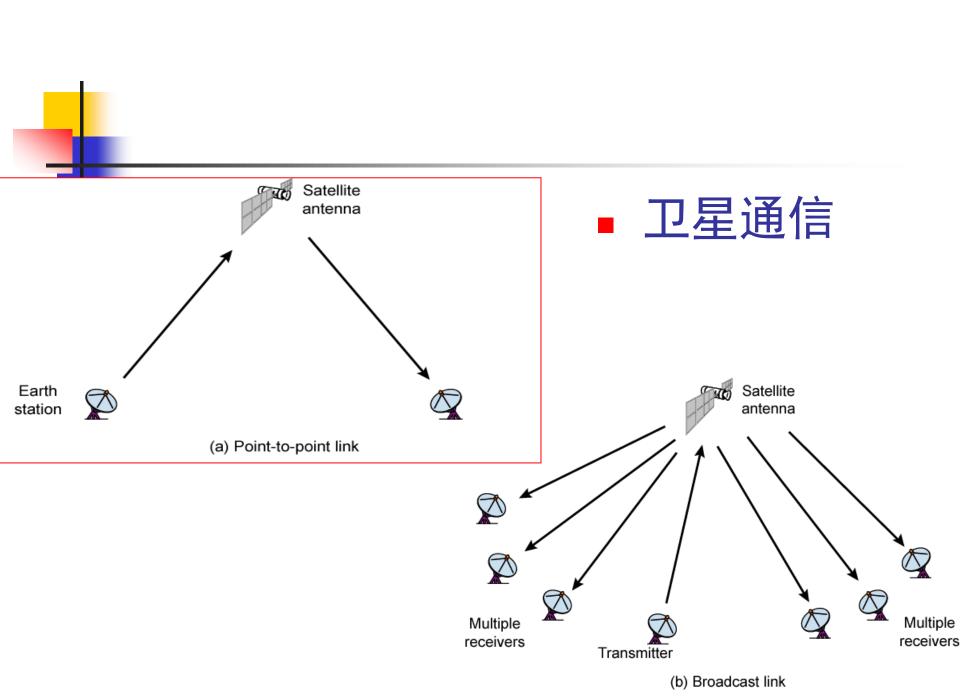




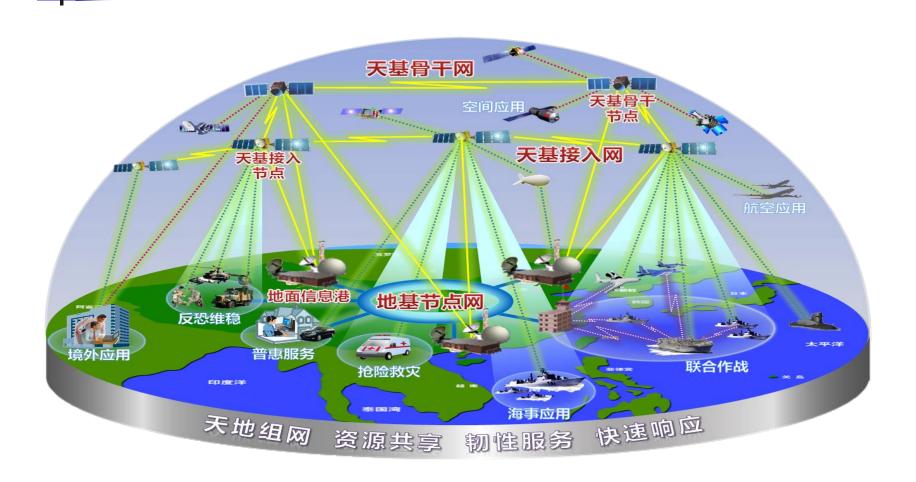
- 微波在空间主要是直线传播(视距)。
 - 地面微波接力通信



(c) Line-of-sight (LOS) propagation (above 30 MHz)



天地一体化信息网络





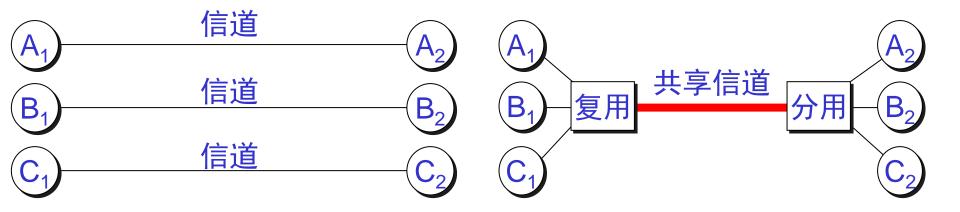
■ 其他非导向媒体:

■ 红外、毫米波、激光通信、近距离通信等

2.4 信道复用技术

2.4.1 频分复用、时分复用和统计时分复用

■ 复用(multiplexing)是通信技术中的基本概念。



(a) 不使用复用技术

(b) 使用复用技术

频分复用 FDM (Frequency Division Multiplexing)

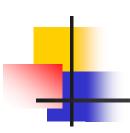
- 用户在分配到一定的频带后,在通信过程中自始至终都占用 这个频带。
- 频分复用的所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源(请注意,这里的"带宽"是频率带宽而不是数据的发送速率)。

频率↓

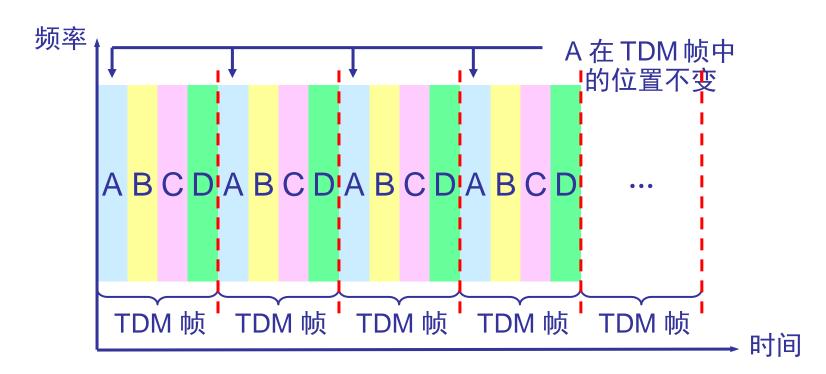
频率 5
频率 4
频率 3
频率 2
频率 1



- 时分复用则是将时间划分为一段段等长的时分复用帧(TDM 帧)。每一个时分复用的用户在每一个TDM 帧中占用固定序号的时隙。
- 每一个用户所占用的时隙是周期性地出现(其周期就是 TDM 帧的长度)。
- TDM 信号也称为等时(isochronous)信号。
- 时分复用的所有用户是在不同的时间占用同样的 频带宽度。

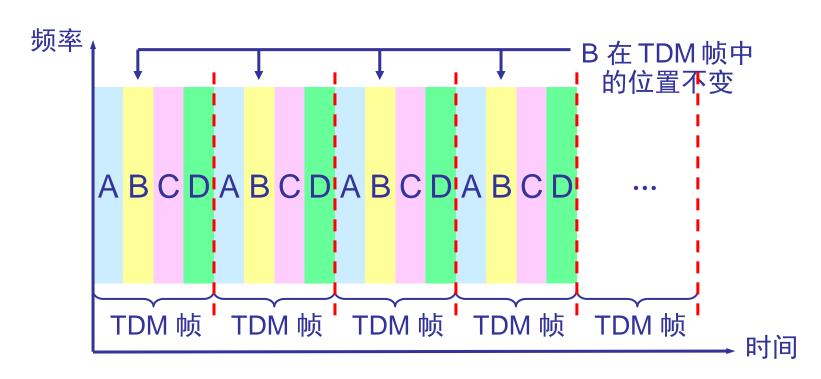


时分复用





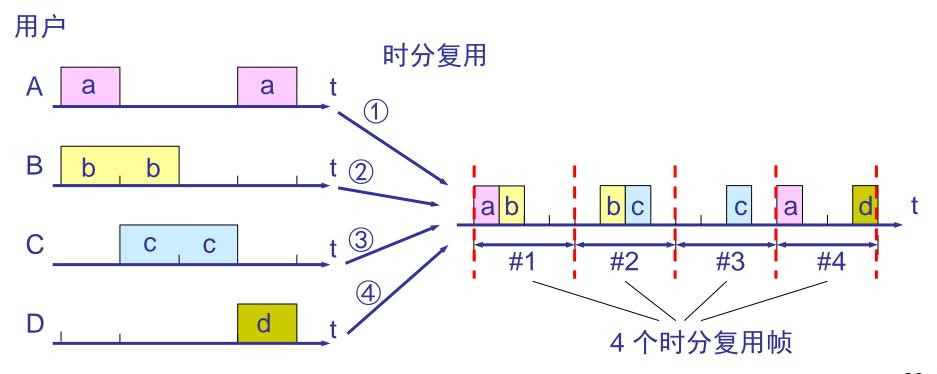
时分复用



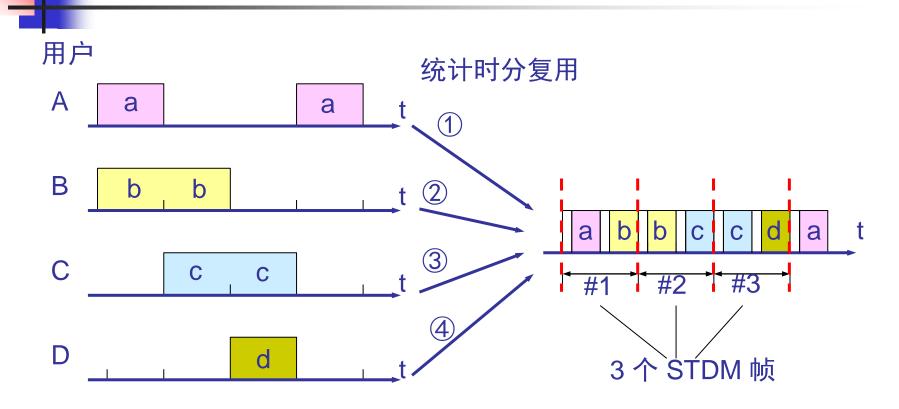


时分复用可能会造成 线路资源的浪费

使用时分复用系统传送计算机数据时,由于计算机数据 的突发性质,用户对分配到的子信道的利用率一般是不高的。



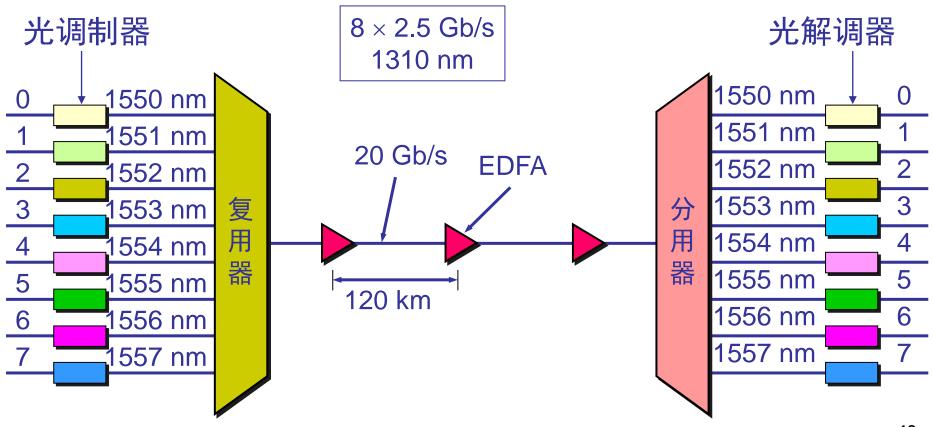
统计(Statistic)时分复用 STDM



■ 统计时分复用,又称异步时分复用,数据存入缓存,再将缓存中的数据放入STDM帧,帧填满就发出去。动态分配时隙,提高线路利用率。

2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

■ 波分复用就是光的频分复用。





■ 在一根光纤上复用80路或更多路的光载 波信号称为密集波分复用DWDM;



- 常用的名词是码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)。
- 各用户使用经过特殊挑选的不同码型,因此彼此不会造成干扰。
- 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力,其频谱类似于白噪声,不易被敌人发现。
- 每一个比特时间划分为 *m* 个短的间隔,称为码片 (chip)。

码片序列(chip sequence)

- 每个站被指派一个唯一的 m bit 码片序列。
 - 如发送比特 1,则发送自己的 *m* bit 码片序列。
 - 如发送比特 0,则发送该码片序列的二进制反码。
- 例如, S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。
 - 发送比特 1 时,就发送序列 00011011,
 - 发送比特 0 时, 就发送序列 11100100。
- S 站的码片序列: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1)



CDMA 的重要特点

- 每个站分配的码片序列不仅必须各不相同, 并且还必须互相正交(orthogonal)。
- 在实用的系统中是使用伪随机码序列。



- 令向量 S 表示站 S 的码片向量,令 T 表示 其他任何站的码片向量。
- 两个不同站的码片序列正交,就是向量 S 和 T 的规格化内积(inner product)都是 0:

$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} S_i T_i = 0 \tag{2-3}$$



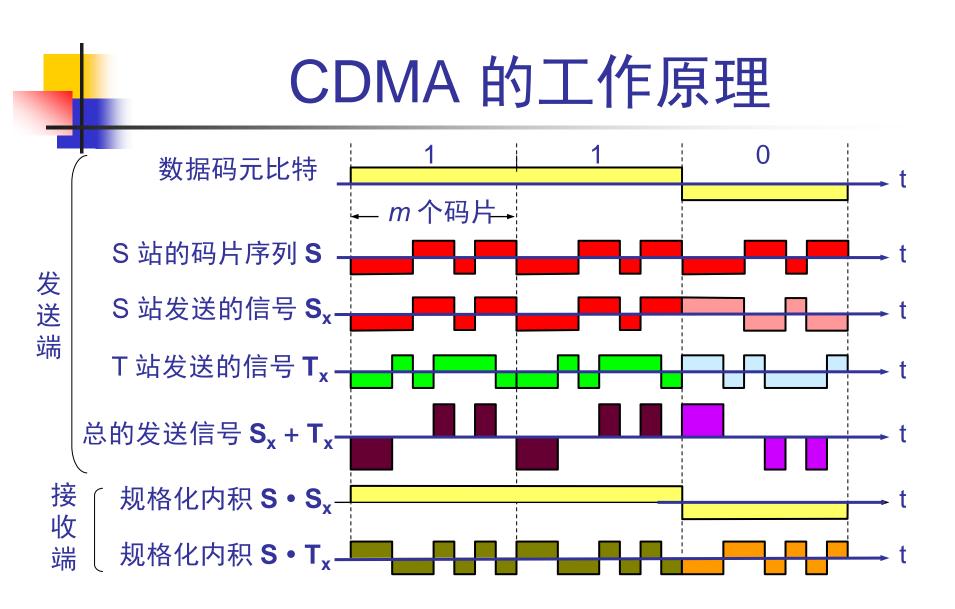
- 令向量 S 为(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1),向量 T 为(-1 -1 +1 -1 +1 +1 -1)。
- 把向量 S 和 T 的各分量值代入(2-3)式就可看 出这两个码片序列是正交的。



■ 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格 化内积都是1。

$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{S} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} (\pm 1)^2 = 1$$

■ 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化 内积值是 –1。





- 当S站发送比特1时,在接收端计算内积的结果 是十1;
- 当S站发送比特0时,在接收站计算内积的结果 是一1;
- 当S站没有发送数据时,在接收站计算内积的 结果是0。

例:共有4个站进行码分多址CDMA通信。4个站的码片序列为:

```
A: (-1 - 1 - 1 + 1 + 1 - 1 + 1 + 1)
```

B:
$$(-1-1+1-1+1+1+1-1)$$

C:
$$(-1+1-1+1+1+1-1-1)$$

D:
$$(-1+1-1-1-1-1+1-1)$$

问哪个站发送数据了?发送数据的站发送的1还是0?



补充

- 一般来说,同步时分复用、频分复用、码分复用用于电路交换
- 统计时分复用用于分组交换
- 空间复用实际上是多个独立信道,空分交换也 是多个不同信道间的交换

同步通信和异步通信

- 数据通信可分为同步通信和异步通信两大类:
 - 同步通信要求接收端时钟频率和发送端时钟频率一致。 发送端发送连续的比特流。
 - 异步通信时不要求接收端时钟和发送端时钟同步。发送端发送完一个字节后,可经过任意长的时间间隔再发送下一个字节。(由起始位标识字节的开始)
- 异步通信的通信开销较大,但接收端可使用廉价的、具有一般精度的时钟来进行数据通信。
 - 需要规定字节的格式(波特率、比特数、校验位、停止位等)

2.5 数字传输系统

1. 脉码调制 PCM 体制

- → 脉码调制 PCM 体制最初是为了在电话局之间的中继线上传送多路的电话。
- 由于历史上的原因, PCM 有两个互不兼容的国际标准, 即北美的 24 路 PCM(简称为 T1)和欧洲的 30 路 PCM(简称为 E1)。我国采用的是欧洲的 E1 标准。
- E1 的速率是 2.048 Mb/s,而 T1 的速率是 1.544 Mb/s。
- 当需要有更高的数据率时,可采用复用的方法。



- 旧的数字传输系统存在着许多缺点。其中最 主要的是以下两个方面:
- ■速率标准不统一。
 - 如果不对高次群的数字传输速率进行标准化,国际范围的高速数据传输就很难实现。
- 不是同步传输。
 - 在过去相当长的时间,为了节约经费,各国的数字网主要是采用准同步方式。

同步光纤网 SONET

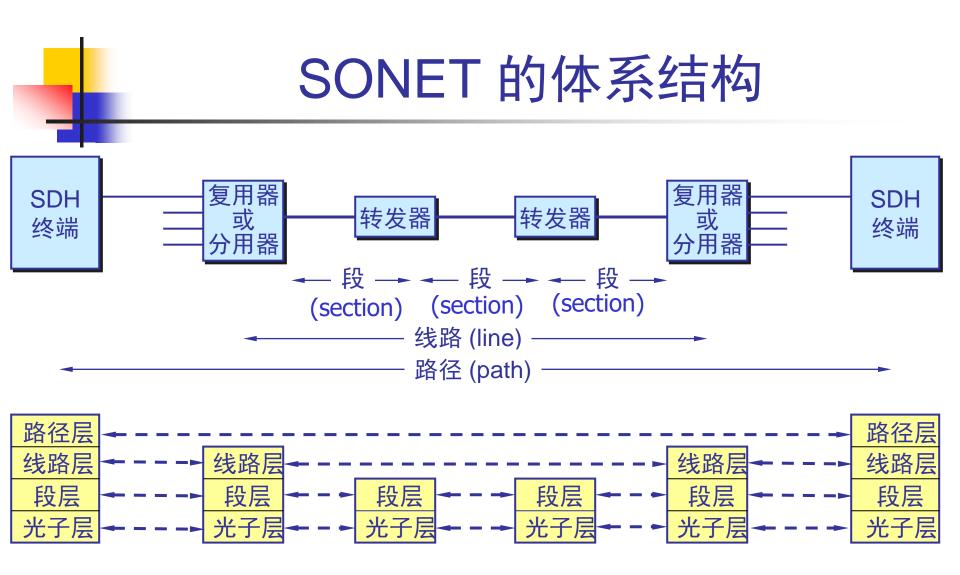
- 同步光纤网 SONET (Synchronous Optical Network) 的各级时钟都来自一个非常精确的主时钟。
- 第 1 级同步传送信号 STS-1 (Synchronous Transport Signal)的传输速率是 51.84 Mb/s。
- 光信号则称为第 1 级光载波 OC-1, OC 表示 Optical Carrier。



- ITU-T 以美国标准 SONET 为基础,制订出国际标准同步数字系列 SDH (Synchronous Digital Hierarchy)。
- 一般可认为 SDH 与 SONET 是同义词。
- SDH 的基本速率为 155.52 Mb/s, 称为第 1 级同步传递模块 (Synchronous Transfer Module), 即 STM-1, 相当于 SONET 体系中的 OC-3 速率。

SONET 的 OC 级/STS 级与 SDH 的 STM 级的对应关系

线路速率 (Mo/s)	SONET 符号	ITU-T 符号	表示线路速率 的常用近似值
51.840	OC-1/STS-1		
155.520	OC-3/STS-3	STM-1	155 Mb/s
466.560	OC-9/STS-9	STM-3	
622.080	OC-12/STS-12	STM-4	622 Mb/s
933.120	OC-18/STS-18	STM-6	
1244.160	OC-24/STS-24	STM-8	
2488.320	OC-48/STS-48	STM-16	2.5 Gb/s
4976.640	OC-96/STS-96	STM-32	
9953.280	OC-192/STS-192	STM-64	10 Gb/s
39813.120	OC-768/STS-768	STM-256	40 Gb/s 57



SONET 标准定义了 四个光接口层

- 光子层(Photonic Layer)
 - 处理跨越光缆的比特传送。
- 段层(Section Layer)
 - 在光缆上传送 STS-N 帧。
- 线路层(Line Layer)
 - 负责路径层的同步和复用。
- 路径层(Path Layer)
 - 处理路径端接设备 PTE (Path Terminating Element)之间的业务的传输。



- 为了提高用户的上网速率,近年来已经有多种宽带技术 开始进入用户的家庭。
- "宽带"尚无统一的定义。有人认为只要接入速率超过 56kb/s就是宽带。美国联邦通信委员会认为只要双向速 率之和超过200kb/s就是宽带。也有人认为数据率要达 到1Mb/s以上才能算是宽带。
- 常用的宽带接入技术有:
- 1. xDSL技术
- 2.光纤同轴混合网
- 3.FTTx 技术



- xDSL 技术就是用数字技术对现有的模拟电话用户线进行改造,使它能够承载宽带业务。
- 虽然标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 kHz 的范围内,但用户线本身实际可通过的信号频率仍然超 过 1 MHz。
- xDSL 技术就把 0~4 kHz 低端频谱留给传统电话使用, 而把原来没有被利用的高端频谱留给用户上网使用。
- DSL 就是数字用户线(Digital Subscriber Line)的缩写。
 而 DSL 的前缀 x 则表示在数字用户线上实现的不同宽带方案。



xDSL 的几种类型

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): 非对 称数字用户线
- HDSL (High speed DSL): 高速数字用户线
- SDSL (Single-line DSL): 1 对线的数字用户线
- VDSL (Very high speed DSL): 甚高速数字用户线
- DSL: ISDN综合业务数字网用户线(对称)
- RADSL (Rate-Adaptive DSL): 速率自适应 DSL,
 是 ADSL 的一个子集,可自动调节线路速率)。



ADSL 的极限传输距离

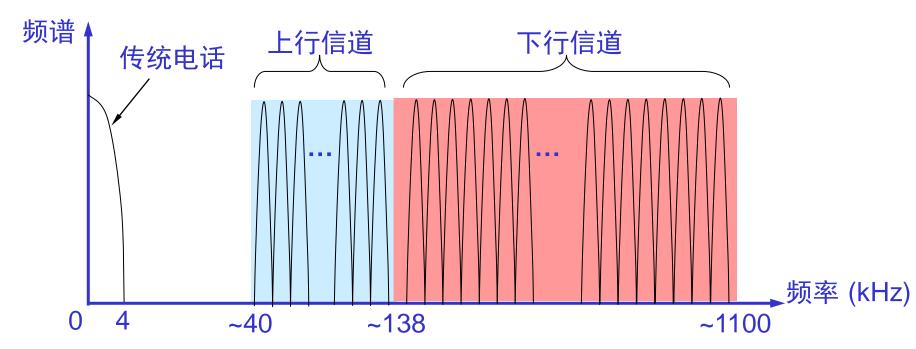
- ADSL 的极限传输距离与数据率以及用户线的 线径都有很大的关系(用户线越细,信号传输 时的衰减就越大),而所能得到的最高数据传 输速率与实际的用户线上的信噪比密切相关。
 - 例如, 0.5 毫米线径的用户线, 传输速率为 1.5 ~ 2.0 Mb/s 时可传送 5.5 公里, 但当传输速率提高到 6.1 Mb/s 时, 传输距离就缩短为 3.7 公里。
 - 如果把用户线的线径减小到0.4毫米,那么在6.1 Mb/s的传输速率下就只能传送2.7公里



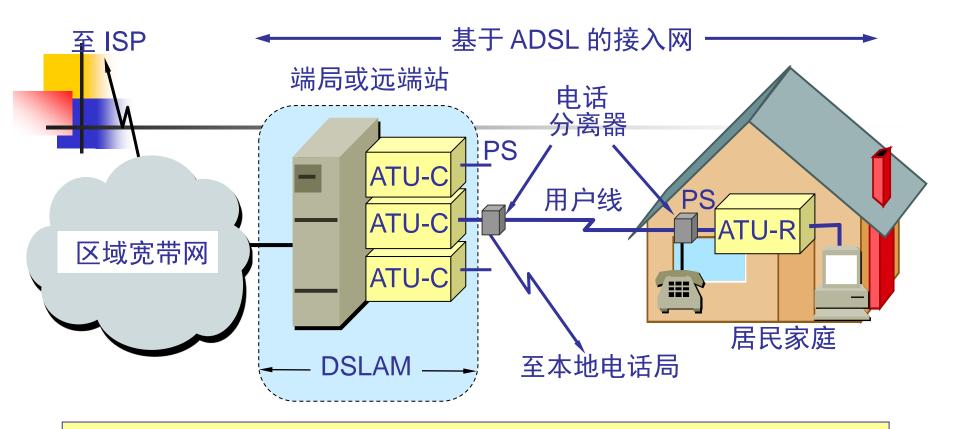
- 上行和下行带宽做成不对称的。
- 上行指从用户到 ISP,而下行指从 ISP 到用户。
- ADSL 在用户线(铜线)的两端各安装一个 ADSL 调制解调器。
- 我国目前采用的方案是离散多音调 DMT (Discrete Multi-Tone)调制技术。这里的"多音调"就是"多载波"或"多子信道"的意思。



DMT 技术的频谱分布



ADSL 的组成



数字用户线接入复用器 DSLAM (DSL Access Multiplexer)接入端接单元 ATU (Access Termination Unit) ATU-C (C 代表端局 Central Office) ATU-R (R 代表远端 Remote) 电话分离器 PS (POTS Splitter)







2.6.2 光纤同轴混合网HFC (Hybrid Fiber Coax)

- HFC 网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。
- HFC 网除可传送 CATV 外, 还提供电话、数据和其他宽带交互型业务。
- 现有的 CATV 网是树形拓扑结构的同轴电缆网络,它采用模拟技术的频分复用对电视节目进行单向传输,而 HFC 网则需要对 CATV 网进行改造。

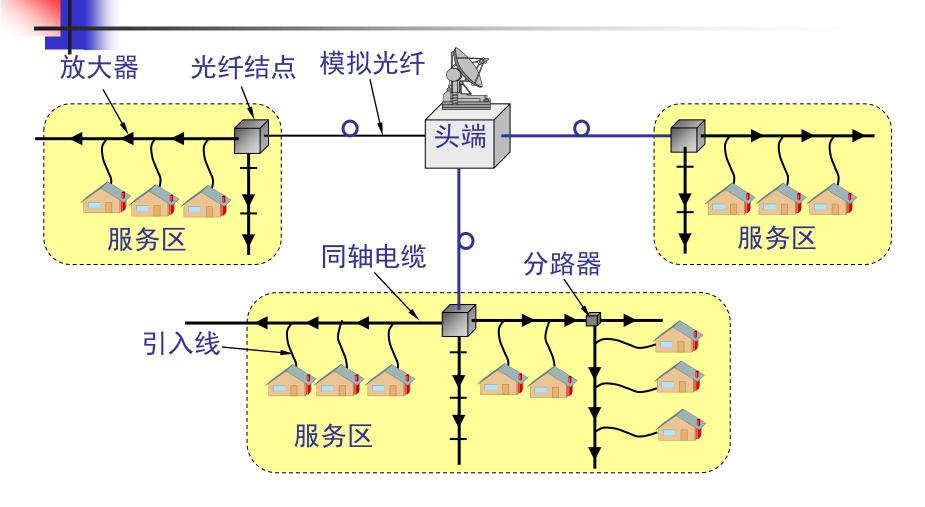
HFC 的主要特点



(1) HFC网的主干线路采用光纤

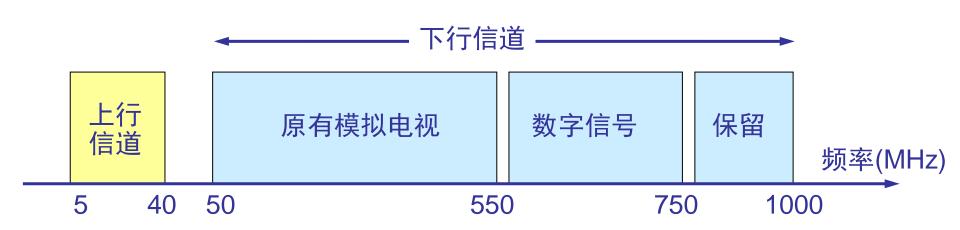
- HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分改换 为光纤,并使用模拟光纤技术。
- 在模拟光纤中采用光的振幅调制 AM, 这比使用数字光纤更为经济。
- 模拟光纤从头端连接到光纤结点(fiber node),即光分配结点 ODN (Optical Distribution Node)。在光纤结点光信号被转换为电信号。在光纤结点以下就是同轴电缆。

(2) HFC 网采用结点体系结构





(3) HFC 网具有比 CATV 网更宽的频谱, 且具有双向传输功能



(4) 每个家庭要安装一个用户接口盒

- 用户接口盒 UIB (User Interface Box)要提供三种连接,即:
 - 1. 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。
 - 2. 使用双绞线连接到用户的电话机。
 - 3. 使用电缆调制解调器连接到用户的计算机。

电缆调制解调器(cable modem)

- 电缆调制解调器是为 HFC 网而使用的调制解调器。
- 电缆调制解调器最大的特点就是传输速率高。其下行速率一般在 3~10 Mb/s之间,最高可达 30 Mb/s,而上行速率一般为 0.2~2 Mb/s,最高可达 10 Mb/s。
- 电缆调制解调器比在普通电话线上使用的调制解调器要复杂得多,并且不是成对使用,而是只安装在用户端。
- 电缆调制解调器应具有很好的抗干扰性能,目前 大多数厂商采用了QPSK方式。



HFC 网的最大优点

- 具有很宽的频带,并且能够利用已经有相当大的 覆盖面的有线电视网。
- 要将现有的 450 MHz 单向传输的有线电视网络改造为 750 MHz 双向传输的 HFC 网(还要将所有的用户服务区互连起来而不是一个个 HFC 网的孤岛),也需要相当的资金和时间。
- 在电信政策方面也有一些需要协调解决的问题。



2.6.3 FTTx 技术

- FTTx(光纤到.....)也是一种实现宽带居民接入 网的方案。这里字母 x 可代表不同意思。
 - 光纤到家 FTTH (Fiber To The Home): 光纤一直铺设到用户家庭可能是居民接入网最后的解决方法。
 - 光纤到大楼 FTTB (Fiber To The Building): 光纤进入大楼后就转换为电信号, 然后用电缆或双绞线分配到各用户。
 - 光纤到路边 FTTC (Fiber To The Curb): 从路边到各用户可使用星形结构双绞线作为传输媒体。