



# 计算机网络（第 6 版）

---

## 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 导引型传输媒体

### 2.3.2 非导引型传输媒体



## 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 ADSL 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

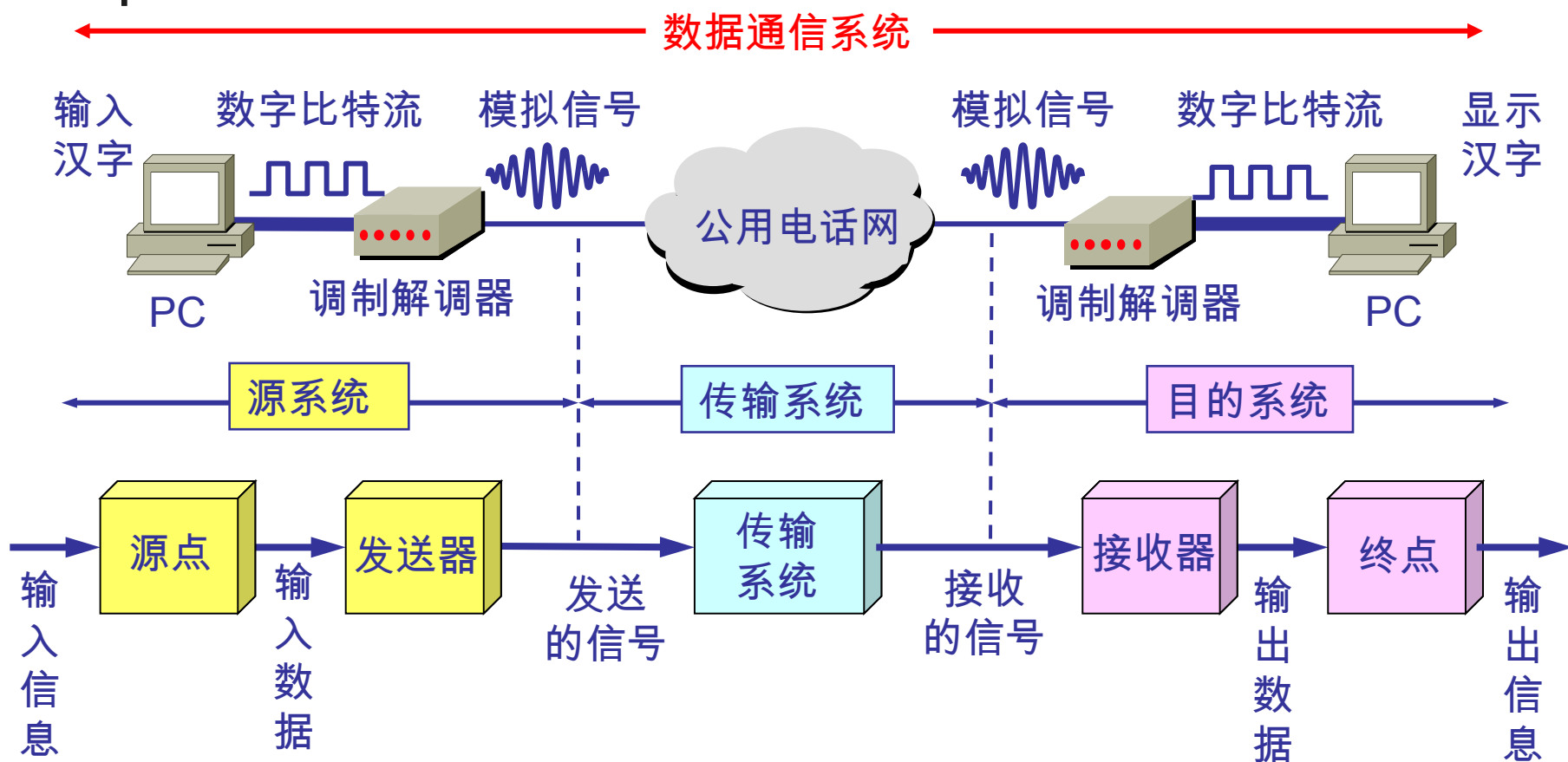
---

物理层的主要任务描述为确定与传输媒体的接口有关的一些特性，即：

- **机械特性** 指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。
- **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）（CSMA/CD）。
- **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。
- 基带信号分为
  - 模拟基带信号：比如人说话产生的声波
  - 数字基带信号：比如计算机输出的数据产生的方波





# 基带 (baseband) 信号和 带通 (band pass) 信号

---

- 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。因此必须对基带信号进行**调制** (modulation)。
- 为了便于在信道上传输，需要调制或编码。
- 基带调制（也称编码）：输入为数字基带信号，变换后仍为数字基带信号。比如：**曼彻斯特编码**（见书），4b/5b 编码。
- 带通调制（也简称调制，也称载波调制）：输入为数字基带信号，变换后为载波频率附近的模拟信号。比如调幅调制、调频调制、调相调制、正交振幅调制 QAM 等。



# 基带 (baseband) 信号和 带通 (band pass) 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

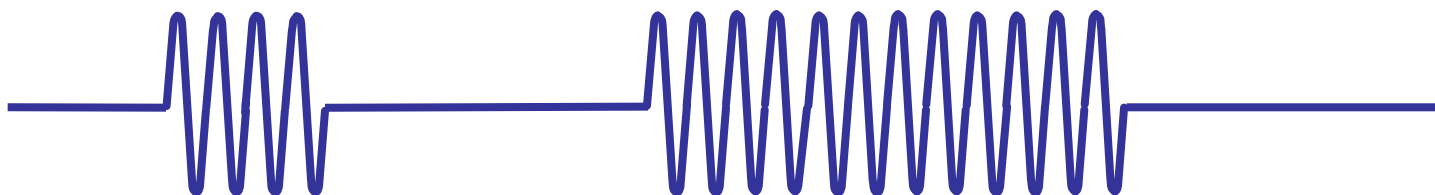
- 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。为了解决这一问题，就必须对基带信号进行**调制** (modulation)。
- 最基本的二元制调制方法有以下几种：
  - **调幅** (AM)：载波的振幅随基带数字信号而变化。
  - **调频** (FM)：载波的频率随基带数字信号而变化。
  - **调相** (PM)：载波的初始相位随基带数字信号而变化。

# 对基带数字信号的几种调制方法

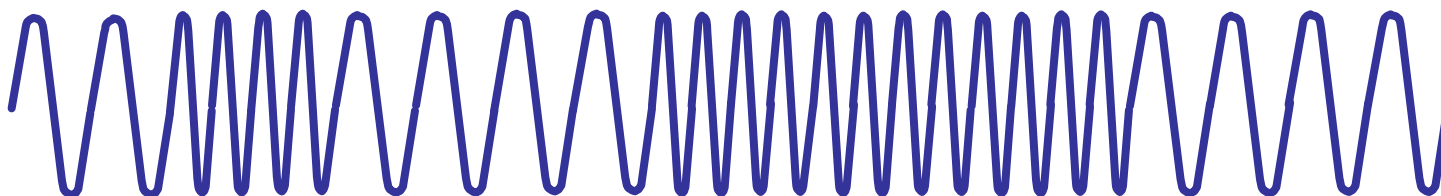
基带信号



调幅



调频



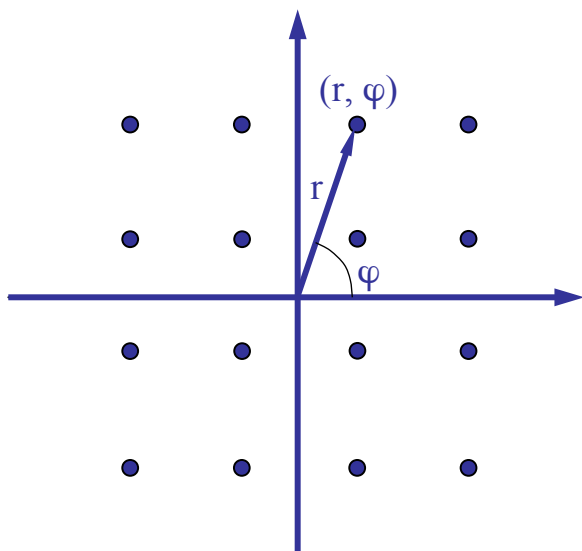
调相



# 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。



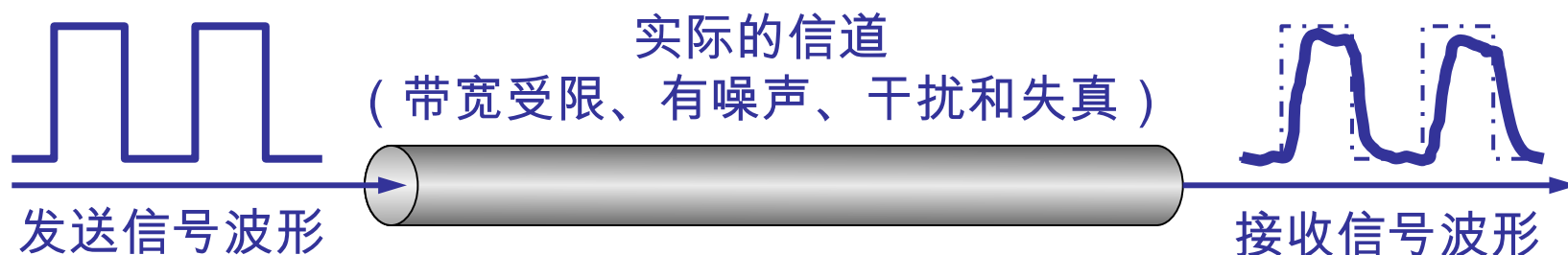
## 2.2.3 信道的极限容量

---

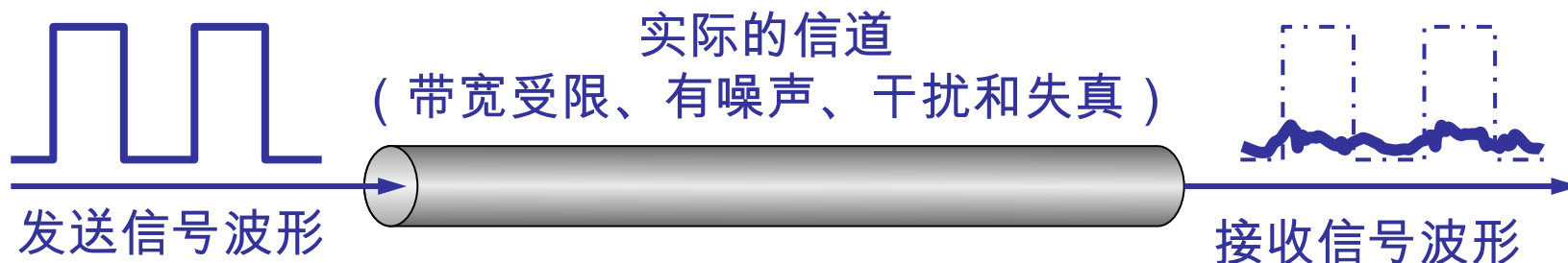
- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，在信道的输出端的波形的失真就越严重。

# 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





# (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
- $$C = W \log_2(1+S/N) \text{ b/s}$$
  - $W$  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有这样的），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。



# 请注意

---

- 对于频带宽度已确定的信道，如果信噪比不能再提高了，并且码元传输速率也达到了上限值，那么还有办法提高信息的传输速率。这就是用**编码的方法**让每一个码元携带更多比特的信息量。



# 例题

- 假定某信道受奈氏准则限制的最高码元速率为 20000 码元 / 秒。如果采用振幅调制，把码元的振幅划分为 16 个不同等级来传送，那么可以获得多高的数据率（ b/s ）？
- 答：波特率单位： Baud/s ，简写为 Bd/s
- $C = R * \log_2 ( 16 ) = 20000 \text{Bd/s} * 4 = 80000 \text{b/s}$

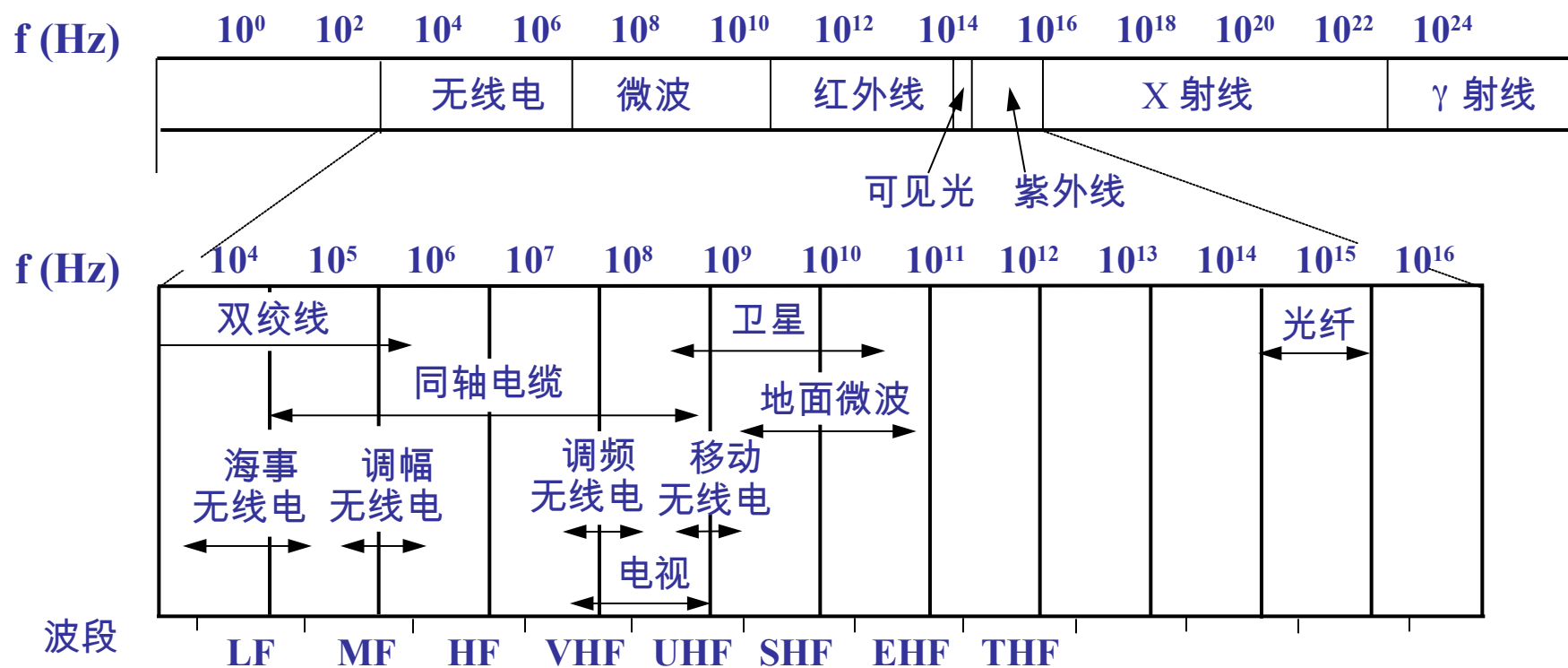


# 例题

- 假定要用 3KHz 带宽的电话信道传送 64kb/s 的数据（无差错传输），试问这个信道应具有多高的信噪比（分别用比值和分贝来表示？这个结果说明什么问题？）
- 答：  $C = W \log_2 (1 + S/N)$  (b/s)
- $W = 3\text{kHz}$  ,  $C = 64\text{kb/s}$   $1 + S/N = 2^{64/3}$
- 比值表示：  $S/N = 2.64 \times 10^6$
- 分贝表示：  $(S/N)_{\text{dB}} = 10 \log_{10}(2.64 \times 10^6) = 64.2\text{dB}$
- 是个信噪比要求很高的信源

## 2.3 物理层下面的传输媒体

### 电信领域使用的电磁波的频谱





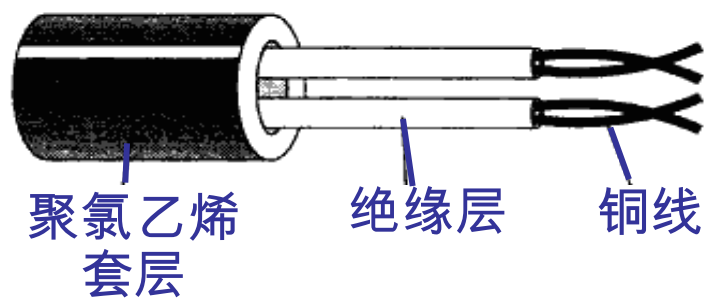
## 2.3.1 导引型传输媒体

---

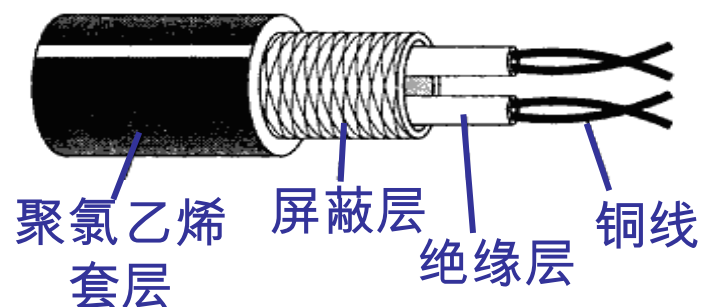
- 双绞线
  - 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair)
  - 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair)
- 同轴电缆
  - 50  $\Omega$  同轴电缆
  - 75  $\Omega$  同轴电缆
- 光缆

# 各种电缆

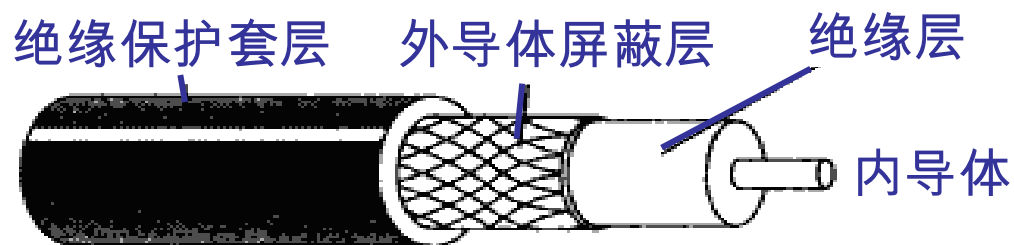
## 无屏蔽双绞线 UTP



## 屏蔽双绞线 STP



## 同轴电缆

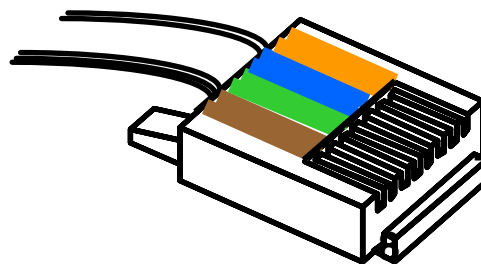
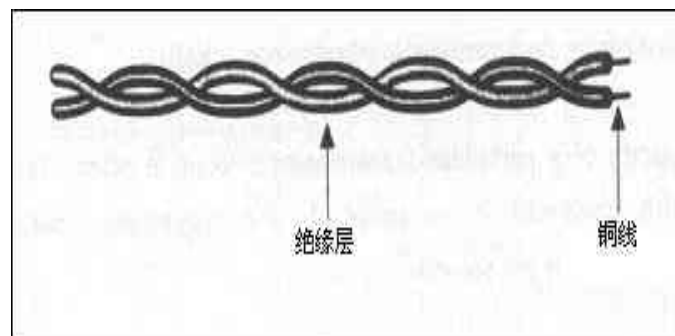




# 计算机网络的传输介质

## ■ 双绞线：

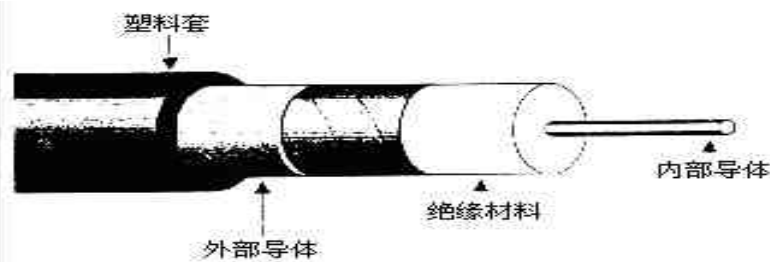
- 它一般分为屏蔽双绞线和非屏蔽双绞线
- 非常廉价且容易获得，所以应用很广泛
- 一般作为局域网的通信介质，该型线路使用 4 对双绞线，通常采用 RJ-45 接头



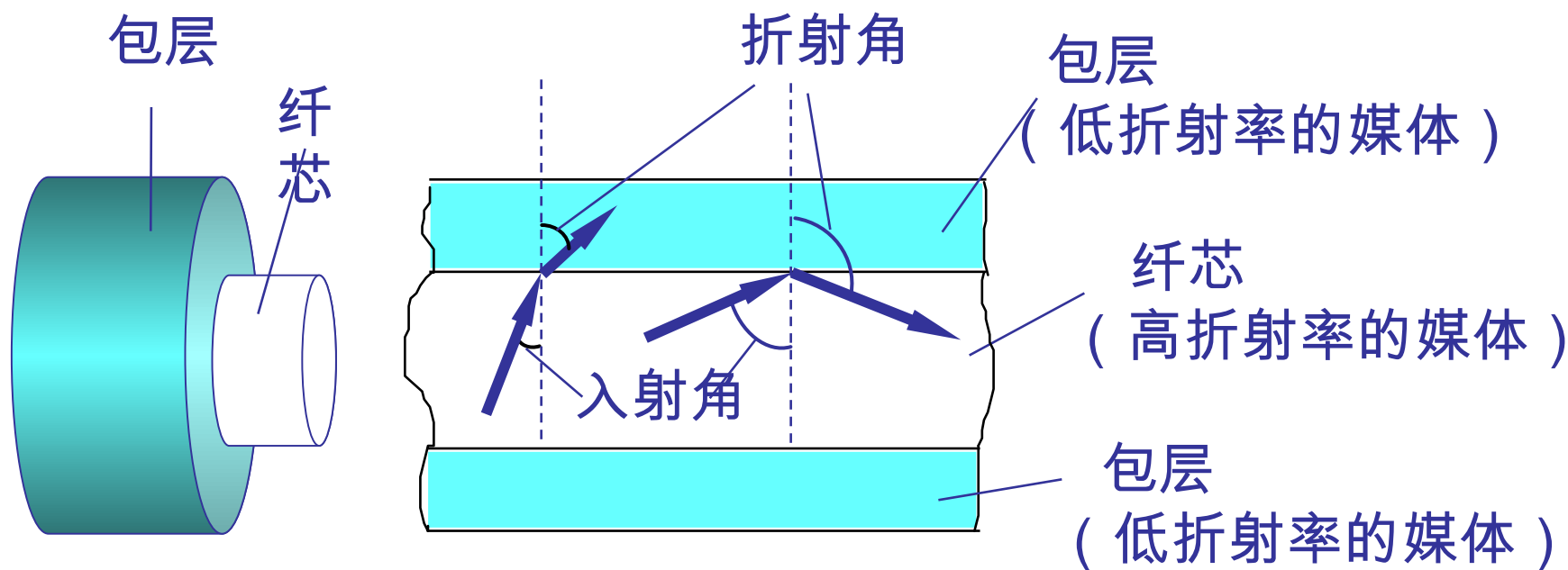
# 计算机网络的传输介质

## ■ 同轴电缆：

- 在计算机网络中已很少见
- 结构主要有以下三层：
- 内层是电线导体，外面覆盖着绝缘材料
- 中间层是绝缘层，将内层与外层分隔开
- 外层也是一种导电材料，呈丝网状围绕着绝缘管



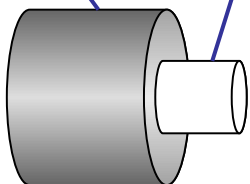
# 光线在光纤中的折射



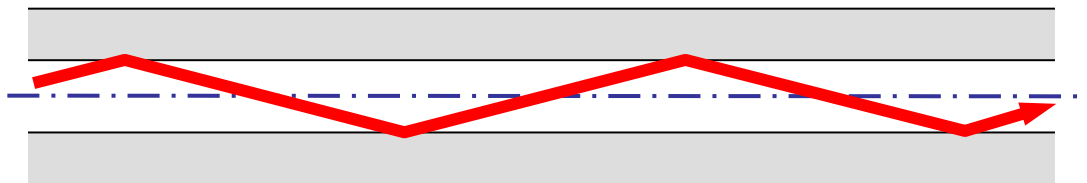
# 光纤的工作原理

低折射率  
(包层)

高折射率  
(纤芯)



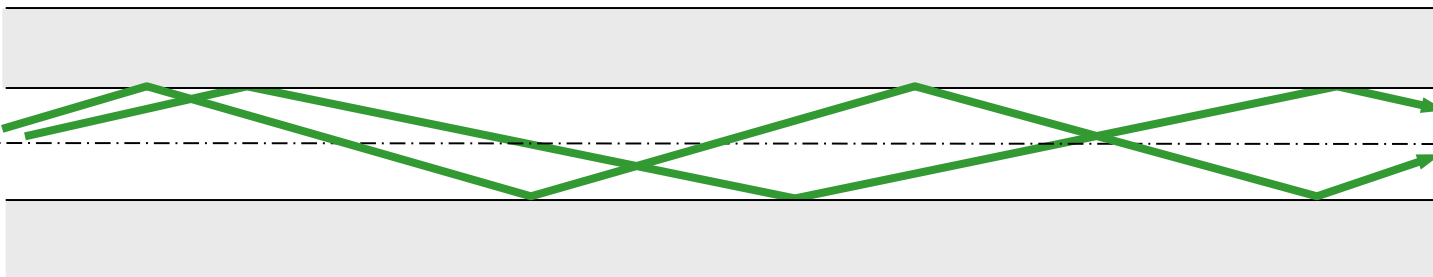
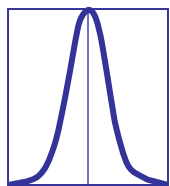
光线在纤芯中传输的方式是不断地全反射



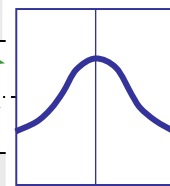
# 多模光纤与单模光纤

## 多模光纤

输入脉冲

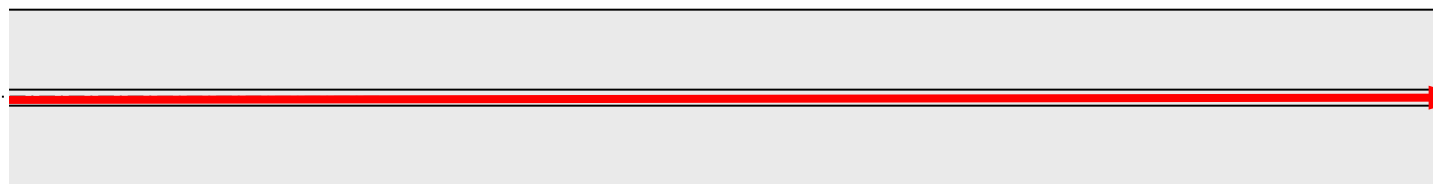
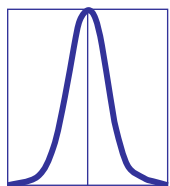


输出脉冲

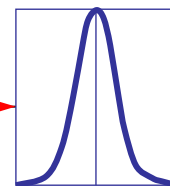


## 单模光纤

输入脉冲



输出脉冲





# 单模光纤 vs 多模光纤

---

## ■ 单模光纤

- 纤芯直径 : 9um
- 包层直径 : 125um
- 传输带宽 : 50GHZ
- 光波长 : 1550nm

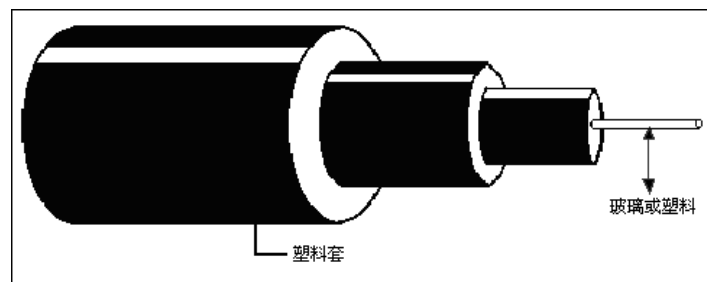
## ■ 多模光纤

- 纤芯直径 : 62.5um/50um
- 包层直径 : 125um
- 传输带宽 : 10GHZ
- 光波长 : 850nm/1300nm

# 光缆

## ■ 光缆：

- 通信领域的重大进展是光缆的广泛应用
- 结构主要有以下三层：
- 内层是光纤，主要由非常透明的石英玻璃或塑料拉成的双层细丝组成，**光纤**非常细，纤芯和包层加在一起的直径也不到 0.2mm
- 中间层有**加强芯和填充物**，必要时还加上**远程供电线**
- **光缆**的外部加上包带层和外护套





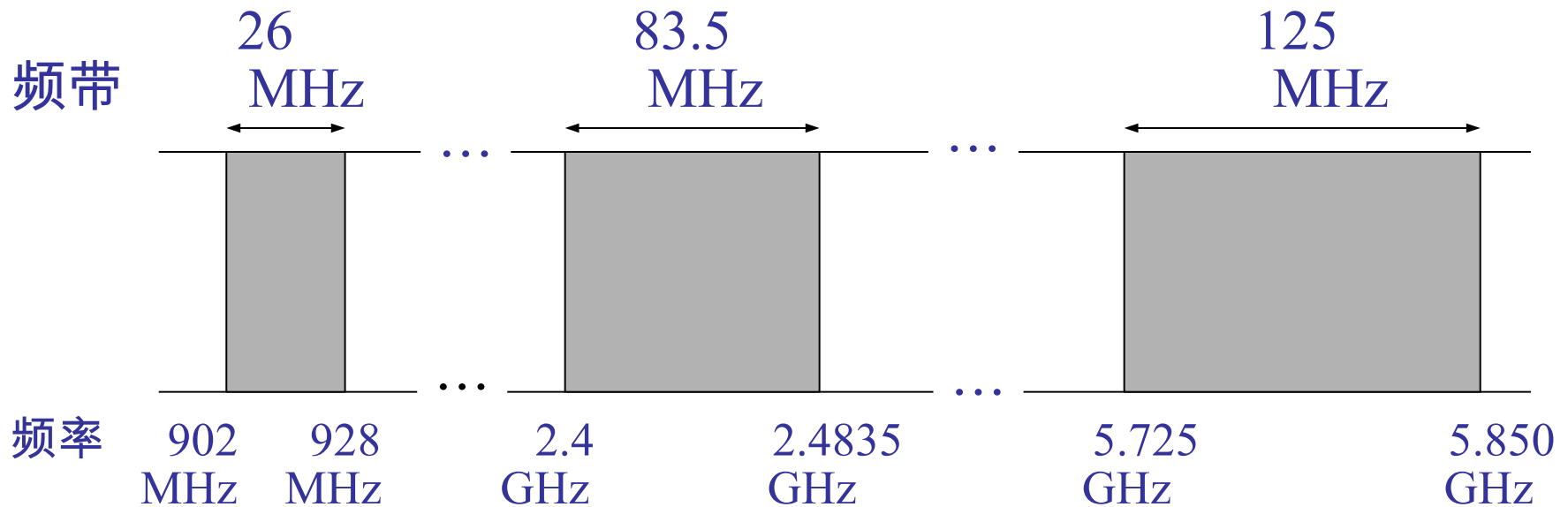
## 2.3.2 非导引型传输媒体

---

- 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。
  - 地面微波接力通信
  - 卫星通信



# 无线局域网使用的 ISM 频段

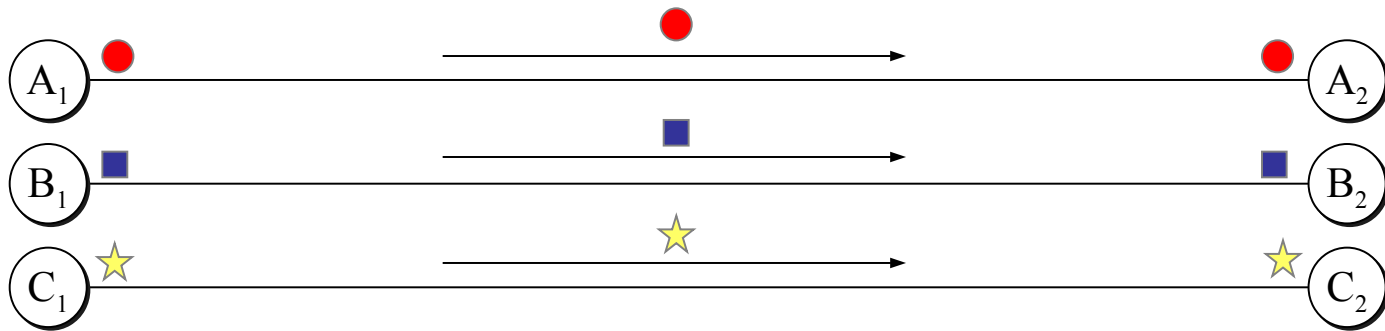


目前出售的 4 天线或更多天线的无线路由器都至少包  
含有 3 个 802.11n 2.4GHz 天线以及一个 802.11ac 5G  
Hz 天线，信息传输速率大增。

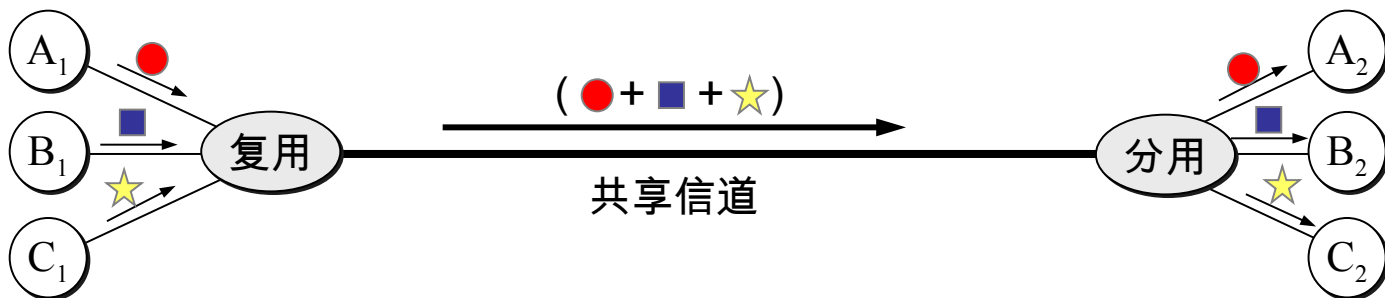
## 2.4 信道复用技术

### 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) 使用单独的信道

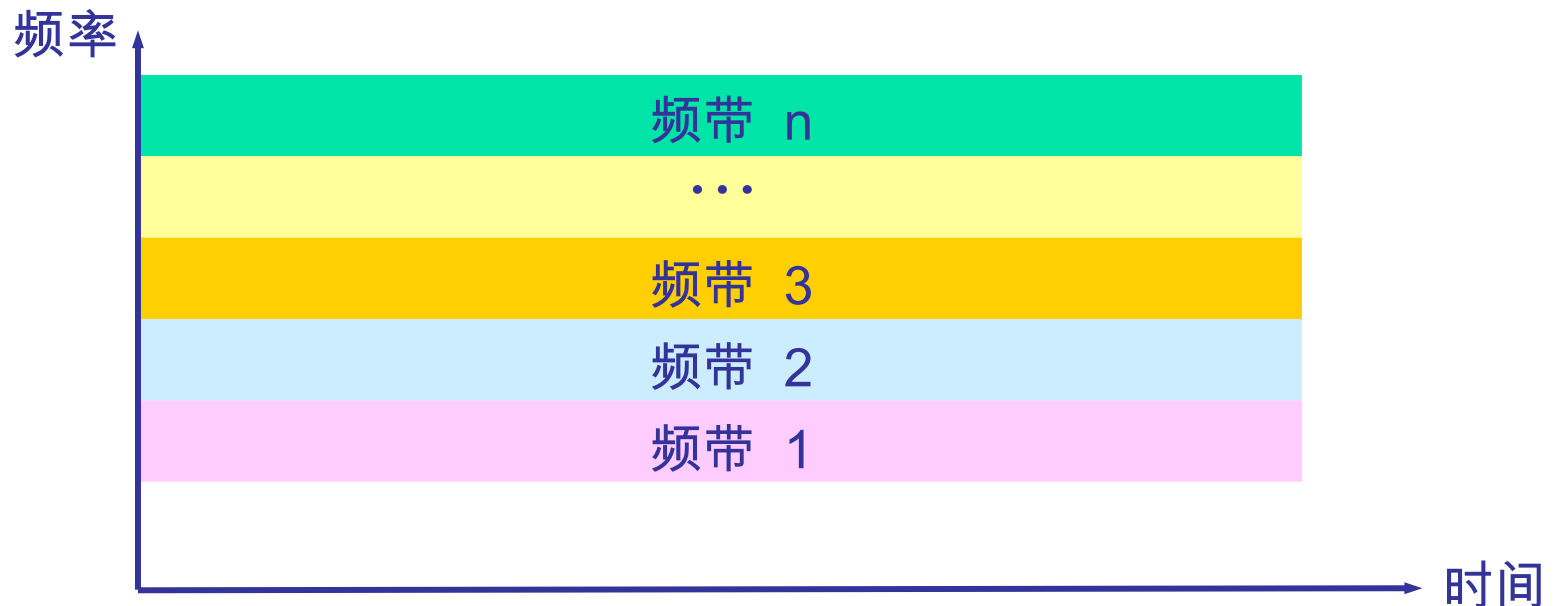


(b) 使用共享信道

# 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）。





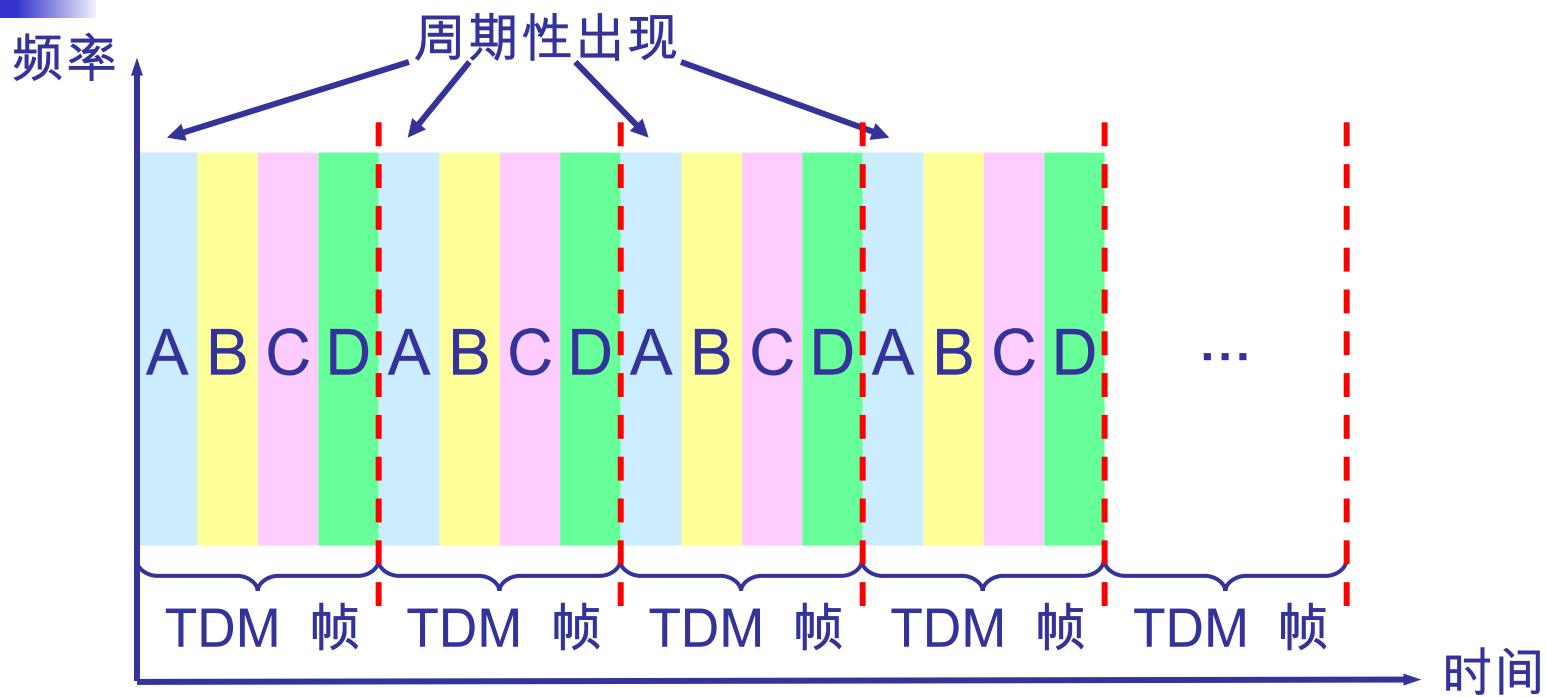
# 时分复用 TDM

## (Time Division Multiplexing)

---

- 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。

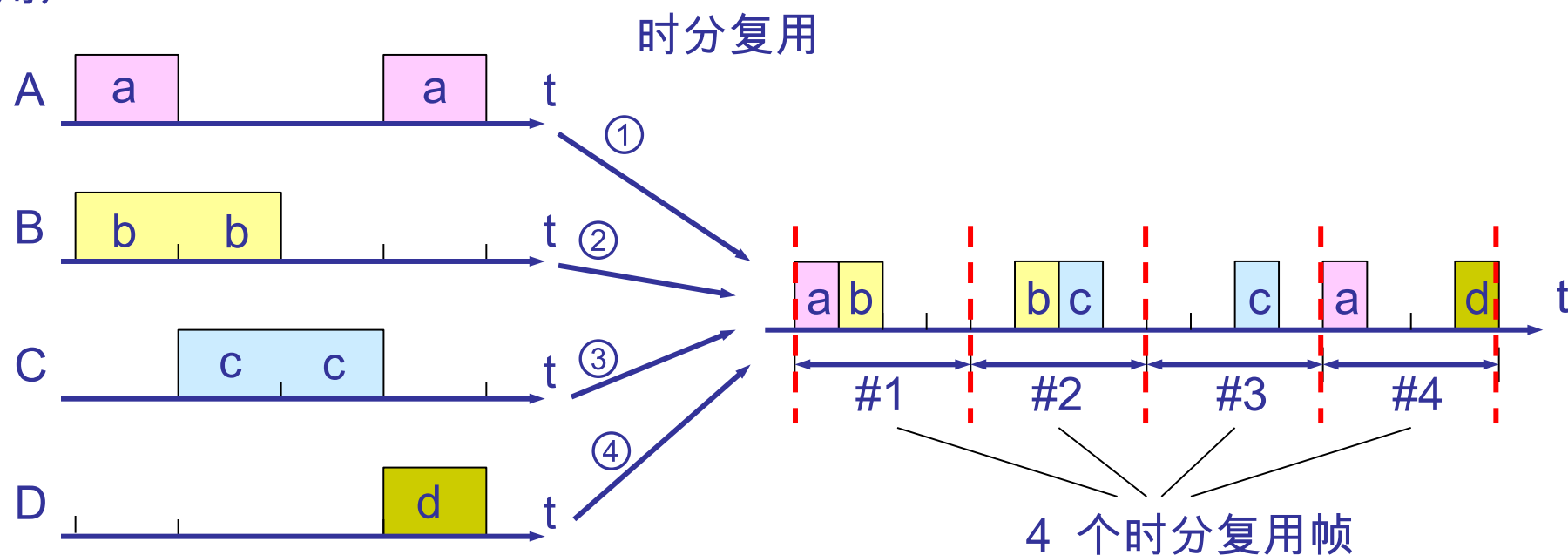
# 时分复用



# 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性质，用户对  
分配到的子信道的利用率一般是不高的。

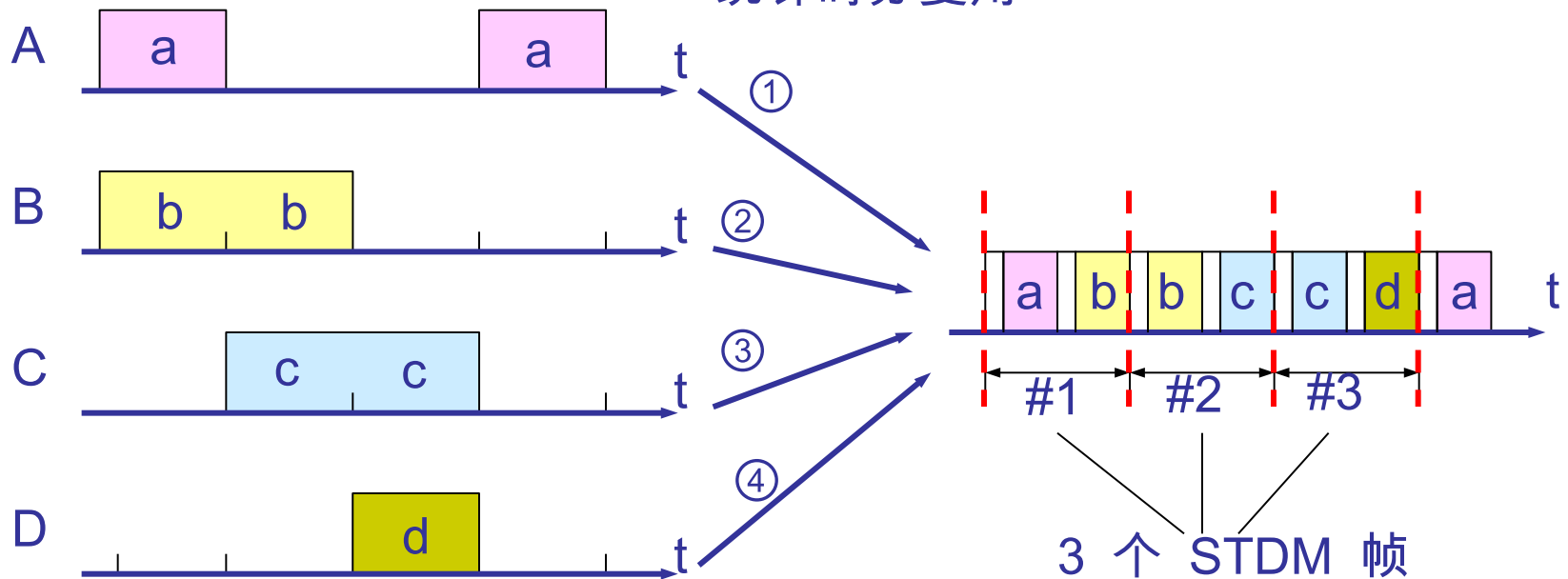
用户



# 统计时分复用 STDM (Statistic TDM)

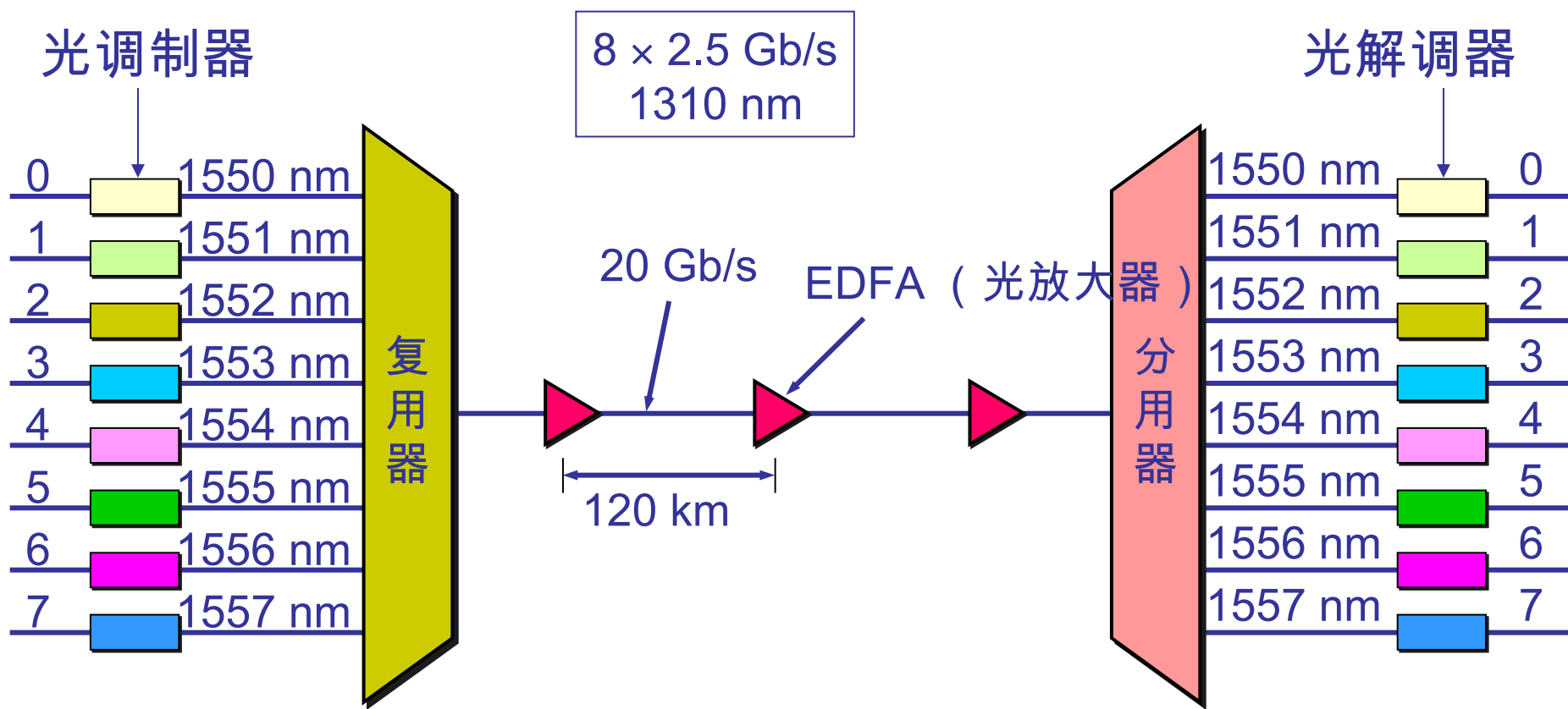
用户

统计时分复用



## 2.4.2 波分复用 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- 波分复用就是光的频分复用。







# WDM

---

- 通信系统的设计不同，每个波长之间的间隔宽度也有不同。按照通道间隔的不同，WDM 可以细分为 CWDM( 稀疏波分复用 ) 和 DWDM( 密集波分复用 )。
  - CWDM 的信道间隔为 20nm(16 个波长)，
  - 而 DWDM 的信道间隔从 0.2nm 到 1.2nm ( 80 波到 176 波 )
- 所以相对于 DWDM，CWDM 称为稀疏波分复用技术。



# WDM

---

- WDM 系统使用不同的波长 ( 在 1550nm 附近 ) , 可以承载多个通路的信息 , 每条通路速率可以高达 2.5Gbps 或 10Gbps 。
  - 第一代 WDM 系统支持 4 到 16 个波长 , 每个波长通路的速率为 2.5Gbps ;
  - 第二代 WDM 系统现在能支持 32 到 40 个波长 , 预计能达到 100 个波长 ;
  - 2006 年已有能支持 1Tbps 容量 (100 个 10Gbps 通路 ) 的 WDM 实验系统在进行演示



# WDM

---

- 2006 年 DWDM 实验室水平为：
  - $100 \times 10\text{Gb/s}$  (100 波, 每波  $10\text{Gb/s}$ ), 中继距离 400km ;
  - $30 \times 40\text{Gb/s}$  (30 波, 每波  $40\text{Gb/s}$ ), 中继距离 85km ;
  - $64 \times 5\text{Gb/s}$  (64 波, 每波  $5\text{Gb/s}$ ), 中继距离 720km 。
- 商用水平为  $320\text{Gb/s}$  , 即一对光纤可传送 400 万话路, 相当于 0.05 秒内能传完 30 卷大英百科全书
- 商用系统的传输能力仅是单根光纤可能传输容量 ( 数 +  $\text{Tb/s}$  ) 的 1/100



# WDM

---

- 2013 年 DWDM 水平（商用水平）：
  - 80 波 \*100Gb/s ，即 8Tb/s
  - 176 波 \*100Gb/s ，即 17.6Tb/s
  - 100Gb/s 的单板 400 万 RMB 一块
- 2014-09-25 从武汉邮科院获悉，其牵头实施的国家科研项目通过验收，宣告我国单根光纤的光传输容量成功突破 100Tb 大关，该项目在实验室内，顺利实现在超长距离、超高速的基础上，将单根光纤的传输容量提高到 100.23Tb/s，跨入全球顶尖水平行列。



# 互联网 8 年后将崩溃？

- 2015 年 05 月，科学家警告到，互联网面临“容量紧张”，无法满足人们对速度的需求。
- 科学达到了极限，光纤无法传输更多数据。
- 英国伯明翰阿斯顿大学的安德鲁·埃利斯（ Andrew Ellis ）教授在 5 月 11 日共同组织皇家学会的会议。
- 他表示，速度达到极限的结果是，电信公司将提高网费或限制网速，“我们在实验室开始达到一个极限，单根光纤无法传输更多数据。密度如同你面对太阳所接受的光一样。”



# 光纤容量达到极限？

---

■ 他称：“技术应用到市场上一般在实验室开发成功后的 6-8 年，因此 8 年内（2023 年）会达到极限，我们无法传输更多数据。但需求日益增长，满足网速需求越来越困难。多年来我们在提高网速上做得很好，但我们将达到一个极限。除非我们能提出颠覆性的理论，否则我们将看到成本大幅增长。”



# 增加网费或不再提高网速？

- 他预计，按照这个速度发展，到 2035 年（20 年后）互联网将耗费英国所有电力供应——无法满足需求。
- 埃利斯教授认为，8 年内我们将达到网速的极限。互联网公司可能会一直铺设更多光缆，但这意味着费用会提高。他表示：“如果你铺设第二条线，成本就提高了一倍。业务模式将完全不同，我认为需要与英国公众对话，看他们是否愿意接受这种业务模式换取更多容量。我们准备付更高费用？还是不再提高网速？”



# 耗费英国所有电力供应？

---

■ 该教授警告到，传输数据需要耗费大量电力，互联网每次提高速度，消耗的电力也会上升。埃利斯教授称：“这是很大的问题，如果我们维护很多条光纤，我们将在 15 年里耗光能源（ $15+8=23$  年后，即 2038 年）。”





# 反方意见

然而，并非每个人都认为局势真有这么严重。英国电信的光纤研究主管、埃塞克斯大学客座教授安德鲁·罗德（Andrew Lord）表示，在大型服务器场存储信息而不是传输信息，会减轻网络流量的压力。他称：“互联网不会崩溃，还有很多带宽提高余地。”英国电信称，将与主要高校合作进行新的研究，确保满足未来的互联网需求。

- 英国电信的女发言人称：“当前一代的技术可以满足很多年的带宽需求，当然也需要开发新技术应对未来需求的持续增长。我们现在与主要高校和全球其他运营商合作，开启新阶段研究，确保超越当前技术的限制，满足未来数十年客户的需求。”



## 2.4.3 码分复用 CDM

### (Code Division Multiplexing)

---

- 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： $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$



# 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**。



# 码片序列的正交关系

---

- 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：

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0 \quad (2-3)$$



# 码片序列的正交关系举例

---

- 令向量 **S** 为  $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$  ,  
向量 **T** 为  $(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$  。
- 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。



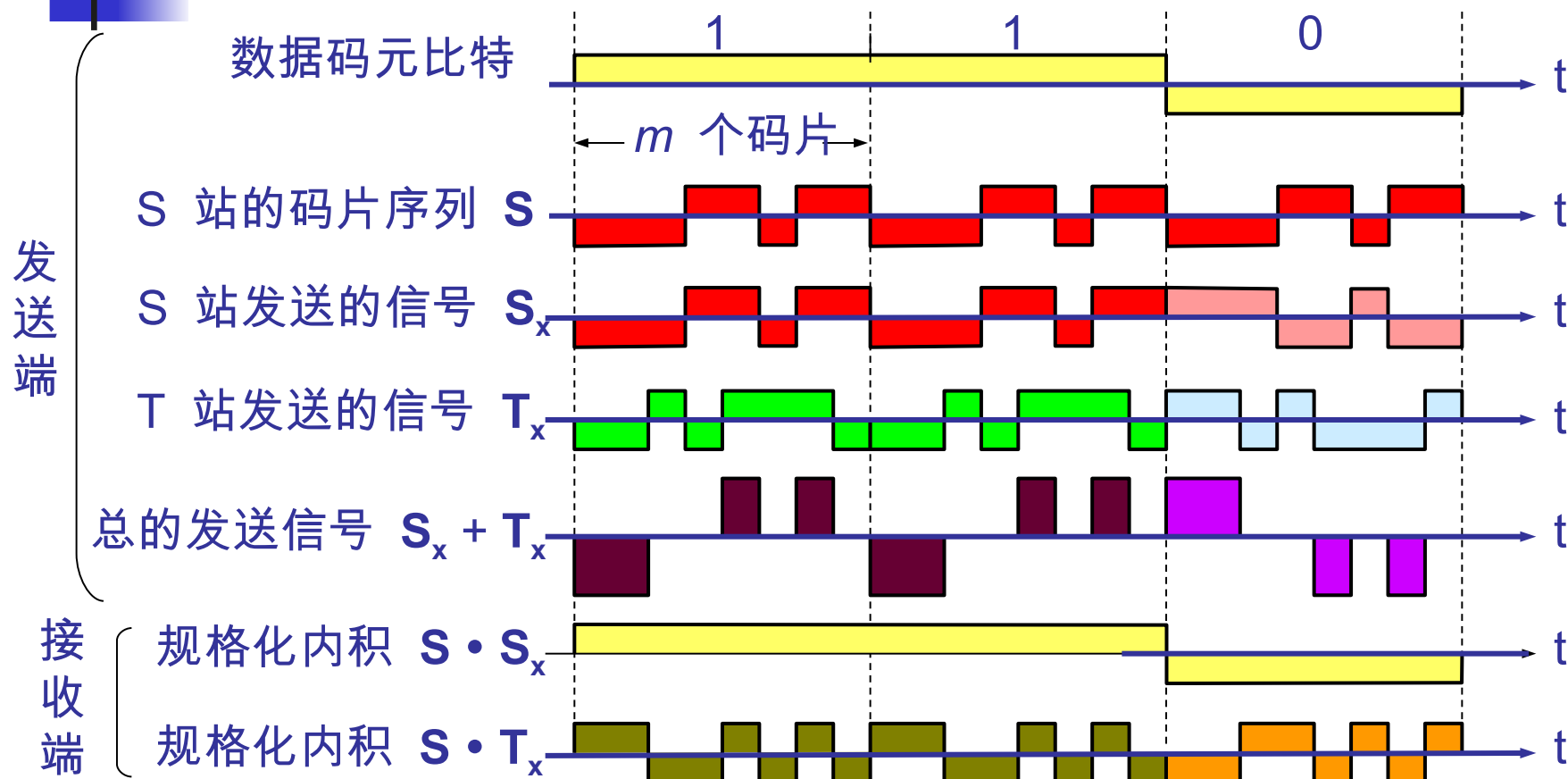
# 正交关系的另一个重要特性

- 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 。

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

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1 。

# CDMA 的工作原理







## 2.5 数字传输系统

- 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。



# PDH

---

- 准同步数字系列 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).
- PDH 速率小于 565Mbps, 具体速率等级如下:  
PDH 复接等级 (中国 \ 欧洲) :  
基群 ( E1 ) : 2.048Mb/s 含 30 路数字电话  
二次群 ( E2 ) : 8.448Mb/s 含 4 个基群  
三次群 ( E3 ) : 32.368Mb/s 含 4 个二次群  
四次群 ( E4 ) : 139.264Mb/s 含 4 个三次群
- PDH 基群是同步的 . 其它速率等级是异步的 .



# 旧的数字传输系统 存在着许多缺点

---

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。
- 对**电信号**称第 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 。



# 同步数字系列 SDH

---

- 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 (Mb/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

## 2.6 宽带接入技术

### 2.6.1 ADSL 技术

- ADSL 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。
- 标准模拟电话信号的频带被限制在 300~3400 Hz 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。
- ADSL 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。



# DSL 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
- IDSL (ISDN Digital Subscriber Line) : ISDN 用户线。
- 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



# ADSL 的特点

---

- 上行和下行带宽是不对称的。
- 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（pool，池）。
- 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。

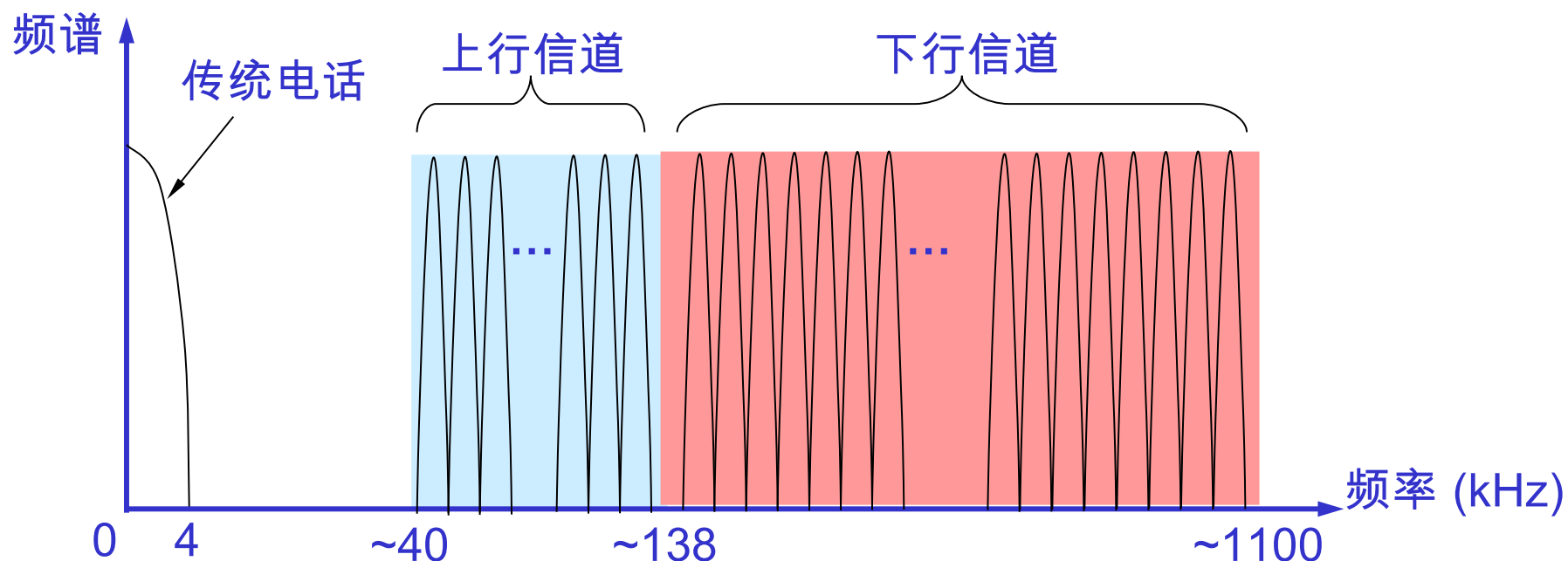


# DMT 技术

---

- DMT 调制技术采用频分复用的方法，把 40 kHz 以上一直到 1.1 MHz 的高端频谱划分为许多的子信道，其中 25 个子信道用于上行信道，而 249 个子信道用于下行信道。
- 每个子信道占据 4 kHz 带宽（严格讲是 4.3125 kHz），并使用不同的载波（即不同的音调）进行数字调制。这种做法相当于在一对用户线上使用许多小的调制解调器并行地传送数据。

# DMT 技术的频谱分布

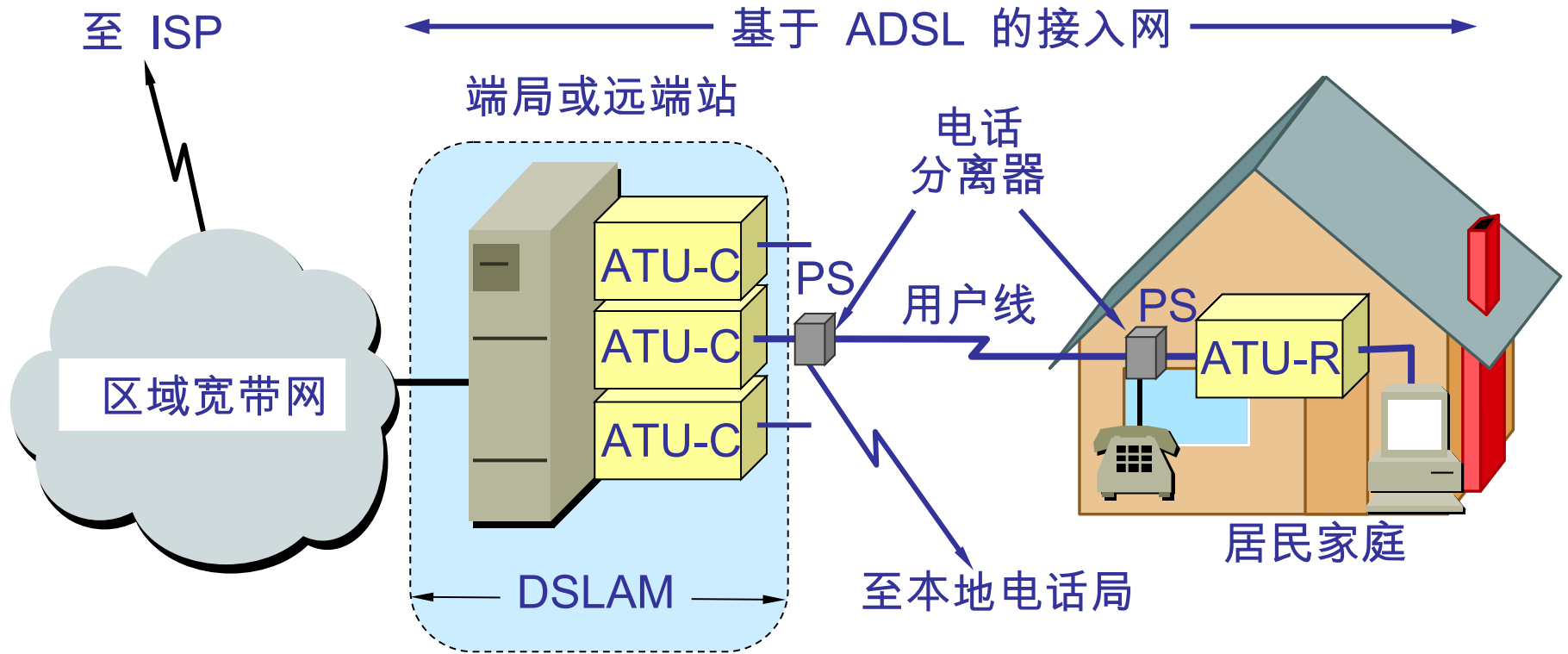




# ADSL 的数据率

- 由于用户线的具体条件往往相差很大（距离、线径、受到相邻用户线的干扰程度等都不同），因此 ADSL 采用**自适应调制**技术使用户线能够传送尽可能高的数据率。
- 当 ADSL 启动时，用户线两端的 **ADSL 调制解调器** 就**测试**可用的频率、各子信道受到的干扰情况，以及在每一个频率上测试信号的传输质量。
- ADSL 不能保证固定的数据率。对于质量很差的用户线甚至无法开通 ADSL。
- 通常**下行数据率**在 32 kb/s 到 6.4 Mb/s 之间，而**上行数据率**在 32 kb/s 到 640 kb/s 之间。

# 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 ) 即 ADSL modem pool

ATU-R ( R 代表远端 Remote ) 即 ADSL modem

电话分离器 PS (Pair Separator)

# 第二代 ADSL

ADSL2 ( G.992.3 和 G.992.4 )

ADSL2+ ( G.992.5 )

- 通过提高调制效率得到了**更高的数据率**。例如，ADSL2 要求至少应支持下行 **8 Mb/s**、上行 800 kb/s 的速率。而 ADSL2+ 则将频谱范围从 1.1 MHz 扩展至 **2.2 MHz**，下行速率可达 **16 Mb/s**（最大传输速率可达 **25 Mb/s**），而上行速率可达 800 kb/s。
- 采用了**无缝速率自适应技术** SRA (Seamless Rate Adaptation)，可在运营中不中断通信和不产生误码的情况下，自适应地调整数据率。
- 改善了线路质量评测和故障定位功能，这对提高网络的运行维护水平具有非常重要的意义。



## 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，





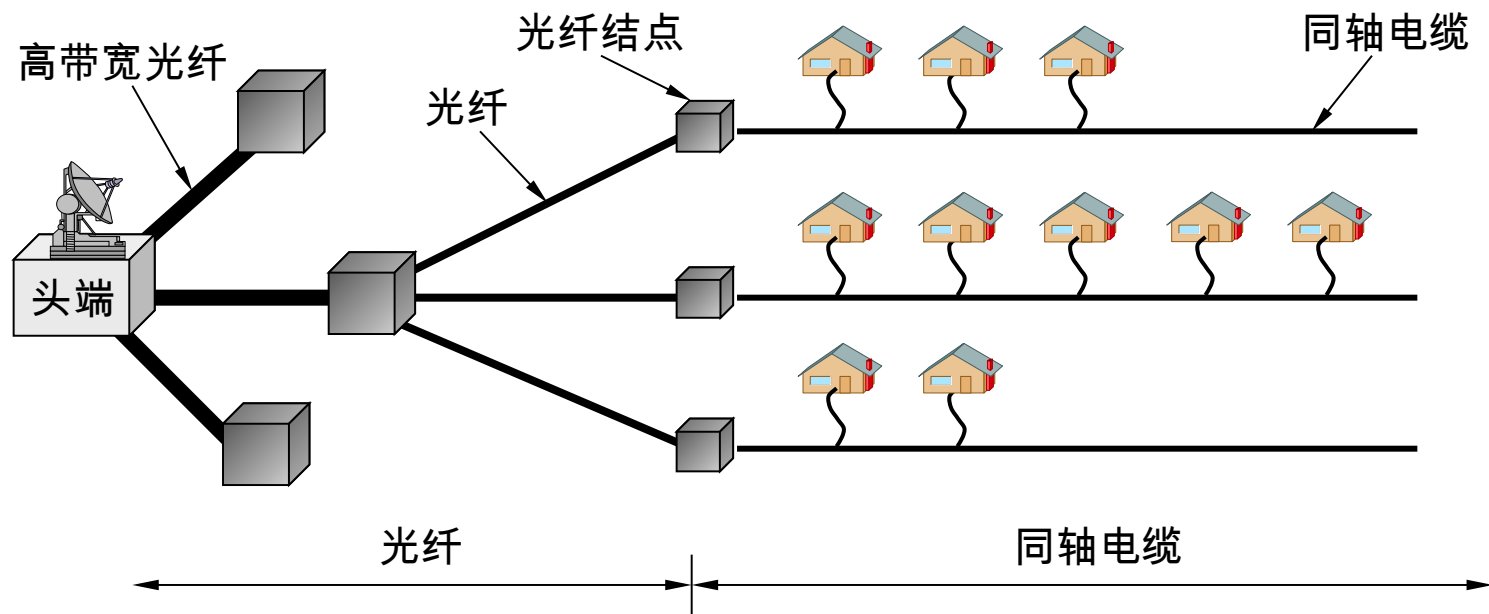
# HFC 的主要特点

---

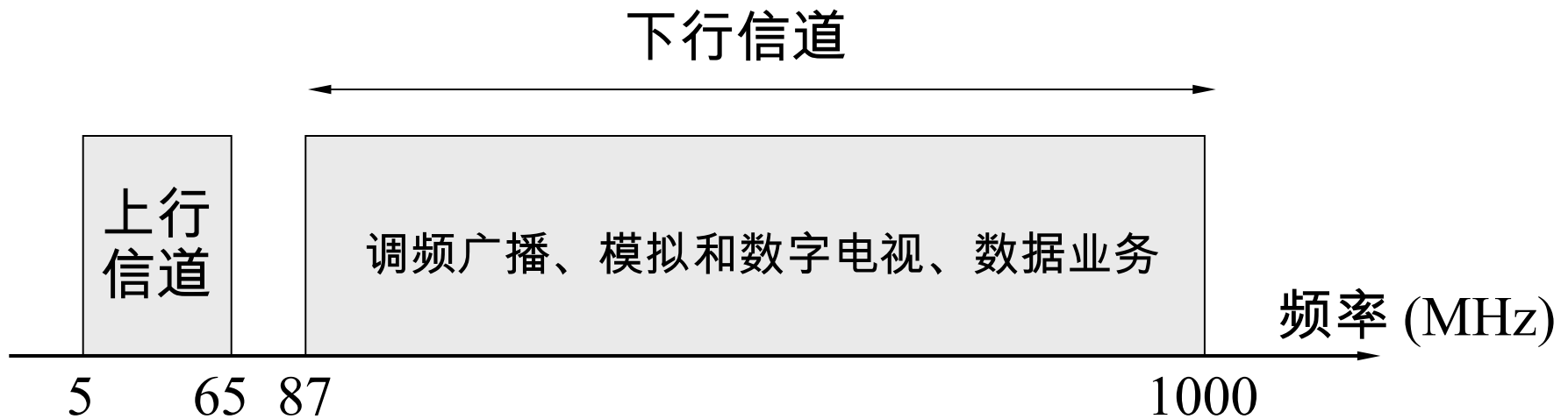
## (1) HFC 网的主干线路采用光纤

- HFC 网将原 CATV 网中的同轴电缆主干部分更换为光纤，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：
  - 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。



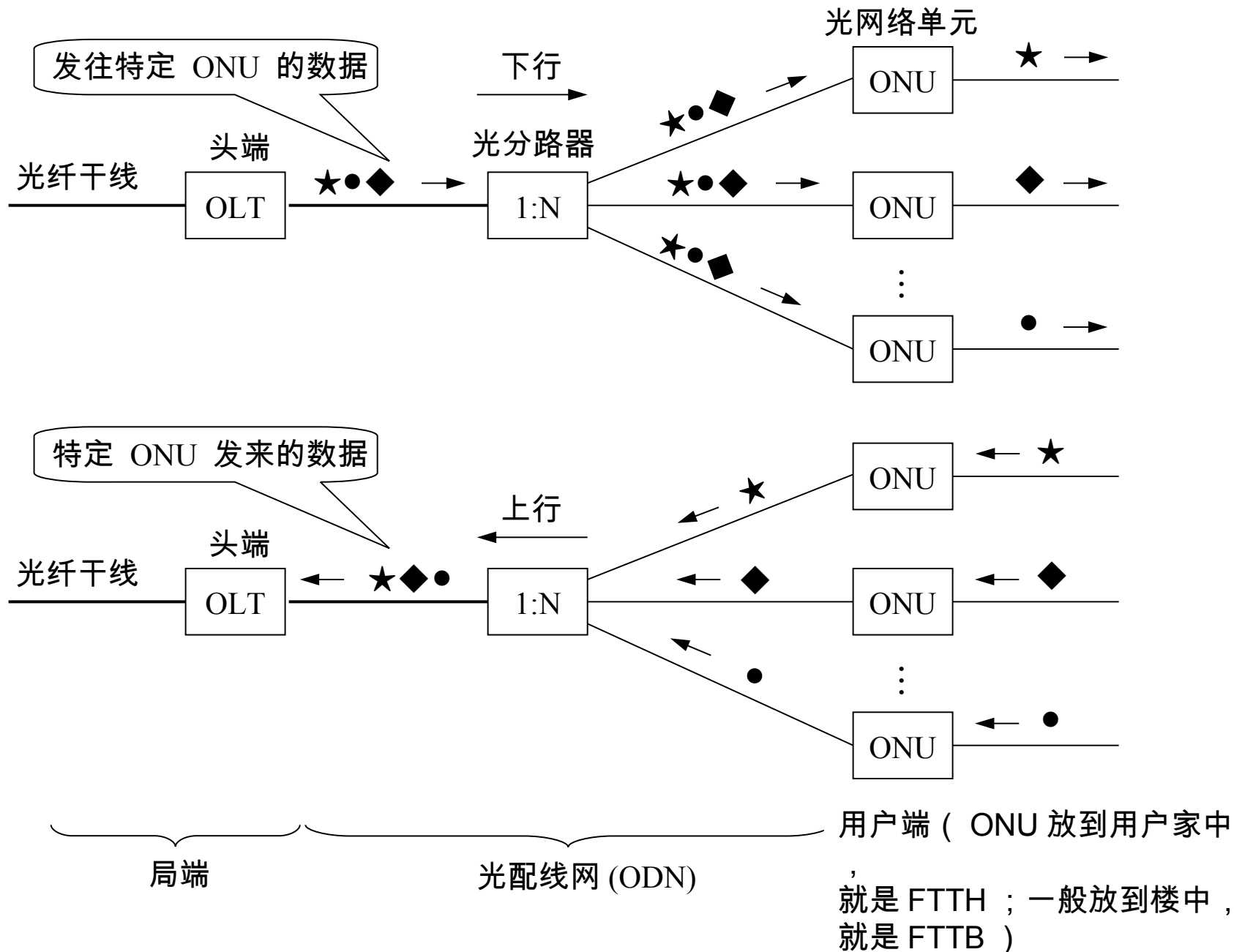
## 2.6.3 FTTx 技术

---

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。例如：

- **光纤到户** 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 ( **用的最多** ) 。
- **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**。

# 无源光网络 ( PON ) 的组成



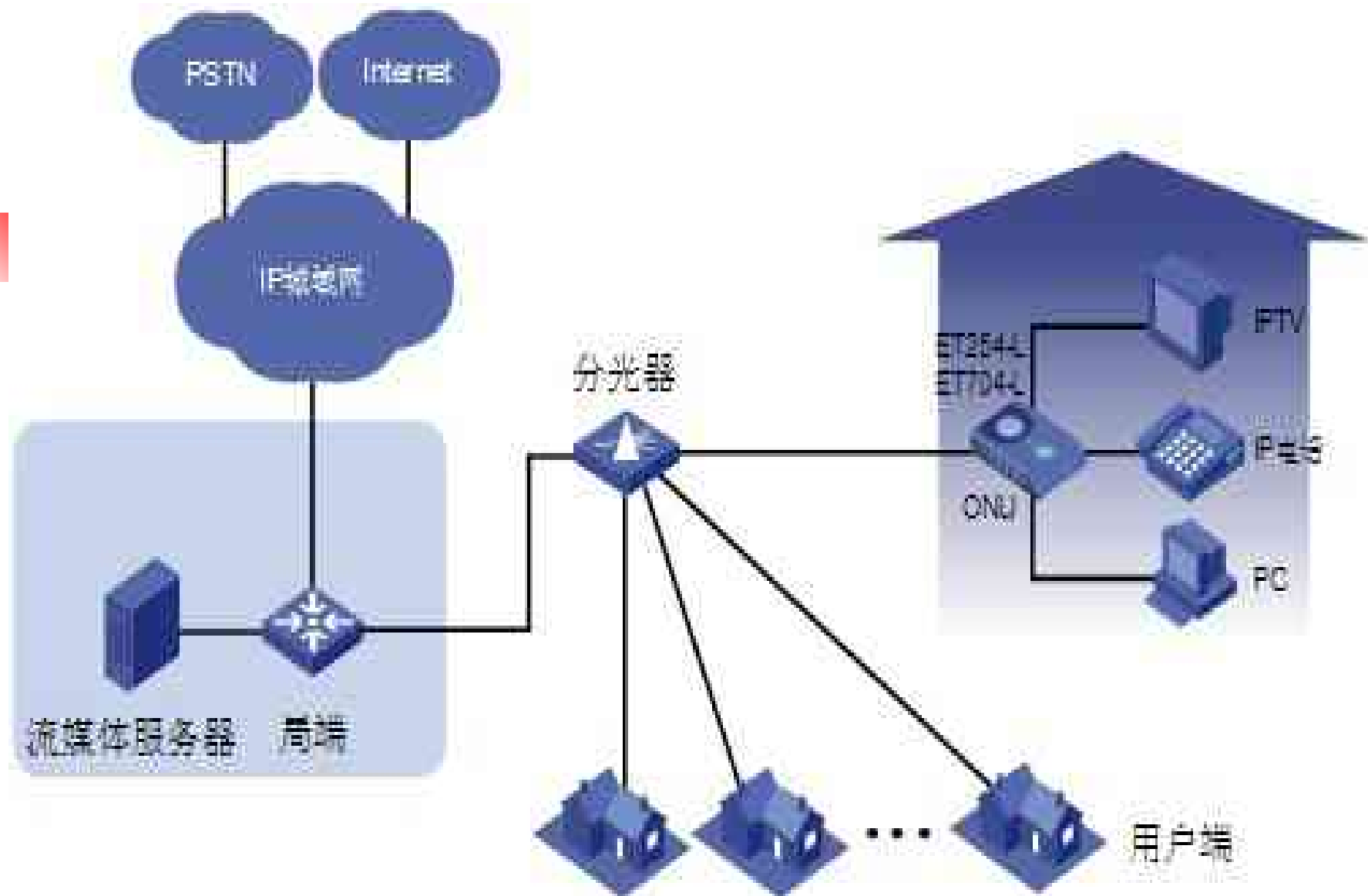


# PON

---

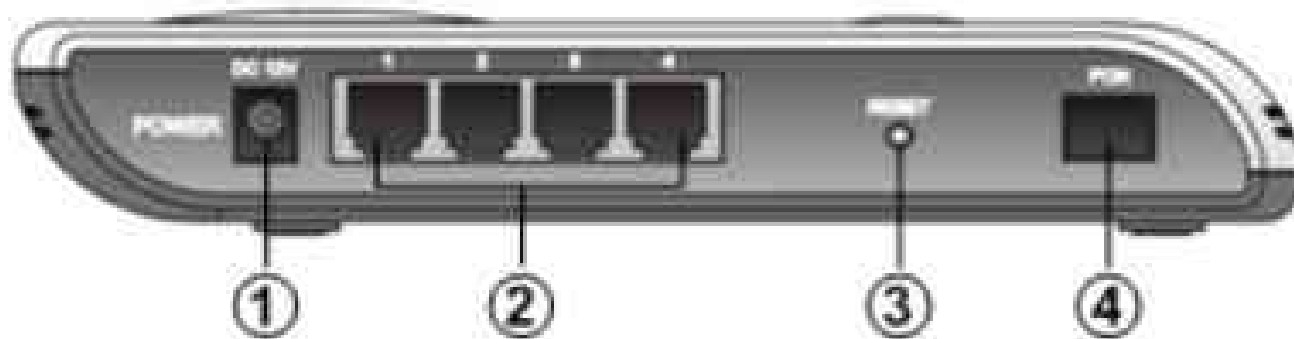
- PON ( Passive Optical Network : 无源光网络 )
- 一个无源光网络包括：
  - 局端：一个安装于中心控制站的光线路终端 ( OLT )
  - 用户端：一批配套的安装在用户场所的光网络单元 ( ONUs )
  - 配线网：在 OLT 与 ONU 之间的光配线网 ( ODN ) 包含了光纤以及无源分光器或者耦合器。





## ■ PON 的组成

# H3C ET704-L 面板图



1: 电源接口	2: 以太网接口
3: RESET按钮	4: PON接口

# ET704-L 连线图

连接线缆





# ET704-L 技术规格

工作湿度		10%~90%非冷凝
接口类型	上行PON接口	SC/PC类型，单纤双向
	下行用户接口	RJ45
接口标准	上行PON接口	1000Base-PX20-U
	下行用户接口	10/100Base-T
光路特性	上下行波长	上行1310nm，下行1490nm
	接收饱和光功率	-3dBm
	接收灵敏度	-26.5dBm
	发射光功率	+4dBm~-1dBm



# 1000Base-PX20

## ■ 1000Base-PX20,PX20+,PX10 的区别：

- 可传输的距离不一样，因此光功率也就不一样，10 是 10KM，20，20+ 是 20km, 后两者在一定分光比情况下可传距离不一样

■	10km	20km
1000base-px10	1:16	N/A
1000base-px20	1:32	1:16
1000base-px20+	1:64	1:32



# PON vs AON

---

- AON (Active Optical Network) 有源光网络
- PON (无源光网络) 是指 (光配线网) 中不含有任何电子器件及电子电源, ODN 全部由光分路器 ( Splitter ) 等无源器件组成, 不需要贵重的有源电子设备
- PON
  - 缺点: OLT 和 ONU 之间距离和容量受到限制, 理论距离是 20km, 实际为 5~15km.
  - 优点: 易于维护管理, 便于升级扩容, 应用更广泛
- AON
  - 优点: 传输距离和容量大大增加,
  - 缺点: 有源设备需要供电、机房等, 维护难度大



# PON vs xDSL

---

## ■ PON:

- 优点：速率高，上行最小理论速率 1Gbps；支持三网融合，一般**无流量限制**，7\*24 在线
- 缺点：停电后固话打不通，维护难度大（相对 xDSL 而言）

## ■ xDSL

- 缺点：速率低，ADSL2+ 最高下行理论速率 25Mbps，不支持三网融合（不支持电视）。一般有流量限制，**每月限制上网总时间**。
- 优点：维护难度小，成本小，停电后固话打得通



# 作业

---

- P63
- 2-09
- 2-11
- 2-12
- 2-16
- 补充题：
  - 用拓扑图表示一种接入 Internet 的方式，用 150 字加以说明。