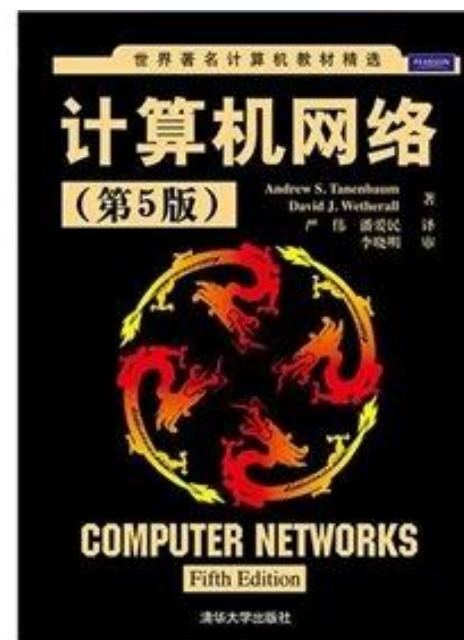


# 计算机网络

Andrew S. Tanenbaum (5 Edition)



1



安徽大学 互联网学院  
School of Internet Anhui University

- 课堂学习：签到、学习时长、互动（课堂答题）—— 15分
- 课后作业：按时按要求认真完成 —— 15分
  1. 提交时间与方式：每周三晚八点前提交word或者pdf
  2. **所有同学**将作业发给朱明杰同学，朱明杰打包发给我
  3. 提交文件命名：学号+姓名+第\*章
- 期末考试 —— 70分

## 计算机网络

第1章 引言

第2章 物理层

第3章 数据链路层

第4章 介质访问控制子层

第5章 网络层

第6章 传输层

第7章 应用层

第8章 网络安全



# 第一章内容回顾

## ○ 计算机网络的定义

将地理位置不同的具有独立功能的多台计算机，通过通信设备和通信线路连接起来，在网络软件的支持下，实现资源共享和数据通信的计算机系统。

## ○ 计算机网络的分类

按传输技术/拓扑结构/规模/传输介质/使用范围

## ○ 分组交换技术的实现

**优点：** 高效、灵活、迅速、可靠

**缺点：** 延迟和首部

## ○ 计算机网络体系结构

ISO/OSI参考模型、TCP/IP参考模型



## 小测试选择题

1. 计算机网络体系结构中，ISO/OSI、TCP/IP和本书的参考模型依次为\_\_层，\_\_层和\_\_层

**A 3**

**B 4**

**C 5**

**D 6**

**E 7**

**F 8**

( )

# 网络体系结构回顾

OSI

7	应用
6	表示
5	会话
4	传输
3	网络
2	数据链路
1	物理

TCP/IP

应用
传输
互联网
主机至网络

本课程模型

应用
传输
网络
数据链路
物理

# 物理层 (PHYSICAL LAYER)

---

- 与传输媒体的接口，完成传输媒体上的信号与二进制数据间的转换
- 物理接口上发送或接收的是一串以某种规则表示的二进制的数据
- 物理层定义的是接口的机械特性、电气特性、功能和过程特性等
- 例如：插头、插座的几何尺寸，每根引脚的功能定义，逻辑[0]和[1]的电平定义，信号宽带定义

## 第2章 物理层



## 第2章 物理层 (PHYSICAL LAYER)

---

- 网络模型最底层，是构建网络的基础。
- 定义了比特作为信号在信道上发送时的相关的电气、时序和其他接口
- 物理信道的不同特性决定了其传输性能的不同（比如吞吐量、延迟和误码率）

## 第2章 物理层

2.1 数据通信的理论基础

2.2 引导性传输介质

2.3 无线传输

2.4 通信卫星

2.5 数字调制与多路复用

2.6 公共电话交换网络

2.7 移动电话系统

2.8 有线电视



## 第2章 物理层

### 2.1 数据通信的理论基础

### 2.2 引导性传输介质

### 2.3 无线传输

### 2.4 通信卫星

### 2.5 数字调制与多路复用

### 2.6 公共电话交换网络

### 2.7 移动电话系统

### 2.8 有线电视



## 第2章 物理层——主要内容

### 目标:

- 了解传输介质的类型及主要特点、同步光纤网、同步数字系列和宽带接入技术
- 理解物理层基本概念、基带传输及接口标准
- 理解香农定理、信道速率、调制方式等基本概念
- 掌握物理层与物理层协议、数据通信、频带传输、数据编码的类型和基本方法、多路复用的分类与特点、数据交换技术分类与特点

### 重点和难点:

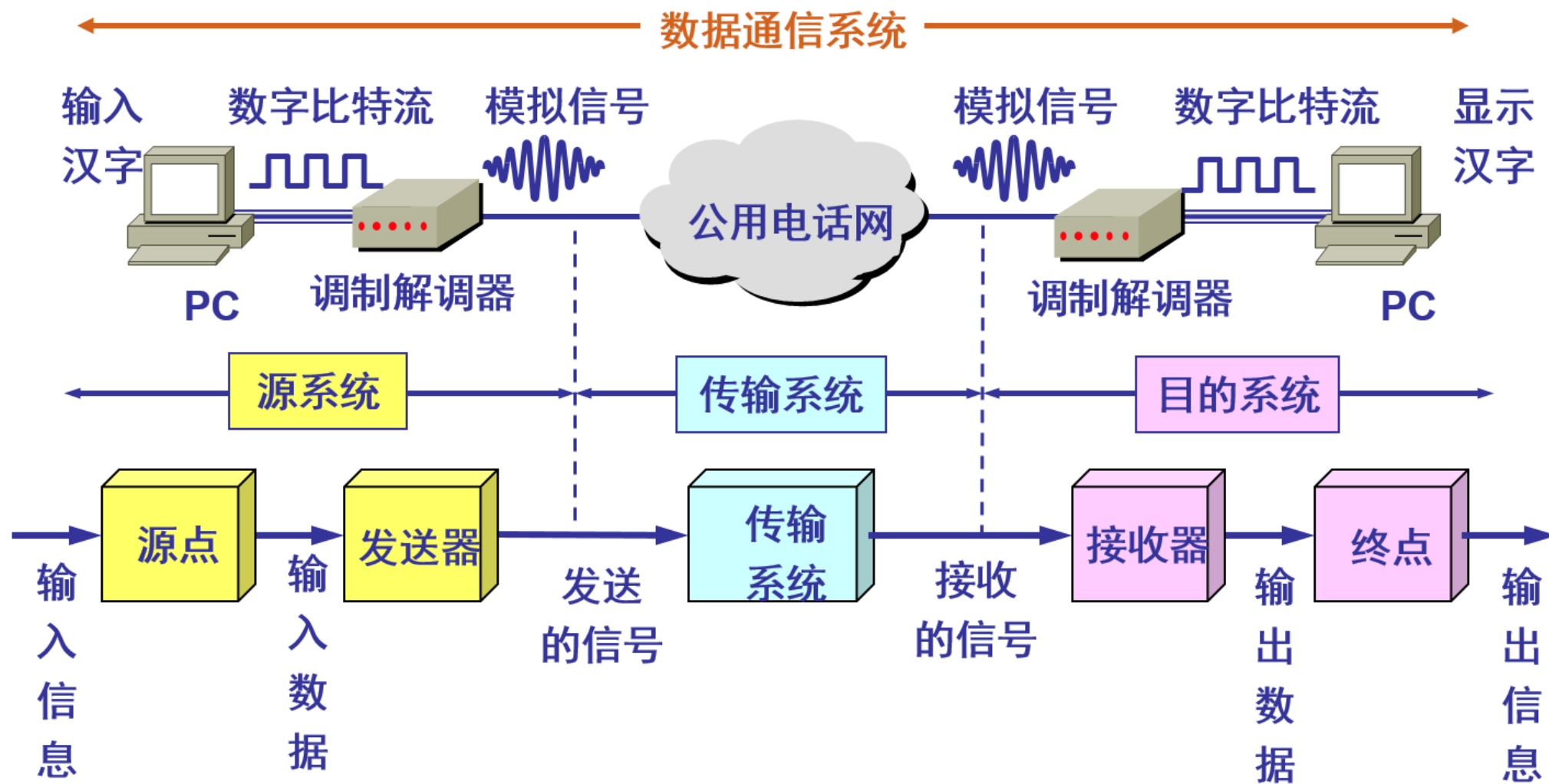
- ◆ 数据通信的理论基础
- ◆ 无线传输及卫星传输
- ◆ 数字调制

## 2.1 数据通信的理论基础

---

- 数据通信系统分为三部分：
- 源系统（发送端，发送方）
- 传输系统（传输网络）
- 目的系统（接收端，接收方）

## 2.1 数据通信的理论基础



## 2.1 数据通信的理论基础——几个术语（1）

---

- **消息** (Message) ——语音、文字、图像等。
- **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。

## 2.1 数据通信的理论基础——几个术语（2）

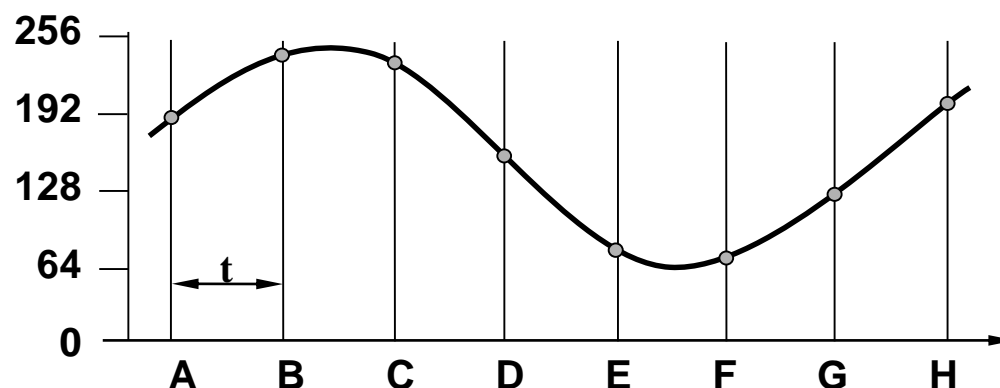
---

- **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。例如广播等。
- **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)。例如对讲机
- **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。



## 2.1 数据通信的理论基础——几个术语（3）

### 采样、量化和编码



A	B	C	D	E	F	G	H
188	244	240	144	80	72	122	200
10111100	11110100	11110000	10010000	01010000	01001000	01111100	11001000

## 第2章 物理层 (PHYSICAL LAYER)

---

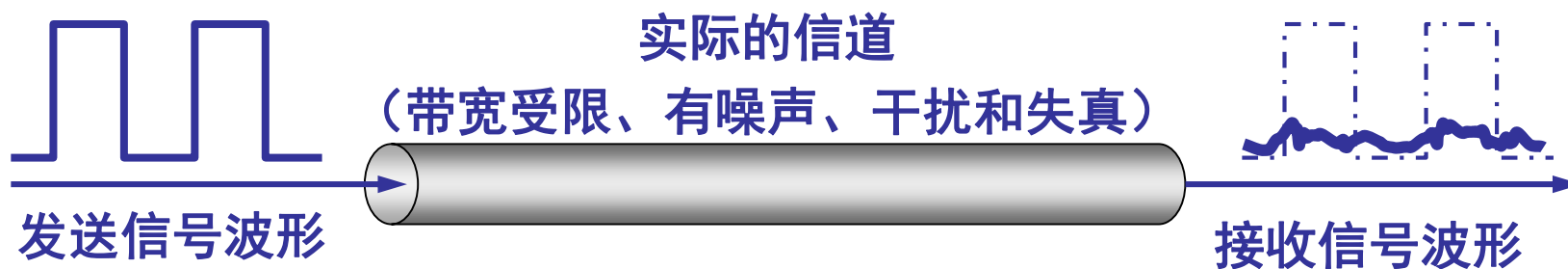
- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，在信道的输出端的波形的失真就越严重。

## 第2章 物理层 (PHYSICAL LAYER)

- 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



## 2.1 数据通信的理论基础

---

- 傅里叶 (Fourier) 分析
- 奈奎斯特 (Nyquist) 定理
- 香农 (Shannon) 定理

## 2.1.1 傅里叶分析

傅立叶级数：任何正常周期为T的函数 $g(t)$ ，都可由（无限个）

正弦和余弦函数合成：

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

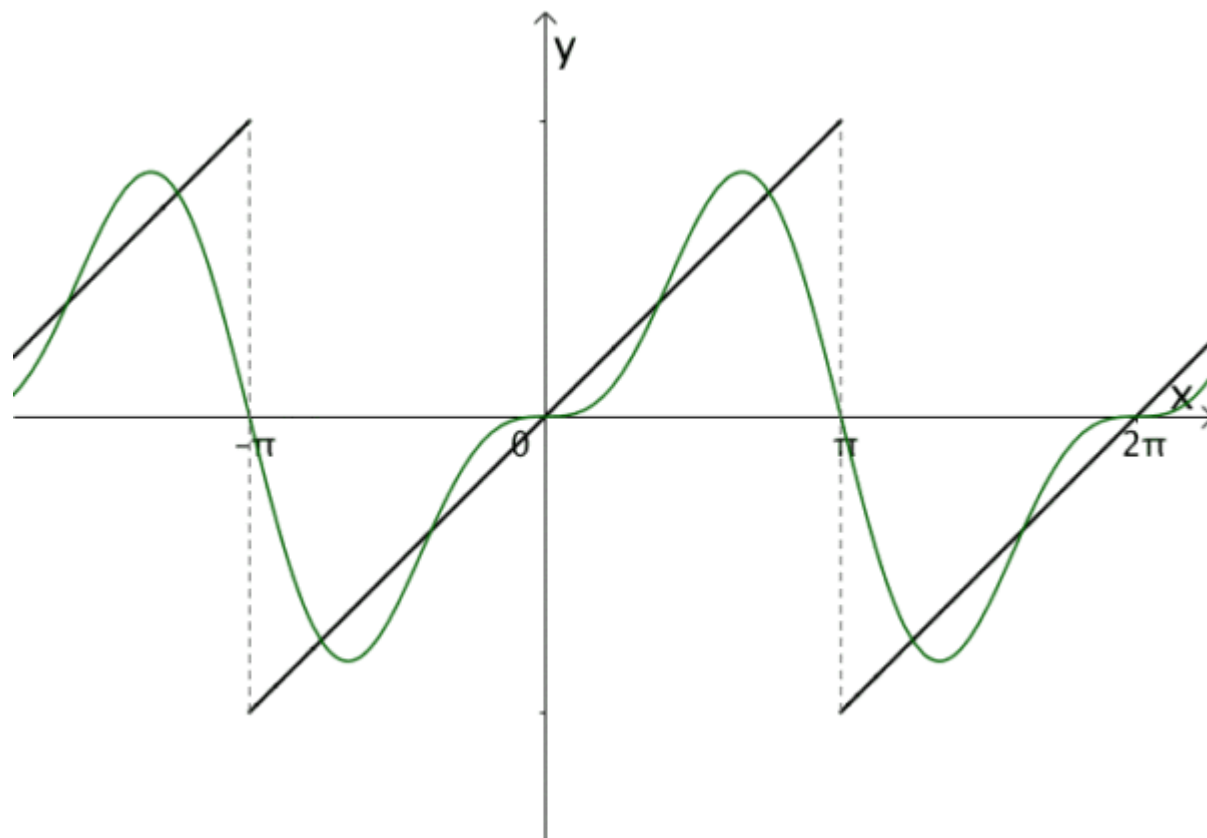
其中， $f=1/T$ 是基频，

$a_n$ 和 $b_n$ 称为正弦和余弦函数的 $n$ 次谐波的振幅，

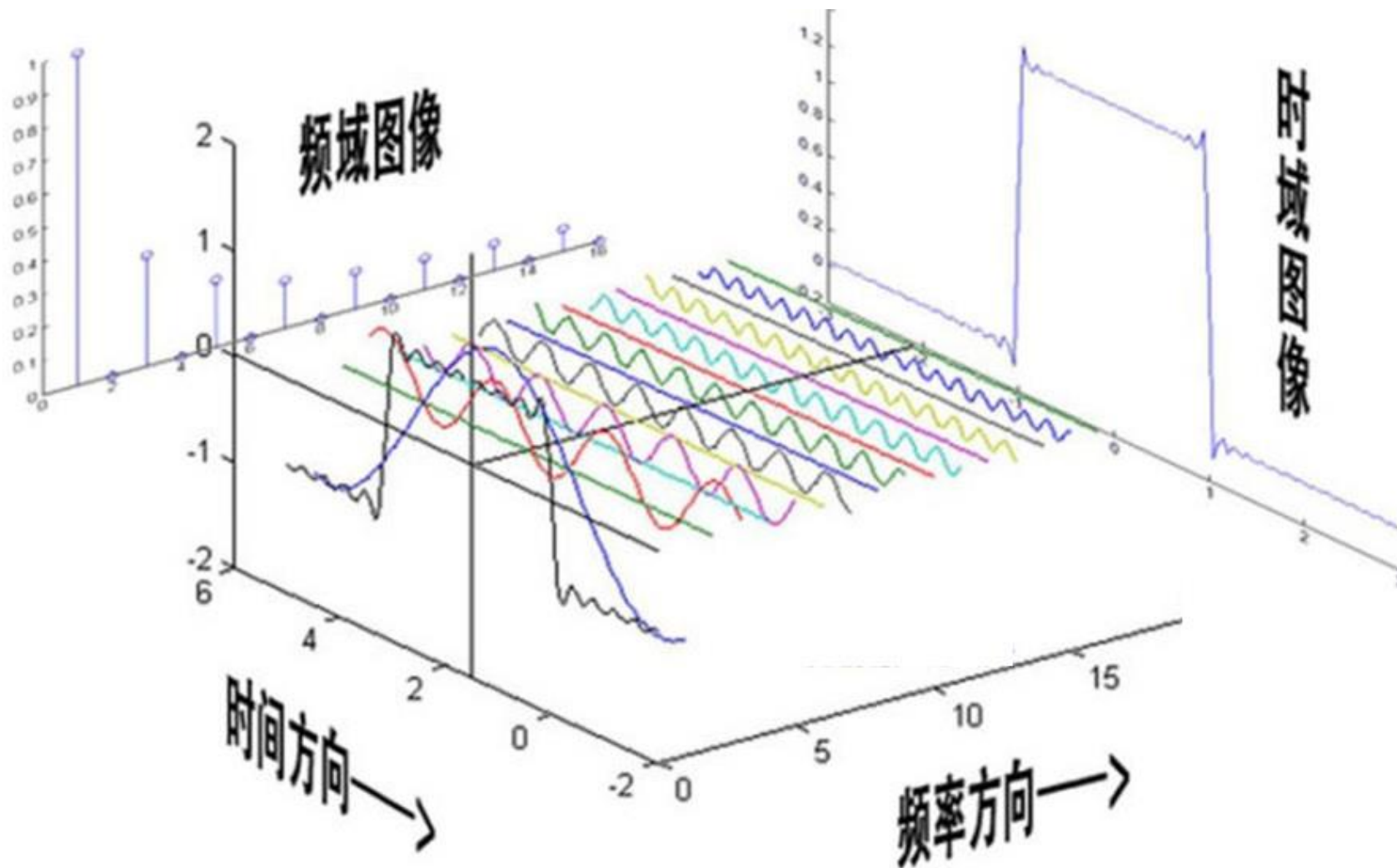
$c$ 是常数

## 2.1.1 傅里叶分析

傅立叶级数：任何正常周期为 $T$ 的函数 $g(t)$ ，都可由（无限个）  
正弦和余弦函数合成：

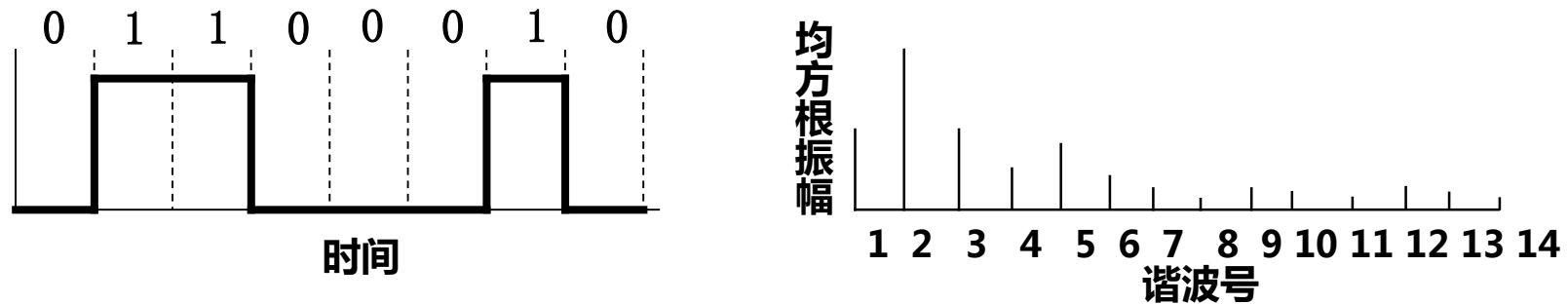


## 2.1.1 傅里叶分析



## 2.1.1 傅里叶分析

如传输ASCII字符b，即 01100010，对信号进行傅里叶分析可求得：



$$a_n = \frac{1}{\pi n} [\cos(\pi n / 4) - \cos(3\pi n / 4) + \cos(6\pi n / 4) - \cos(7\pi n / 4)]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} [\sin(3\pi n / 4) - \sin(\pi n / 4) + \sin(7\pi n / 4) - \sin(6\pi n / 4)]$$

$$c = 3/8$$

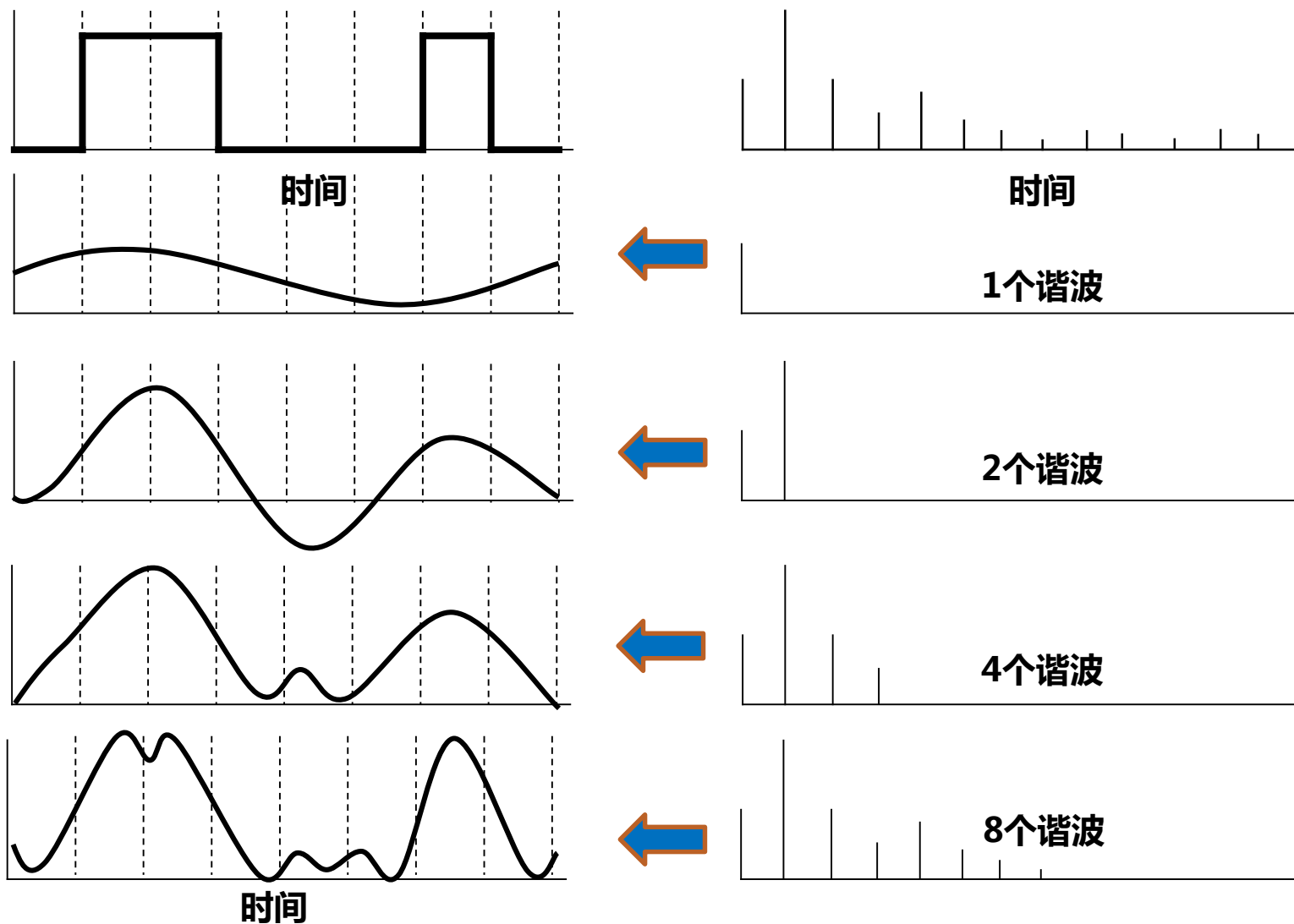


## 2.1.1 傅里叶分析

- 任何信号的传输都可理解为以傅立叶级数的形式传递。如每个傅立叶级数的信号分量被等量衰减，则合成后，振幅有所衰减，基本形状不变，且不同设施衰减程度有差异。
- 如果从0- $f_c$ 的频率范围内没有衰减，则称这段频率范围为**带宽**
- 802.11: 20MHz, 电视系统: 6MHz
- 从0到最大频率的信号称为**基带信号**，被搬移到更大频率范围的称为**通带信号**

## 2.1.2 带宽有限的信号

如传输ASCII字符b，即 01100010，可求得：



## 2.1.2 带宽有限的信号

对指定的最高频率，传输带宽是有限的

- 每个信道能通过频率范围都是有限的，要保证信号的正确传输，至少要能通过4个谐波，这就限制了数据传输速率

- 一个信号携带一个bit，信号的速率为b，则发送8 bit(1B)需要 $T=8/b$ 秒，因而基频 $f = 1/T = b/8$  Hz

如：截止频率为F

则：最大的谐波次数n满足 $nf \leq F$ ，即： $n \leq F/f = 8F/b$

## 2.1.2 带宽有限的信号

当截止频率为F为3000HZ时

数据传输速率(bps)	发送的谐波数n
300	80
600	40
1200	20
2400	10
4800	5
9600	2
19200	1
38400	0

传输速率与谐波的关系

## 2.1.3 信道的最大速率——奈奎斯特定理

- 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。
- **最大数据速率=2Blog<sub>2</sub>V (bit/s)**
- B为带宽，V为信号的离散等级（每个码元离散电平的数目/码元的等级）

## 2.1.2 信道的最大速率——香农定理 (1)

- 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
- $$C = W \log_2(1+S/N) \quad (\text{单位 b/s})$$
  - $W$  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。

## 2.1.2 信道的最大速率——香农定理 (2)

- 信噪比SNR (Signal-to-Noise Ratio)
- 一般表示为对数形式 $10\log_{10}S/N$ ，单位为分贝(dB)
- 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。

## 2.1.2 信道的最大速率——香农定理 (3)

- 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。
- 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信息量。



## 2.1.2 信道的最大速率——香农定理 (4)

示例：

- 香农定理  $C = W \log_2(1+S/N)$
- 1、使用1MHz带宽的ADSL，信噪比40分贝，最大传输速率是多少？
  - $10\log_{10}(S/N)=40\text{db}$ ，则 $S/N=10^4=10000$ ；
  - $C=1 \times \log_2(1+10000) \approx 4/\log_2 \approx 13 \text{ Mbps}$
- 2、使用3kHz带宽的电话信道传送64kbit/s的数据（无差错传输），信道应当具有多高的信噪比？
  - $64=3 \times \log_2(1+S/N)$ ，则 $S/N=2^{64/3}-1$
  - 信噪比 $S/N=10\log_{10}(2^{64/3}-1) = 64.2 \text{ dB}$

## 第2章 物理层

2.1 数据通信的理论基础

2.2 引导性传输介质

2.3 无线传输

2.4 通信卫星

2.5 数字调制与多路复用

2.6 公共电话交换网络

2.7 移动电话系统

2.8 有线电视



## 2.2 引导性传输介质

---

- 传输介质分为引导型传输介质和非引导型传输介质。
- 引导性：沿着固体媒介传输；
- 非引导性：自由空间（无线传输）

## 2.2 引导性传输介质

---

- 磁介质
- 双绞线
- 同轴电缆
- 电力线
- 光纤

## 2.2 引导性传输介质

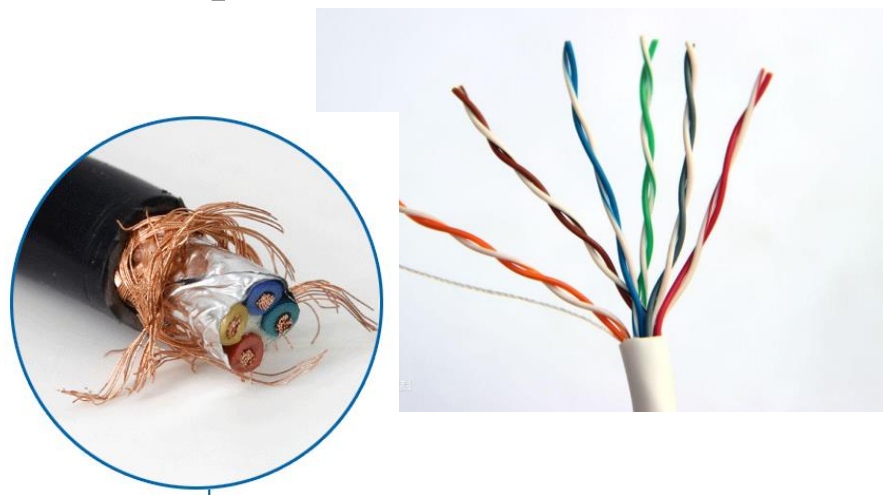
- 磁介质      磁介质 (harddisk)
  - 最直接的方式，就是把硬盘或其他存储设备直接运输到目的地。
- 双绞线
- 同轴电缆      • 如果按照容量/时间/成本计算，运送磁介质比想象的带宽要大得多。
- 电力线
- 光纤

## 2.2 引导性传输介质

- 磁介质
- 双绞线
  - 双绞线 (twisted pair)
    - 由两根彼此绝缘的铜线按螺旋状绞合在一起。这一对线作为一条通信链路。
- 同轴电缆
  - 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair)
  - 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair)
- 电力线
  - 线间干扰较小、价格便宜、易于安装。可传输模拟信号和数字信号
- 光纤

## 2.2 引导性传输介质——双绞线

- EIA-568是双绞线的相关标准：
- 包括3、4、5、6类线等，数字越高，绞合的越紧密，带宽越高
- 5类双绞线是数据级电缆，传输速率可达100Mbps
- CAT5 e 超五类线 速率可达100-1000Mbps
- CAT6 CAT6 e可达万兆
- 注意提高网速不能只靠网线



## 2.2 引导性传输介质

- 磁介质

- 双绞线

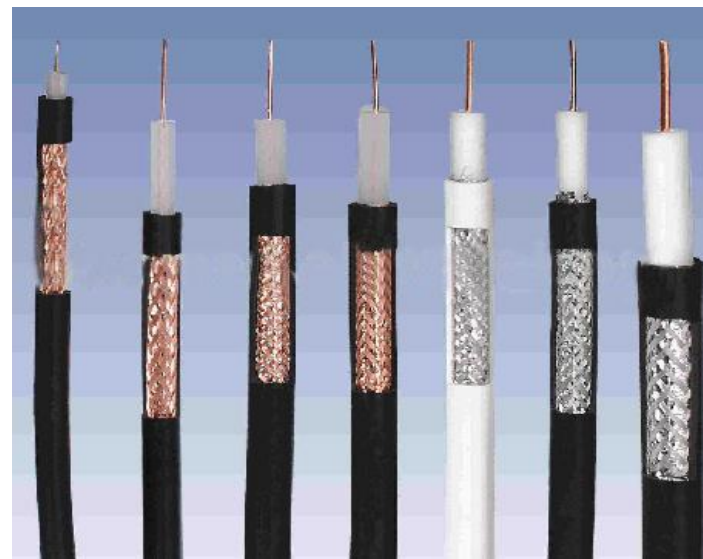
- 同轴电缆

- 电力线

- 光纤

### 同轴电缆 (coaxial cable)

- 由铜芯加外层绝缘材料和外层网状圆柱导体等组成。
- 比双绞线传输的距离长，传输率也更高
- 用途：
  - ✓ 电视节目的传输
  - ✓ 长途电话的传输
  - ✓ 局域网





## 2.2 引导性传输介质——同轴电缆

常用的同轴电缆有两种：

- 50  $\Omega$  同轴电缆

- 50  $\Omega$  同轴电缆用于数字信号传输，目前基本已被双绞线所替代

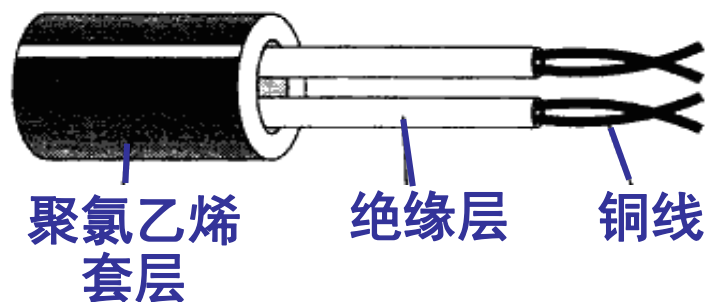
- 75  $\Omega$  同轴电缆

- 75  $\Omega$  同轴电缆用于模拟信号传输，目前主要用于电视信号的传输
- 由于75  $\Omega$  同轴电缆的带宽极宽，所以，也被用于城域网，如有线通

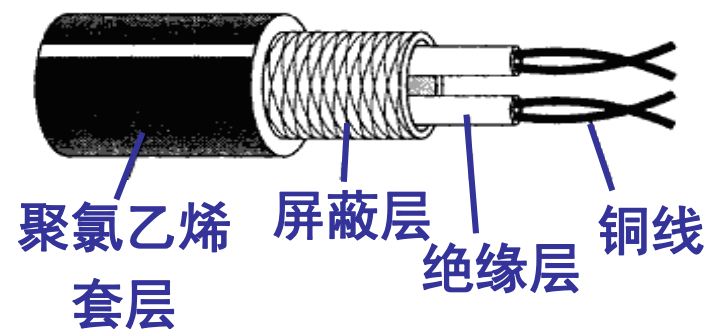
## 2.2 引导性传输介质——同轴电缆

### ○ 各种电缆

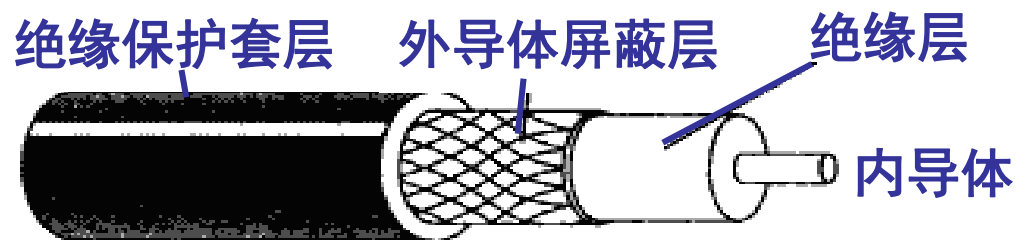
无屏蔽双绞线 UTP



屏蔽双绞线 STP



同轴电缆



## 2.2 引导性传输介质

- 磁介质
  - 双绞线
  - 同轴电缆
  - 电力线
  - 光纤
- 原理是将高频数据信号叠加在低频电力信号上，带宽可达100Mbps以上。
  - 国际标准还在制定当中

## 2.2 引导性传输介质

- 磁介质

- 双绞线

- 同轴电缆

- 电力线

- 光纤

### 光纤

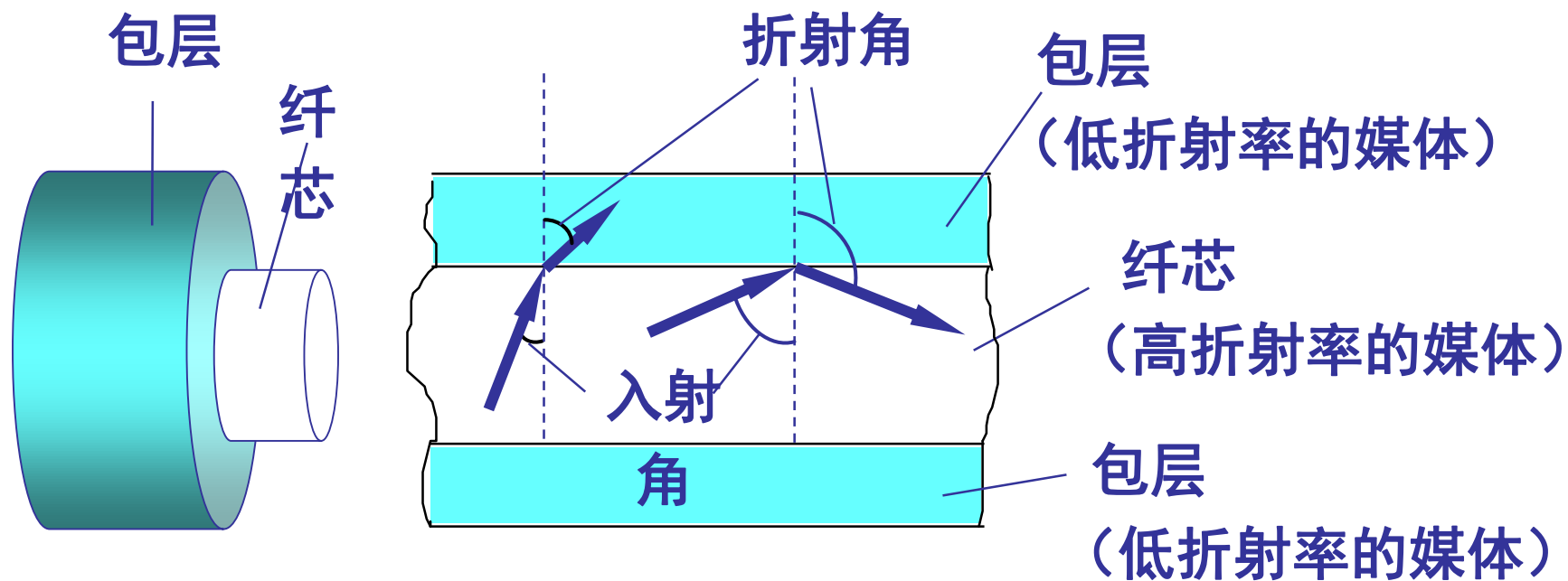
- 带宽超过50Tbps，受限于无法将电气和光学信号更快的转换
- 与铜线相比，有更高的带宽，较低的衰减，因此传输损耗小，中继距离长，成本更低；抗干扰性好，保密性好，不容易被窃听；体积更小、重量更轻。缺点是易折断需要两根进行双向通信，接口成本高。



## 2.2 引导性传输介质——光纤

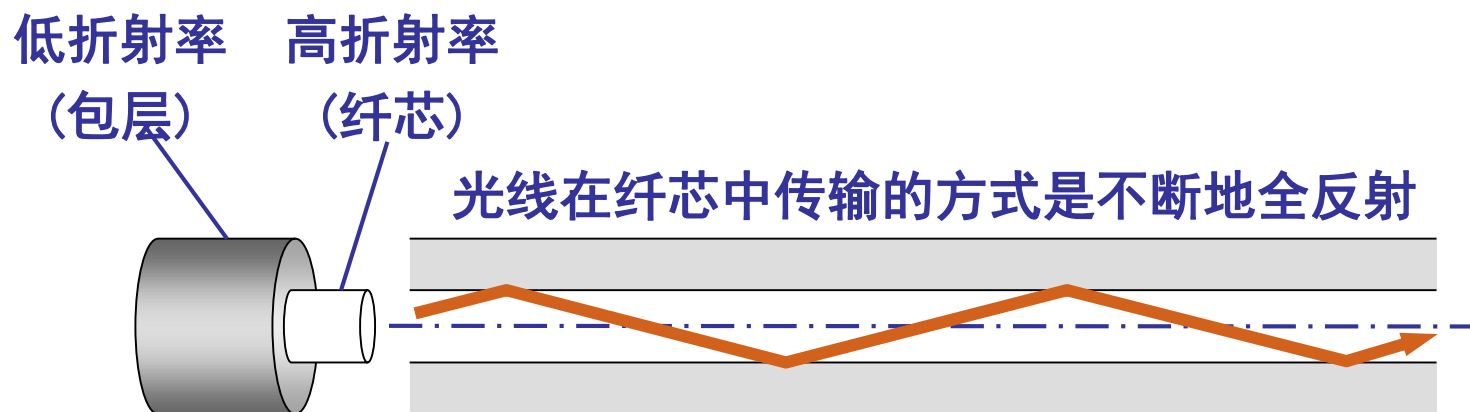
### 光纤的工作原理（1）

- 光线在光纤中的折射



## 2.2 引导性传输介质——光纤

### 光纤的工作原理（2）

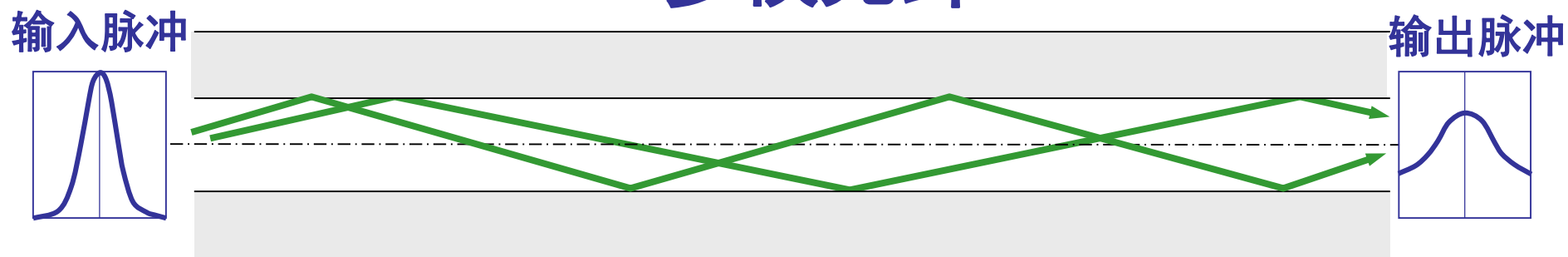


- 多模光纤：不同信号的光线按照不同角度在光纤中传播
- 单模光纤：直线传输，可传输100km不需要中继器

## 2.2 引导性传输介质——光纤

### ○多模光纤与单模光纤

#### 多模光纤



#### 单模光纤



## 第2章 物理层

2.1 数据通信的理论基础

2.2 引导性传输介质

2.3 无线传输

2.4 通信卫星

2.5 数字调制与多路复用

2.6 公共电话交换网络

2.7 移动电话系统

2.8 有线电视





## 2.3 无线传输

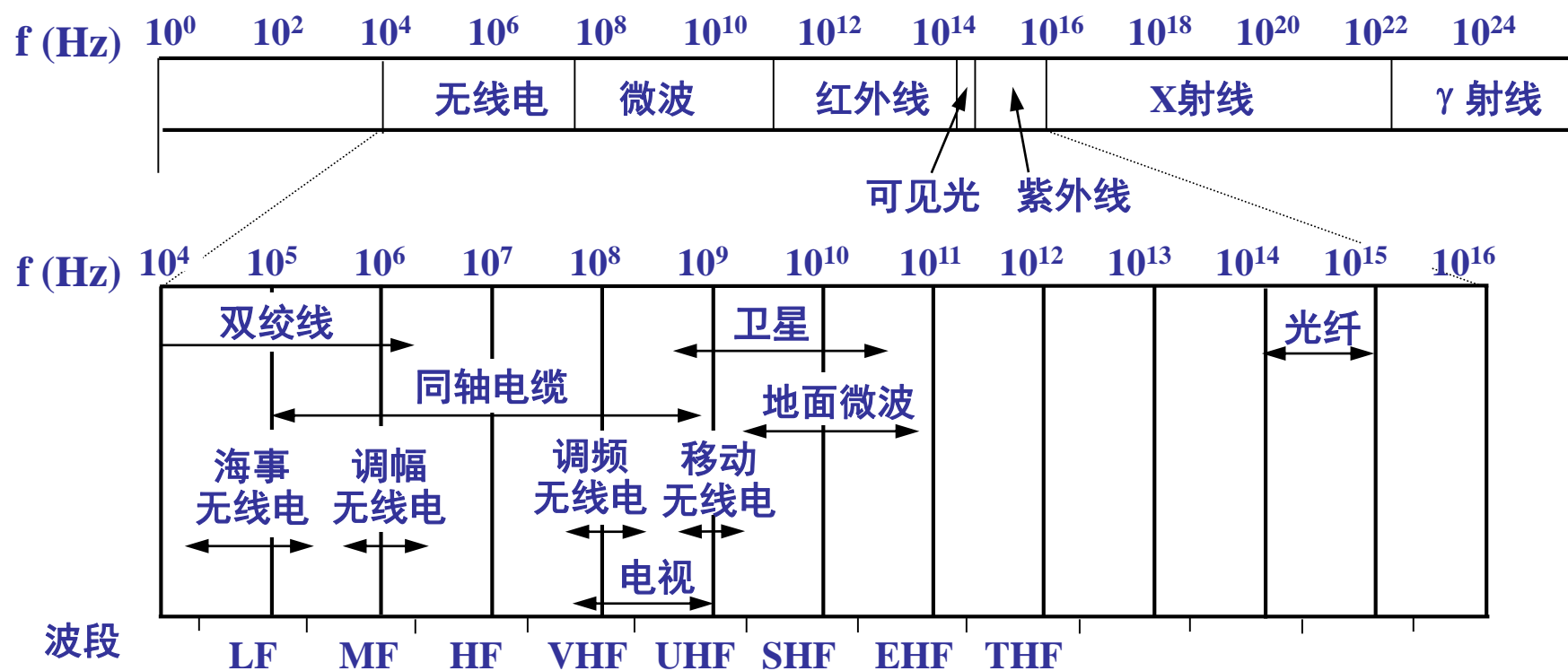
---

根据波长分成不同的波段，依次为：

- 磁无线电传输
- 微波传输
- 红外线
- 光通信

## 2.3 无线传输

### 用于通信的电磁波频段



低频 中频 高频 甚高频 超高频 特高频 极高频 巨高频

## 2.3 无线传输

---

### 无线通信频段

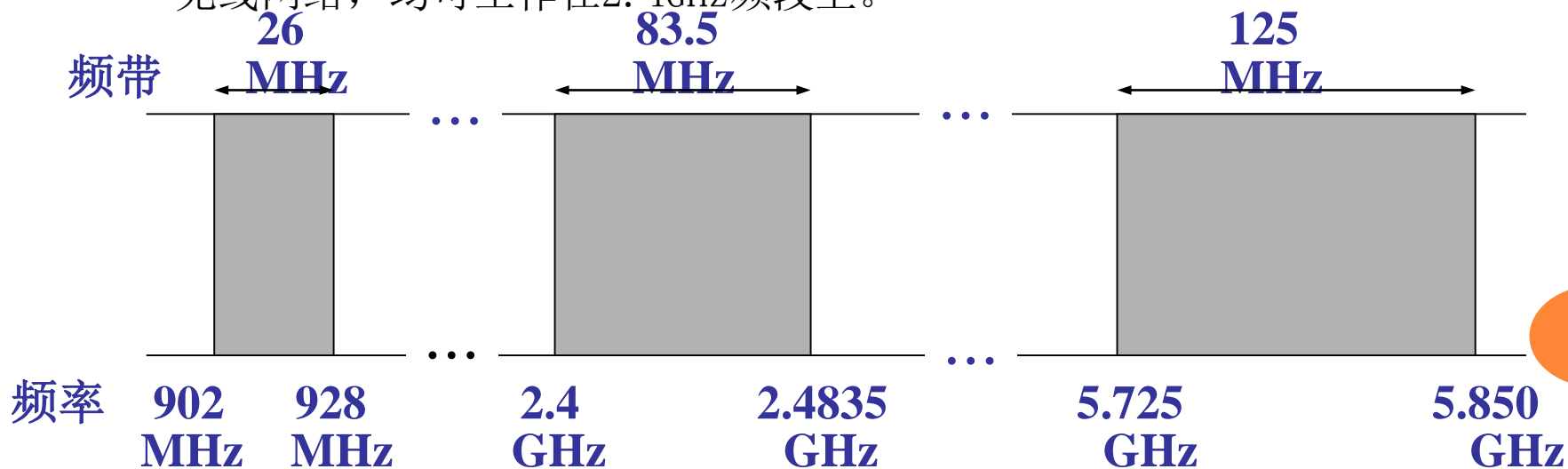
- 频率越高，带宽越大，对设备要求更高，难以产生和调制
- 波长越大，带宽越小，穿透性越好，传输距离更远
- 一般使用窄带频段
- 其他技术包括跳频扩频技术，直接序列扩频，超宽带通信

## 2.3 无线传输

### 无线通信频段

- ISM频段：即工业，科学和医用频段。

- 应用这些频段无需许可证，只需要遵守一定的发射功率，并且不要对其它频段造成干扰即可。
- ISM频段在各国的规定并不统一。如在美国有三个频段902-928 MHz，2400-2483.5 MHz，5725-5850 MHz，而在欧洲900MHz的频段则有部份用于GSM通信。
- 2.4GHz为各国共同的ISM频段。因此无线局域网，蓝牙，ZigBee等无线网络，均可工作在2.4GHz频段上。



## 2.3 无线传输

---

- 无线电通信（LF, MF, HF, VHF）
  - 传输距离长，穿透性好。
  - 可以通过电离层的反射，进行长距离通信
  - 带宽低，用户之间存在干扰，通信质量较差，用于低速传输。
- 微波通信（100MHz以上）
  - 在空间主要是直线传播，采用地面微波接力通信容量大，质量高，见效快
  - 受到地形、天气等影响，存在多径衰落效应。
- 红外和光通信
  - 用于短程通信

## 第2章 物理层

2.1 数据通信的理论基础

2.2 引导性传输介质

2.3 无线传输

2.4 通信卫星

2.5 数字调制与多路复用

2.6 公共电话交换网络

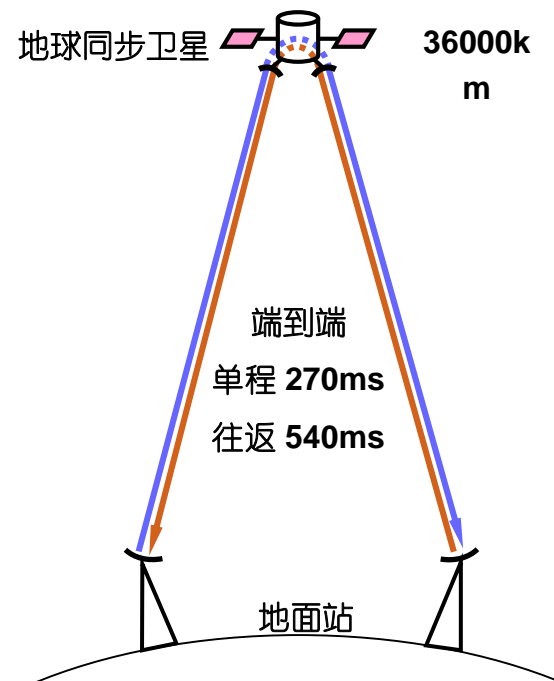
2.7 移动电话系统

2.8 有线电视



## 2.4 通信卫星

- 特点：
  - 将通信卫星作为一个微波中继站
  - 通信距离远，范围大，传输时延大，保密性差
- 用途
  - 电视节目
  - 长途电话
  - 商业网络



## 第2章 物理层

2.1 数据通信的理论基础

2.2 引导性传输介质

2.3 无线传输

2.4 通信卫星

2.5 数字调制与多路复用

2.6 公共电话交换网络

2.7 移动电话系统

2.8 有线电视





## 2.5 数字调制与多路复用

- **基带传输**：信号传输占据传输介质上从0到最大值的所有频率。
- 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**或**编码**。
- **通带传输**：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）。

## 2.5.1 基带传输

---

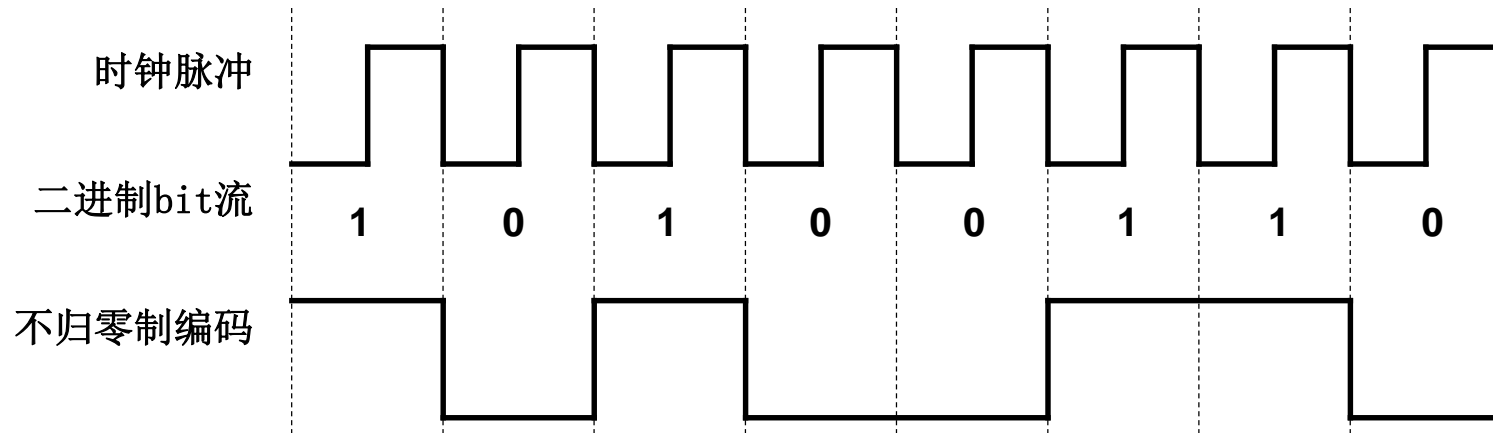
常用的数字信号编码有：

- ❖ 不归零编码 (NRZ)
- ❖ 不归零逆转 (NRZI)
- ❖ 曼切斯特编码
- ❖ 4B/5B编码

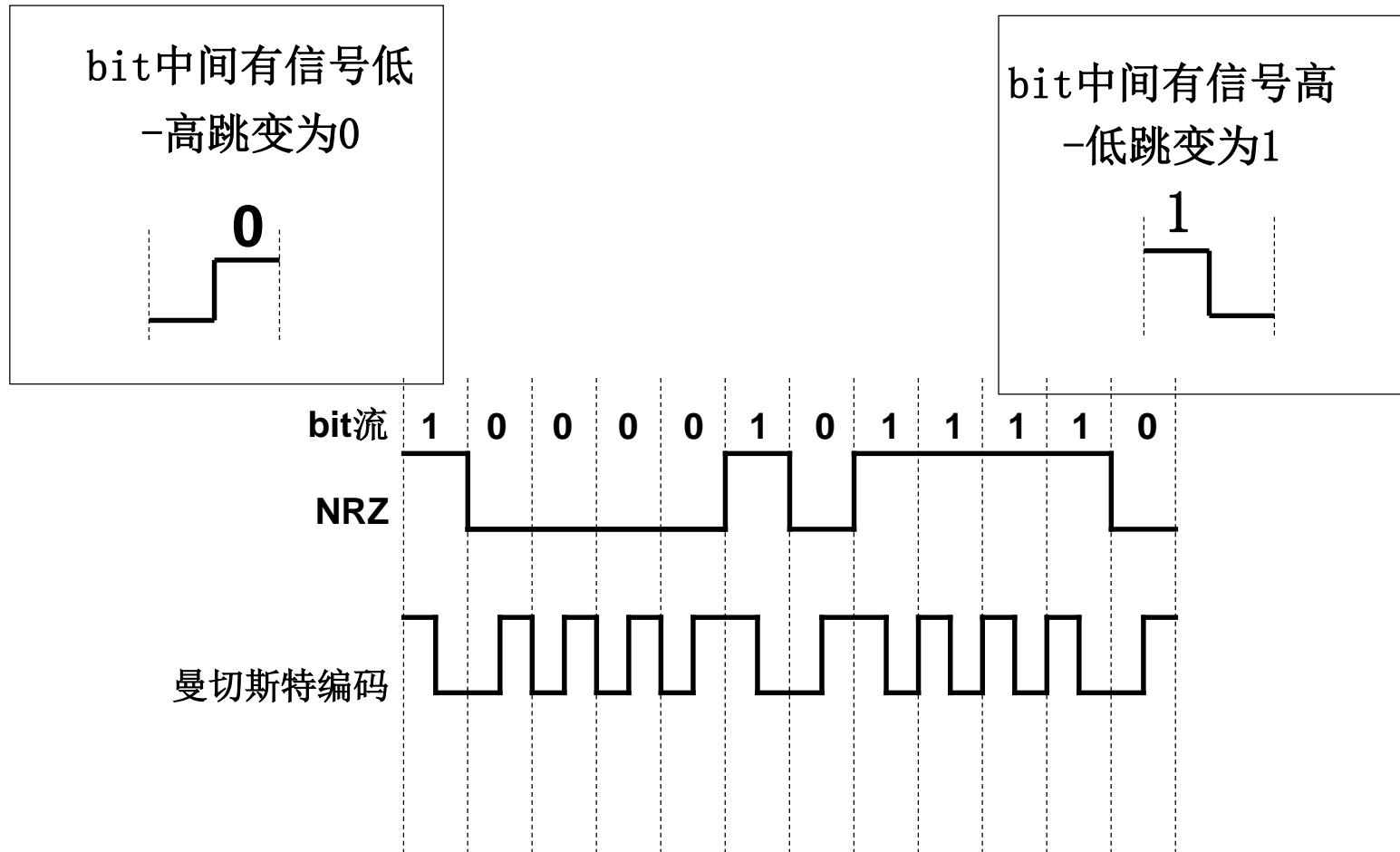
## 2.5.1 基带传输——不归零编码 NRZ (NONRETURN-TO ZERO )

正电平表示1，零电平表示0，并且在表示完一个码元后，电平无需回到零

缺点是存在发送方和接收方的同步问题(时钟问题)



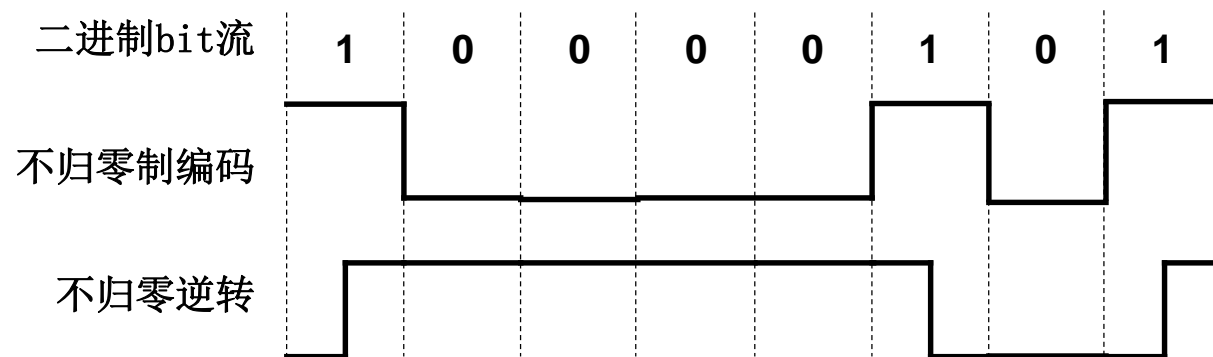
## 2.5.1 基带传输——曼切斯特编码 (MANCHESTER ENCODING)



采用曼切斯特编码，一个时钟周期只可表示一个bit，并且必须通过两次采样才能得到一个bit。但它能携带时钟信号，且可表示没有数据传输

## 2.5.1 基带传输——不归零逆转 (NRZI)

为了节省带宽，在NRZ基础上改进，1定义为有跳变，0无跳变，解决了长串1传输的问题



## 2.5.1 基带传输——不归零逆转 (NRZI)

### 4B/5B编码

- 是不归零制编码的一种变种
- 数据流中每4个bit成一个组合，并对应为5个bit的编码
- 5B编码中至少有两个1，即保证在传输中信号码元至少发生两次跳变，这是在接收端提取时钟信号所必须的

16进制数	4bit码	5bit码	16进制数	4bit码	5bit码
0	0000	11110	8	1000	10010
1	0001	01001	9	1001	10011
2	0010	10100	A	1010	10110
3	0011	10101	B	1011	10111
4	0100	01010	C	1100	11010
5	0101	01011	D	1101	11011
6	0110	01110	E	1110	11100
7	0111	01111	F	1111	11101

## 2.5 数字调制与多路复用

### 四种编码方式的比较

- **比特率(bit rate):单位时间内传输多少比特**
- **波特率(baud rate):单位时间内传输多少符号 ( 码元 )**

比特率 = 波特率 \*  $\log_2(N)$  N表示几种离散值

例：00 01 10 11 表示四种符号，00 01表示4bite，但只有2个符号

## 2.5 数字调制与多路复用

### 四种编码方式的比较

- 不归零制编码的编码效率最高，接收端一次采样可得到一个bit，即波特率等于比特率，但不能携带时钟
- 曼切斯特编码的编码密度最低，接收端二次采样才可得到一个bit，即波特率是比特率的两倍，但每个bit中都有信号跳变，即携带了时钟
- 不归零逆转编码效率接近不归零码，并且可以携带时钟
- 4B/5B编码的编码密度略低于不归零制编码，但高于曼切斯特编码，即波特率是比特率的1.25倍，然而在接收端能提取时钟



## 2.5 数字调制与多路复用

### 2.5.2 通带传输

- 实际通信时，需要将信号放置到一个指定的频带上，以避免互相干扰，这类传输称为通带传输。
- 将 $0 \sim B\text{Hz}$ 的信号，搬移到 $S \sim S+B\text{Hz}$ 的通带上，不改变信号中的信息，接收方再搬回基带。

## 2.5.2 通带传输

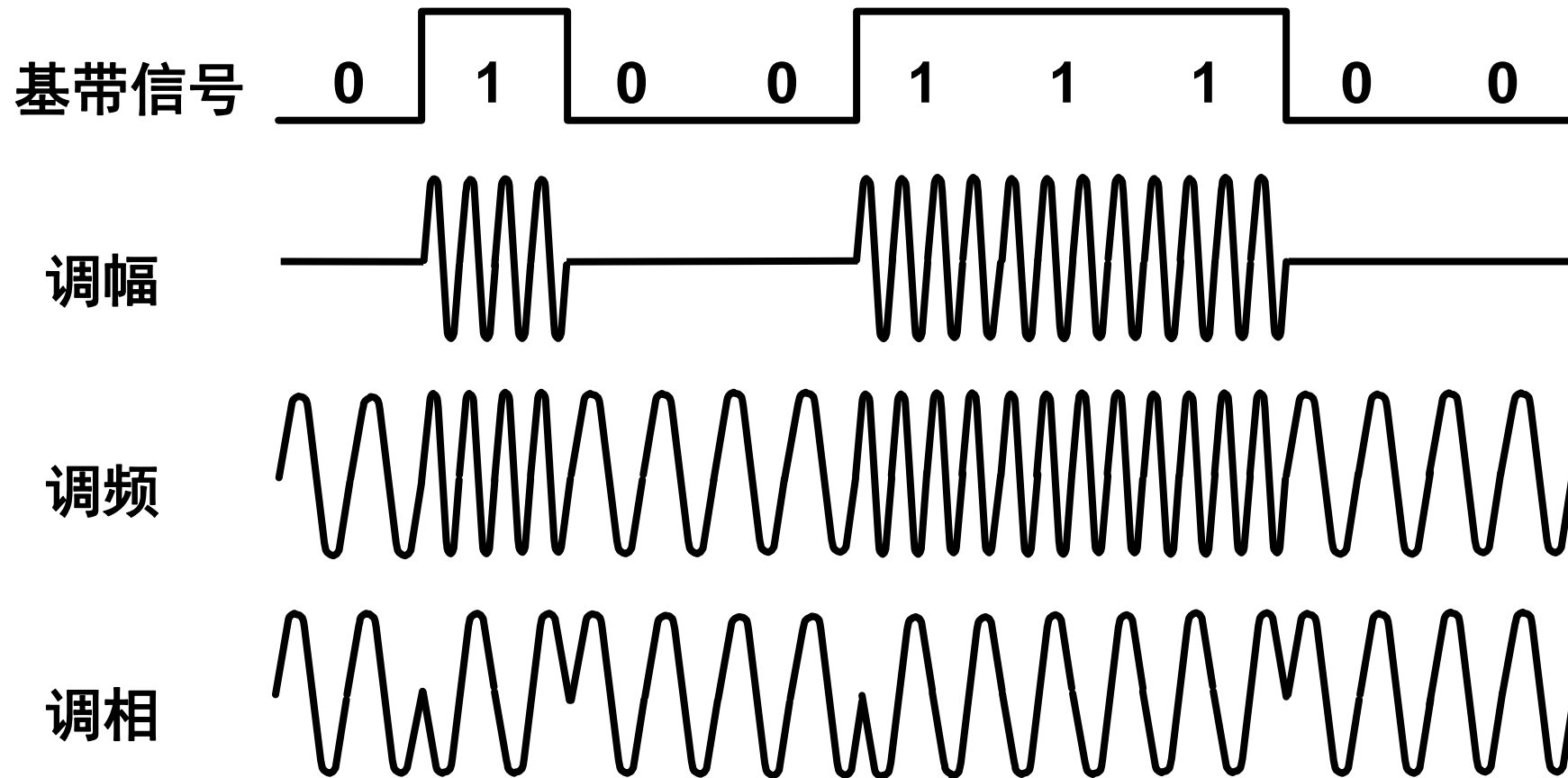
---

### 载波信号的几种调制方法

- **调幅** (ASK)：载波的振幅随基带数字信号而变化。
- **调频** (FSK)：载波的频率随基带数字信号而变化。
- **调相** (PSK)：载波的初始相位随基带数字信号而变化。

## 2.5.2 通带传输

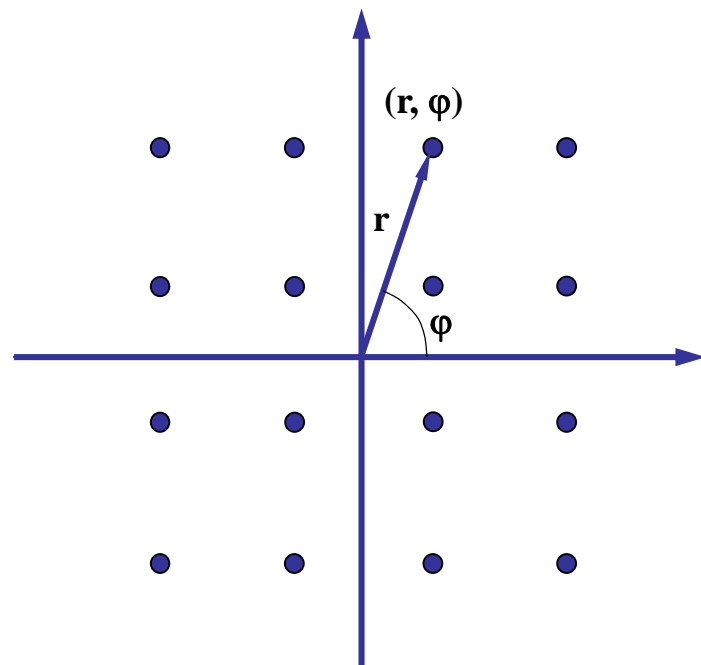
### 载波信号的几种调制方法



## 2.5.2 通带传输

### 载波信号的几种调制方法

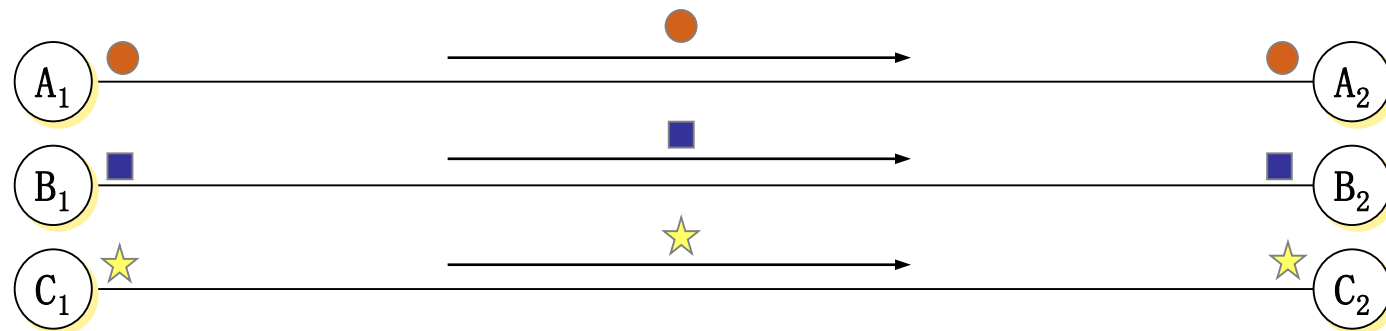
- 可供选择的相位有 12 种，而对于每一种相位有 1 或 2 种振幅可供选择。
- 由于 4 bit 编码共有 16 种不同的组合，因此这 16 个点中的每个点可对应于一种 4 bit 的编码。
- 若每一个码元可表示的比特数越多，则在接收端进行解调时要正确识别每一种状态就越困难。
- 格雷码，将比特映射到符号，相邻之间只差 1 bit



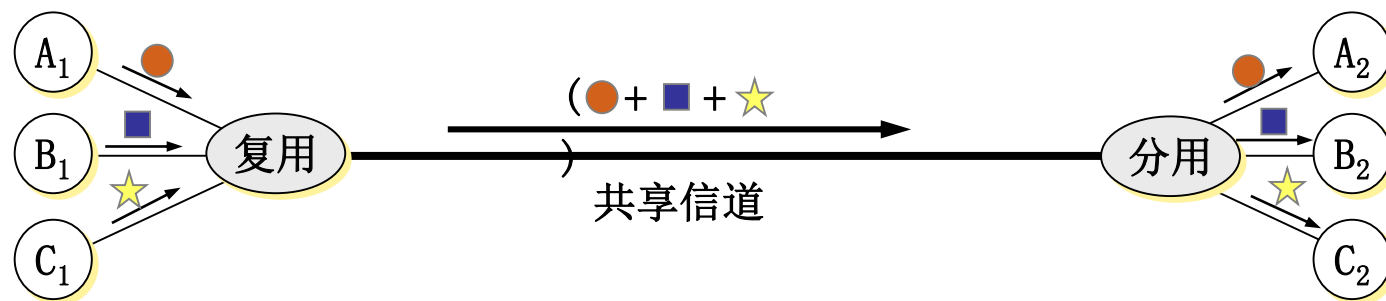
## 2.5 数字调制和多路复用

### 多路复用

无论是广域网还是局域网，都存在这样一个事实，即传输介质的带宽大于传输单一信号所需的带宽，为了有效地利用传输系统，通常采用多路复用（Multiplexing）技术以同时携带多路信号来高效率地使用传输介质。



(a) 使用单独的信道



(b) 使用共享信道

## 2.5 数字调制和多路复用

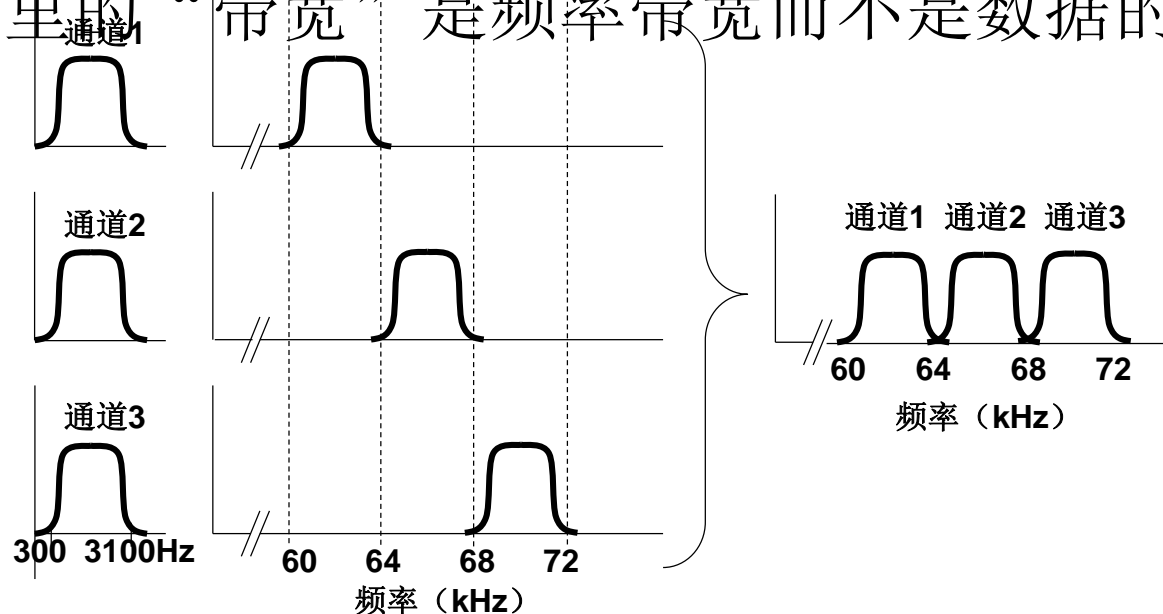
---

多路复用主要有以下几种：

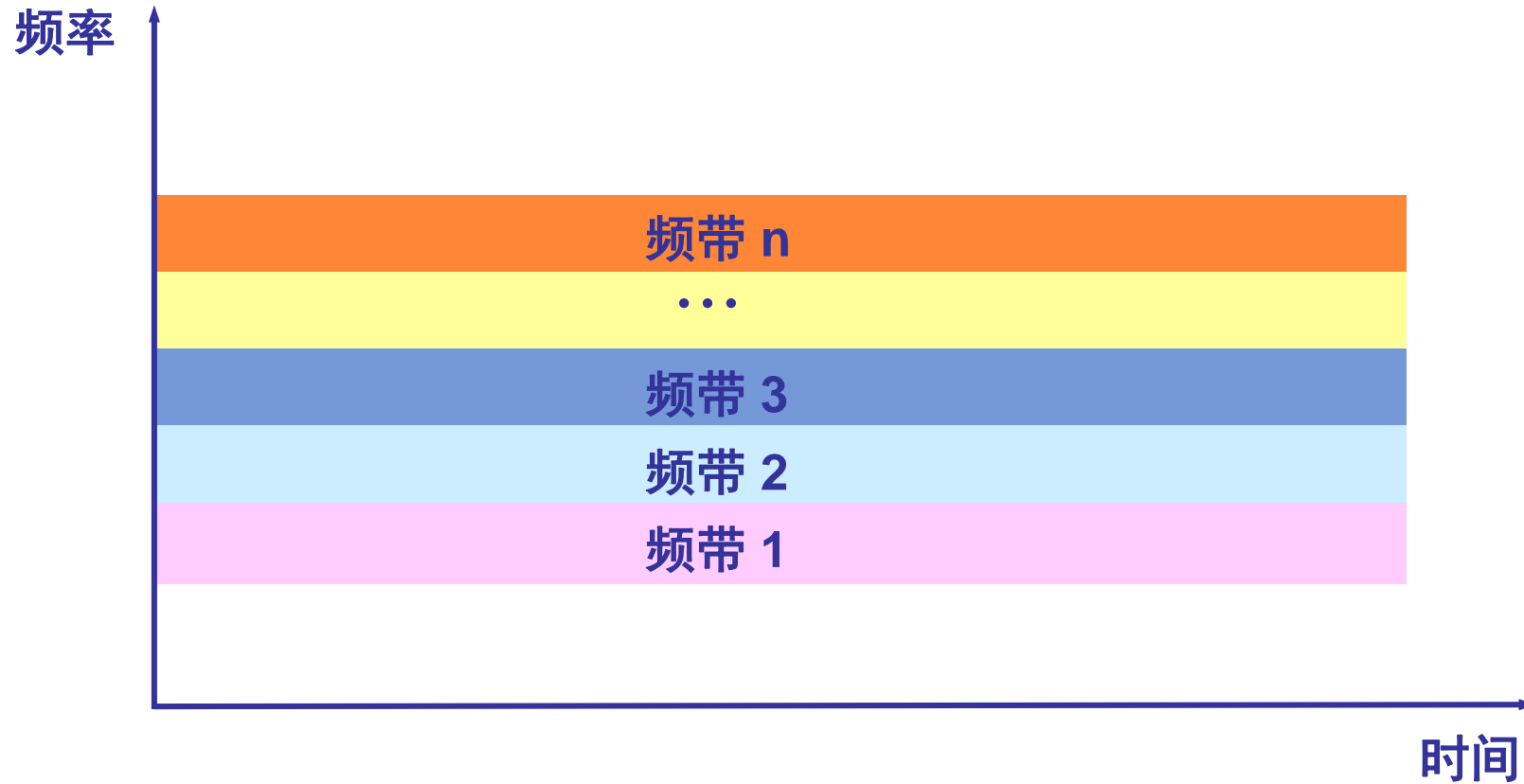
- 频分多路复用FDM (Frequency Division Multiplexing)
- 时分多路复用TDM (Time division Multiplexing)
- 波分多路复用WDM (Wavelength Division Multiplexing)
- 码分多路复用CDM (Code Division Multiplexing)

## 2.5.3 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一时刻 分别占用 不同带宽 资源。
- 注意这里的“带宽”是频率带宽而不是数据的发送速率。



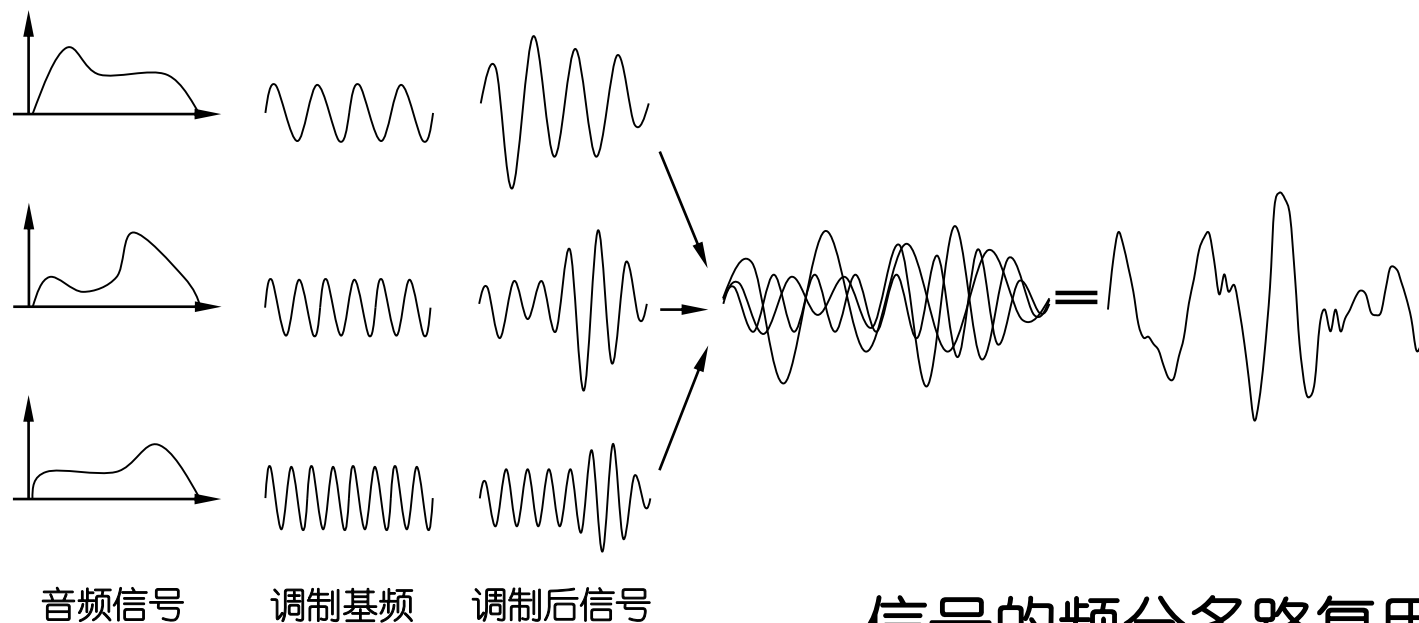
## 2.5.3 频分复用 FDM(FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)





## 2.5.3 频分复用 FDM(FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)

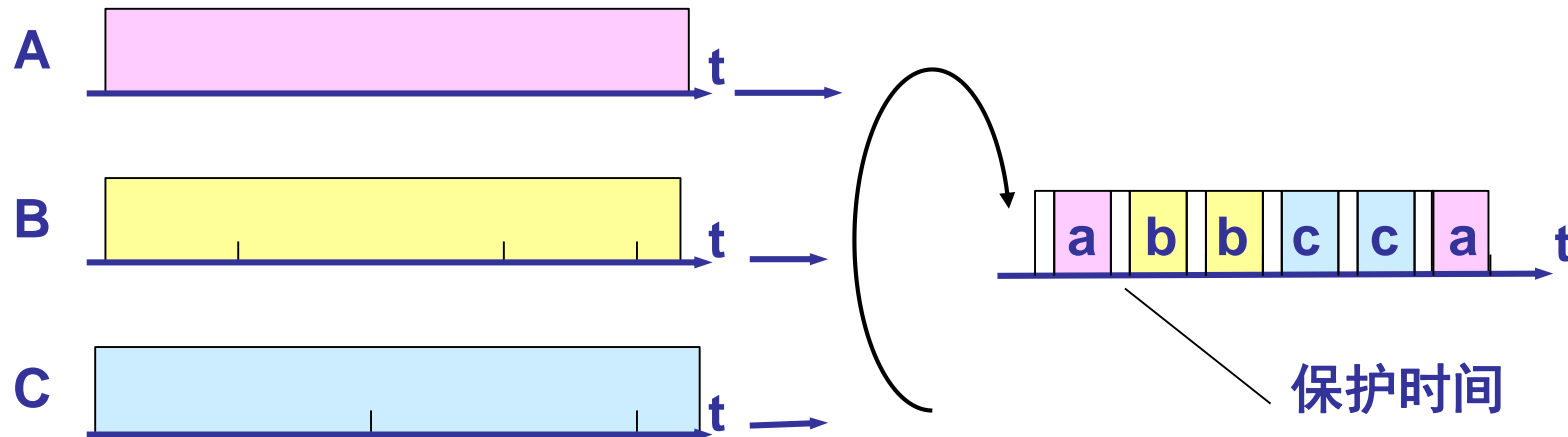
- 将每路信号调制到不同的载波频率上，保证这些载波频率的间距足够大，使各路信号不会重叠
- 通常信道之间有隔离频带
- FDM的常用实例是广播和有线电视



信号的频分多路复用

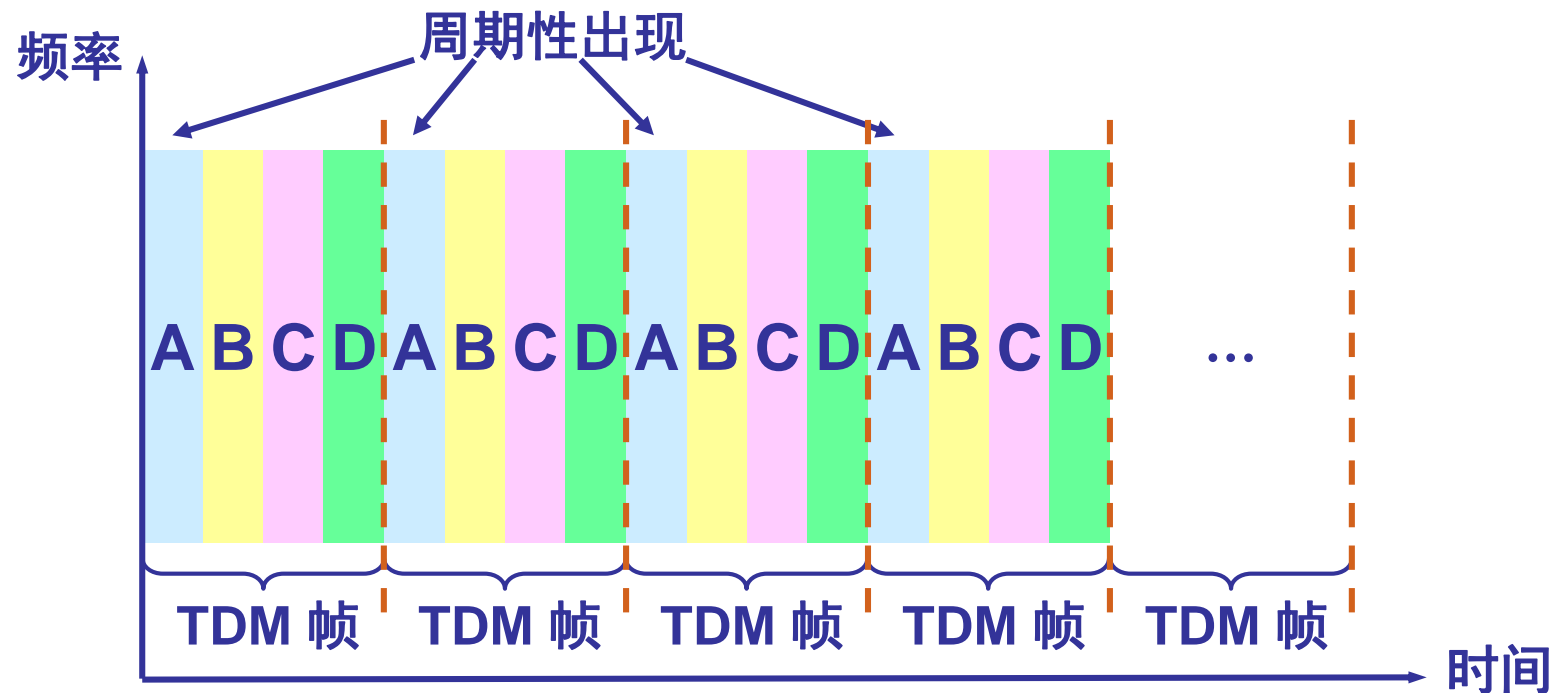
## 2.5.4 时分复用TDM(TIME DIVISION MULTIPLEXING)

- 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。且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时间段占用同样频带宽度。



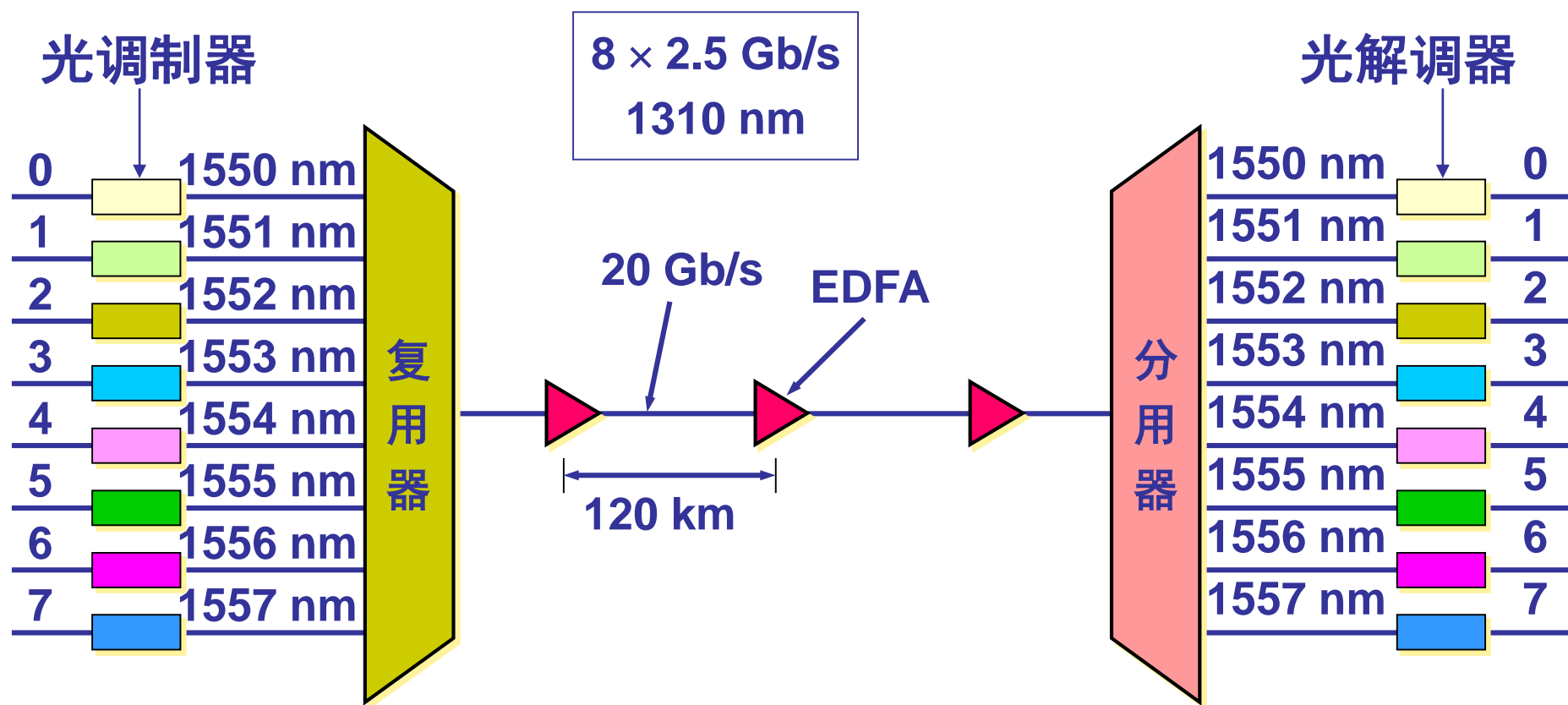
## 2.5.4 时分复用TDM(TIME DIVISION MULTIPLEXING)

每个信号按时间先后轮流交替地使用单一信道，那么，多个数字信号在宏观上可认为是同时进行传输，对单一信道的交替使用可以按位、字节或块等单位来进行



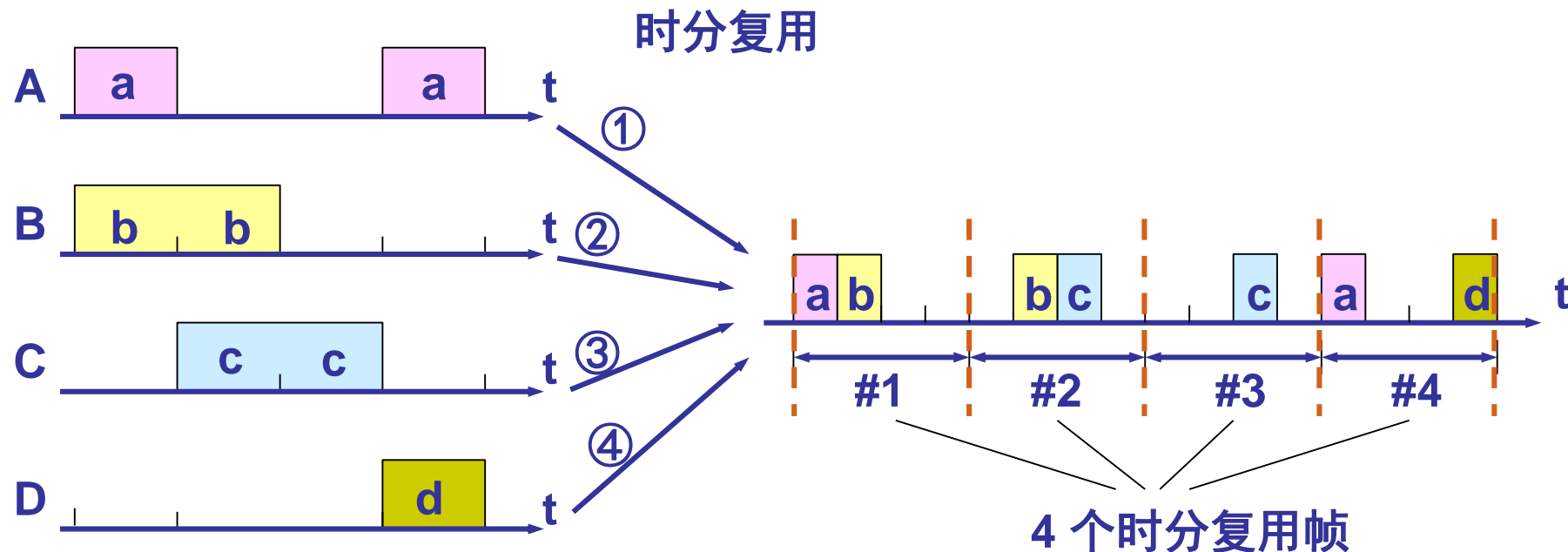
# 波分复用TDM

- WDM (Wavelength Division Multiplexing) ，波分复用就是光的频分复用。



## 2.5.4 时分复用TDM(TIME DIVISION MULTIPLEXING)

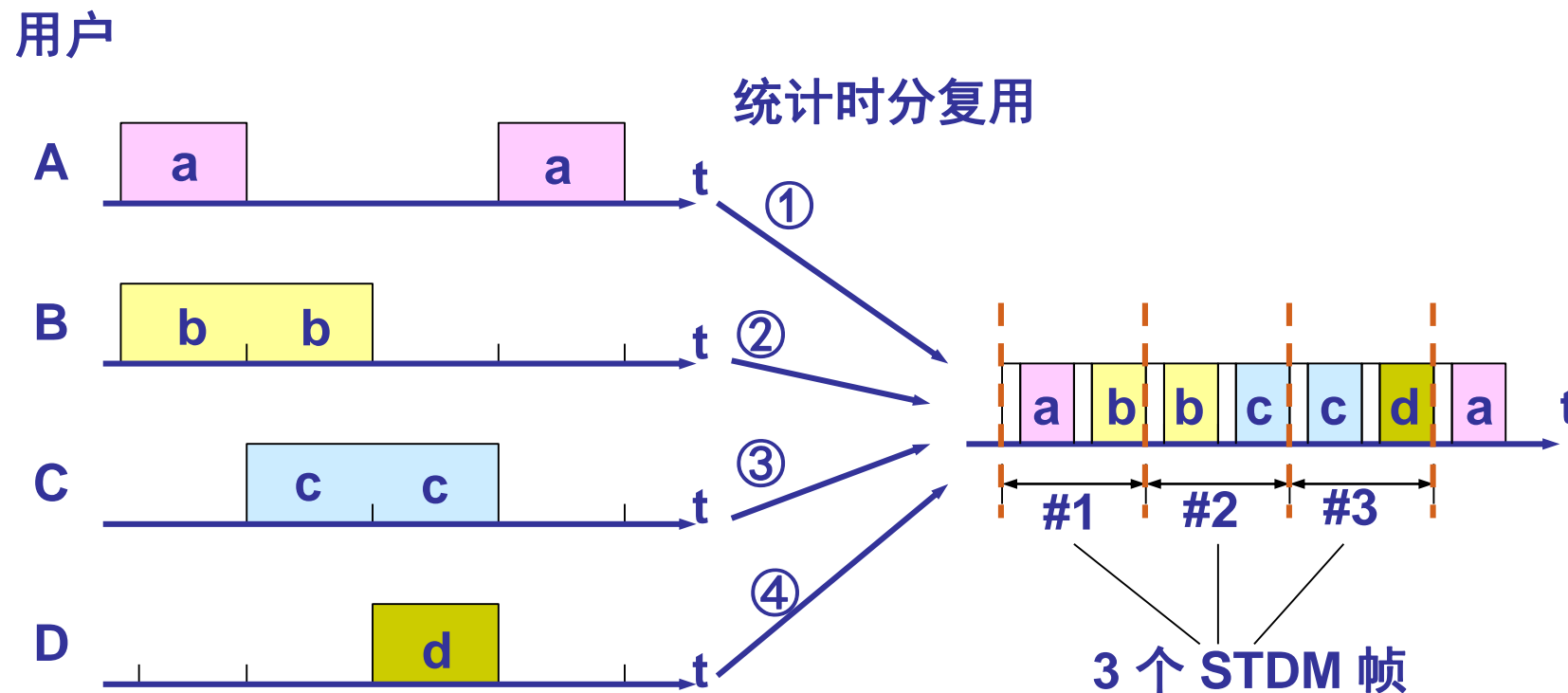
- 计算机数据的突发性质，用户对分配到的子信道的利用率一般不高，会造成线路资源的浪费。



## 2.5.4 时分复用TDM(TIME DIVISION MULTIPLEXING)

### 统计时分复用 STDM(STATISTIC TDM)

- 一种改进的TDM，通过缓存实现对时隙的调度



## 2.5.5 码分复用 CDM(CODE DIVISION MULTIPLEXING)

---

- 常用的名词是码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)
- 每个站点可使用整个频段通信，使用经过特殊挑选的不同码型，能够挑选出需要的信号，滤除其他信号，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。

## 2.5.5 码分复用 CDM(CODE DIVISION MULTIPLEXING)

- 每一个比特时间划分为  $m$  个短的间隔，称为码片(chip)。
- 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：( $-1$   $-1$   $-1$   $+1$   $+1$   $-1$   $+1$   $+1$ )
- 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。



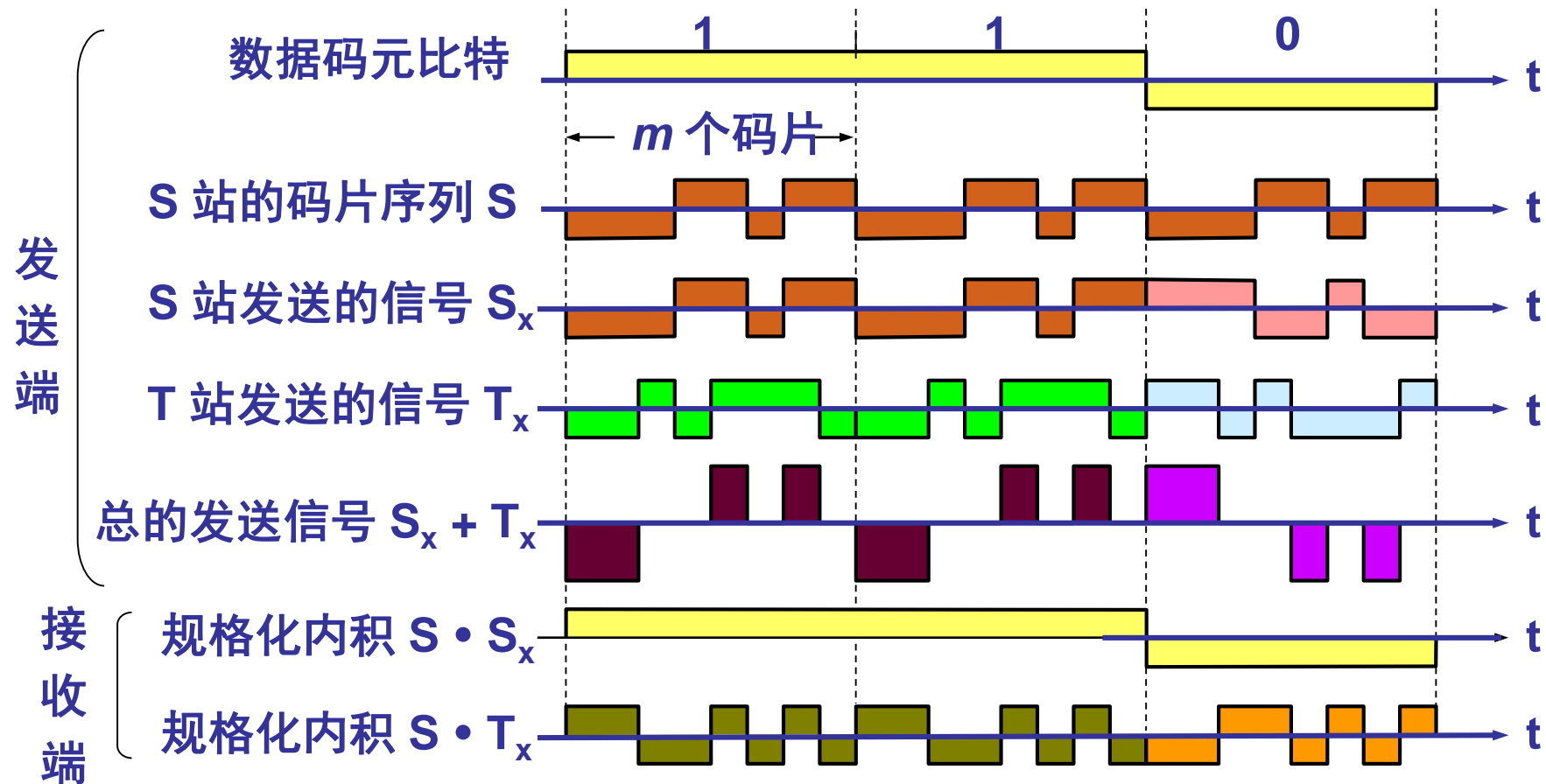
## 2.5.5 码分复用 CDM(CODE DIVISION MULTIPLEXING)

- 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：
- 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 。
- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是  $-1$ 。

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

## 2.5.5 码分复用 CDM(CODE DIVISION MULTIPLEXING)

### CDMA原理



## 2.5.5 码分复用 CDM(CODE DIVISION MULTIPLEXING)

例

○ 共有四个站进行码分多址CDMA通信。四个站码片序列为：

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:  $(-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$ .

现收到的码片序列S为  $(-1 \ +1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ -1 \ +1 \ -1)$  .

问哪个站发送数据了？发送数据的站发送的1还是0？

解答：

$$S \cdot A = (+1 - 1 + 3 + 1 - 1 + 3 + 1 + 1) / 8 = 1, \quad \text{A发送1}$$

$$S \cdot B = (+1 - 1 - 3 - 1 - 1 - 3 + 1 - 1) / 8 = -1, \quad \text{B发送0}$$

$$S \cdot C = (+1 + 1 + 3 + 1 - 1 - 3 - 1 - 1) / 8 = 0, \quad \text{C无发送}$$

$$S \cdot D = (+1 + 1 + 3 - 1 + 1 + 3 + 1 - 1) / 8 = 1, \quad \text{D发送1}$$

## 第2章 物理层

2.1 数据通信的理论基础

2.2 引导性传输介质

2.3 无线传输

2.4 通信卫星

2.5 数字调制与多路复用

2.6 公共电话交换网络

2.7 移动电话系统

2.8 有线电视



## 2.6 公共电话交换网

---

公用电话交换网，简称：PSTN Public Switched Telephone Network

- 系统结构
- 本地回路
- 中继线和多路复用
- 交换

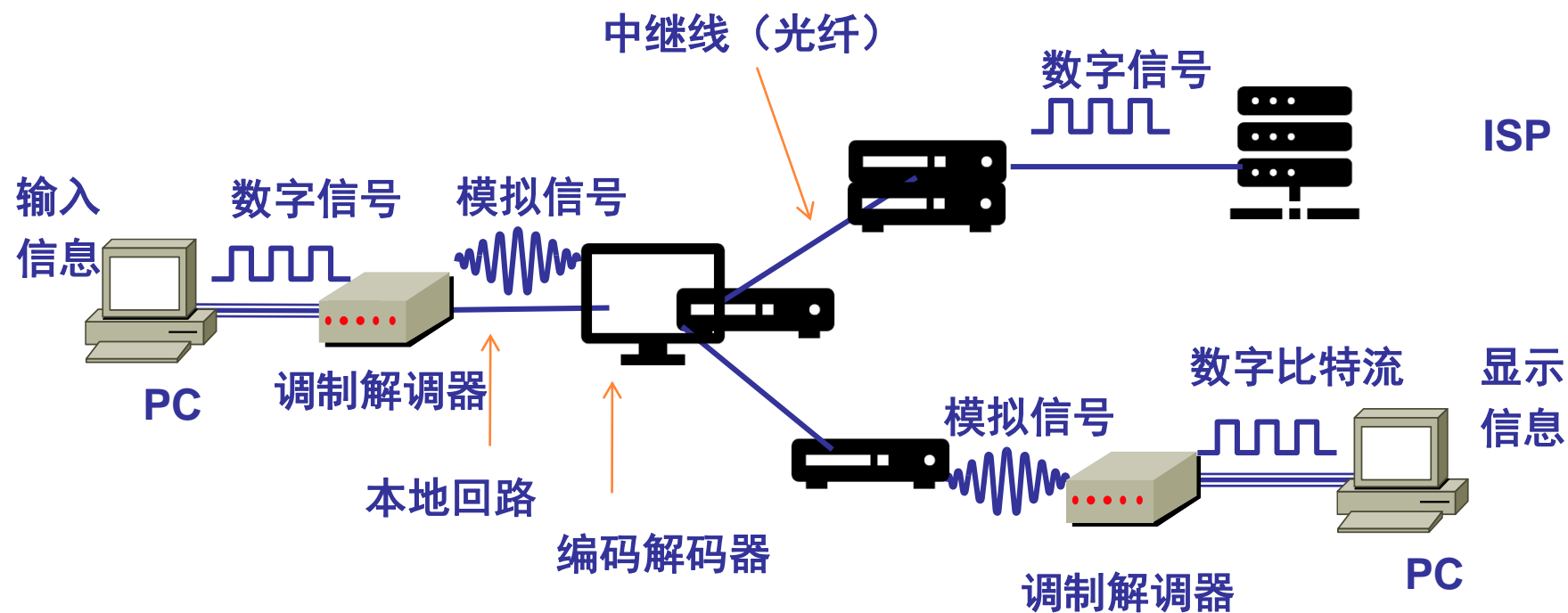
## 2.6 公共电话交换网

### 电话系统的树状结构

- 基本组成包括
  - 本地回路：进入公司或家庭的双绞线
  - 中继线：连接交换局的数字光纤（**主干线**）
  - 交换局：将电话呼叫的两个中继线相连（交换设备）
- 全连通结构式不可能的，星形网络也满足布莱克需求，因此一般为多级的树状结构
  - 一级中心：国家级中心
  - 二级中心：省、直辖市中心
  - 三级中心：区、县级中心
  - 四级中心：区内（本地）交换局

## 2.6.3 本地回路、调制解调器、ADSL和光纤

### 本地回路



## 2.6.3 本地回路、调制解调器、ADSL和光纤

### DSL : digital subscriber line

- 使用常规的电话线路，本地局端的滤波器将限制带宽为4 kHz，但本地回路通常采用的是3类UTP，其实际带宽远远大于4 kHz
- 如局端滤波器的限制策略为按需可调，则给定的带宽可增加
- 根据对上行、下行线路不同的带宽需求有多种不同的标准

#### 对称线路：

HDSL： 1.544 ~ 2.048 Mbps，2/4对双绞线，3 ~ 4 km

SDSL： 1.544 ~ 2.048 Mbps，1对双绞线，3 km

#### 非对称线路：

VDSL： 上行13 ~ 52 Mbps，下行1.5 ~ 2.3 Mbps

1对双绞线，0.xx km

ADSL： 上行64 k ~ 1 Mbps，下行512 k ~ 8 Mbps

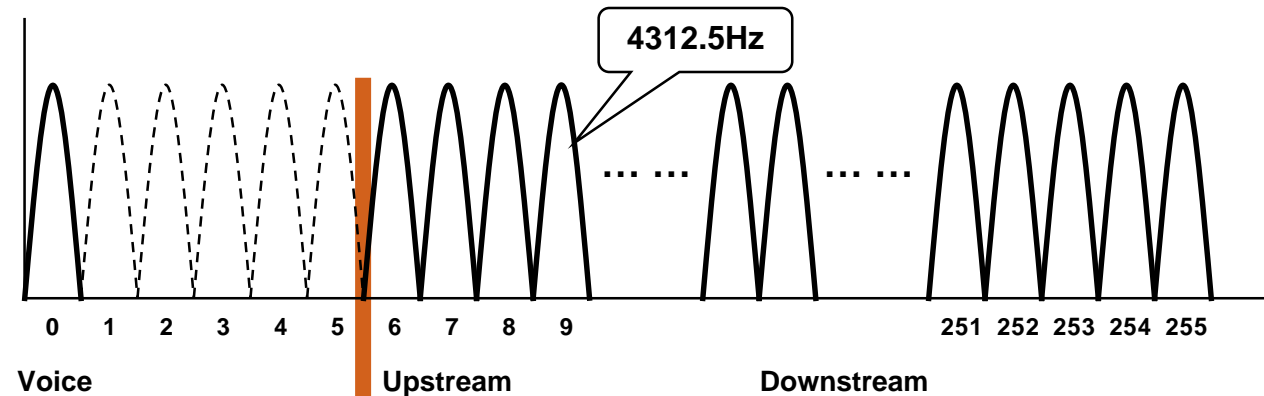
1对双绞线，3 ~ 5 km



## 2.6.3 本地回路、调制解调器、ADSL和光纤

### DMT 离散多音调制

DMT: Discrete MultiTone modulation 将本地回路的可用带宽（约1.1MHz）分成256个4312.5Hz的独立信道，信道0 给传统的电话，1 ~ 5保留，剩下的250个信道中一个给上行控制，一个给下行控制，其余全部用于数据传输，由提供者分配哪些给上行，哪些给下行



采用**DMT**调制的**ADSL**

## 2.6.3 本地回路、调制解调器、ADSL和光纤

### 常用的ADSL带宽分配

因为用户对Internet 的访问是不对称的，所以一般总是将80 – 90%的信道分配给下行，每个信道都是独立调制的

<b>voice</b>	<b>4k</b>	<b>4k</b>	<b>...</b>	<b>4k</b>
<b>Upstream</b>	<b>64k</b>	<b>256k</b>	<b>...</b>	<b>1M</b>
<b>Downstream</b>	<b>512k</b>	<b>1M</b>	<b>...</b>	<b>8M</b>

## 2.6.4 中继线和多路复用

---

由于中继线上同时进行大量的电话呼叫，常采用多路复用技术以提高线路的利用率

- 数字化语音信号
- 时分复用
- SONET/SDH

## 2.6.4 中继线和多路复用

- PCM (PULSE CODE MODULATION)

电话网早期采用FDM技术，利用模拟电路传输信息。由于数字传输的明显优势，所以，主干线都采用数字传输，于是终端用户（如电话的语音信号）的模拟数据到达本地局后，都必须转换成数字数据，以适合主干线的传输。

PCM每秒采集8000个样值（125微秒/样值），每个信号量化为8BIT的数字，因此数据率是 $8\text{BIT}/125\text{毫秒}=64\text{KBPS}$

**采样定理：**如果在规定的时间内，以有效信号 $F(t)$ 最高频率的二倍或二倍以上的速率对该信号进行采样，则这些采样值中包含了全部原始信号信息

## 2.6.4 中继线和多路复用

### 时分复用

- **北美、日本使用T1线路**

- T1线路由24个多路复用信道组成，每个信道采样8000次/秒，每次采样量化为7 bit
- 每个信道每次采样生成7bit数据位加1 bit控制位，即7b + 1b，即每个信道每秒生成56K + 8K的传输速率
- 24个多路复用信道的每次采样组成一个帧，即每帧为：
- $8 \text{ bit} \times 24 = 192 \text{ bit}$ ，每帧间加一个bit，所以每帧为193 bit
- $193 \text{ bit} \times 8000 \text{次采样/秒} = 1544000 \text{ bit/s} = 1.544 \text{M b/s}$

- **欧洲、中国使用E1线路**

- 每个信道采样8000次/秒，每次采样量化为8 bit，其中包括用于信令的bit
- 32个多路复用信道的每次采样组成一个帧，即每帧为：
- $8 \text{ bit} \times 32 \text{个信道} = 256 \text{ bit}$
- $256 \text{ bit} \times 8000 \text{次采样/秒} = 2.048 \text{M b/s}$

## 2.6.4 中继线和多路复用

### 多个T1或E1线路的复用

- 一次群:  $T1 = 1.544\text{M b/s}$   
 $E1 = 2.048\text{M b/s}$
- 二次群:  $T2 = T1 \times 4 + \dots = 6.312\text{M b/s}$   
 $E2 = E1 \times 4 + \dots = 8.848\text{M b/s}$
- 三次群:  $T3 = T2 \times 6 + \dots = 44.736\text{M b/s}$   
 $E3 = E2 \times 4 + \dots = 34.304\text{M b/s}$
- 四次群:  $T4 = T3 \times 7 + \dots = 274.176\text{M b/s}$   
 $E4 = E3 \times 4 + \dots = 139.264\text{M b/s}$

## 2.6.4 中继线和多路复用

### SONET/SDH

- SONET ( Synchronous Optical Network ) 同步光网网络  
被设计用于统一美欧等国的PCM信道，基于TDM设计
  - STS-1 ( Synchronous Transport Signal ) 同步传送信号 （ 电信号 ）  
采用每125 微秒发送一帧，每帧810 B，即810路电话。因此基本速率为 $8\text{b} \times 810\text{B} \times 8000\text{次采样/秒} = 51.84\text{M b/s}$
- SDH ( Synchronous Digital Hierarchy )  
同步数字体系 ITU推荐的标准
  - STM-1 ( Synchronous Transport Module ) 同步传送模块  
基本速率为155.52M b/s

# 2.6.4 中继线和多路复用

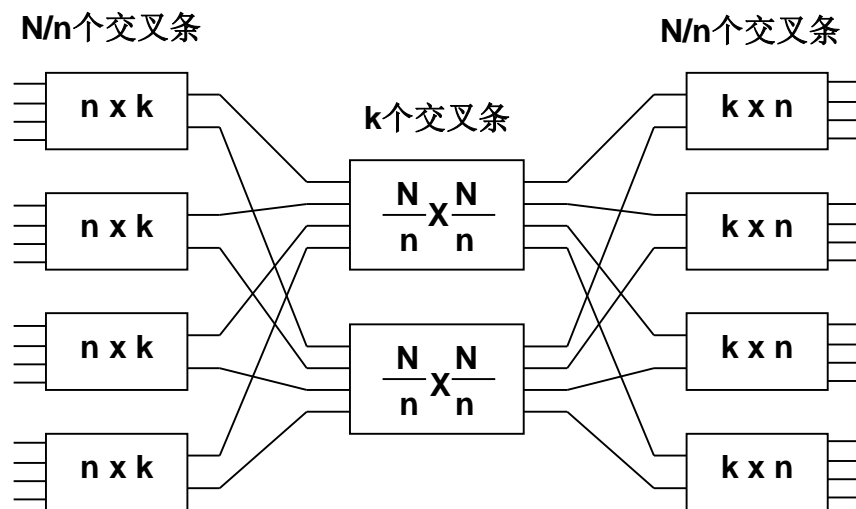
## SONET的OC级和STS级与SDH的STM级的比较

线路速率(Mb/s)	SONET（美）		SDH（欧）
	OC级	STS级	STM级
51.84	OC-1	STS-1	
155.52	OC-3	STS-3	STM-1
466.56	OC-9	STS-9	STM-3
622.08	OC-12	STS-12	STM-4
933.12	OC-18	STS-18	STM-6
1244.16	OC-24	STS-24	STM-8
1866.24	OC-36	STS-36	STM-12
2488.32	OC-48	STS-48	STM-16
9953.28	OC-192	STS-192	STM-64



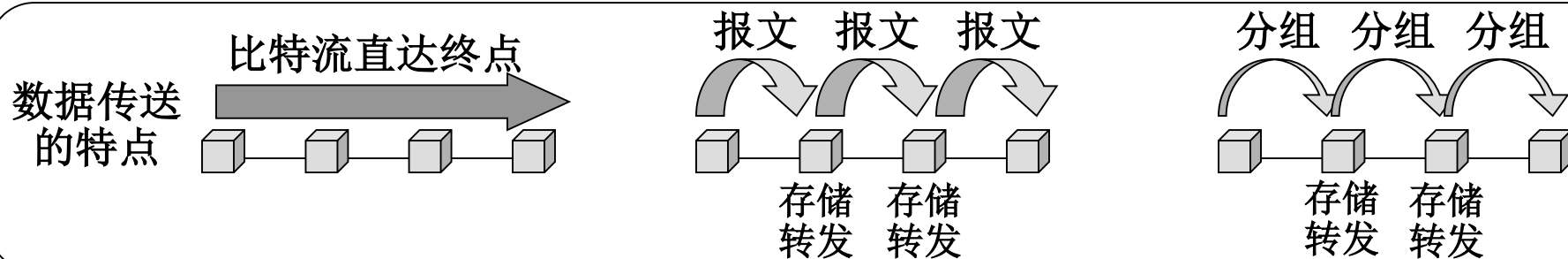
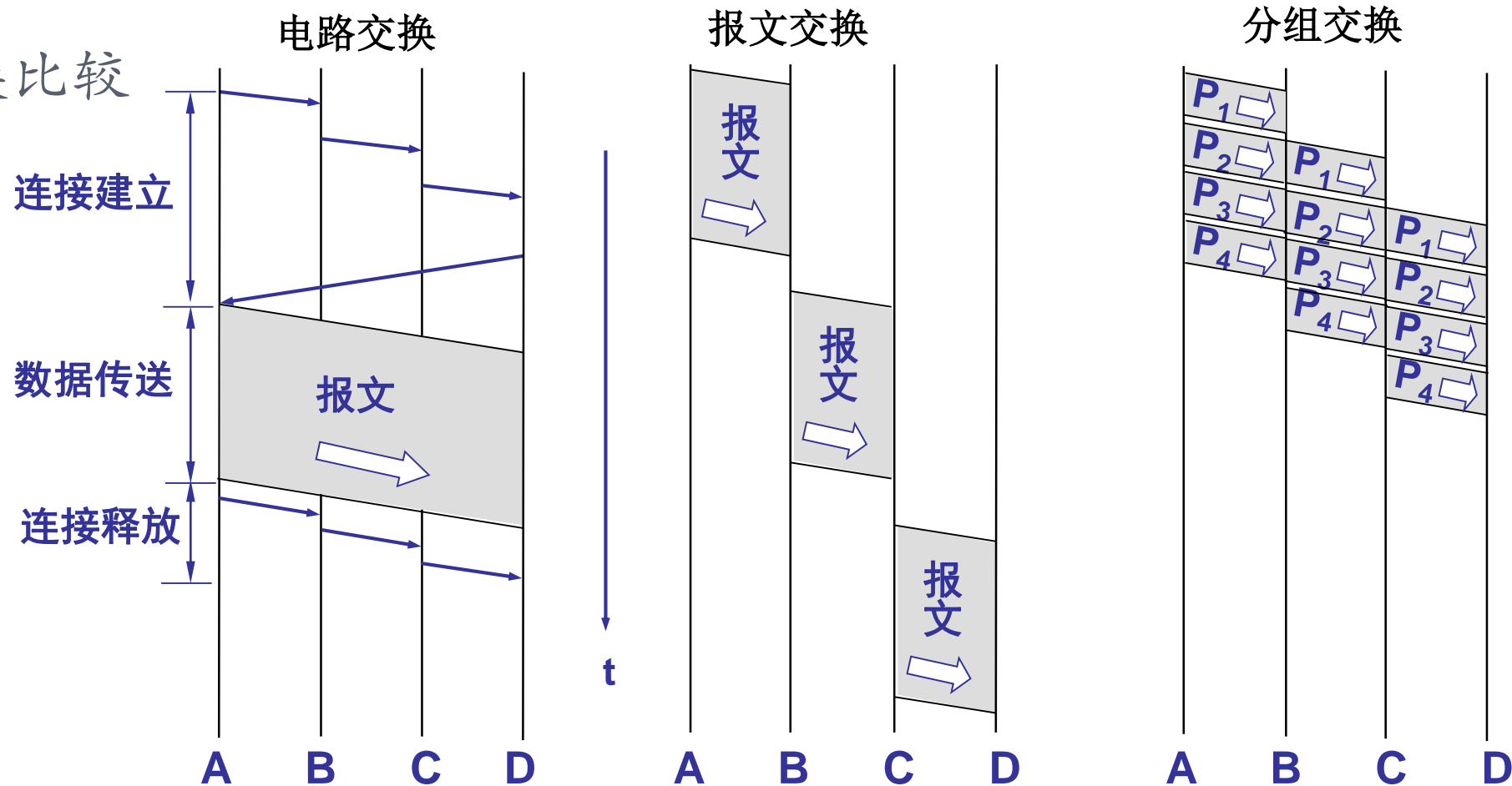
## 2.6.5 交换

电话系统用到两种不同的交换技术：电路交换和包交换（报文交换）



## 2.6.5 交换

### 三种交换比较



## 2.6.5 交换

### 电路交换与包交换区别

项目	电路交换	包交换
呼叫建立	需要	不需要
专用物理路径	是	不是
每个包遵循相同路由	是	不是
包按序到达	是	不是
交换机崩溃是否致命	是	不是
可用带宽	固定	动态
可能拥塞时间	在建立时	在每个包
潜在浪费带宽	是	不是
存储-转发传输	不是	是
收费	按分钟计	按包计

## 2.7 移动电话系统

---

### ○ 移动电话

- 覆盖面很大，系统之间用光纤连接
- 传播单向电视信号的一个共享系统
- 用同轴电缆作为传输介质，带宽可达750 MHz

### ○ 三代不同的技术

- 模拟语音
- 数字语音
- 数字语音和数据

## 2.8 有线电视

---

### ○ 有线电视系统的特点

- 覆盖面很大，系统之间用光纤连接
- 传播单向电视信号的一个共享系统
- 用同轴电缆作为传输介质，带宽可达750 MHz

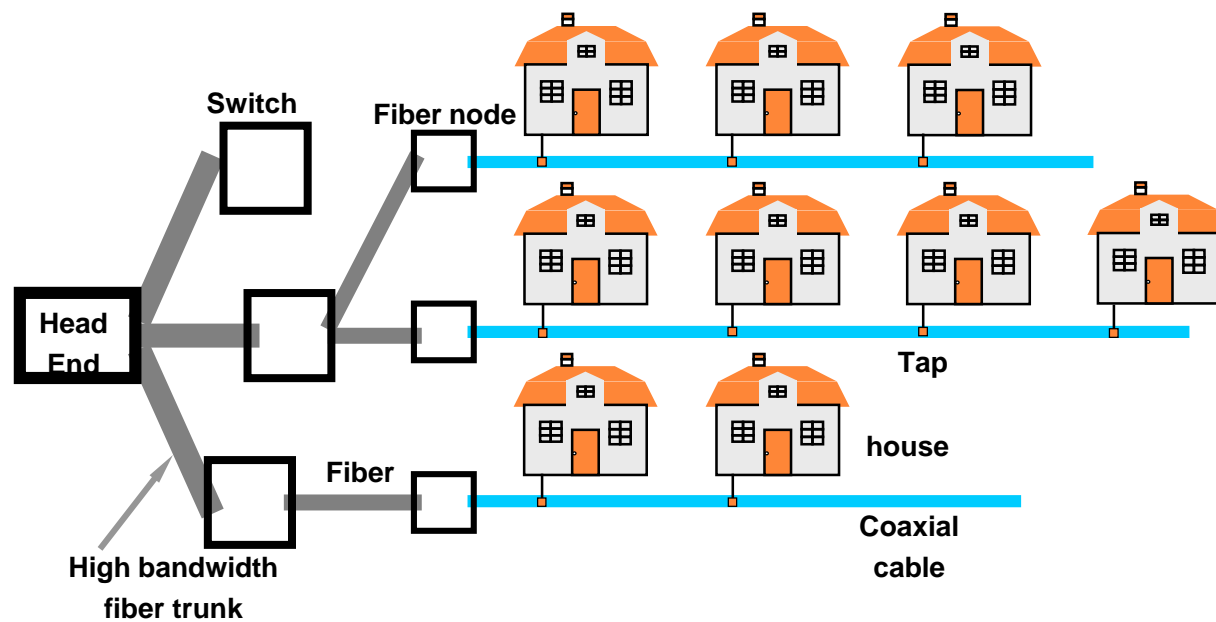
### ○ 作为Internet 接入的可能性

- 数据的双向传输
- 用户端的Cable MODEM

## 2.8 有线电视

### HFC 混合光纤电缆系统

- HFC: Hybrid Fiber Coax

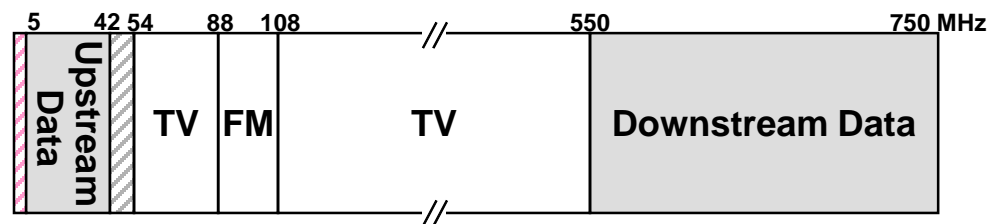


Tnbm P171 Fig. 2-47(a) 混合光纤电缆系统

## 2.8 有线电视

### HFC中的频谱分配

- HFC保留了原有的TV及FM的广播功能
- 实现了数据的非对称双向传输，以作为Internet的接入



42 ~ 54M频段保留，凡高于此频段的都是下行信号，低于此段频的都是上行信号，其实，此频段是一隔离带

## 2.8 有线电视

### HFC中的频谱分配

- 每个下行信道占用6 ~ 8 MHz
- 用模拟方式传输，常用的调制方法是QAM-64，对质量特别好的信道也可用QAM-256
- 对6MHz信道，可用的数据传输率为36Mbps，去掉一些额外开销，一般为27Mbps
- 上行信道质量较差，一般用QPSK携带2位信息



## 2.8 有线电视

---

### CABLE MODEM

- Cable MODEM与计算机的接口为Ethernet
- 在一个Headend管理下的、并由Cable连接的、所有计算机组成的是一个共享网络
- 共享站点的竞争发送不能采用CSMA/CD协议，因为站点无法对介质进行检测

## 2.8 有线电视

### CABLE MODEM的初始化

- Power On或Reset后，MODEM将监测下行数据流中由headend为新站点提供的系统参数，并通过某一上行信道宣布它的存在
- Headend 为新站点分配上行和下行信道（以后可能会调整）并通知（新站点的） MODEM
- MODEM发送一特殊的测距分组并等待应答，以测试自己到Headend 的“距离”（此过程为ranging），以后将以此为依据，此距离以“时隙”（minislot）计，典型地，一个 minislot 相当于8 bytes的传播延时
- Headend 除分配上行、下行信道外，还为每个MODEM分配一个请求上行带宽的时隙号，可能会有多个MODEM共享一个时隙号，如共享时隙号的站点同时请求上行带宽，将发生冲突

## 2.8 有线电视

### 计算机的一次发送过程

- 计算机用上行信道经MODEM向Headend发送一个请求分组，其中包含所需的时隙数（minislot），然后等待应答（需等待的时隙数已知）
- Headend 通过下行信道应答（ACK），并通知计算机已 为之保留的时隙号，计算机在上行信道为其保留的时隙号内发送数据分组
- 如在等待的时隙数过后还未收到Headend的ACK应答，这意味着已发生冲突，此时将采用二进制指数后退法，随机选择一个需等待的时隙数后再次请求，以避免再次冲突

## 2.8 有线电视

### ADSL与HFC的比较

- ADSL是基于电话系统
- 每个用户直接与局端连接，属星型拓扑
- 所承诺的速率是固定的，与当前的用户数无关
- 允许用户选择自己的ISP
- 如用户数增加或减少，操作简单，系统扩容投资相对较少
- 数据安全性比较能得到保证
- 由于ADSL（包括其它的xDSL都）与距离有关，所以有电话线的地方不一定都能提供ADSL服务

## 2.8 有线电视

### ADSL与HFC的比较（续）

- HFC基于社区电视系统，属信道共享，但即使保留了原有的FM和TV频段，同轴电缆所提供用于数据传输的带宽还是很宽
- 并非每个用户都与Headend直接连接，属树型拓扑
- 标称的传输速率为10Mbps（Ethernet），但属共享信道
- 所提供的服务必须与某个具体的ISP合作，使用DHCP协议
- 如用户数增加或减少，操作相对复杂，系统扩容投资相对较大
- 由于属共享信道，所以数据安全性必须采用密码技术才能得到保证
- 与距离基本无关，凡有HFC的地方一般都能提供Internet服务

## 第2章 习题

2, 4, 5, 8, 10, 12, 37, 46

