

网络与通讯系统

第二章 物理层

- 物理层考虑的是怎样才能在连接各种计算机的传输媒体上**传输数据比特流**，而不是指**具体的传输媒体**。
- 物理层的作用是要尽可能地**屏蔽**掉不同传输媒体和通信手段的差异。
- 用于物理层的协议也常称为物理层**规程** (procedure)。

确定与传输媒体的接口的一些特性，即：

- **电气特性**

- 指明在接口电缆的各条线上出现的电压的范围。

- **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。

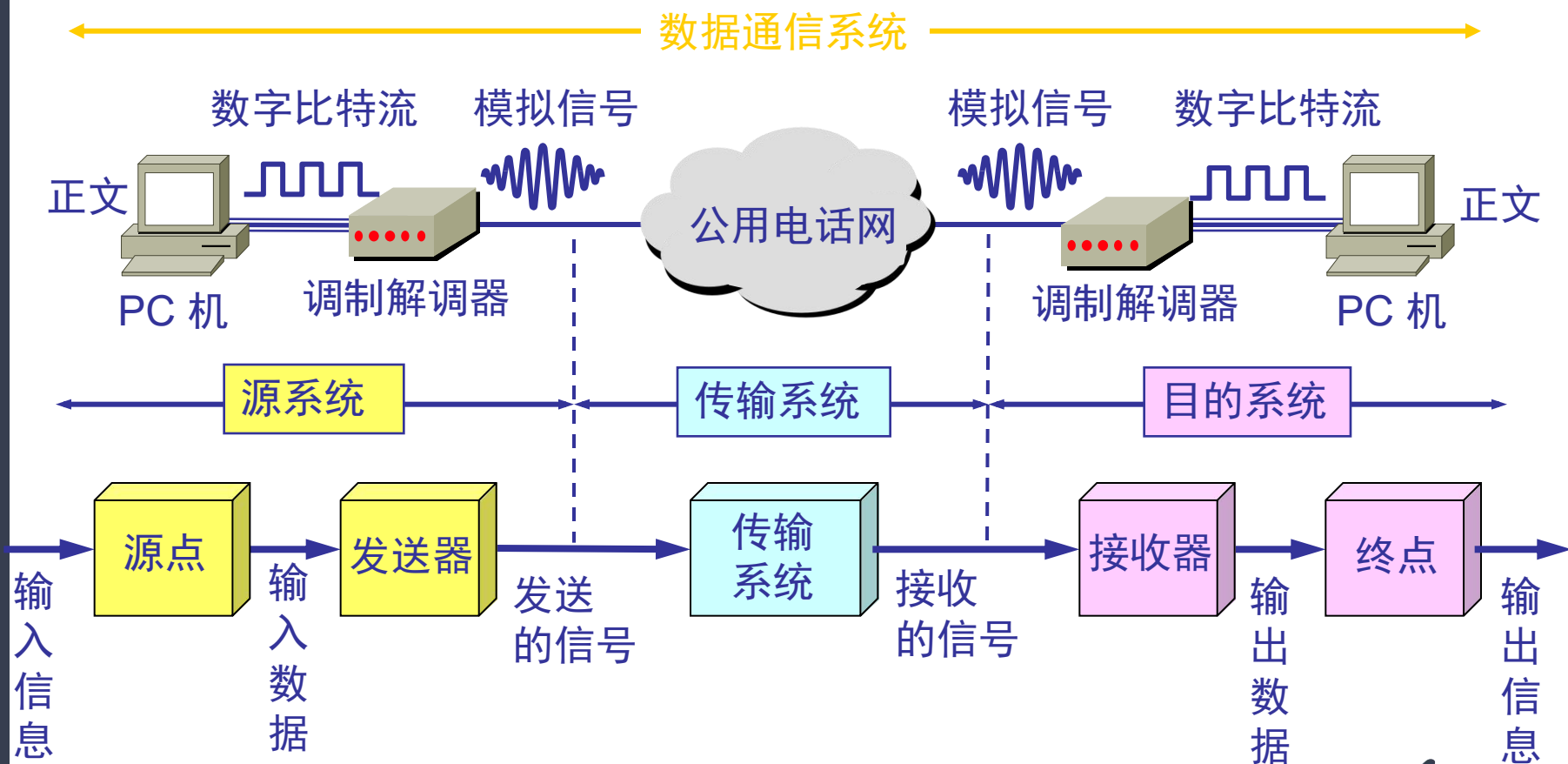
- **功能特性**

- 指明某条线上出现的某一电平的电压表示何种意义。

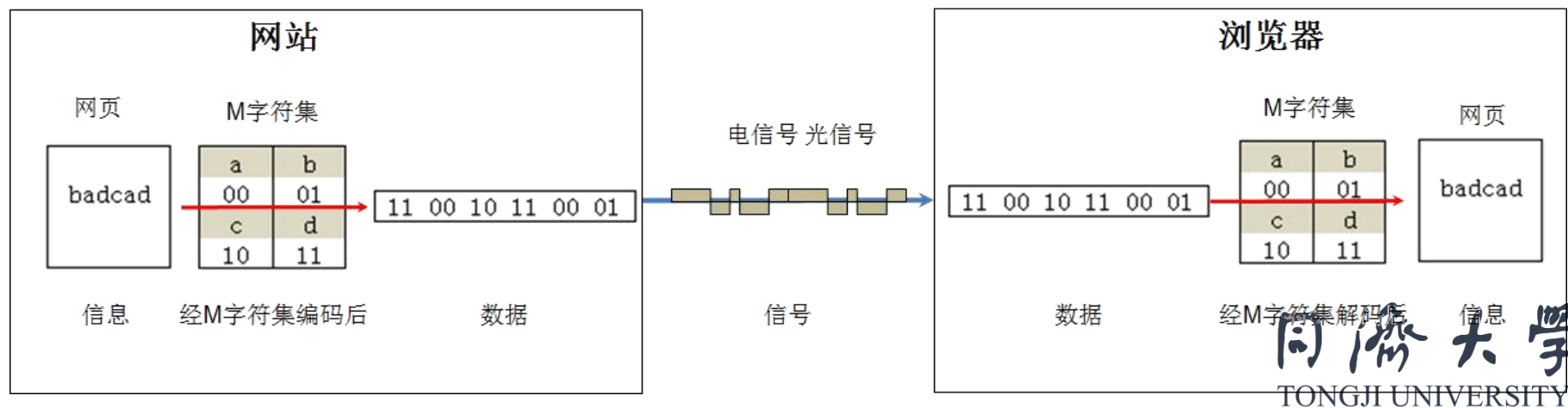
- **规程特性**

- 指明对于不同功能的各种可能事件的出现顺序。

数据通信系统的模型

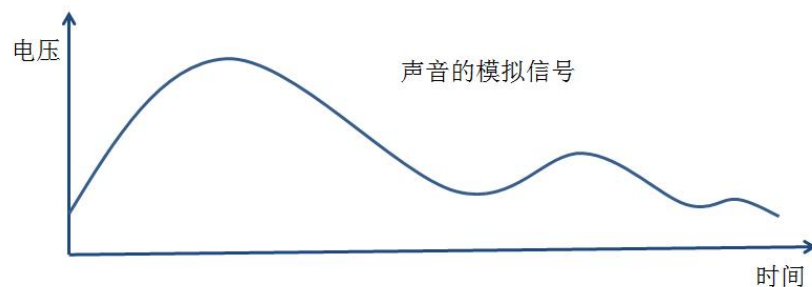
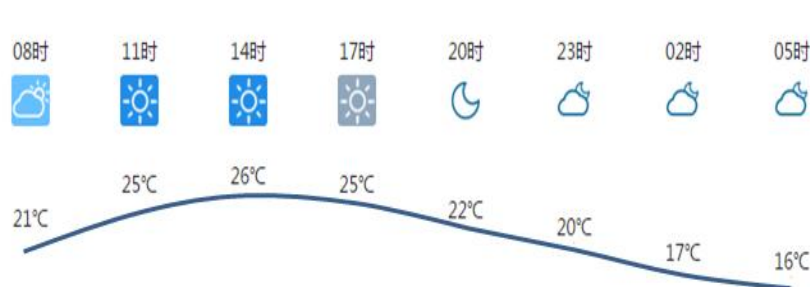


- **信息(information):** 通信的目的是传送信息。
- **数据/消息(data/message):** 运送信息的实体。
信息在传输之前需要进行编码, 编码后的信息就变成数据, 如文字、图像、视频和音频。
- **信号(signal):** 数据的电气的或电磁的表现。数据在通信线路上传递需要变成电信号或光信号。



□ 模拟信号(analogous)

代表消息的参数的取值是连续的。

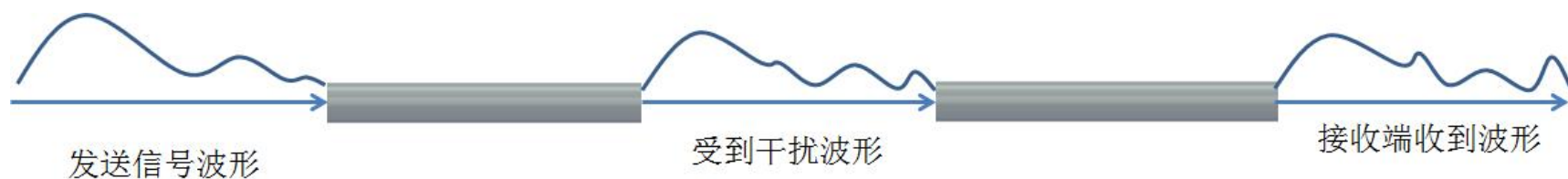


□ 数字信号(digital)

代表消息的参数的取值是离散的。(电脑传输与处理的信号)。

数字信号和模拟信号优缺点

- 模拟信号在传输过程中如果出现信号干扰发生波形发生变形，很难纠正

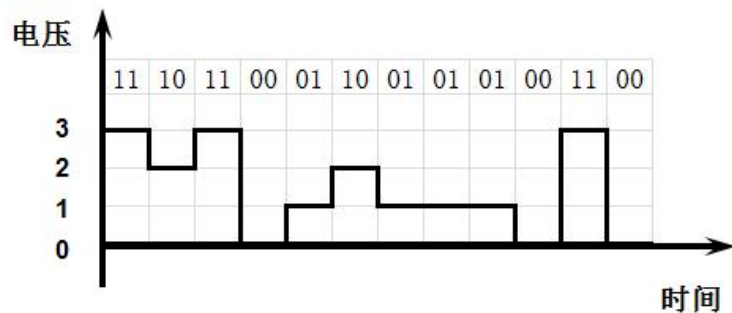
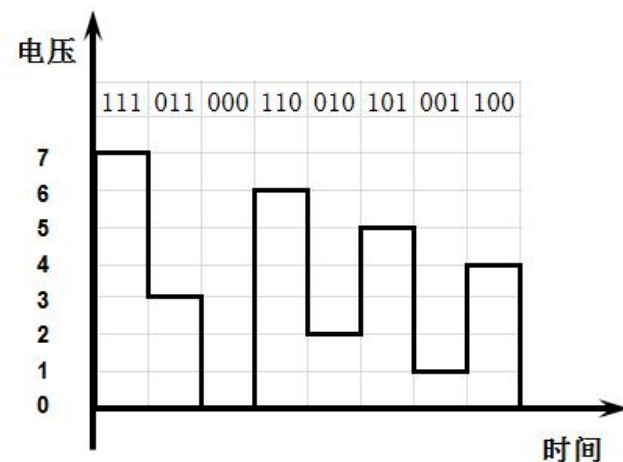
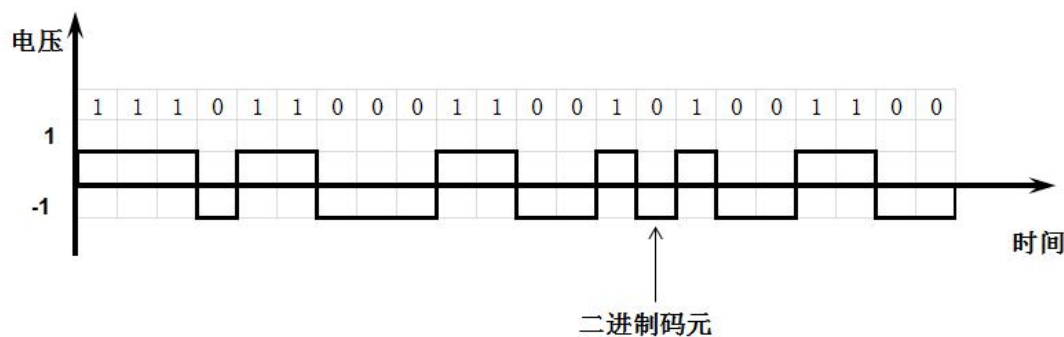


- 数字信号波形失真可以修复



□ 码元

代表不同离散数值的，时间间隔相同的一种波形，
一种波形可代表一至多个离散数值(0与1值)



要想一个码元承载更多的信息
就需要更多的波形

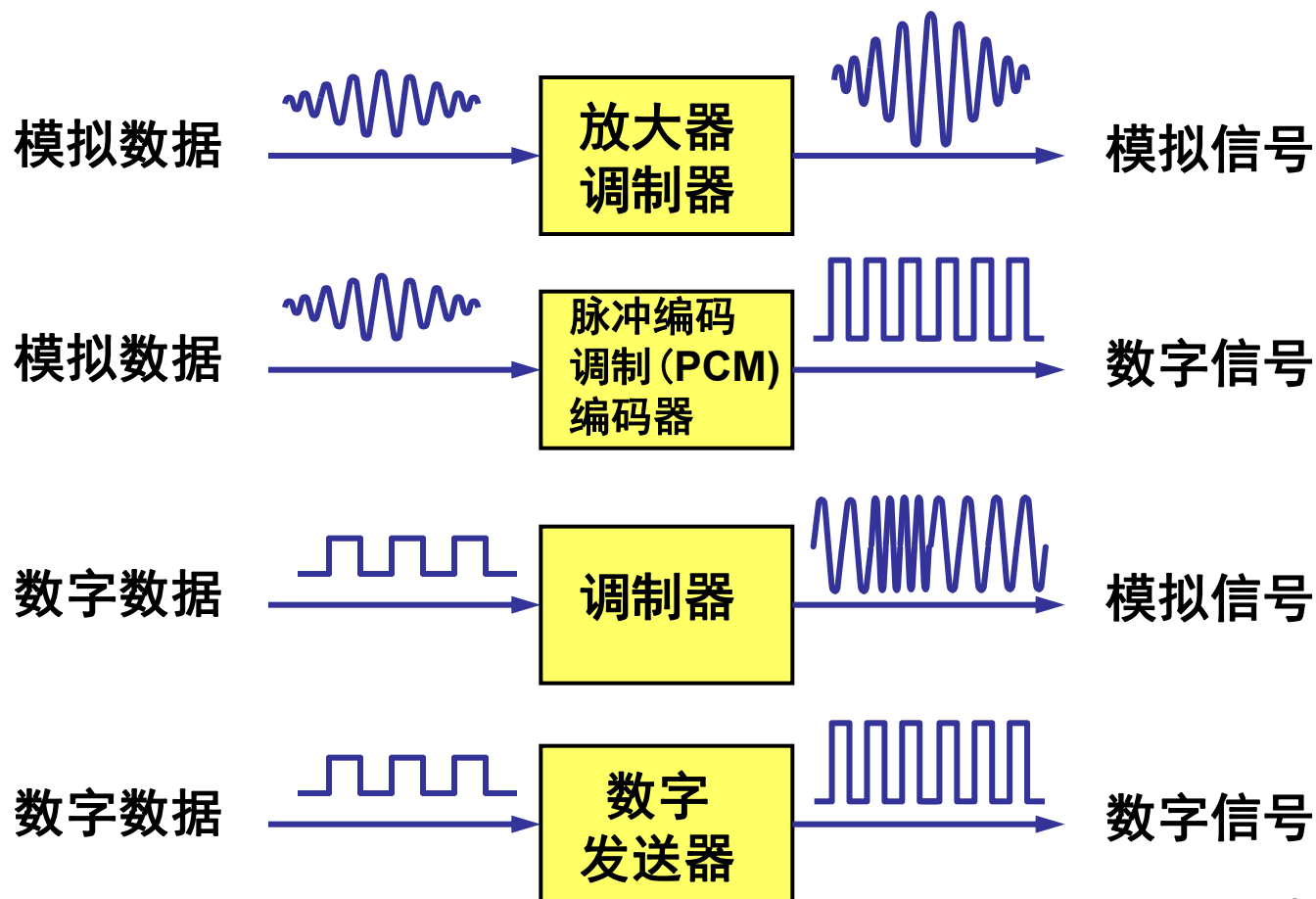
□ 调制

把数字信号转换为模拟信号的过程。

□ 解调

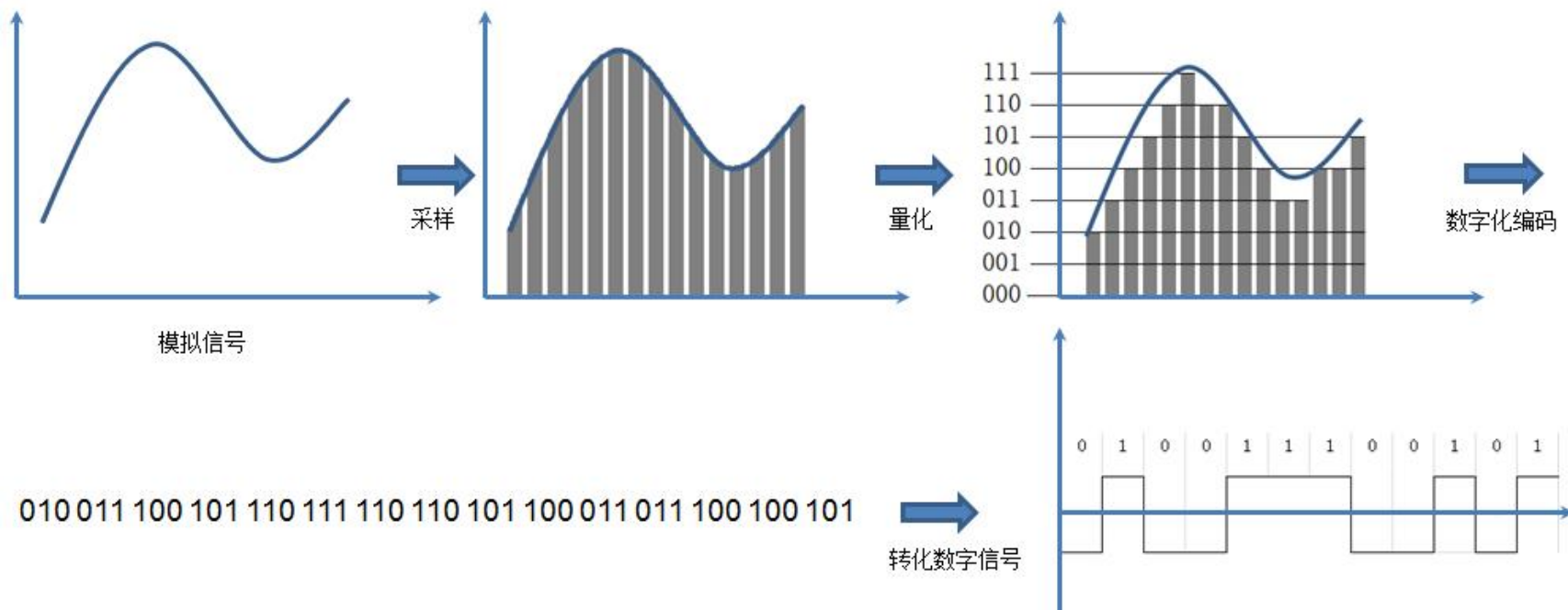
把模拟信号转换为数字信号的过程。

模拟和数字数据、信号



脉码调制PCM体制

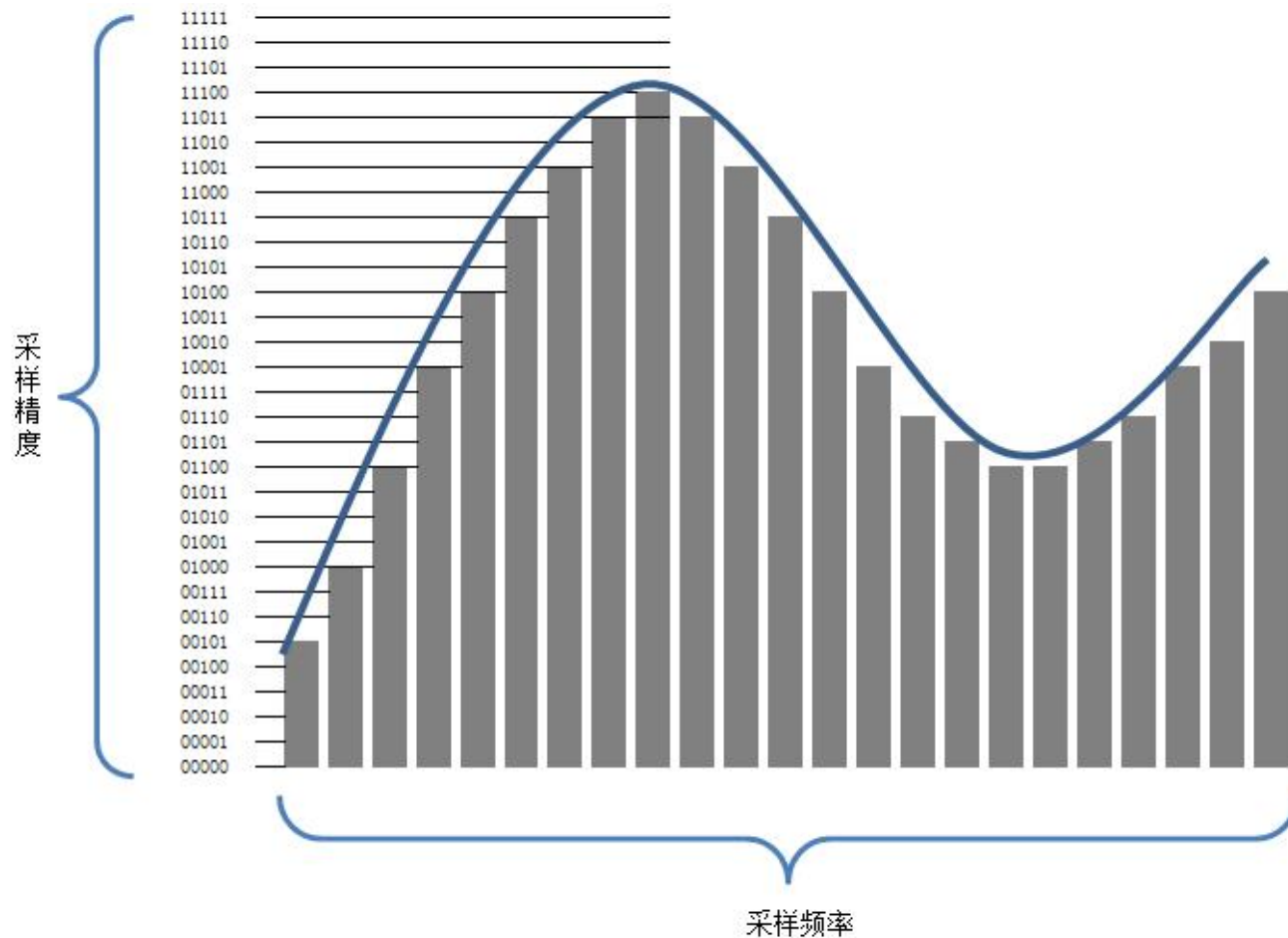
□ 模拟电话信号如何转变为数字信号的过程。



数字信号只能近似表示模拟信号

脉码调制PCM体制

采样频率和采样精度决定音乐的品质

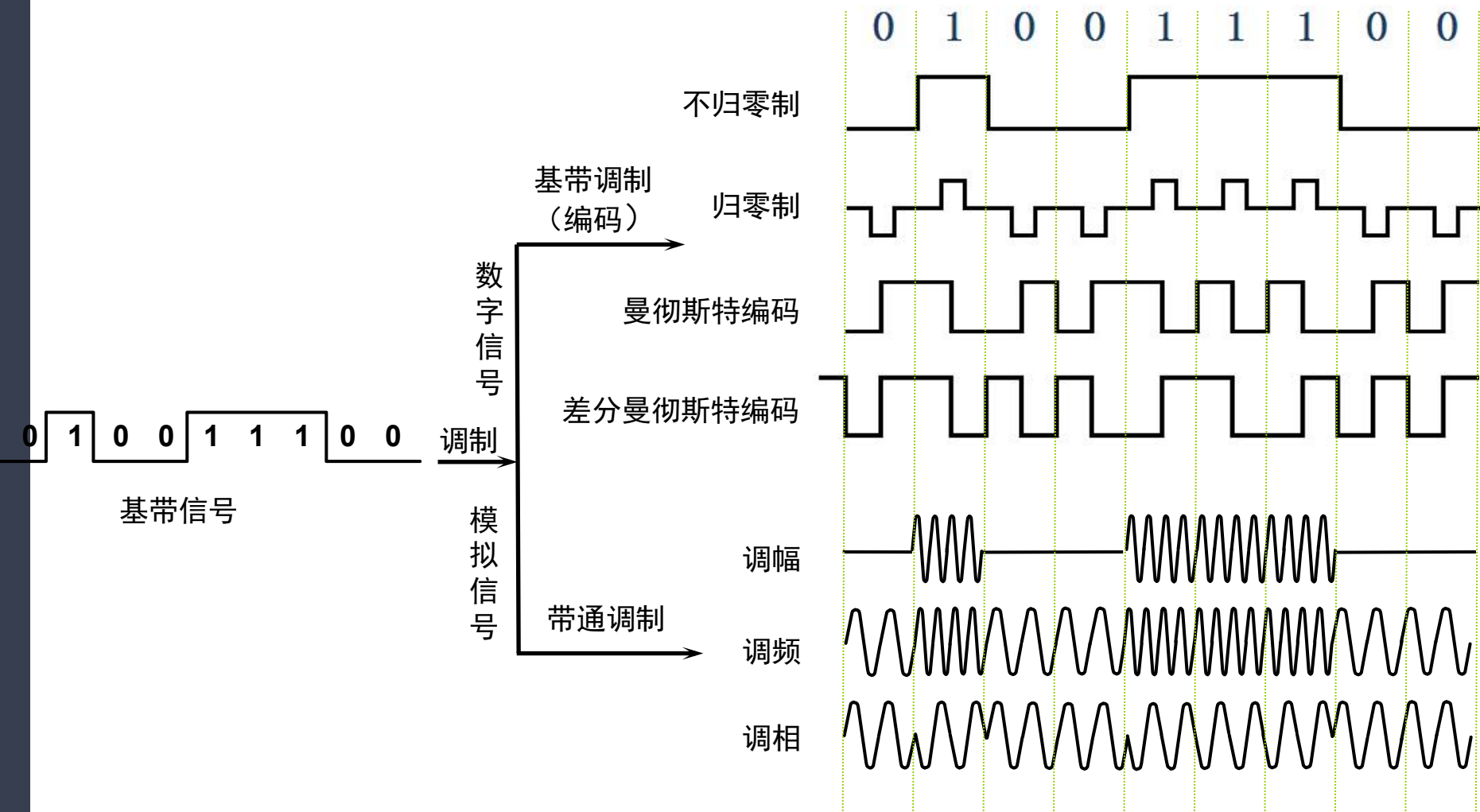


- **基带信号**来自信源的信号。像计算机输出的代表各种文字或图像文件的数据信号都属于基带信号。
 - 基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。因此必须对基带信号进行**调制** (modulation)。
- **带通信号**——把基带信号经过载波调制后，把信号的频率范围搬移到较高的频段以便在信道中传输（即仅在一段频率范围内能够通过信道）。

□ 调制可以分为两大类。

- 一类仅仅对基带信号的波形进行变换，使它能够与信道特性相适应。**变化后的信号仍然是基带信号**，这类调制称为**基带调制**。由于这种基带调制是把数字信号转换成另一种形式的数字信号，因此大家更愿意把这种过程称为**编码**（coding）
- 另一类则需要使用**载波**（carrier）进行调制，把基带信号的频率范围搬移到较高的频段以便在信道中传输，经过载波调制后的信号称为**带通信号**（即仅在一段频率范围内能够通过信道），而使用载波的调制称为**带通调制**。

编码与调制



□ 不归零制

- 正电平表示1，负电平表示0，效率最高的编码，但如果发送连续的0或1时，接收端不容易判断码元的边界。

□ 归零制

- 码元中间信号回归零电平，信号线上出现三种电平。具有自同步性。一比特需要三个码元，效率不高。

□ 曼彻斯特编码

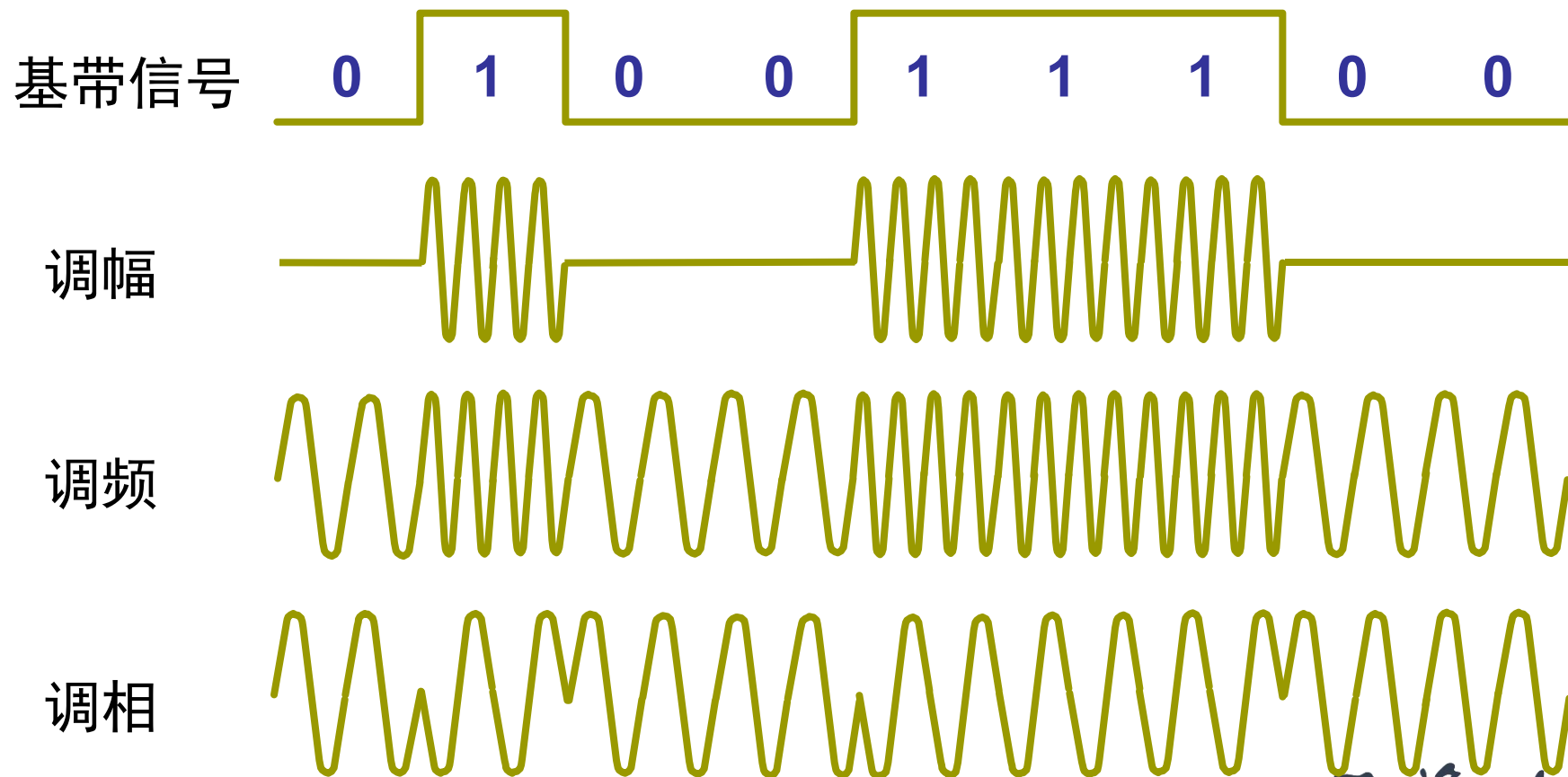
- 每一位中间发生跳变，位中间的跳变既作时钟信号，又作数据信号；常用于局域网；一比特需要二个码元。

□ 差分曼彻斯特编码

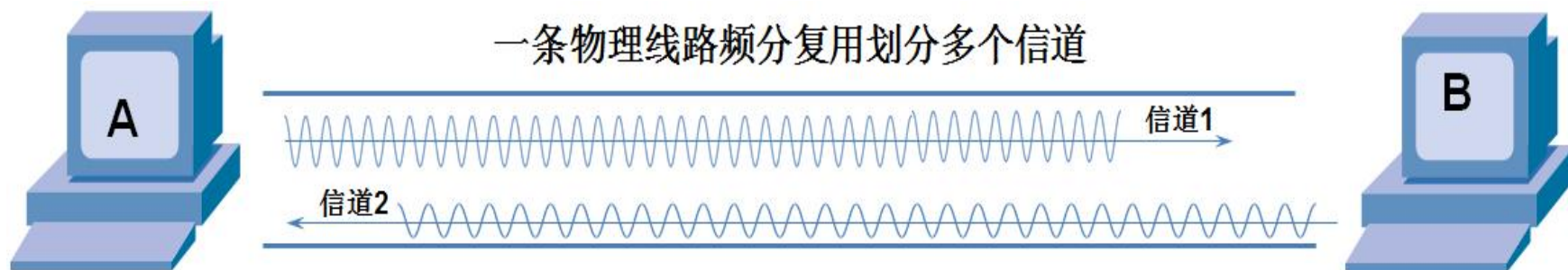
- 信号位开始时改变信号极性为0，不改变为1。后一波形和前一波形一样即为0。

- **基带调制**: 基带信号间的变换, 变换后仍然为基带信号
- **带通调制**: 将基带信号变换为带通信号(模拟信号)调制方式有:
 - 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变化。
 - (正交振幅调制)振幅与相位混合调制方式

对数字信号的几种调制方法



- 信道 (Channel) 是信息传输的通道，即信息进行传输时所经过的一条通路，信道的一端是发送端，另一端是接收端。一条传输介质上可以有多个信道（多路复用）。
- 一般用来表示向某一方向传送信息的媒体。



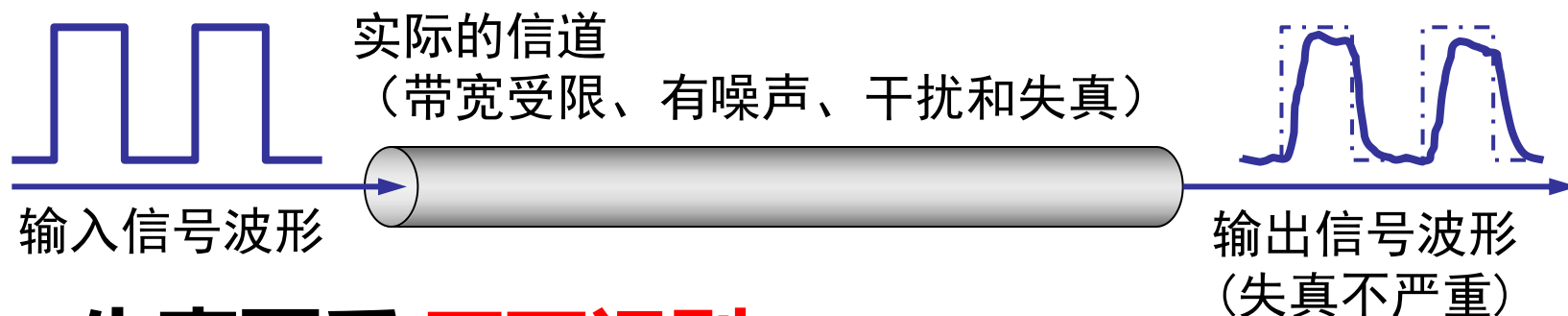
单工、半双工和全双工

- **单向通信（单工）** ——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）** ——通信的双方可以同时发送和接收信息。

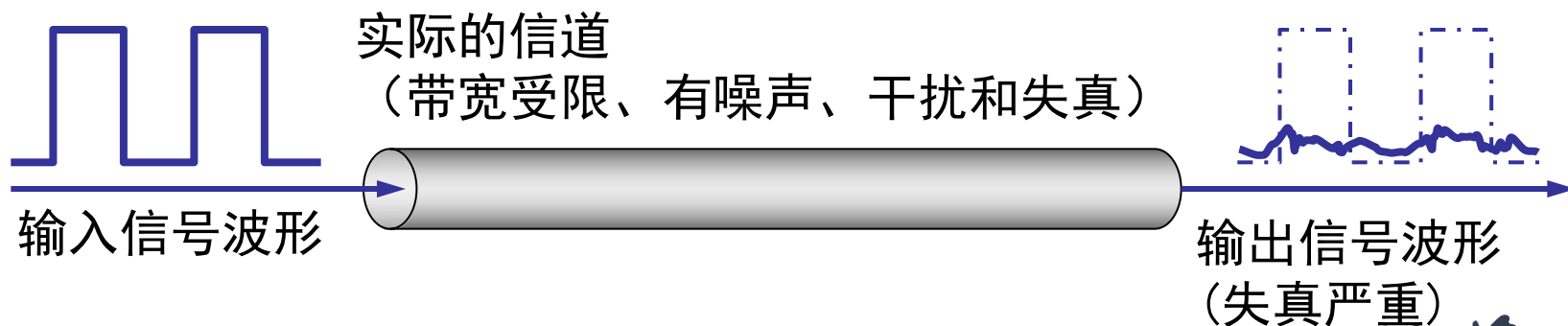
- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的**速率越高**，或信号传输的**距离越远**，或传输媒体质量越差，在信道的输出端的波形的失真就越严重。

信号通过信道对噪声的理解

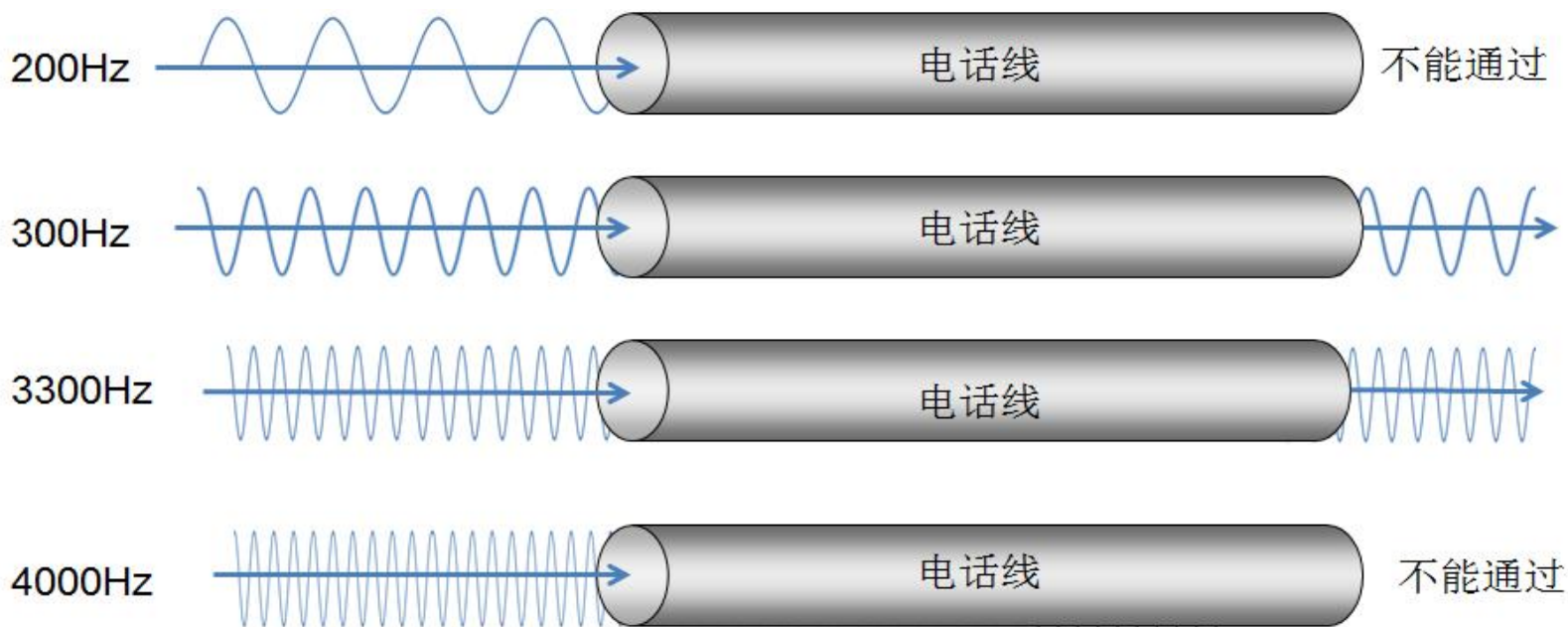
□ 失真不严重,尚可识别



□ 失真严重,不可识别

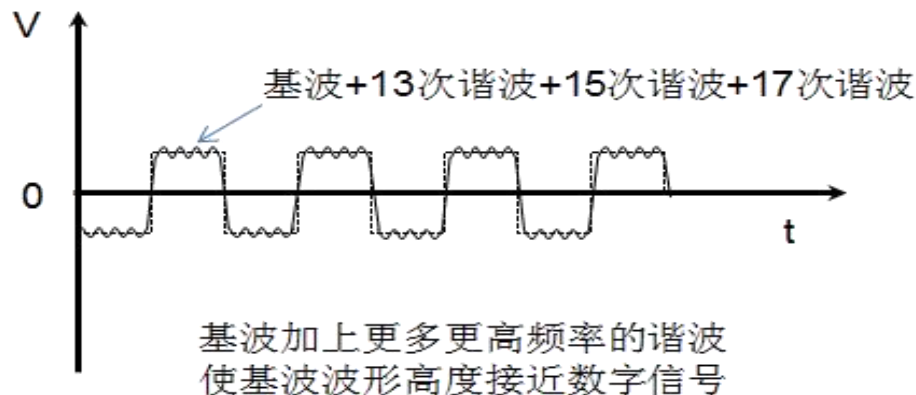
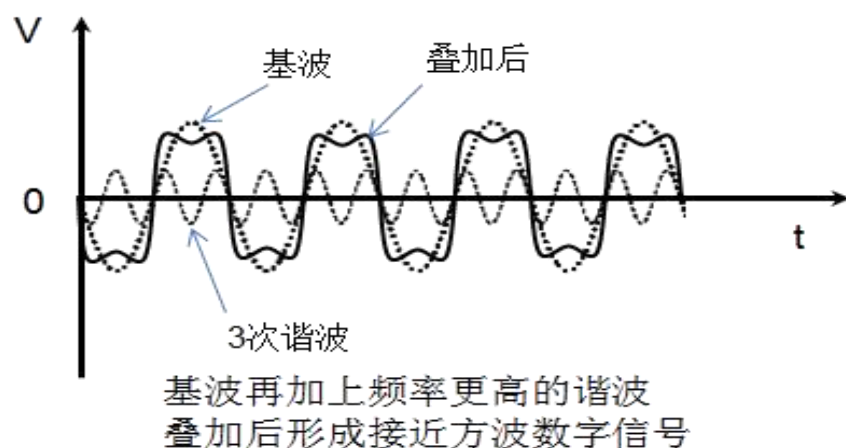
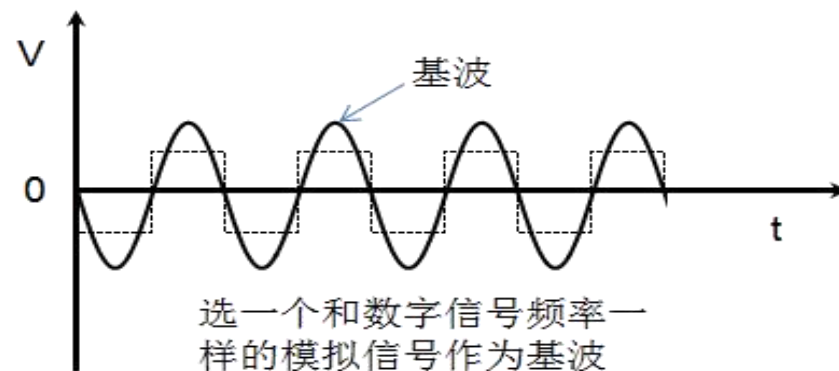
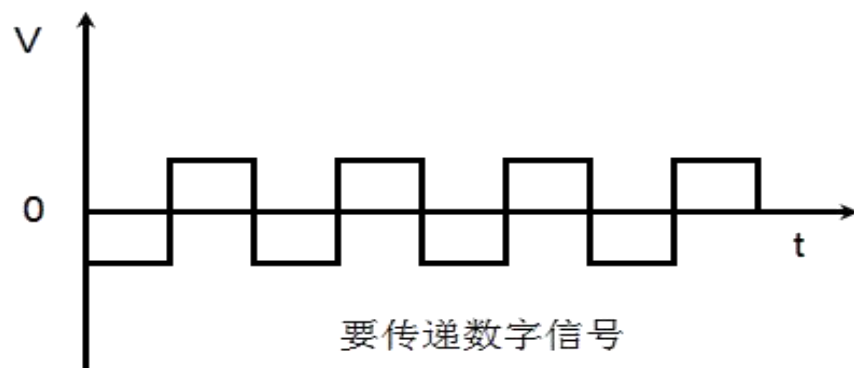


信道带宽=能够通过的最高频率-最低频率

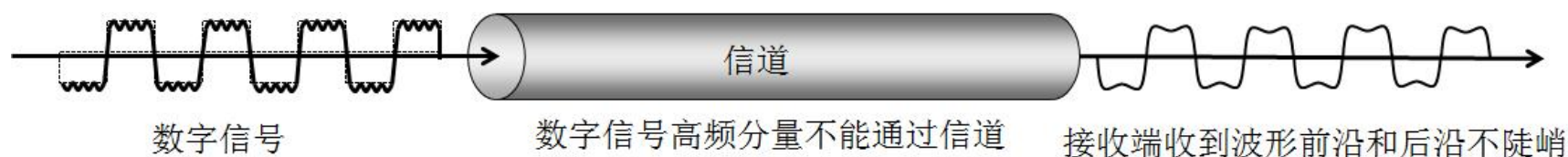


模拟信号谐波成数字信号

数字信号是由基波加上谐波叠加而成



数字信号高频带宽不能通过



在接收端收到的信号波形就失去了码元之间的清晰界限，这种现象叫做**码间串扰**。

从概念上讲，限制码元在信道上的传输速率的因素有以下两个：

- 信道能够通过的频率范围
- 信噪比

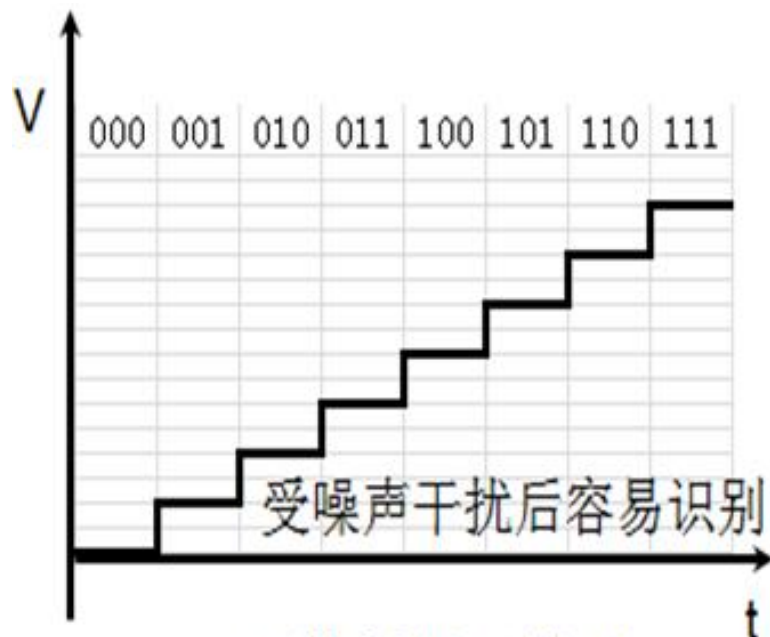
- 1924 年，奈奎斯特(Nyquist)就推导出了著名的**奈氏准则**。他给出了在假定的理想条件下（无噪声信道，有限带宽），为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。
- 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的，否则就会出现**码间串扰**的问题，使接收端对码元的判决（即识别）成为不可能。
- 如果信道的频带越宽，也就是能够通过的信号高频分量越多，那么就可以用更高的速率传送码元而不出现码间串扰。

理想低通信道的最高码元传输速率=2WBaud

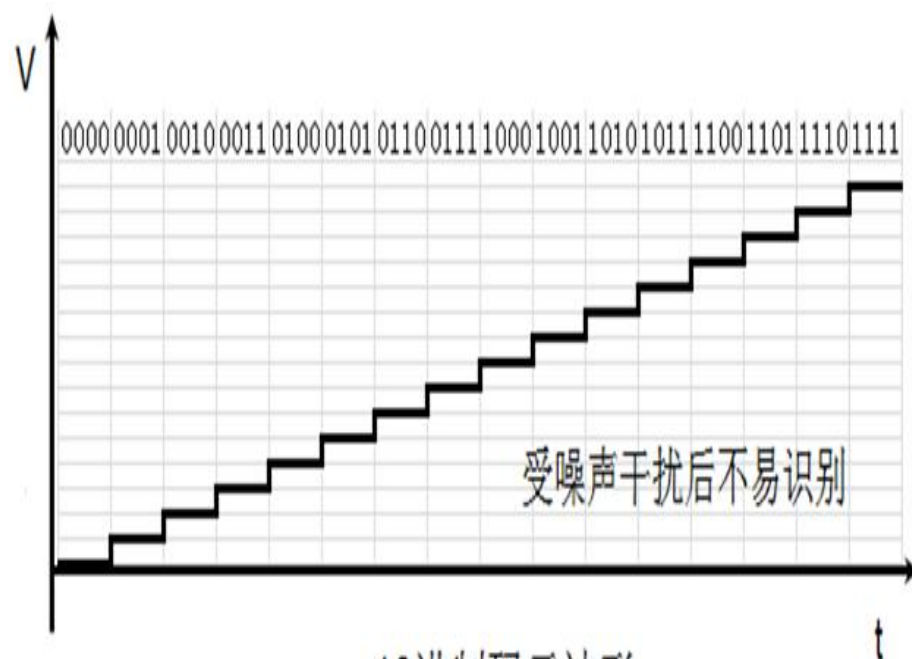
- W是理想低通信道的带宽，单位为HZ。
- Baud是波特，是码元传输速率的单位，1波特即1秒传送1个码元符号。
- 使用奈氏准则给出的公式，可以根据信道的带宽，计算出码元的最高传输速率。

信息传输速率的提升

在码元传输速率一定的情况下提高数据传输速率



8进制码元波形



16进制码元波形

同样的速率发送码元，则同样时间所传送的信息量分别提高到3倍和4倍

- 噪声存在于所有的电子设备和通信信道中。
- 噪声是随机产生的，它的瞬时值有时会很大。因此噪声会使接收端对码元的判决产生错误。
- 但噪声的影响是相对的。如果信号相对较强，那么噪声的影响就相对较小。
- **信噪比**就是信号的平均功率和噪声的平均功率之比。常记为 S/N ，并用分贝 (dB) 作为度量单位。

$$\text{信噪比(dB)} = 10 \log_{10}(S/N) \quad (\text{dB})$$

- 例如，当 $S/N = 10$ 时，信噪比为 10 dB，而当 $S/N = 1000$ 时，信噪比为 30 dB。

- 1948年，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（香农公式）。
- 信道的极限信息传输速率 C 可表达为：

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

其中：
 W 为信道的带宽（以 Hz 为单位）；
 S 为信道内信号的平均功率；
 N 为信道内部的高斯噪声功率。

□ 例:信道带宽为3KHz,信噪比为30分贝(db)
最大的速率理论上不可能超过多少?

$$\text{db} = 10 \lg(S/N)$$

$$30 = 10 \lg(S/N) \quad 3 = \lg(S/N) \quad S/N = 1000$$

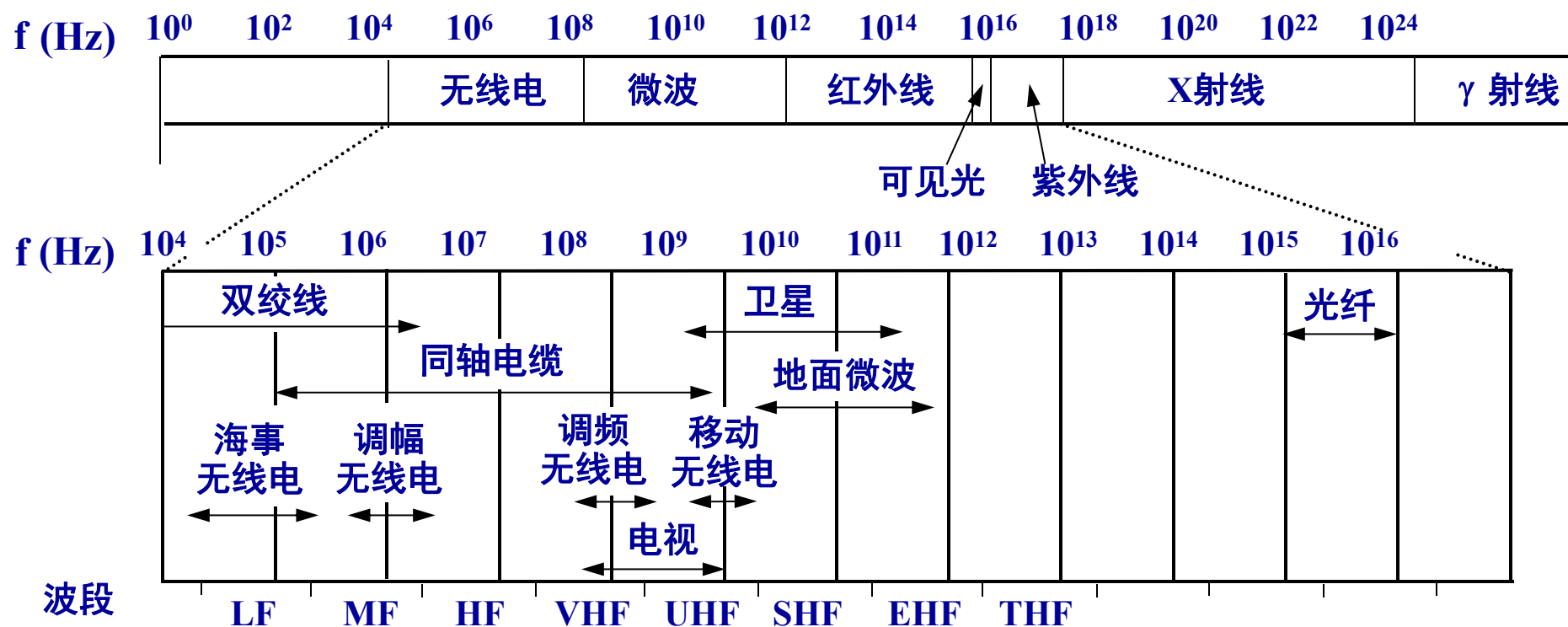
最大传输速率为:

$$\begin{aligned} &= 3000 \times \log_2 (1 + 1000) \\ &= 3000 \times \log_2 (1001) \\ &\approx 3000 \times 10 \end{aligned}$$

- 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。

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

电信领域使用的电磁波的频谱：

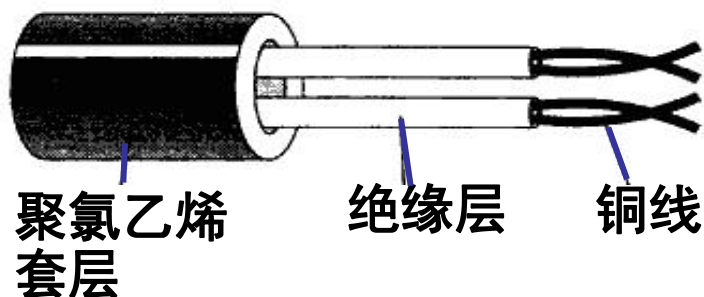


□ 双绞线

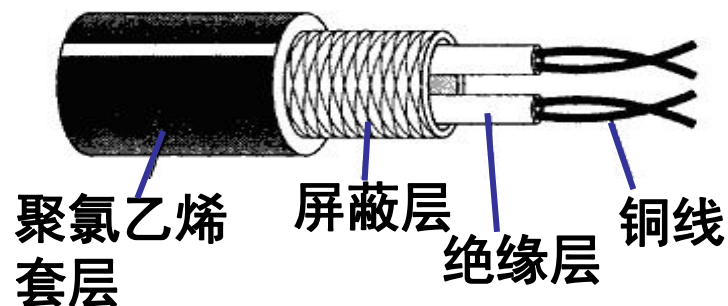
- 最常用的传输媒体。
- 模拟传输和数字传输都可以使用双绞线，其通信距离一般为几到十几公里。
- 屏蔽双绞线 STP (Shielded Twisted Pair)
 - 带金属屏蔽层
- 无屏蔽双绞线 UTP (Unshielded Twisted Pair)

双绞线

无屏蔽双绞线 UTP



屏蔽双绞线 STP



3 类线



5 类线



不同的绞合度的双绞线

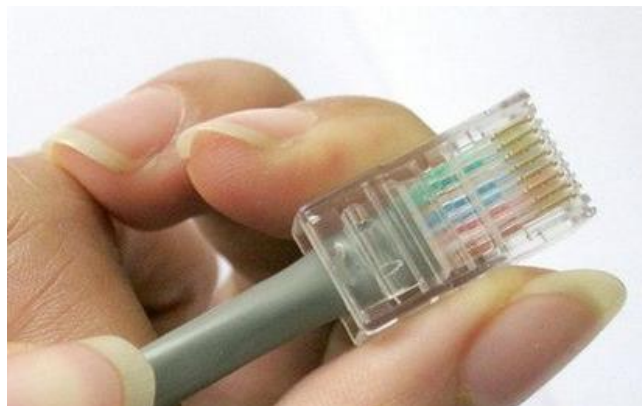
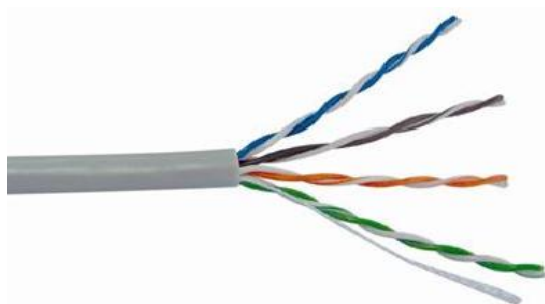
- 1991年，美国电子工业协会 EIA 和电信行业协会联合发布了一个用于室内传送数据的无屏蔽双绞线和屏蔽双绞线的标准
EIA/TIA-568
- 1995年将布线标准更新为 **EIA/TIA-568-A**
- 此标准规定了 **5 个种类的 UTP 标准**（从 1 类线到 5 类线）
- 对传送数据来说，现在最常用的 UTP 是5类线（Category 5 或 CAT5）

常用的绞合线的类别、带宽和典型应用

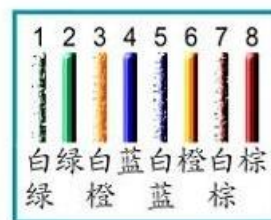
绞合线类别	带宽	线缆特点	典型应用
3	16 MHz	2对4芯双绞线	模拟电话；曾用于传统以太网（10 Mbit/s）
4	20 MHz	4对8芯双绞线	曾用于令牌局域网
5	100 MHz	与4类相比增加了绞合度	传输速率不超过100 Mbit/s的应用
5E（超5类）	125 MHz	与5类相比衰减更小	传输速率不超过1 Gbit/s的应用
6	250 MHz	与5类相比改善了串扰等性能	传输速率高于1 Gbit/s的应用
7	600 MHz	使用屏蔽双绞线	传输速率高于10 Gbit/s的应用

网线RJ-45接头(水晶头)排线示意图

□ 双绞线



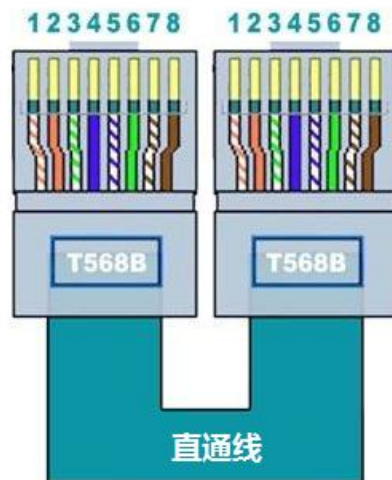
RJ-45接头



T568A



T568B

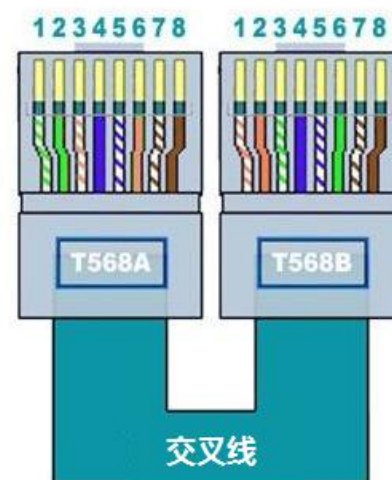


直通线

一、直连线互连

网线的两端均按 T568B 接

1. 电 脑 ↔ ADSL 猫
2. ADSL 猫 ↔ ADSL 路由器的 WAN 口
3. 电 脑 ↔ ADSL 路由器的 LAN 口
4. 电 脑 ↔ 集线器或交换机



交叉线

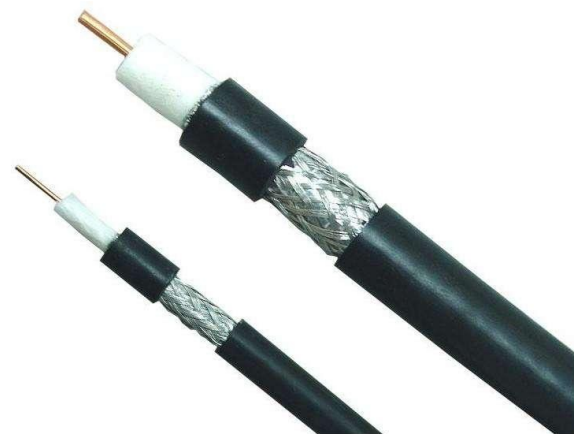
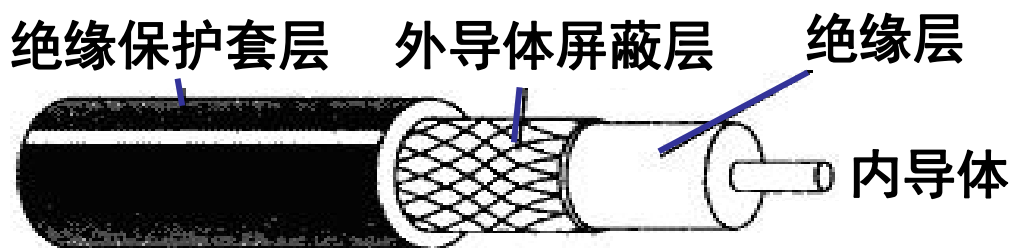
二、交叉互连

网线的一端按 T568B 接，另一端按 T568A 接

1. 电 脑 ↔ 电 脑，即对等网连接
2. 集线器 ↔ 集线器
3. 交换机 ↔ 交换机
4. 路由器 ↔ 路由器

□ 同轴电缆

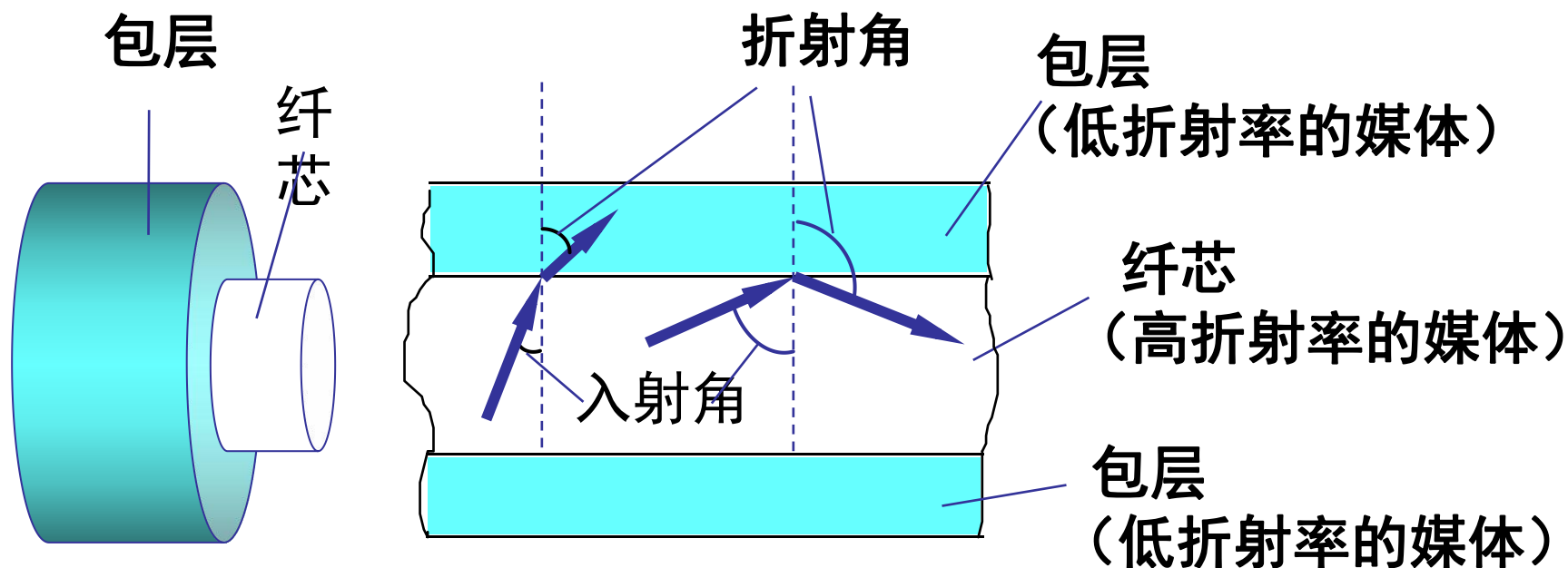
- 同轴电缆具有很好的抗干扰特性，被广泛用于传输较高速率的数据。
- 同轴电缆的带宽取决于电缆的质量。
- **50 Ω 同轴电缆** —— LAN / 数字传输常用
- **75 Ω 同轴电缆** —— 有线电视 / 模拟传输常用



□ 光纤

- 光纤是光纤通信的传输媒体。
- 由于可见光的频率非常高，约为 10^8 MHz 的量级，因此一个光纤通信系统的传输带宽远远大于目前其他各种传输媒体的带宽。

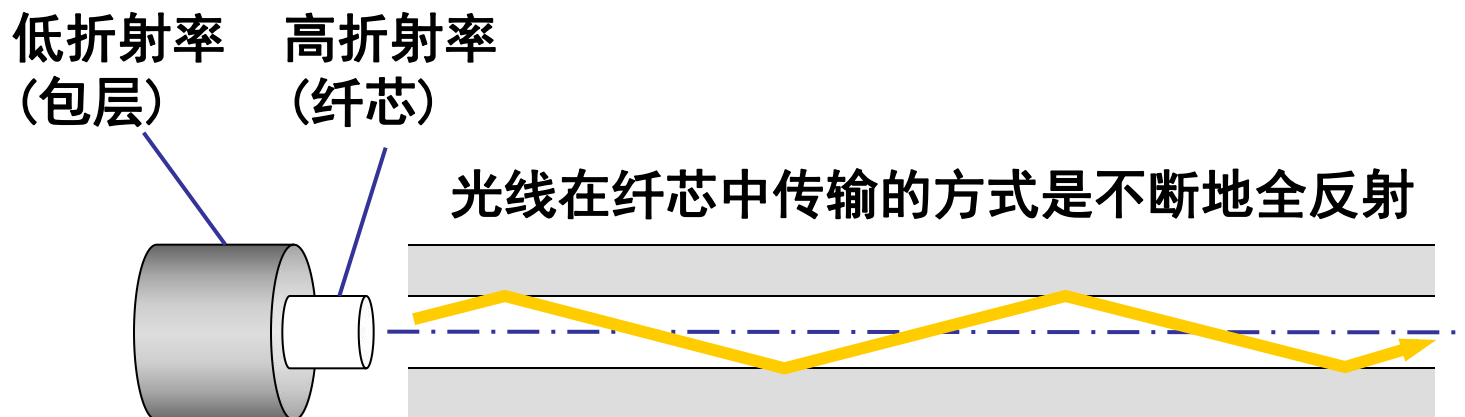
由光纤加外套等组成,光纤主要由纤芯与包层组成



当光线从高折射率的媒体射向低折射率的媒体时，其折射角将大于入射角。因此，如果入射角足够大，就会出现全反射，光也就沿着光纤传输下去。



光纤的工作原理



只要从纤芯中射到纤芯表面的光线的入射角大于某个临界角度，就可产生全反射。

□ 多模光纤

可以存在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。

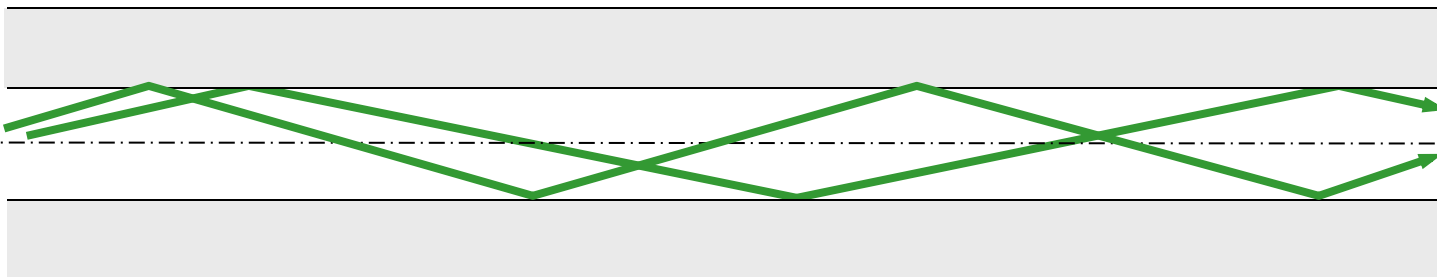
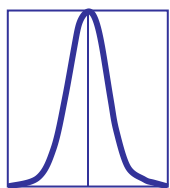
□ 单模光纤

若光纤的直径减小到只有一个光的波长，则光纤就像一根波导那样，它可使光线一直向前传播，而不会产生多次反射。这样的光纤称为单模光纤。

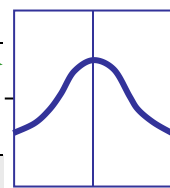
多模光纤与单模光纤

多模光纤

输入脉冲

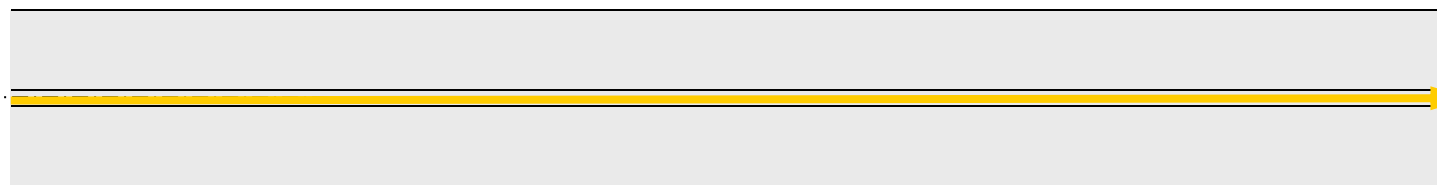
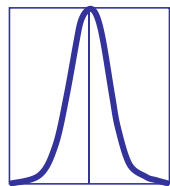


输出脉冲

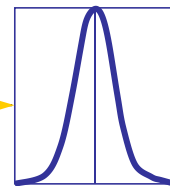


单模光纤

输入脉冲



输出脉冲



单一模光纤的光源要使用昂贵的半导体激光器，而不能使用较便宜的发光二极管。但单模光纤的损耗较小，在2.5Gb/s的高速率下可传输数十公里而不必采用中继器。

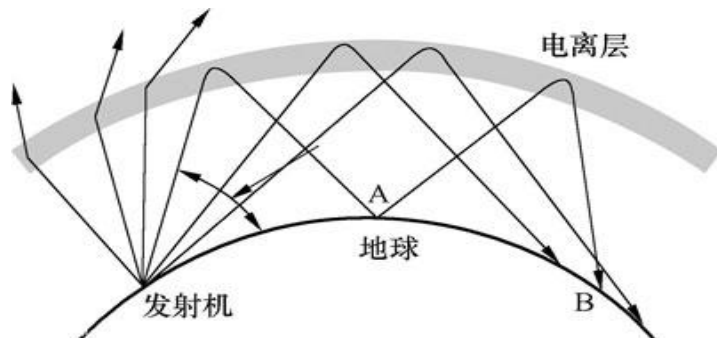
- (1) 通信容量非常大。
- (2) 传输损耗小，中继距离长。
- (2) 抗雷电和电磁干扰性能好。
- (3) 无串音干扰，保密性好。
- (4) 体积小，重量轻。

- 将自由空间称为“非导引型传输媒体”。
- 无线传输所使用的频段很广。
- **短波通信**（即高频通信）主要是靠电离层的反射，但短波信道的通信质量较差，传输速率低。
- **微波**在空间主要是直线传播。
- 传统微波通信有两种方式：
 - 地面微波接力通信
 - 卫星通信

非导向(无形介质)传输媒体

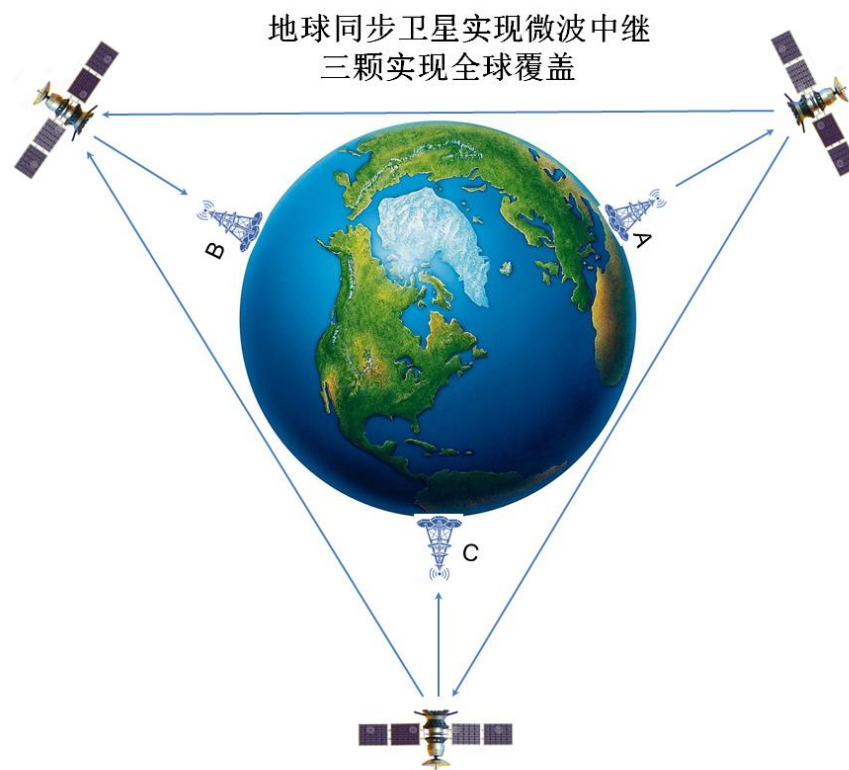
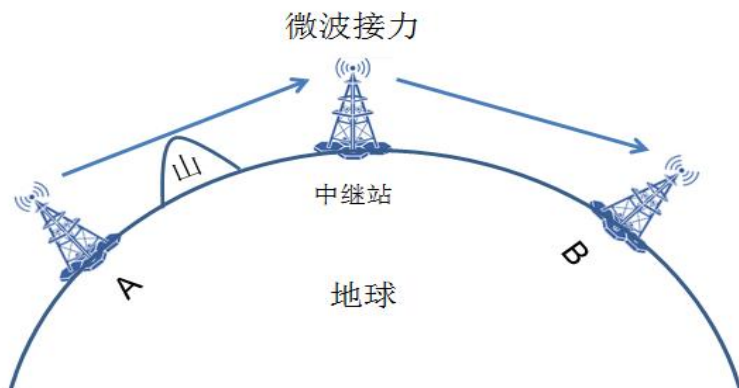
□ 短波通信

- 短波通信即高频通信，主要是靠电离层的反射。



□ 微波通信

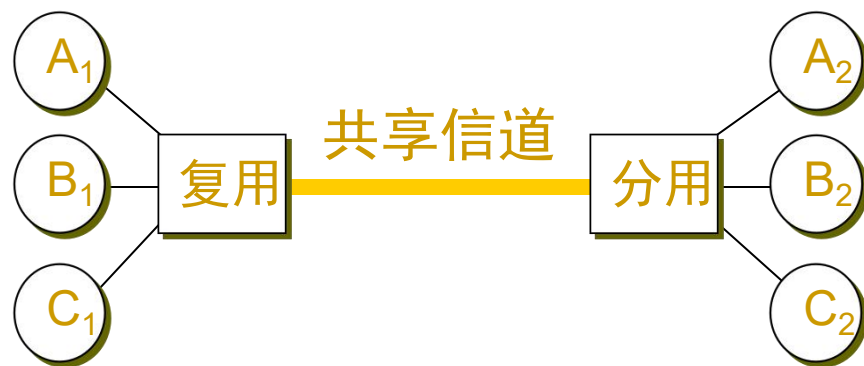
- 微波在空间主要是直线传播



□ 复用(multiplexing)是通信技术中的基本概念。

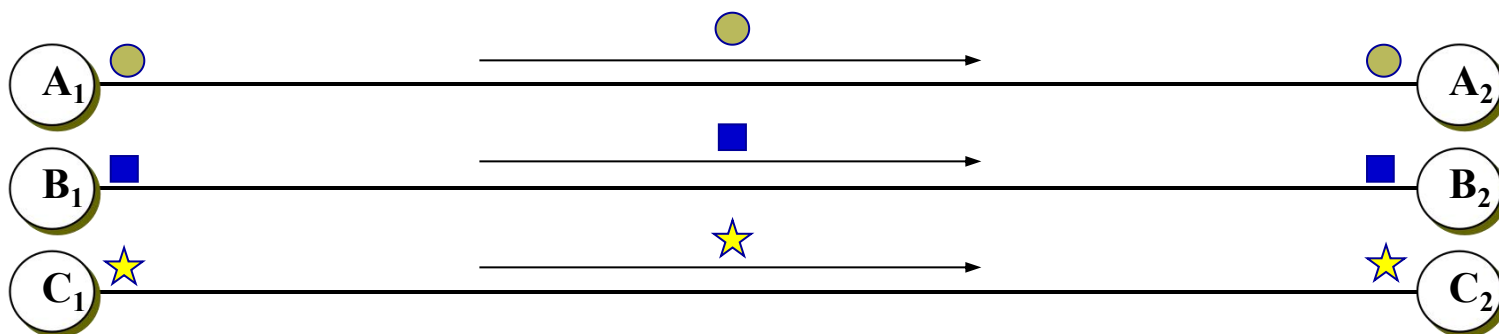


(a) 不使用复用技术

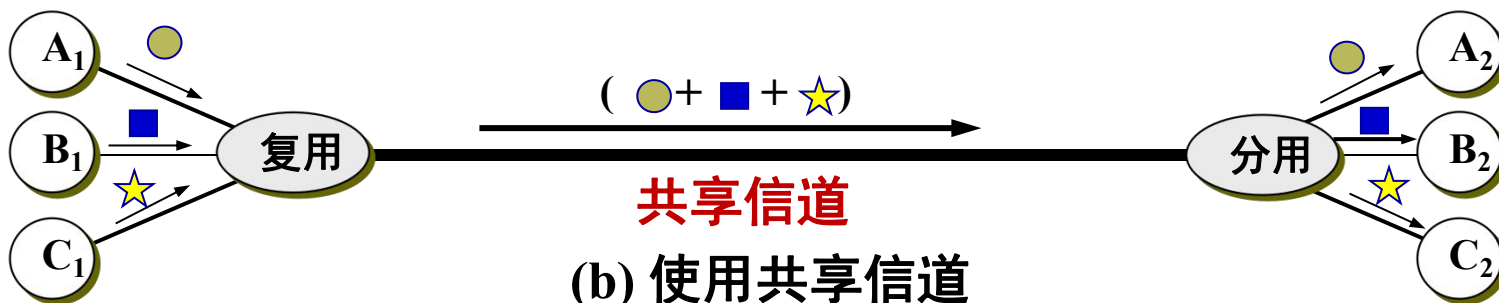


(b) 使用复用技术

复用 (multiplexing) 是通信技术中的基本概念。
它允许用户使用一个**共享**信道进行通信，降低成本，提高利用率。



(a) 使用单独的信道



(b) 使用共享信道

复用的示意图

复用：

多种信号在同一信道中传输而互不干扰。

主要方式有：

频分复用

时分复用、统计时分复用

波分复用

码分复用

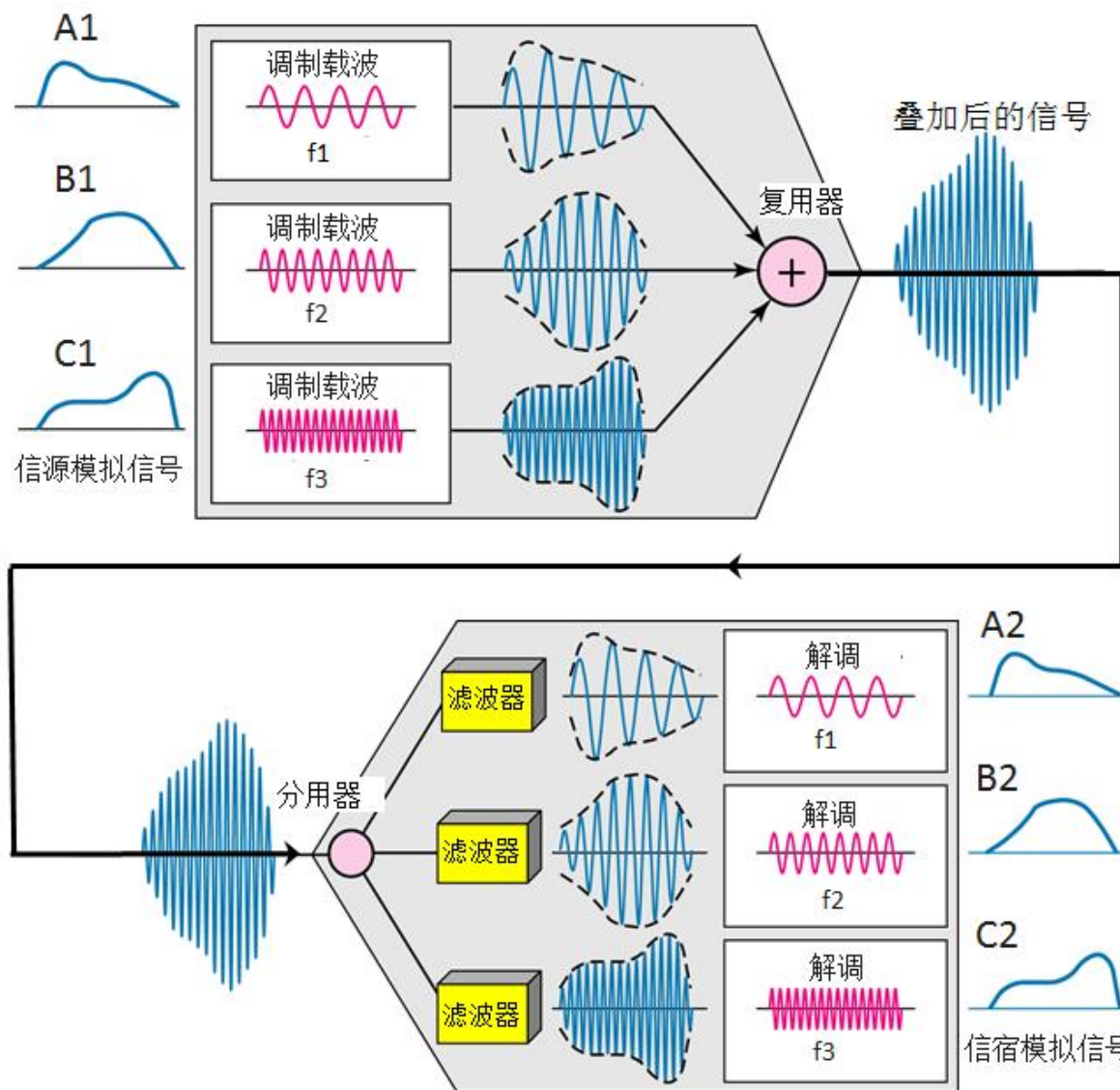
频分复用 (FDM)

- 将整个带宽分为多份，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）。



频分复用

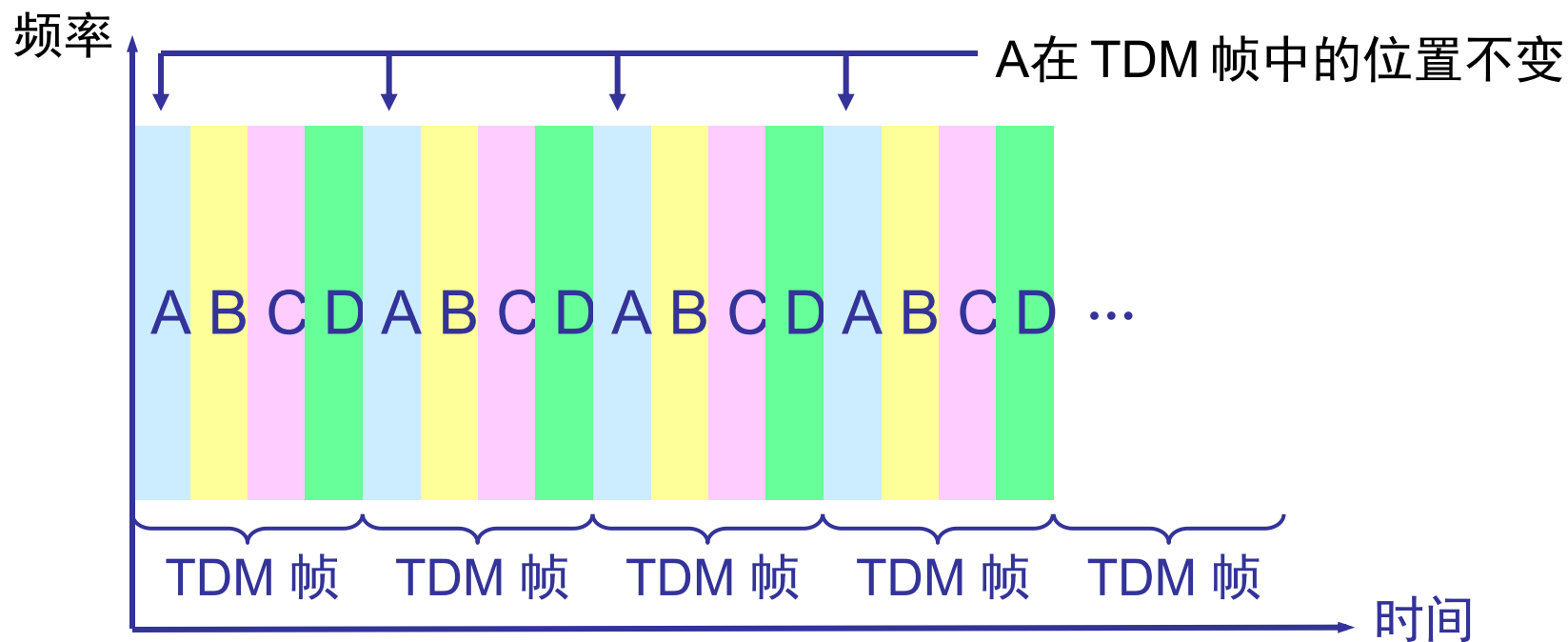
频分复用同时传输不同的模拟信号



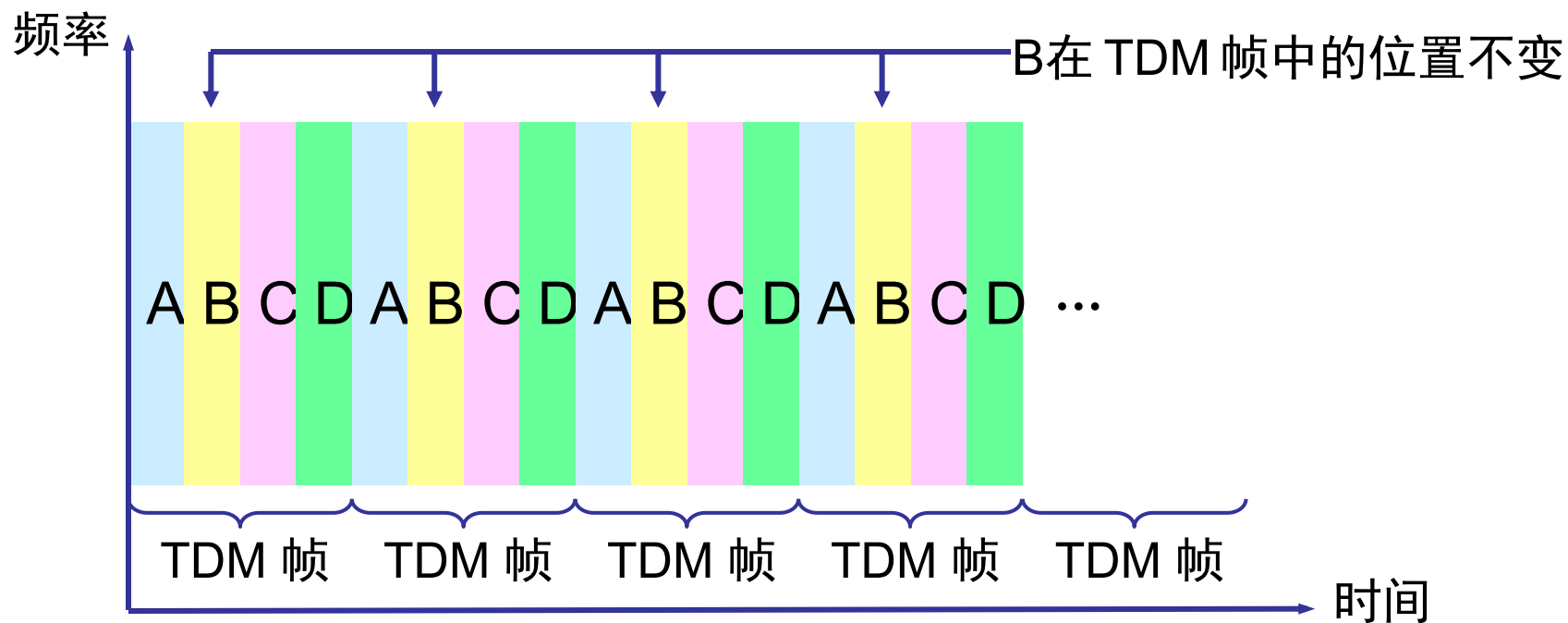
时分复用 (TDM)

- **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。**

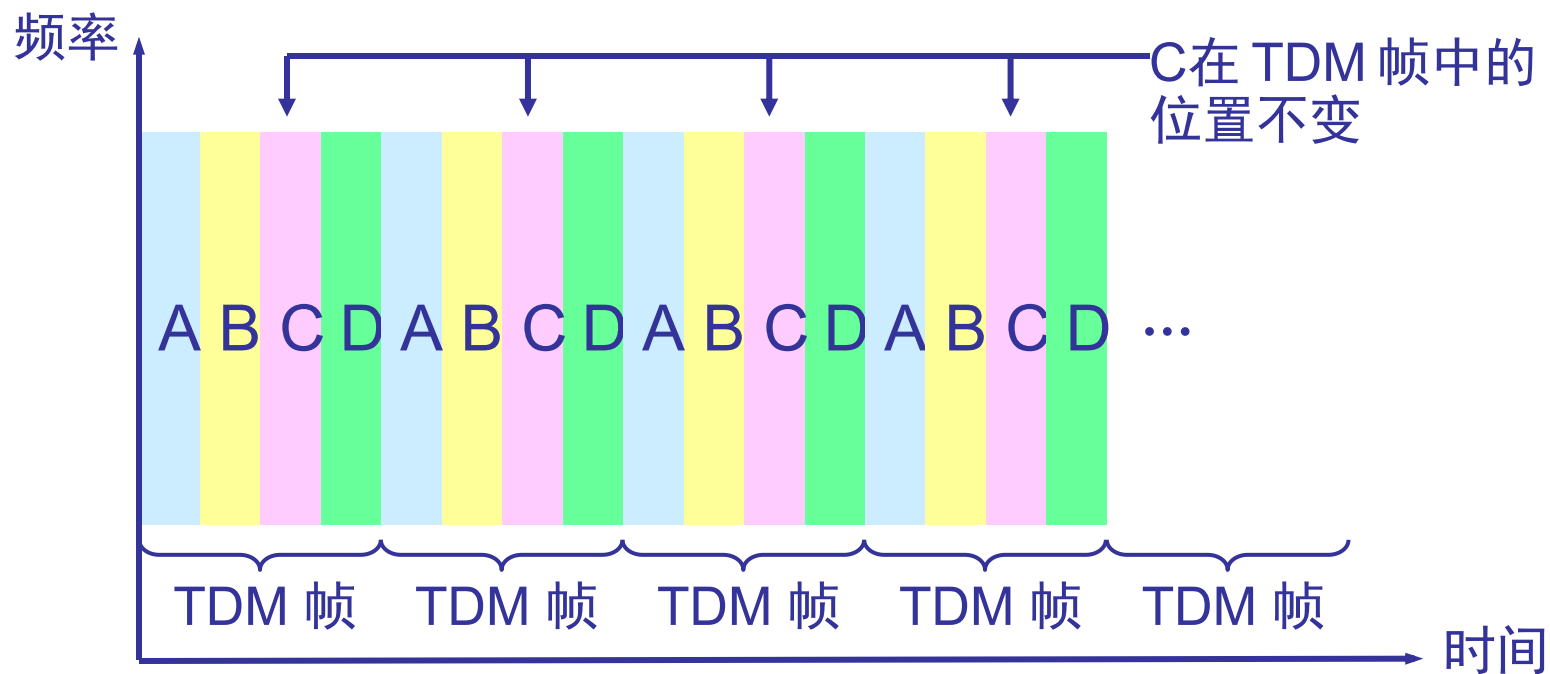
时分复用 (TDM)



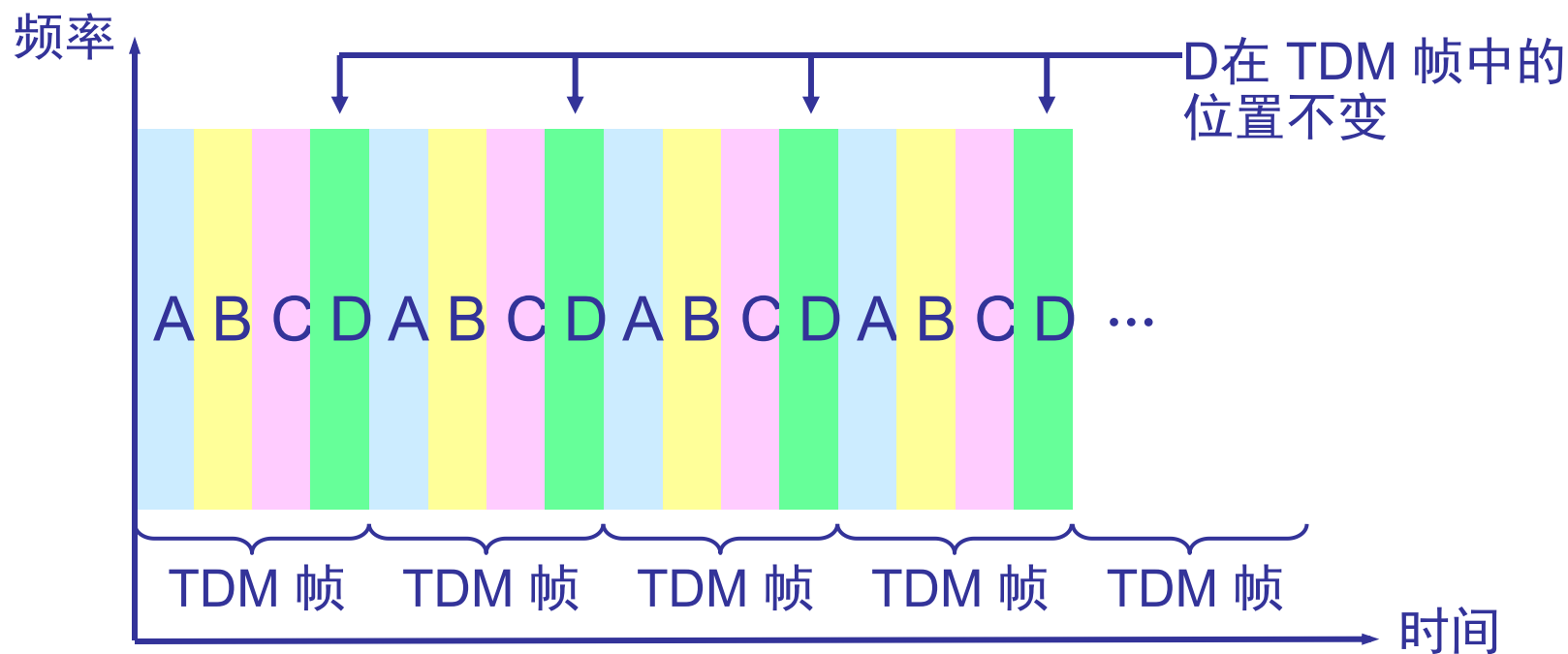
时分复用 (TDM)



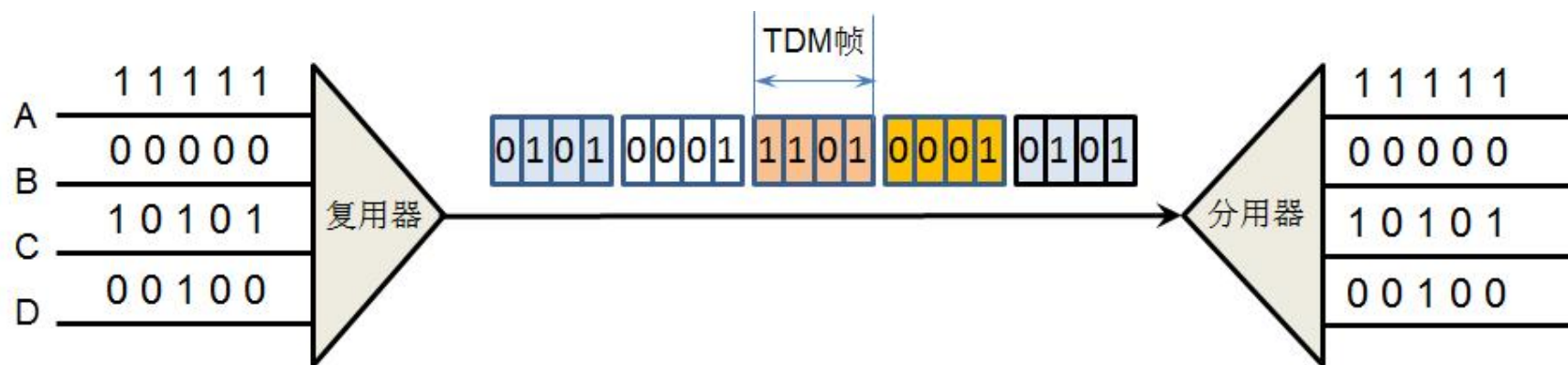
时分复用 (TDM)



时分复用 (TDM)



时分复用

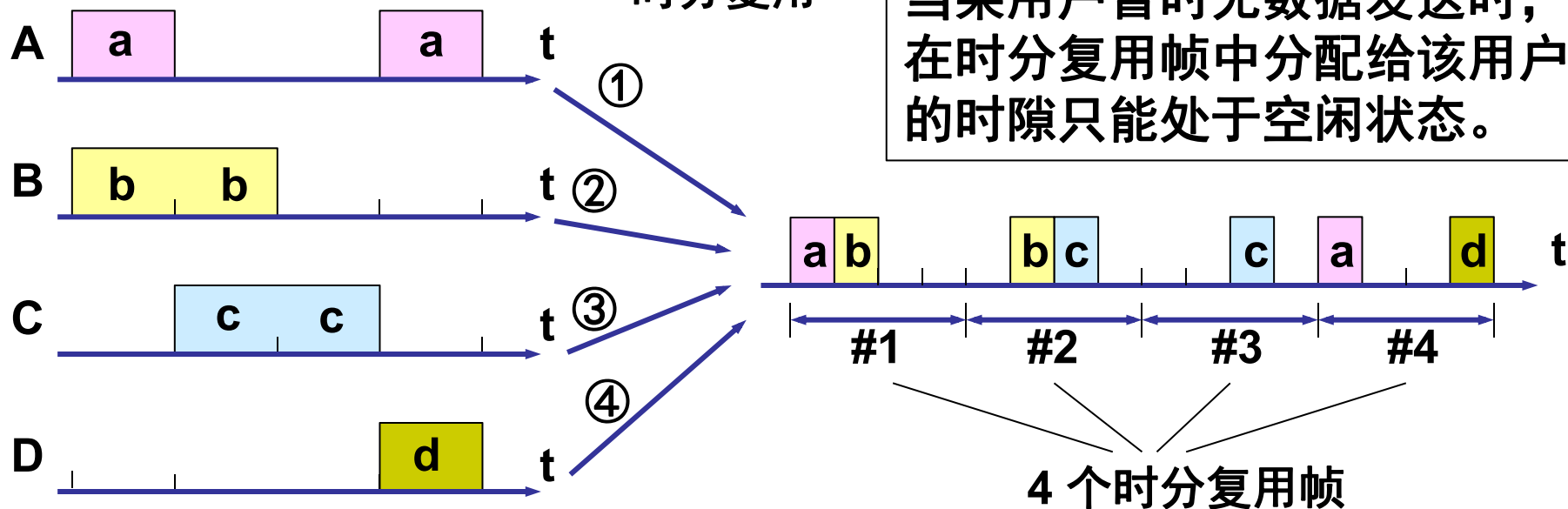


时分复用

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

时分复用



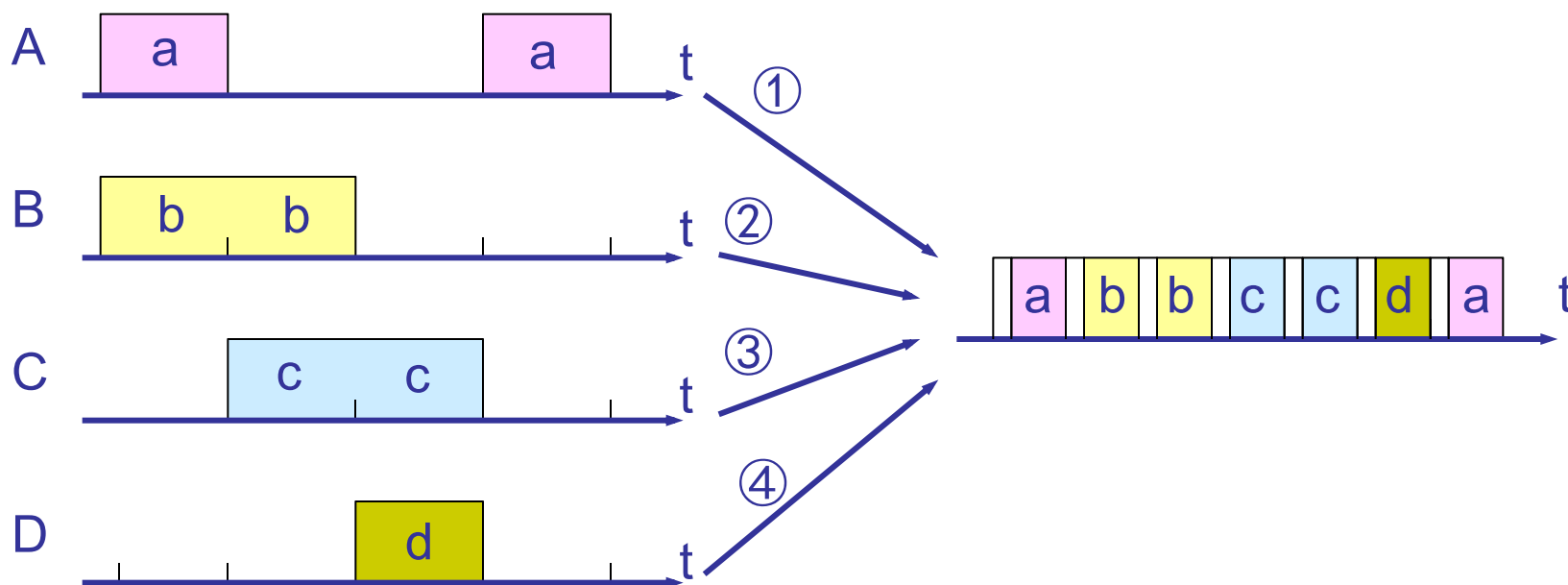
时分复用可能会造成线路资源的浪费

统计时分复用 STDM

STDM 帧不是固定分配时隙，而是按需动态地分配时隙。因此统计时分复用可以提高线路的利用率。

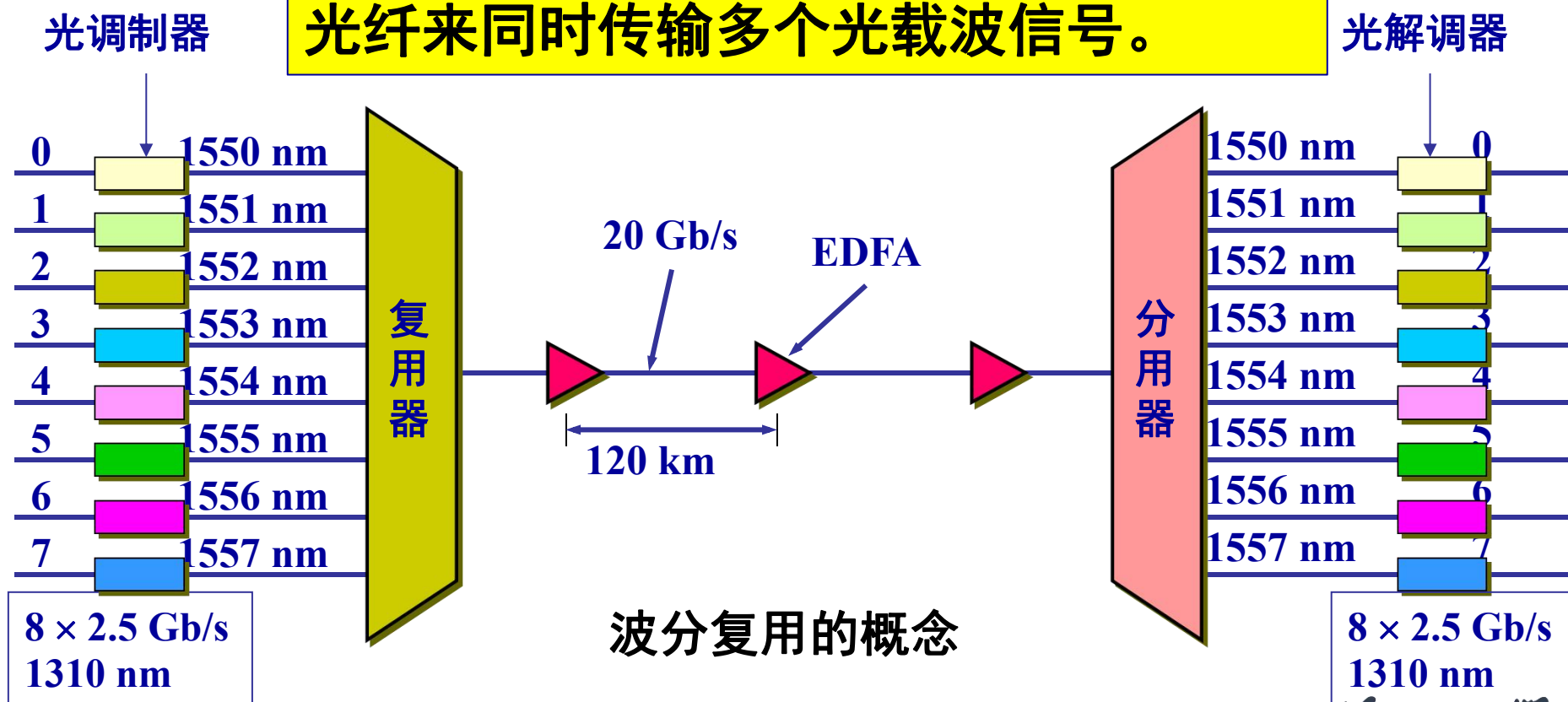
用户

统计时分复用



波分复用 WDM

波分复用就是光的频分复用。使用一根光纤来同时传输多个光载波信号。

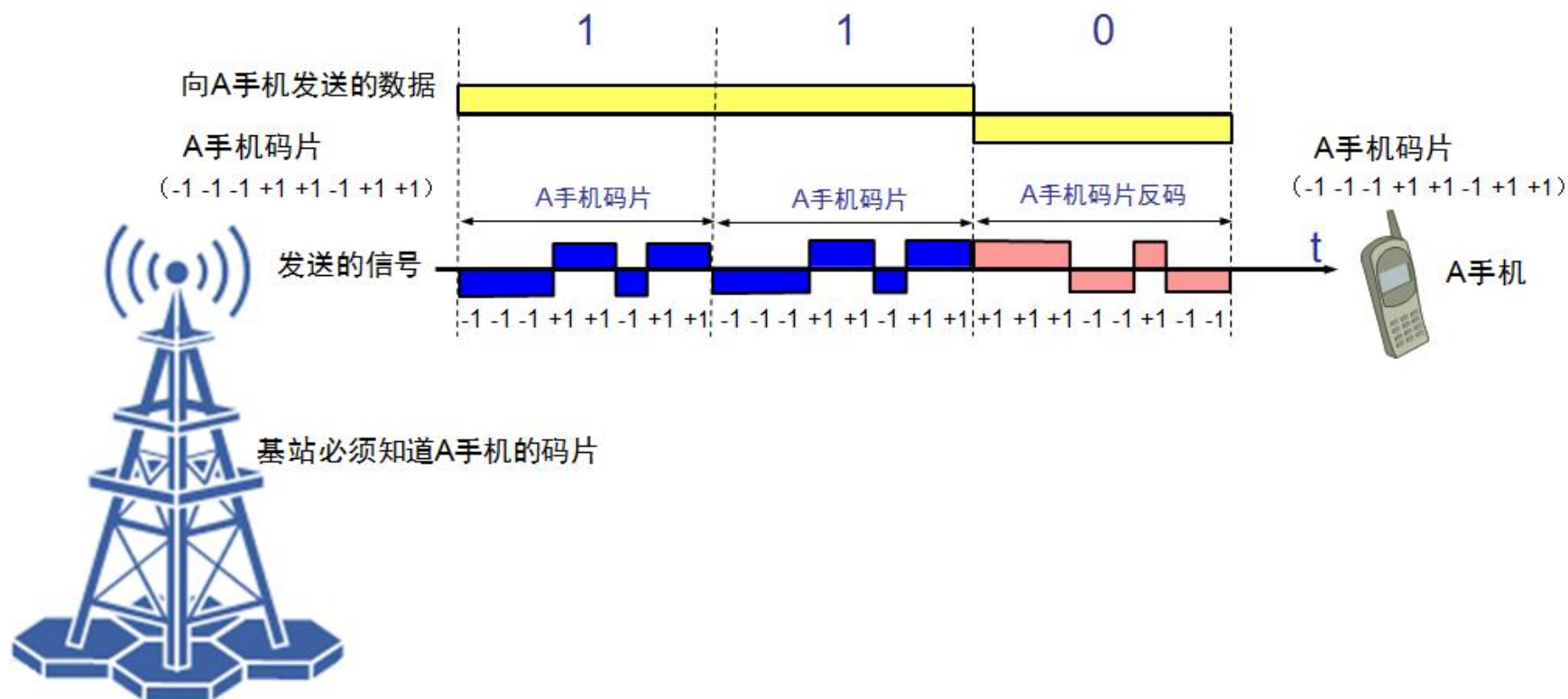


- 常用的名词是码分多址 CDMA
(Code Division Multiple Access)。
- 各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此彼此不会造成干扰。
- 这种系统发送的信号有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被敌人发现。

码片序列(chip sequence)

- 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： $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$

码分复用



码片序列实现了扩频

- 假定S站要发送信息的数据率为 b bit/s。由于每一个比特要转换成 m 个比特的码片，因此 S 站实际上发送的数据率提高到 mb bit/s，同时 S 站所占用的频带宽度也提高到原来数值的 m 倍。
- 这种通信方式是**扩频**(spread spectrum)通信中的一种。
- 扩频通信通常有两大类：
 - 一种是**直接序列扩频DSSS** (Direct Sequence Spread Spectrum)，如上面讲的使用码片序列就是这一类。
 - 另一种是**跳频扩频FHSS** (Frequency Hopping Spread Spectrum)。

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) 等于 0：

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

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。

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

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1。

内积的计算:

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

向量 **S** 为(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)

向量 **T** 为(-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)

内积 +1 +1 -1 -1 +1 -1 +1 -1 = 0

- 用户收到信号数据(叠加码)
- 用户存有自身数据码片序列
- 如每个码元扩展为8个码片
- 则依次将收到数据中每个码片乘以自身数据的每个码片后再除以8
- 如果结果是1,则发送1
- 结果是-1,则发送0
- 如果结果是0,则没有发送。

□ 例：某一站点

□ 自身码是-1 +1 -1 +1 +1+1-1 -1

□ 收到码是-3 -1 -1 +1 +3+1-1 +1

-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1

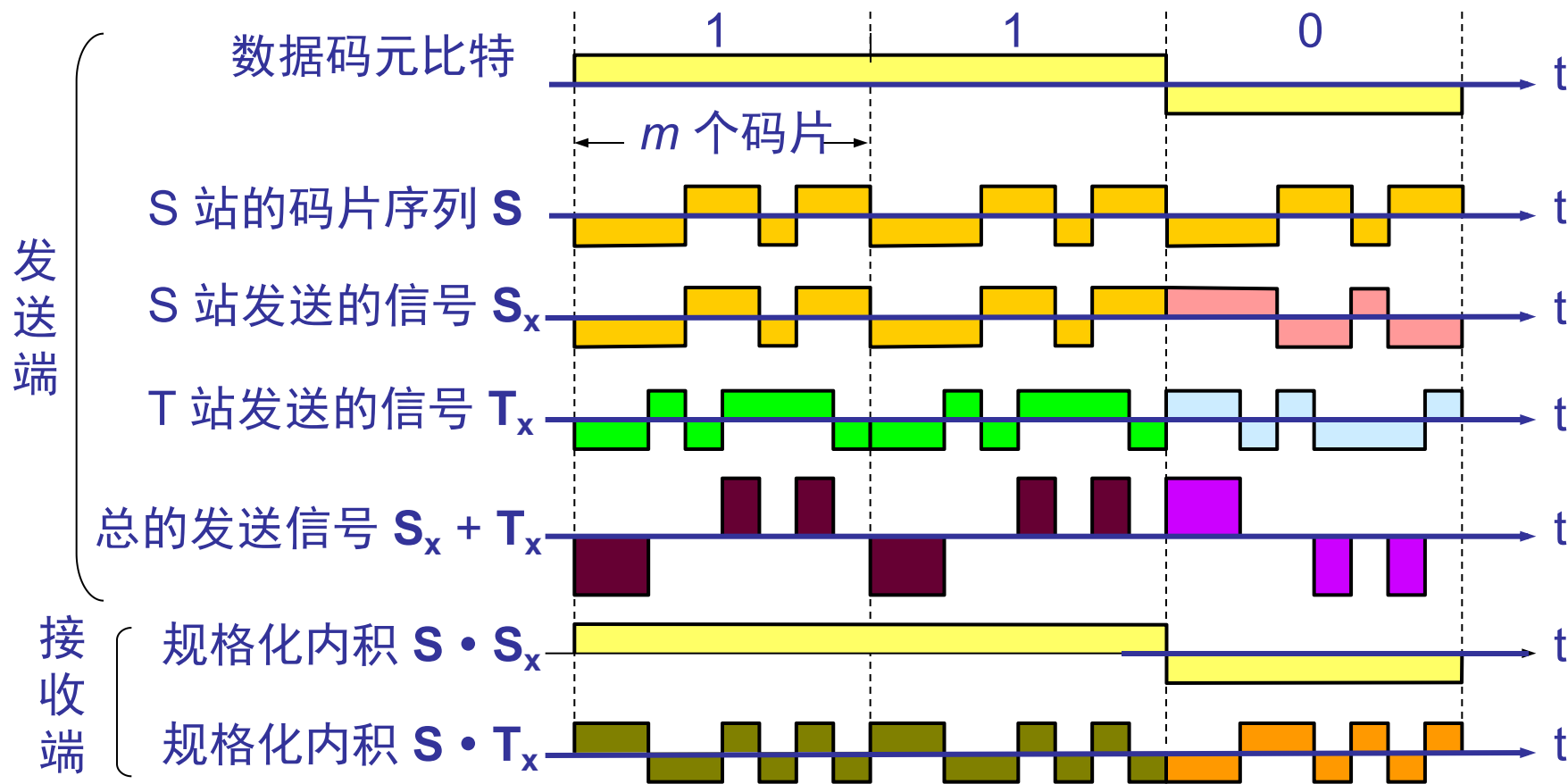
-3 -1 -1 +1 +3 +1 -1 +1

+3 -1+1 +1 +3 +1 +1 -1=8

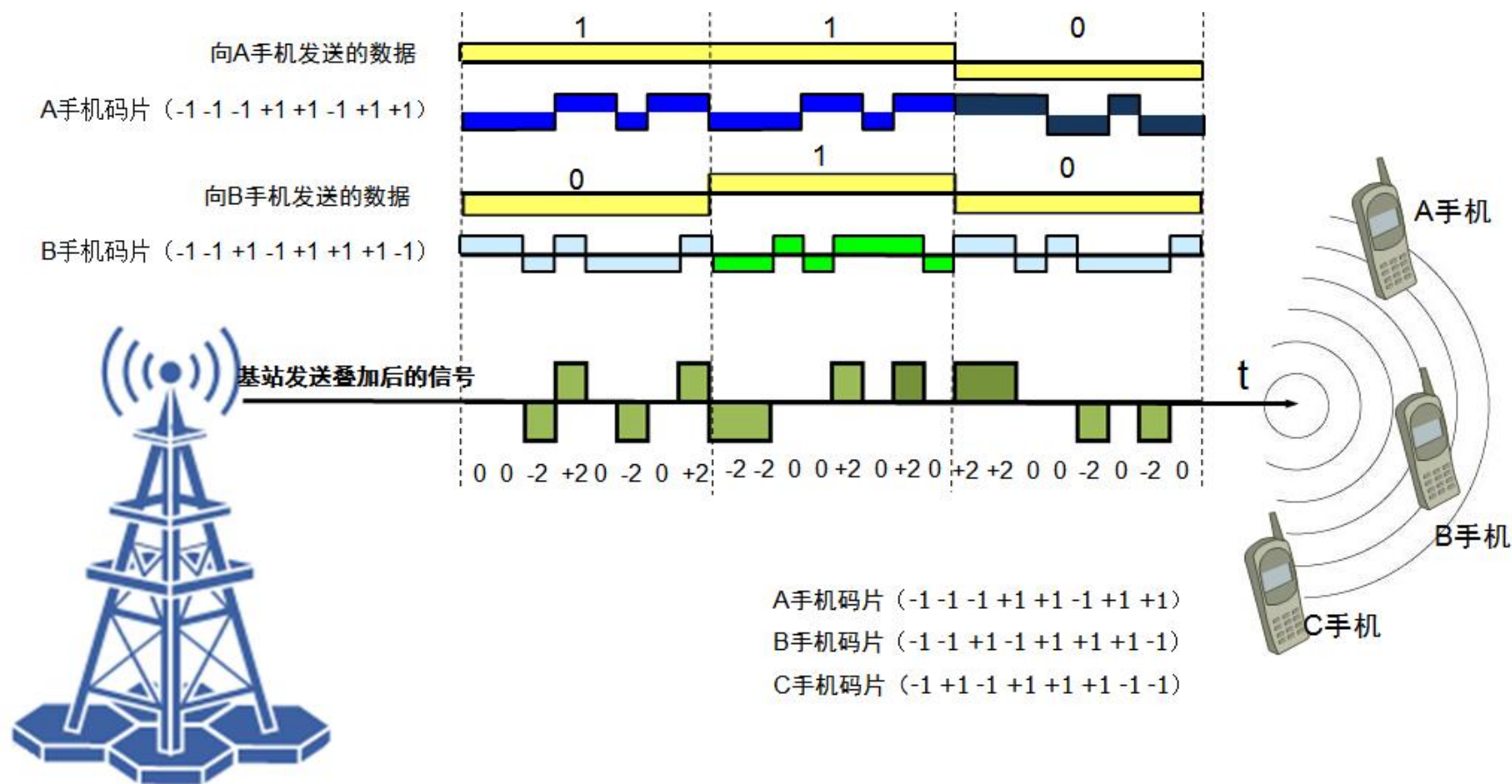
8/8=1

所以该点收到了所发送的 1

CDMA 的工作原理



CDMA 的工作原理



- 假如基站发送了码片序列 $(0 \ 0 \ -2 \ +2 \ 0 \ -2 \ 0 \ +2)$ 。
- A手机的码片序列为 $(-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$
- B手机码片序列为 $(-1 \ -1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1)$
- C手机码片序列为 $(-1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1 \ +1 \ -1 \ -1)$
- 问这三个手机，分别收到了什么信号？

- 信息、数据、信号
- 模拟信号、数字信号
- 码元、信道
- 基带信号 带通信号
- 调制解调
- 奈氏准则
- 香农公式
- 频分，时分、统计时分、波分、码分



Thanks for your
attention!