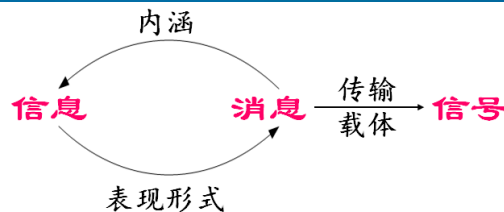


- 消息、信息、信号
- 通信理论



➤ 奈奎斯特准则

- ✓ 在理想低通信道条件（无噪声，带宽受限）下，为了避免码间串扰，码元传输速率的上限值为

$$R_{\max} = 2W \text{ (Baud)}$$

- ✓ 在理想带通信道条件下，码元传输速率上限值为

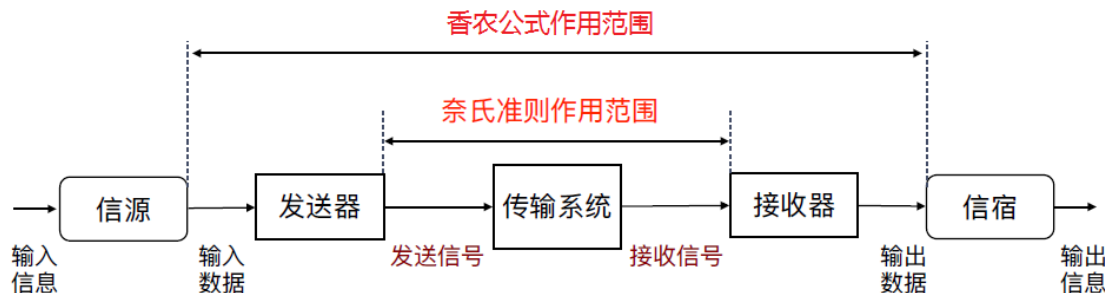
$$R_{\max} = W \text{ (Baud)}$$

W 为信道带宽
(单位是Hz)

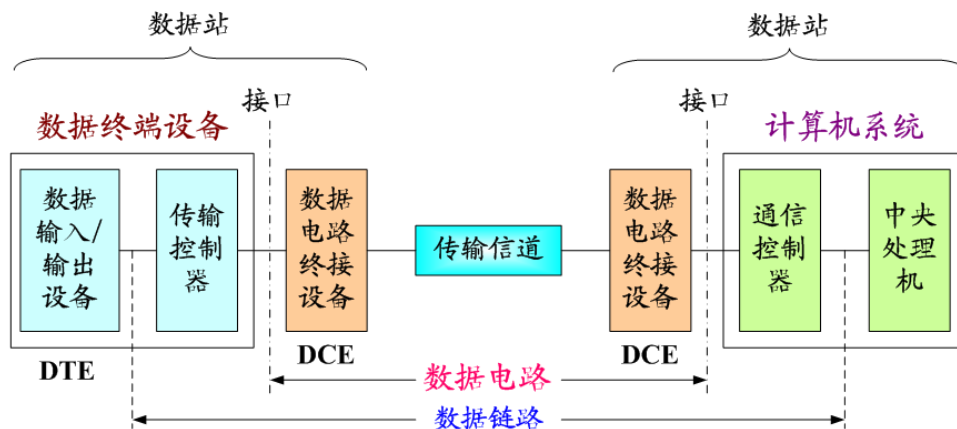
- 香农 (Shannon) 用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限信息传输速率（香农公式）

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

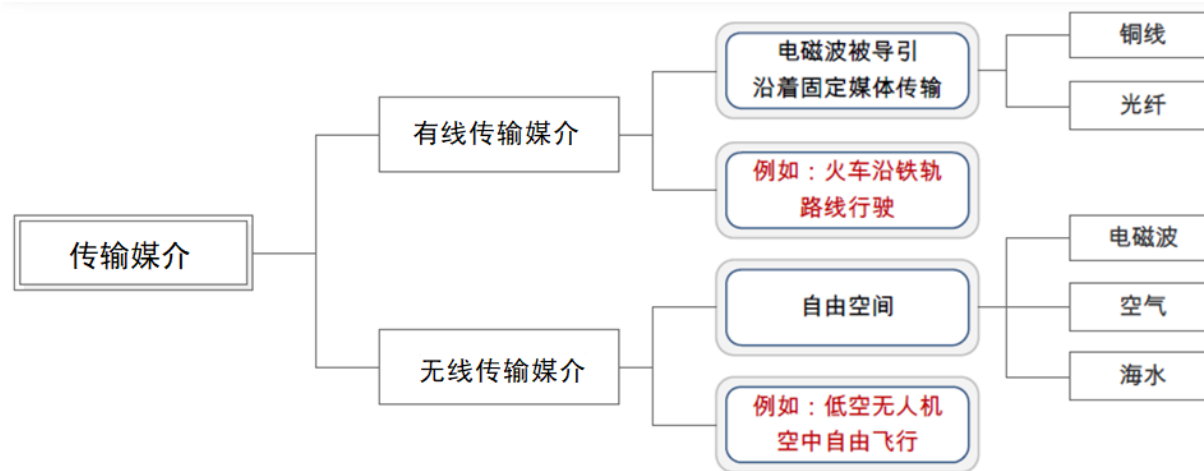
其中： W 为信道带宽（单位是 Hz）； S 为信道内所传信号的平均功率； N 为信道内部的高斯噪声功率。



● 数据通信系统模型

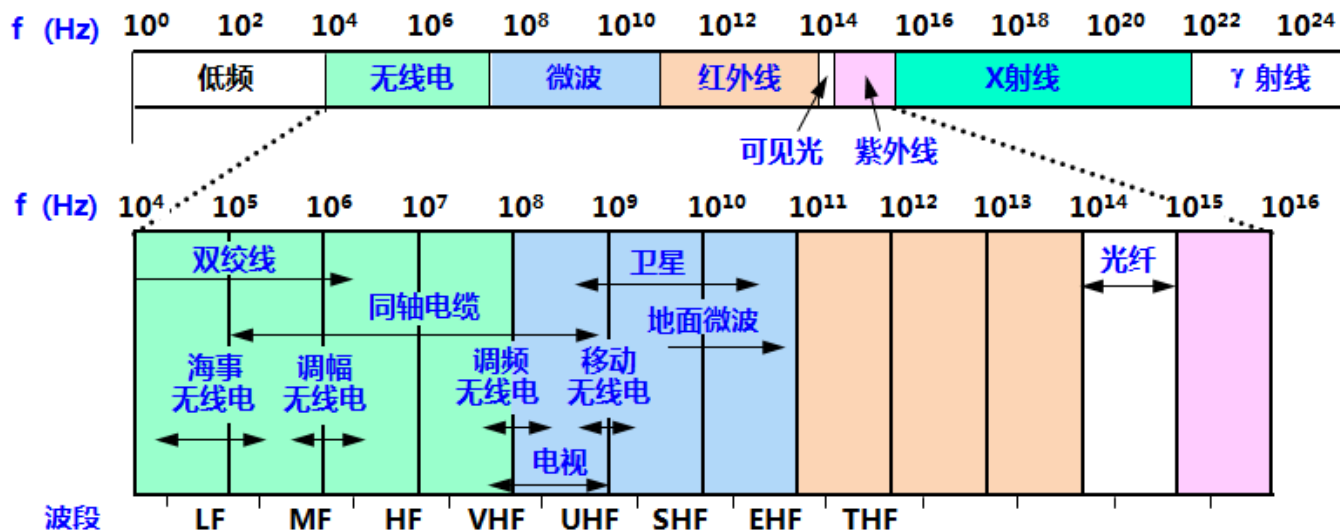


● 传输媒介



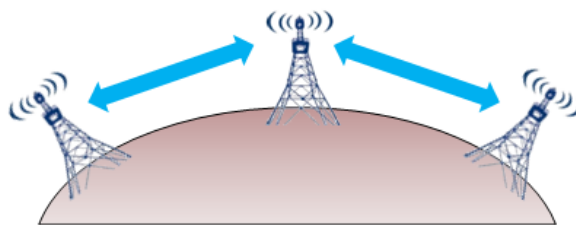
无线传输媒介

- 利用无线电波在自由空间的传播可较快地实现多种通信。
- 无线传输所使用的频段很广：LF ~ THF (30 kHz ~ 3000 GHz)
 - 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。
 - 微波占有特殊重要的地位，在空间主要是**直线传播**。

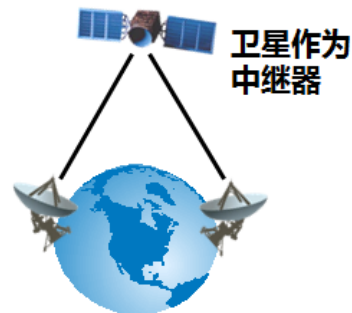


无线传输媒介

- 利用无线电波在自由空间的传播可较快地实现多种通信。
- 无线传输所使用的频段很广：LF ~ THF (30 kHz ~ 3000 GHz)
 - 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。
 - 微波占有特殊重要的地位，在空间主要是**直线传播**。
- 微波频率范围
 - 300 MHz~300 GHz (波长1 m ~ 1 mm) 。
 - 主要使用：2 ~ 40 GHz。
- 传统微波通信有两种方式
 - 地面微波接力通信
 - 卫星通信



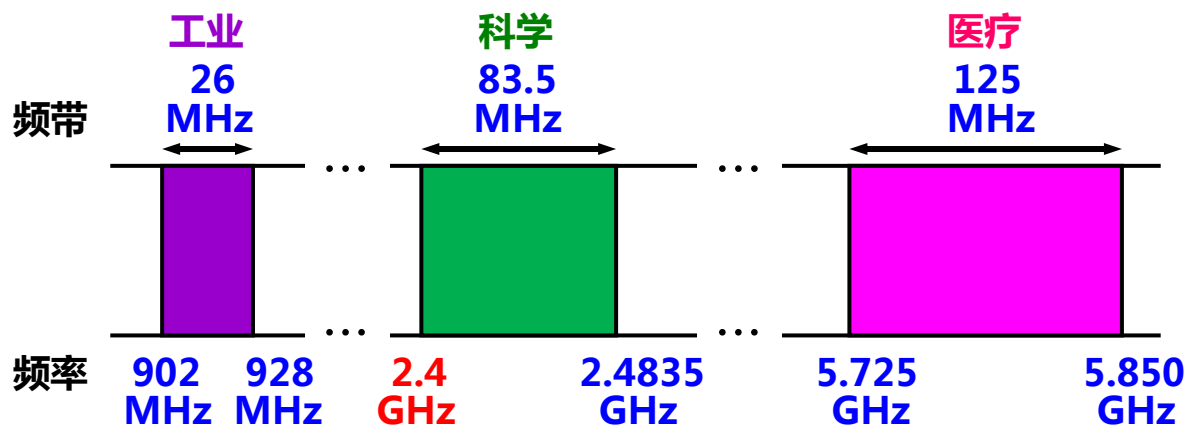
100 m 高的天线塔可使传播距离增大到 100 公里



同步地球卫星通信覆盖区的跨度达 18000 多公里

无线传输媒介

- 无线电频谱的使用必须得到本国政府有关无线电频谱管理机构的许可。
- 可以自由使用的频段：ISM频段。
- 各国的ISM标准有可能略有差别。
- 2.4GHz频段为各国共同的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。



数据传输技术

● 基带传输和频带传输

➤ **基带传输**：数字信号**不做任何改变**直接在信道中进行传输的过程。

- 基带信号没有经过调制，它所占据的频带一般是从直流或低频开始的。
- 发送端在进行基带传输前，需要对信源发送的数字信号进行编码；在接收端，对接收到的数字信号进行解码，以恢复原始数据。
- 基带传输实现简单、成本低，得到了广泛应用。

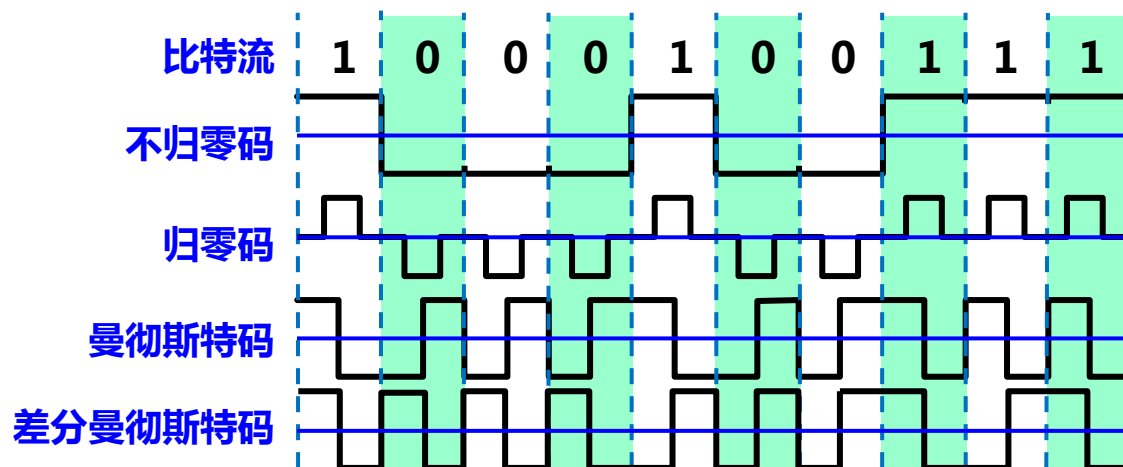
➤ **频带传输**：数字信号**经过调制**后在信道中传输的过程。

- 调制的目的是使信号能更好地适应传输信道的频率特性，以减少信号失真。
- 数字信号经过调制处理后能够克服基带信号占用频带过宽的问题，从而提高线路的利用率。

数字数据的数字传输

- 在进行基带传输时，需要对基带信号的波形进行变换，使它能够与数字信道特性相适应，这种过程也称为**编码** (coding)。
 - 数字信号的编码是指用两个电平分别表示二进制数据0和1的过程，每位二进制数据和一个电平相对应。
 - 常用的数字数据脉冲编码方案
 - 单极性码
 - 双极性码
 - 曼彻斯特码
 - 差分曼彻斯特码
- 归零码，不归零码

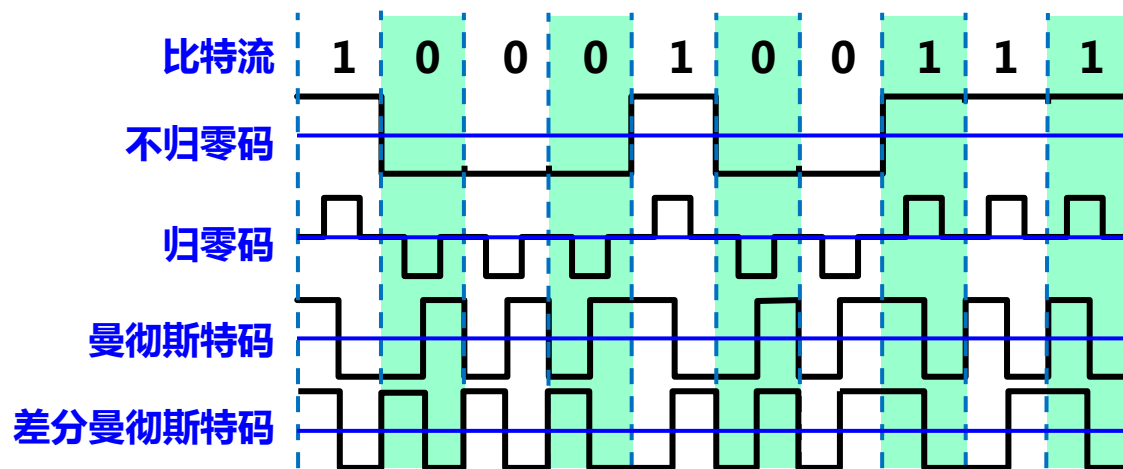
数字数据的数字传输



脉冲是指电压升高（或降低）后又降低（或升高）这一周期过程，相应称为正脉冲或负脉冲。

- **不归零码**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零码**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

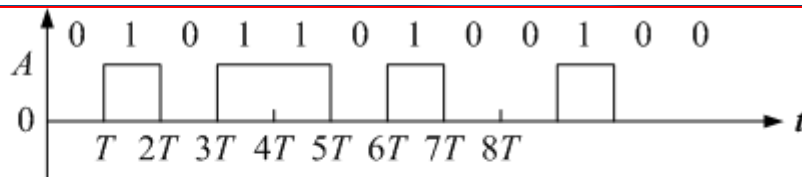
数字数据的数字传输



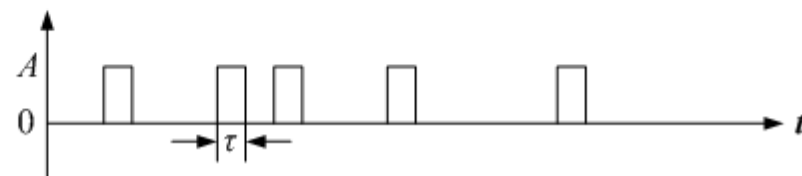
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码产生的信号频率比不归零码高。
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码具有自同步能力。

- 不归零码：正电平代表 1，负电平代表 0。
- 归零码：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- 曼彻斯特码：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- 差分曼彻斯特码：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

(a) 单极性不归零信号



(b) 单极性归零信号



不归零码

归零码

曼彻斯特码

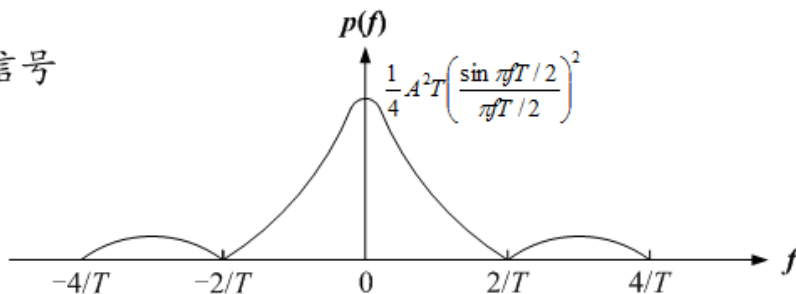
差分曼彻斯特码

- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码产生的信号频率比不归零码高。
- 曼彻斯特码和差分曼彻斯特码具有自同步能力。

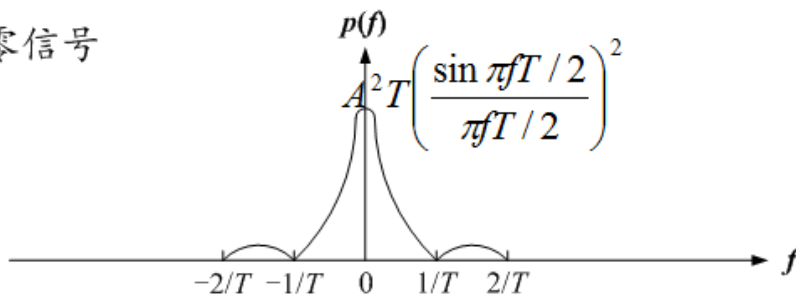
- **不归零码**：正电平代表 1，负电平代表 0。
- **归零码**：正脉冲代表 1，负脉冲代表 0。
- **曼彻斯特码**：位周期中心的向上跳变代表 0，位周期中心的向下跳变代表 1。但也可反过来定义。
- **差分曼彻斯特码**：在每一位的中心处始终都有跳变。位开始边界有跳变代表 0，而位开始边界没有跳变代表 1。

数字数据的数字传输

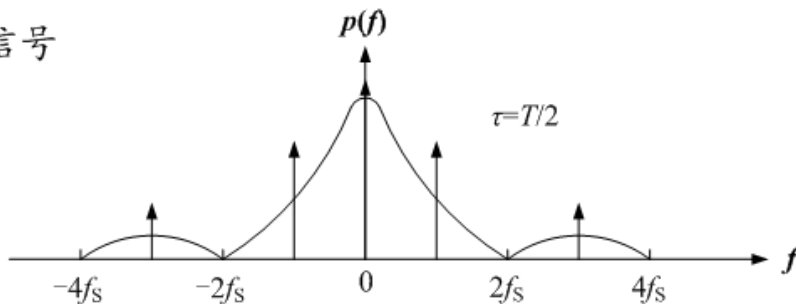
(a) 双极性归零信号



(b) 双极性不归零信号



(c) 单极性归零信号



对数据序列的频谱特性进行研究的目的找出数据序列的能量分布特性，以便决定信道的频带特性。

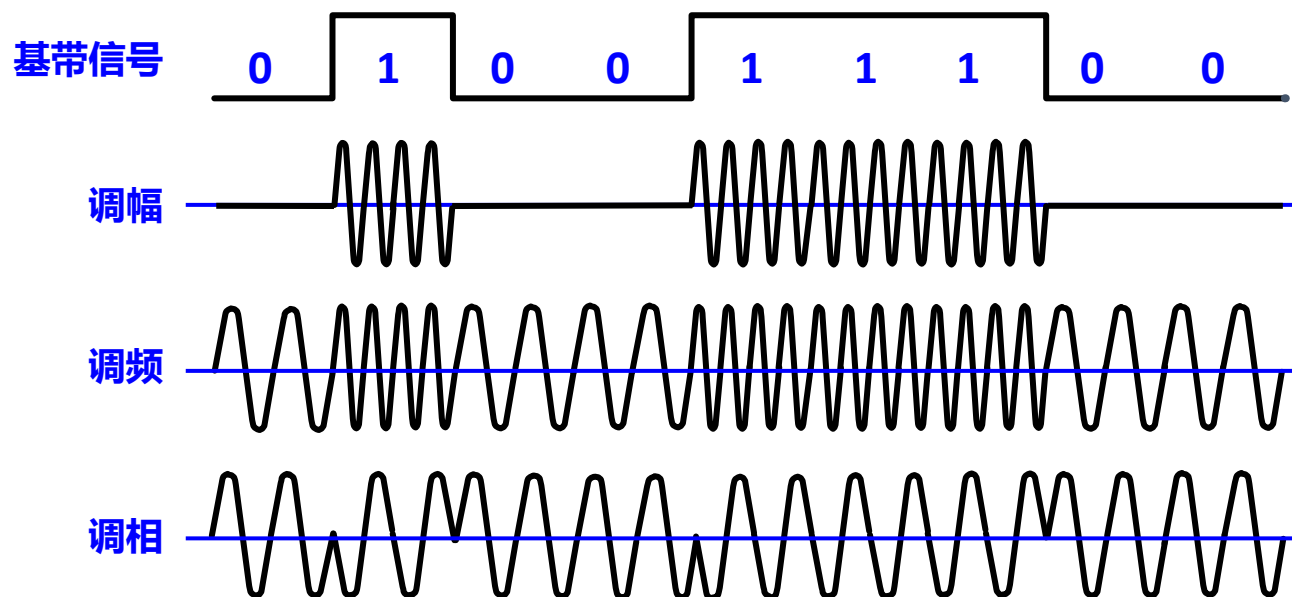
信号码元周期 T 可作为选择信道带宽的主要依据。

数字数据的模拟传输

- 在模拟信道中传输数字数据时，需要将数字数据转换成模拟信号传输，在接收端再还原为数字数据。
- 使用**载波** (carrier) 进行**调制**，把基带信号频率范围搬移到较高的频段，并**转换为模拟信号**，这样就能够更好地在模拟信道中传输 (即仅在一段频率范围内能够通过信道)，经过载波调制后的信号被称为**带通信号**。

载波是一种由振荡器产生并在通信信道上传输的特定频率的无线电波，在频率、幅度或相位方面被调制后用于传输话音、图像或其他信息。载波频率通常高于输入信号的频率，属于高频信号。

数字数据的模拟传输



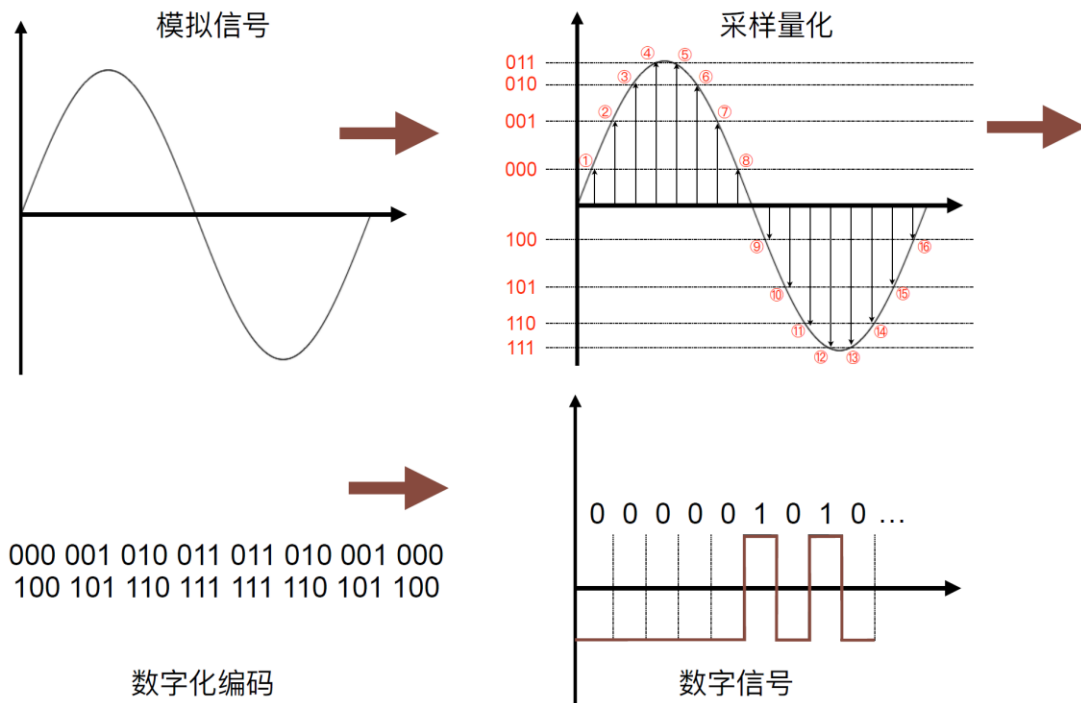
最基本的二元制调制方式

调制的载波：正弦波

- **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。

模拟数据的数字传输

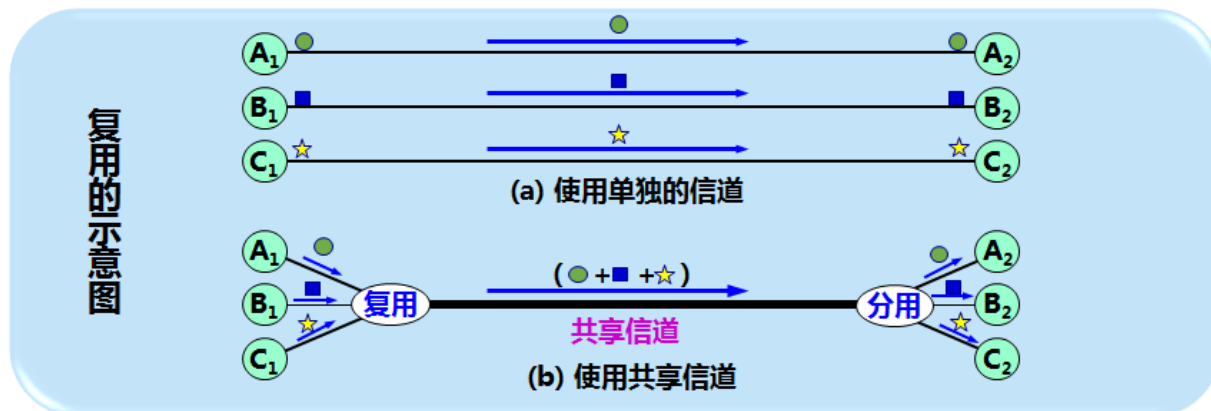
- 模拟信号数字化的基本过程是，对模拟信号在时间域和幅度域上都进行离散化处理，然后再把离散化的幅度值变换为数字信号代码。
- 实现模拟信号数字化的一种常用方式是脉冲编码调制（PCM，Pulse Code Modulation）。



- **采样**是将时间上连续变化的模拟信号变换为时间上离散的信号的过程。
- **量化**是将信号在幅度域上的连续取值变换为幅度域上的离散取值的过程。
- **编码**是指按照一定的规律把量化后的值用二进制数字表示，然后转换成二值或多值的数字信息流。

复用 (multiplexing)

- **复用**是通信技术中的基本概念。
 - 把多个信号组合起来在一条物理信道上传输，使多个计算机或终端设备共享信道资源，提高信道利用率。
 - 把一条**广播信道**逻辑上**分成几条**用于两个节点之间通信的**互不干扰的信道**，即把广播信道转变为点对点信道。
- 允许用户使用一个**共享信道**进行通信，降低成本，提高信道利用率。
- 将使用传输媒介的每个设备与来自同一信道上的其他设备的**通信隔离开**，把**时域和频域**资源合理地分配给网络上的设备。



频分复用 (FDM , Frequency Division Multiplexing)

- 将整个带宽分为多份，使用**调制**的方法把各路信号分别搬移到适当的位置，**彼此不产生干扰**，各路信号在通信过程中自始至终都在自己所分配到的信道中传送。
- **频分复用**的各路信号在同样的时间**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）。

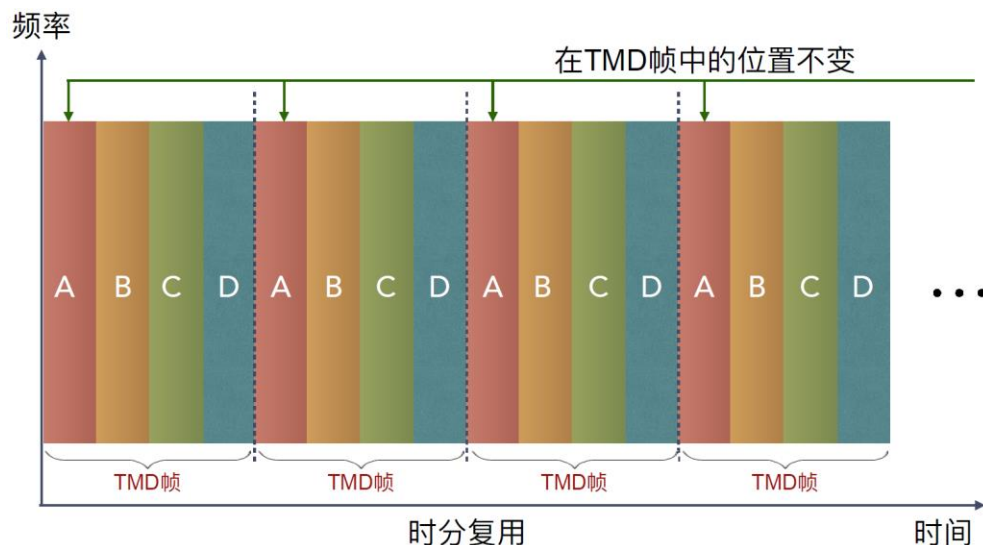


- 频分复用要求**总频率宽度大于**各个子信道**频率之和**。各子信道之间设有**隔离带**，以保证各路信号互不干扰。
 - 频分复用技术的特点是所有子信道传输的信号以**并行的方式工作**，例如广播、有线电视；
 - 充分利用带宽，效率较高；
 - 技术成熟，易于实现。

更多的用户轮流使用这n个频带，这种方式称为**频分多址接入FDMA**（Frequency Division Multiple Access），简称**频分多址**。

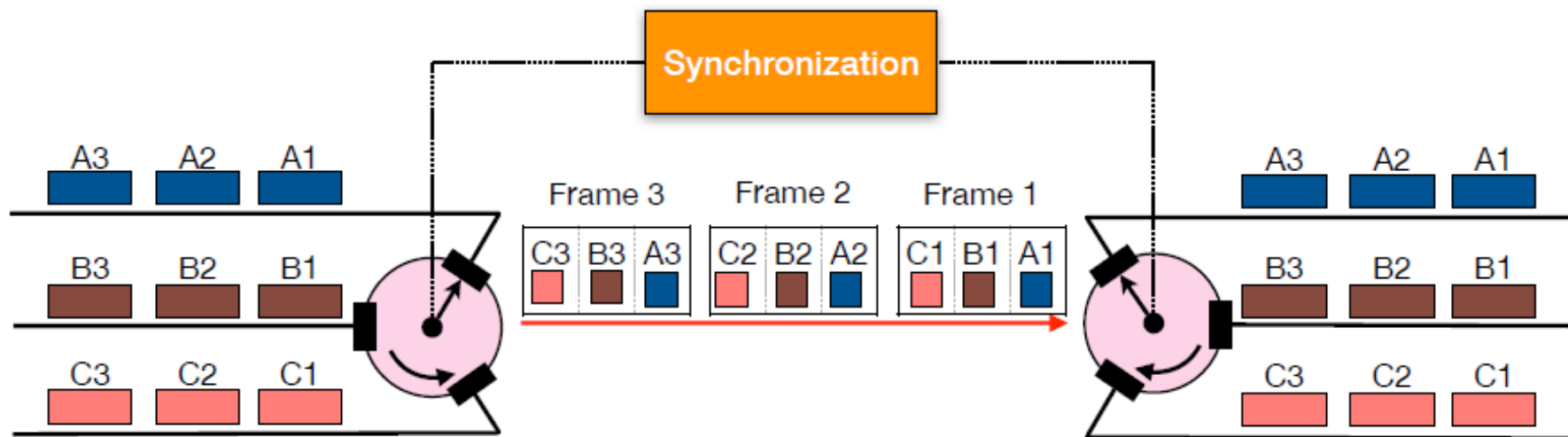
时分复用 (TDM, Time Division Multiplexing)

- **同步时分复用**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(同步时分复用)**。
- 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) 的，TDM 信号也称为**等时 (isochronous)** 信号。
- 同步时分复用帧的长度是 $125\mu\text{s}$ ，复用的**用户越多**，每一个用户分配到的**时隙宽度就越窄**。
- **同步时分复用的所有用户在不同的时间占用同样的频带宽度**。



更多的用户轮流使用这4个时隙，这种方式称为**时分多址接入 TDMA** (Time Division Multiple Access)，简称**时分多址**。

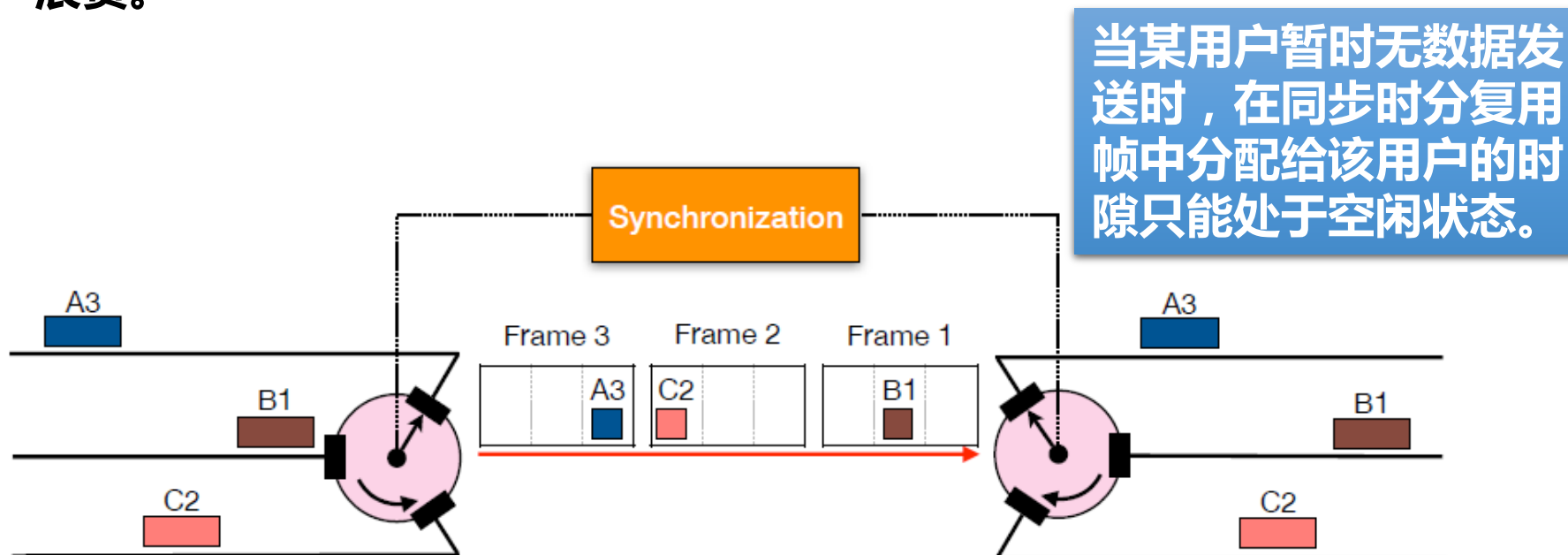
时分复用 (TDM , Time Division Multiplexing)



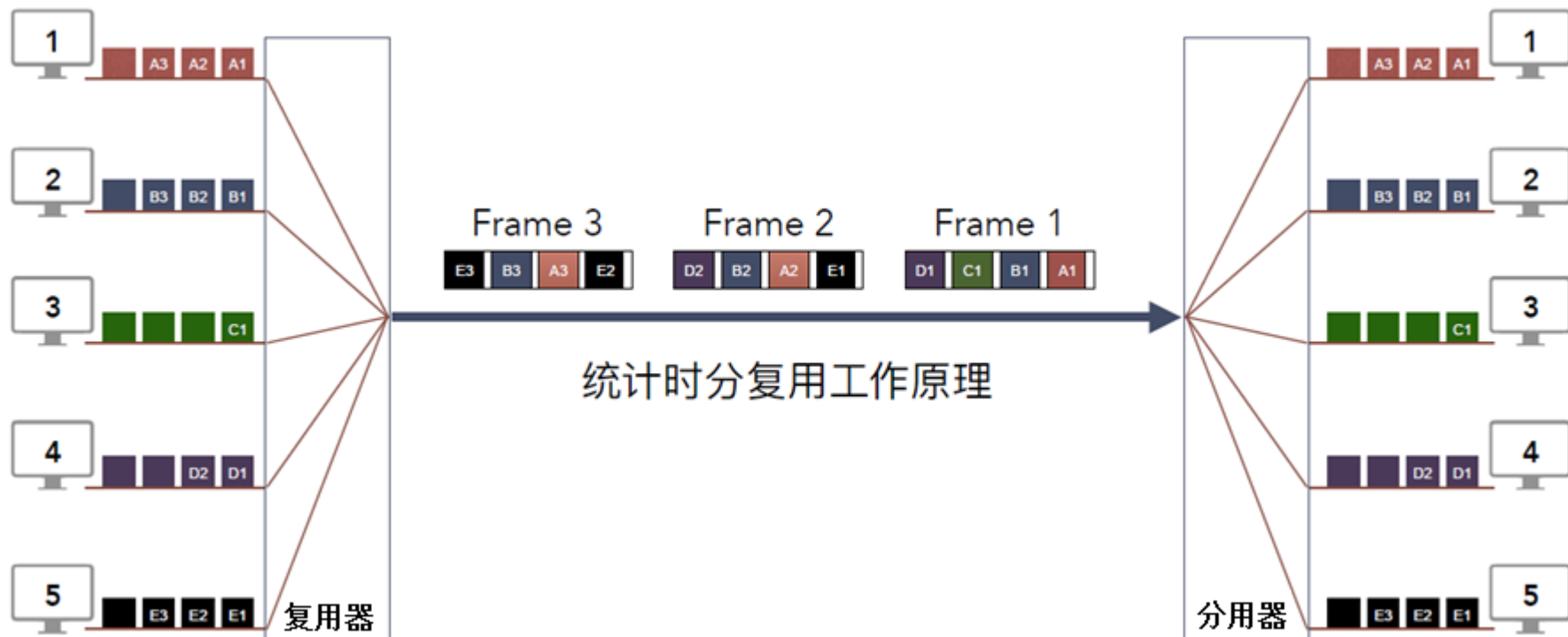
同步时分多路复用示意图

时分复用 (TDM, Time Division Multiplexing)

由于计算机数据的突发性质，使用同步时分复用系统传送计算机数据时，用户对分配到的子信道的利用率一般不高，从而造成线路资源的浪费。



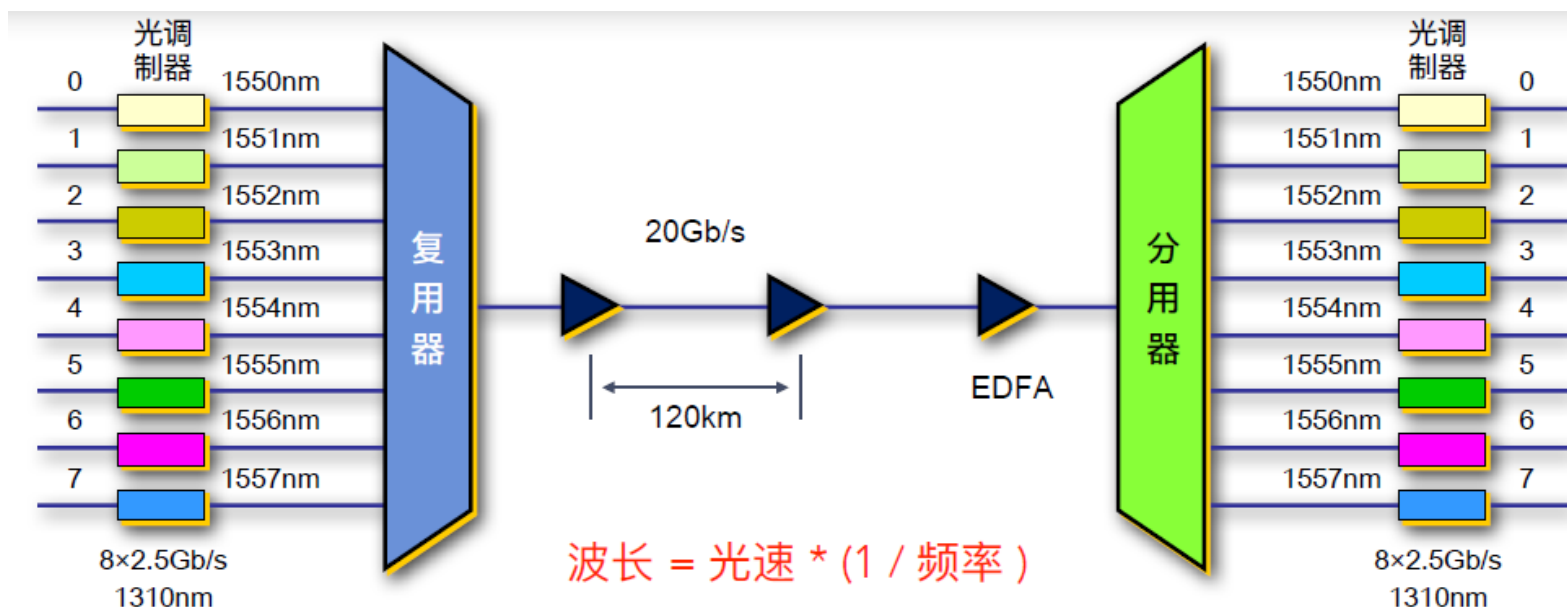
统计时分复用 (STDM, Statistic TDM)



- 数据发往复用器，复用器按顺序扫描，把复用器中的数据放入STDM帧中，一个STDM帧满了就发出去。
- STDM不是固定分配时隙，而是按需动态分配时隙。因此统计时分复用可以提高线路的利用率。
- 注意：STDM帧的时隙数少于终端数，并且有站标识开销。

波分复用 (WDM , Wavelength Division Multiplexing)

- 光的波分复用可以理解为光的频分复用。
- 波分复用将两种或多种不同波长的光载波信号在发送端经复用器把这些光载波信号汇合在一起，并耦合到光线路中同一根光纤中进行传输；在接收端经分用器将各种波长的光载波进行分离。
- 可以是单向传输，也可以是双向传输。



频分复用：不同用户，相同时间，不同频带

同步时分复用：不同用户，不同时间，相同频带

统计时分复用：解决信道利用率低的问题

波分复用：不同用户，相同时间，不同波长

码分复用 (CDM , Code Division Multiplexing)

- 每一个用户可以在同样的时间使用同样的频带进行通信。
- 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。
- 当码分复用 (CDM) 信道为多个不同地址的用户所共享时，就称为码分多址 (CDMA , Code Division Multiple Access) 。
- 每一个比特时间划分为 m 个短的间隔，称为码片 (chip)，通常 m 的值是64或128。
- 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：S 站的 8 bit 码片序列是 00011011。

发送比特 1 → 00011011

发送比特 0 → 11100100

S 站的码片序列：(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)

码分复用 (CDM , Code Division Multiplexing)

- 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。

码片序列实现了扩频

- 扩频通常有两大类：
 - **直接序列扩频** (DSSS , Direct Sequence Spread Spectrum)
直接用具有高码率的扩频码序列在发送端去扩展信号的频谱；在接收端，用相同的扩频码序列去进行解扩，把展宽的扩频信号还原成原始的信息。
 - **跳频扩频** (FHSS , Frequency Hopping Spread Spectrum)
用扩频码序列去进行频移键控调制，使载波的频率不停地跳变。

码分复用 (CDM , Code Division Multiplexing)

- CDMA的重要特点

- 在实用的系统中使用的是**伪随机码序列**。
- **码序列**：结构可以预先确定，可重复产生和复制，具有某种随机序列的序列码。
 - ✓ **随机码**：就是无论这个码有多长都不会出现循环的现象。
 - ✓ **伪随机码**：在码长达到一定程度时会从其第一位开始循环。
由于出现的循环长度相当大，因此可以当成随机码使用。

码分复用 (CDM , Code Division Multiplexing)

● CDMA的重要特点

- 每个站分配的码片序列：各不相同，且必须互相正交。
- **正交**：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。

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

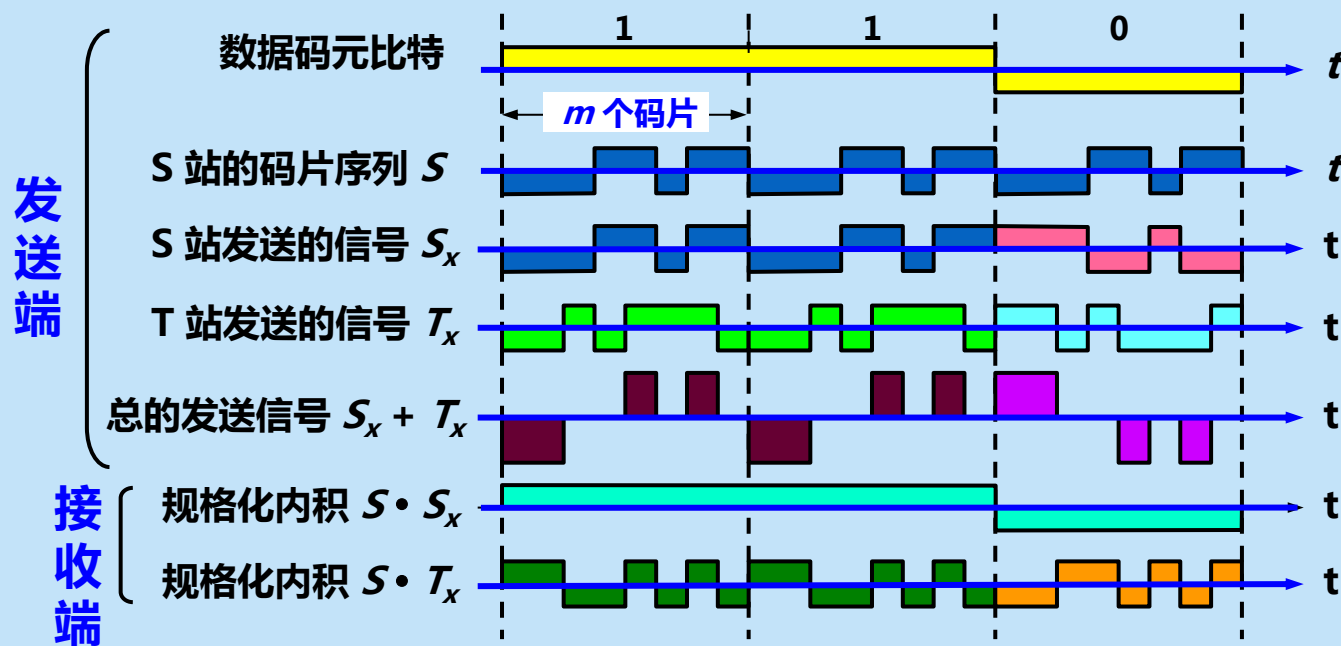
- 任何一个码片向量和该码片向量自己的规格化内积都是 1 。

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

- 一个码片向量和该码片反码的向量的规格化内积值是 -1。

$$S \bullet \bar{S} = -1$$

码分复用 CDM (Code Division Multiplexing)



CDMA的工作原理



2.1	数据通信的几个重要概念及理论
2.2	传输媒介
2.3	数据编码与传输
2.4	信道复用技术