



## 2.4.2 信道复用技术

### 码分复用 CDM (Code Division Multiplexing)



# 码分复用 CDM (Code Division Multiplexing)

- 常用的名词是码分多址 CDMA (Code Division Multiple Access)。
- CDMA技术起源于1942年好莱坞明星海蒂·拉玛和其丈夫钢琴家乔治·安塞尔的受钢琴声音的启发，提出了利用扩频技术避免干扰的方法，并获得了秘密通讯发明专利。

CDMA、蓝牙、WiFi技术基于此专利方法。





# 码分多址CDMA

- CDMA可提高通话质量和数据传输的可靠性，减少干扰，增大通信系统的容量（是使用全球移动通信系统GSM的4~5倍），降低手机的平均发射功率。



# 码分多址CDMA

- 1989年高通公司将用于军事通信的CDMA技术应用于商业手机网络。
- 1993年7月，美国通信工业协会批准第一个CDMA标准 IS95 为2G标准。



# 码分多址CDMA



- 1994年10月，香港和记黄浦采用Motorola的设备建成世界上第一个CDMA商用网络。
- 2000年，中国联通与高通签署知识产权框架协议，CDMA正式进入中国。
- 2001年，CDMA手机在中国开始大规模销售。



# 码片序列的概念

➤ 每一个比特时间划分为  $m$  个短的间隔，称为码片(chip)。

➤ 每个站被指派一个惟一的  $m$  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。

按惯例将码片中的 0 写为 -1，将 1 写成 +1，S 站的码片序列是：

$(-1 \ -1 \ -1 \ +1 \ +1 \ -1 \ +1 \ +1)$





# 码分多址CDMA



- 假定S站要发送信息的数据率为 $b$  bit/s, 由于每个比特要转换成 $m$ 比特的码片序列, 因此S站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。这种通信方式称为**扩频** (spread spectrum) 通信。
- 码分多址CDMA, 通过不同的**扩频码**来实现多用户在同一时间同一频率上共享信道。即各用户在**相同的时间**使用**相同的频带**。
- 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, 不易被发现。



# 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:

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

【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** 的各分量值代入计算向量S和T的规格化内积公式，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。

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

- 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



假定有个X站要接收S站发送的数据，X站必须知道S站的码片序列。X站使用得到的码片向量S与接收到的未知信号进行求内积的计算。X站接收到的未知信号是各个站发送的码片序列之和。

根据公式 (2-1) 和 (2-2)，再根据叠加原理，求内积得到的结果是：

所有其他站的信号都被过滤掉，而只剩下S站发送的信号。

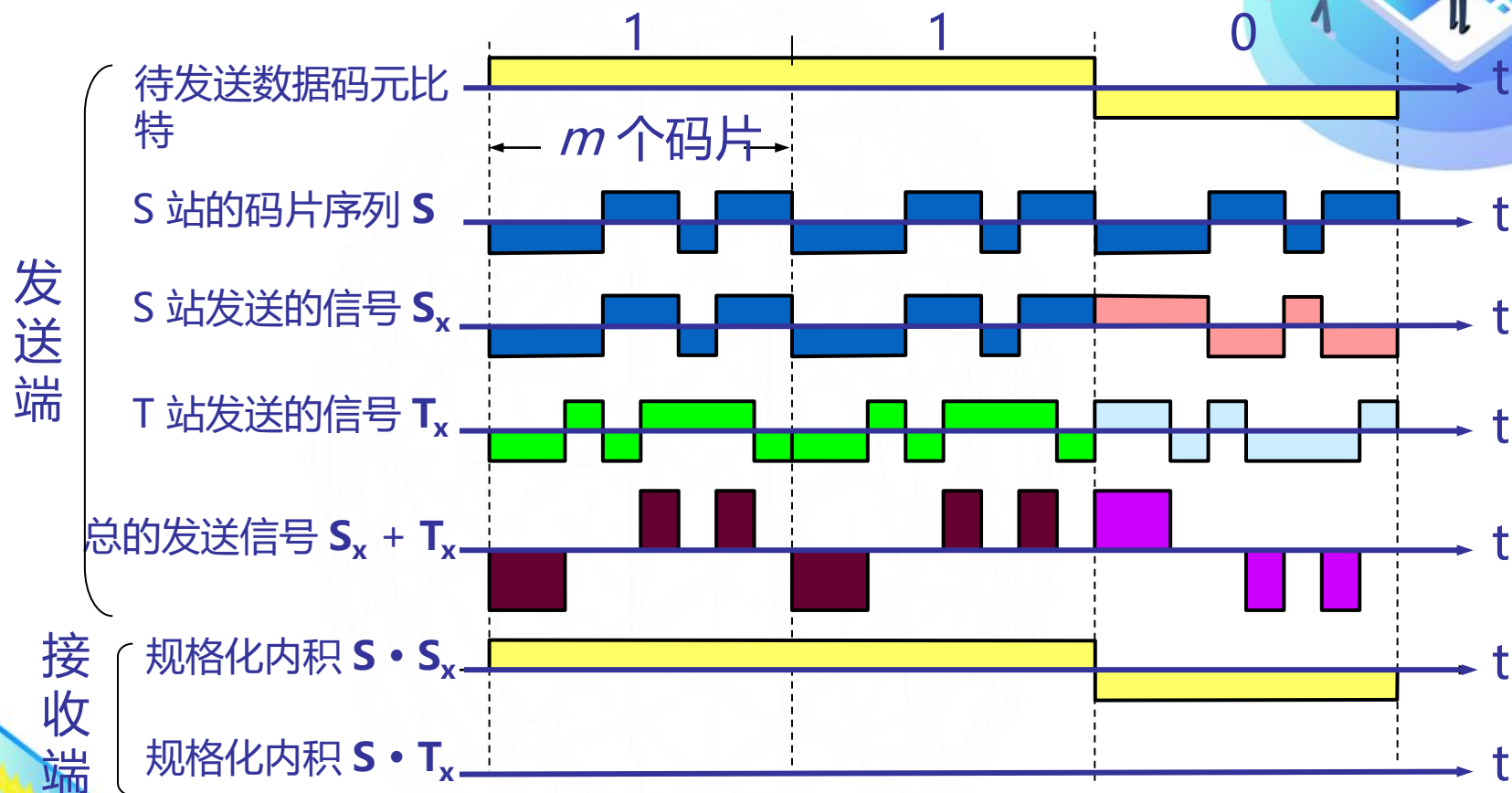
当S站发送比特1时，在X站计算内积的结果是+1；

当S站发送比特0时，内积的结果是-1；

S站不发送数据时，内积的结果是0。



# CDMA 的工作原理举例



S站和T站发送的数据都是110三个码元，S站的码片序列为  $(-1-1-1+1+1-1+1+1)$ ，T站的码片序列为  $(-1-1+1-1+1+1+1-1)$

# CDMA工作原理计算举例



[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)

现收到这样的码片序列:( -1+1-3+1-1-3+1+1)。

问哪个站发送数据了？发送数据的站发送的是1还是0？



# CDMA工作原理计算举例



[解析] 此题考查的是对CDMA通信原理的掌握，如何从接收到的码片序列推算发送站是否发送及发送的数据内容。

这就需要根据公式 
$$\mathbf{S} \bullet \mathbf{T} \equiv \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i T_i = 0$$

分别计算各站码片序列与接收站码片序列的规格化内积，

计算结果为0说明该站没有数据发送；

计算结果为1说明该站发送的是1；

计算结果为-1则说明该站发送的是0。





# CDMA工作原理计算举例

[解答] 答：接收到的码片序列 $M = -1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1$ ，

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

分别计算各站码片序列与接收码片序列的规格化内积，结果为0表明没有数据发送；

结果为1表明发送的是1；结果为-1表明发送的是0。

$$A \bullet M = 1/8(1-1+3+1-1+3+1+1)=1,$$

$$B \bullet M = 1/8(1-1-3-1-1-3+1-1)=-1,$$

$$C \bullet M = 1/8(1+1+3+1-1-3-1-1)=0,$$

$$D \bullet M = 1/8(1+1+3-1+1+3+1-1)=1,$$

所以A，D发送了1，B发送了0，C未发送数据。



# 再见，CDMA！

- CDMA广泛应用于2G和3G网络。
- 进入4G时代，一些运营商开始关闭CDMA网络。2007年澳大利亚第一个彻底关闭了CDMA网络，自2008年起，日本、韩国、新西兰、泰国、厄瓜多尔、加拿大等国都关闭了CDMA网络。



# 再见，CDMA！

- 2018年5月29日，中国电信总裁兼首席营运官刘爱力于股东会上表示，CDMA到达寿命周期，他希望最快2018年底至2019年初将CDMA退网，以降低经营成本和资本开支。
- 一个时代正在结束，再见了，CDMA！





复用技术是让多个用户共享同一个信道。

每种复用技术都有自己的特点:

- 频分多路复用技术FDM
- 波分多路复用WDM、密集波分多路复用DWDM
- 时分多路复用技术TDM、统计时分多路复用STDM
- 码分多址复用CDMA

