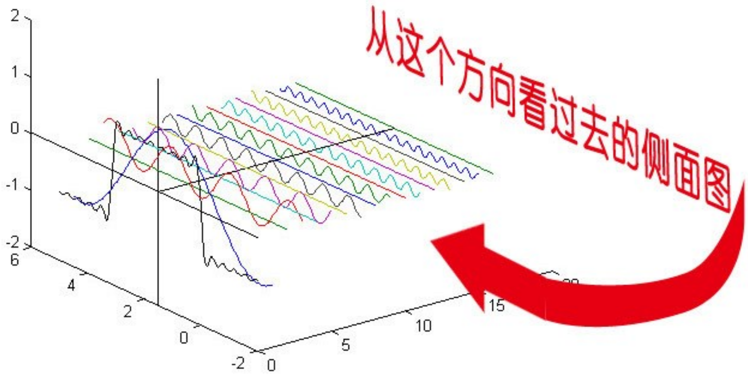
什么叫信道复用

- 复用就是在一条物理线路同时传输多个用户的数据
- 当网络中传输的数据容量大于单一信道的总通信量时，可以利用复用技术在一条物理线路上建立多条通信信道来充分利用传输媒体的带宽

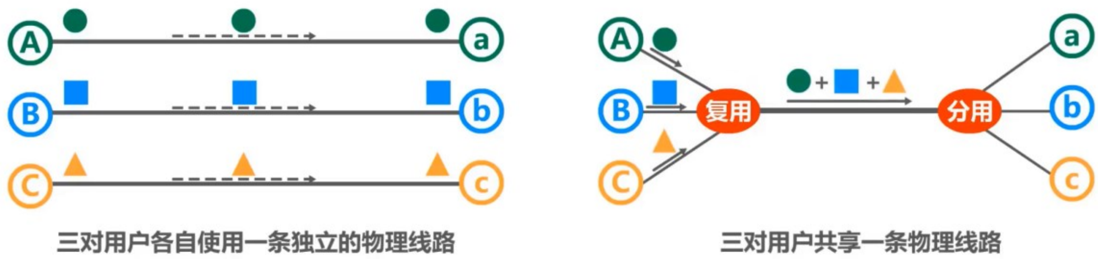
第一条实际上是一个初略的定义，根据这个定义，我们可以很直观地区分复用技术和多址接入技术，重点在第二点，这里涉及两个概念：信道容量和信道带宽。
所谓信道容量，就是信号在信道中传输不发生差错的最大速率，这里的发生差错，就好比交通事故，对一条道路的交通状态的评价，不发生交通事故是最基础的要求，如果经常发生交通事故，汽车速度开得再快也没有意义，我们可以想象，一条道路的入口处排着长队准备进入道路行驶，道路上的车也以最快的速度行驶，如果要强行增加速度，道路里的车就要发生交通事故，所以现在的状况是以现在最快的传输速度，但是这种速度在某些情况下还是太慢，根本来不及，比如说我有一车货物必须在 1 小时后送达对面，但是以现在最快的速度，至少得 2 小时，而且只有这条路可以开，虽然边上还有其它路，但是它们都无法到达我要的目的地，我就只能等着，这里就产生矛盾了。
复用技术就是为了解决这个矛盾而生的，它的原理很简单，把所有的路合在一起，所有道路都从一点到另外一点，你要去不同的地方，你可以等下了这条路再走其它的路去你的目的地，进入道路也是类似，这一点有点像高铁或飞机，我来自不同的地区，但是我都需要去同一个机场去坐飞机，我到不同的地方，但是我从机场离开后还得乘坐不同的交通工具到达我想要去的地方。
那问题来了，为什么说是充分利用了信道的带宽呢？回答这个问题，我们得回答，什么是信道的带宽。

模拟信道的带宽 W=f2-f1 其中 f1 是信道能够通过的最低频率，f2 是信道能够通过的最高频率，两者都是由信道的物理特性决定的。当组成信道的电路制成了，信道的带宽就决定了。为了使信号的传输的失真小些，信道要有足够的带宽。

也就是说，对于模拟信号来讲，带宽是信道中传输信号的最大频谱宽度，那什么是频谱宽度？我们来看下面这个图：从左向右看，这个图像是一个由多个不同的正弦信号叠加而成的信号，该信号在时域下的波形图，如果我们用傅里叶变换变换一下这个时域的波形，我们就得到了一个频域上的波形图，也就是下图中从左看的波形，每一条竖线都代表着组成这个波形的小的正弦信号。



看上图的频域部分，像不像一条条车道？从最左边的（正弦波）车道到最右边的车道（正弦波）的距离，就是这条路（合成波形）的宽度（频谱宽度），所以，一条信道到带宽，或者是频谱宽度，就是允许传输的信号的最大频率与最小频率的差，我们可以大致地理解为汽车的种类，如果每个解调器只能解调特定频率的载波的话，不同频率的波形，就可以看作是去往不同目的地的汽车。复用技术能让每条路，也就是每种频率都在以最大速率传输，在以前，开车少的车道因为无车问津而被荒废，这部分带宽就被浪费了，在复用技术里，所有范围的带宽平均承载载波的传输，在任意时刻没有一条道路没有车，所以不存在信道带宽浪费的情况，所以说复用技术充分利用了带宽。
下图展示了复用技术发生作用的一般过程：



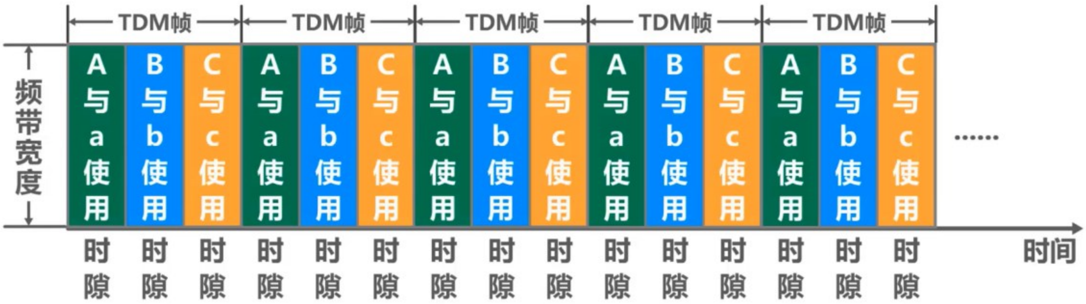
常见的复用技术

频分复用

当一路信号传入信道时，信道前的复用器就会把这个信号调制到不同的子信道上，同时在信道上传输，这样，多路信号就能同时共享信道，进行并行传输了，当传输一路信号时，信号占据在信道的所有子信道上，信道被充分使用（除了子信道之间的隔离频带），从而达到复用的效果。

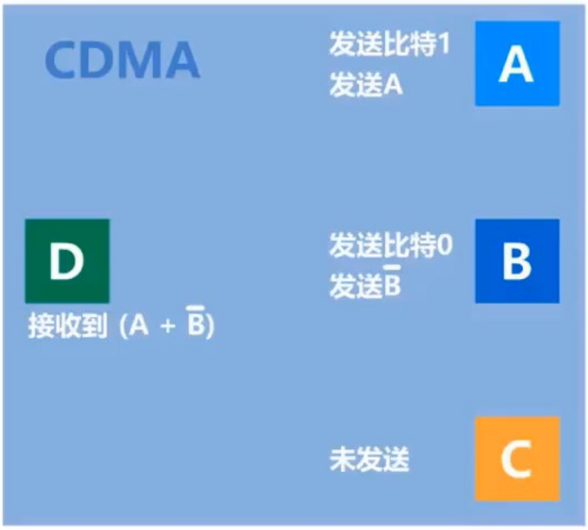
时分复用

时分复用是指，信号排队进入信道，一路信号在一段时隙内完全占有整个信道，多条信号连续传输时，信道的所有时间上的所有频带均被占用，此时信道的带宽得到了充分的使用。



码分复用

我们构建一个模型，在这个模型中，有三个发送方 A、B、C，每个发送方都有一个码片序列，多个 1 或-1 构成一个固定元素数量的序列。在每一段时间，A 发送了一个 1，B 发送了一个 0，C 没有发送，码分复用规定，当发送 1 时，在信道上传输的实际上的信息是该发送方的码片序列，当发送 0 时，在信道上传输的实际上的信息是该发送方的码片序列的反码（也就是序列的各个位取相反数），当多个用户共同发送数据时，它们发的真实数据被一个复用器以某种算法合成一个数据，信道上传输的实际上是这个数据，到达终点后，这个数据再由一个分用器以某种算法分离开，此时我们就能看出各个发送方的发送情况。那么这两个算法具体是怎么样的呢？每个发送方的码片序列都要有什么要求呢？



如果我们设任意一个发送方X，它的码片序列为X，码片序列的反码是$\bar{X}$，复合器的工作就是简单地把各个发送方的数据相加为TD（transmit data），而当我们要判断某一个发送方X的真实发送数据RD（real data）时，采用的算法为：

$$RD_X = X \otimes TD$$

注意，此处的 ⊗ 这个运算符是一种我们未知的运算符，并不是向量点乘。至于是什么样的运算符，我们需要在下面的工作中推导出。

我们的码片序列的规则应该是什么样的？太抽象，我们举上图的例子：A 发送了 1，B 发送了 0，C 未发送，那么根据上面的方法，真实在信道中传输的数据为：

$$TD = A + \bar{B}$$

如果我们要判断A发了什么，我们应该：

$$RD_A = A \otimes TD = A \otimes (A + \bar{B}) = A \otimes A + A \otimes \bar{B} = 1$$

同样的道理，我们可以判断一下 B 的发送情况：

$$RD_B = B \otimes TD = B \otimes (A + \bar{B}) = A \otimes B + B \otimes \bar{B} = 0$$

再来判断 C 的发送情况：

$$RD_C = C \otimes TD = C \otimes (A + \bar{B}) = A \otimes C + \bar{B} \otimes C = void$$

写完上面的式子，我们发现，当某一个发送方未发送数据时，我们无法用数学手段描述它的发送情况，所以我们人为规定：当发送的数据为 1 时，记作 1；当发送的数据为 0 时，记作-1，当未发送数据时，记作 0，我们再来看看上面几个式子：

$$RD_A = A \otimes TD = A \otimes (A + \bar{B}) = A \otimes A + A \otimes \bar{B} = 1$$

$$RD_B = B \otimes TD = B \otimes (A + \bar{B}) = A \otimes B + B \otimes \bar{B} = -1$$

$$RD_C = C \otimes TD = C \otimes (A + \bar{B}) = A \otimes C + \bar{B} \otimes C = 0$$

观察上面的式子，如果我们设定一个发送方X，它的码片序列与自己$\otimes$运算的结果为 1，也就是：

$$X \otimes X = X \otimes X = 1$$

发送方的码片序列反码与自己$\otimes$运算的结果为-1，也就是：

$$\bar{X} \otimes \bar{X} = -1$$

任意两个不同的发送方的码片序列$\otimes$运算的结果为 0：

$$X' \otimes X'' = 0$$

我们把这个设定代入到上面的例子中，发现，要想让等式成立，我们必须让这个运算还得再满足一个条件：

$$X' \otimes \overline{X''} = 0$$

到此，我们总结出了这个运算符的特性：

- 满足交换律、分配律
- 它的运算元素都是由 1 或-1 组成的序列
- 同一个发送方的码分序列的运算结果为 1
- 同一个发送方的码分序列与它的反码的运算结果为-1
- 不同的发送方的码分序列的运算结果为 0
- 两个不同的发送方，某一个的码分序列和另外一个的码分序列的反码的运算结果为 0

对于第三点，我们完全可以在分配码分序列的时候就如此规定，所以这个算是一个前提条件。我们给出了其中一种符合条件的可能性：

$$A \otimes B = fun(A, B) = m \sum_{i=1}^{m} A_i \cdot B_i$$

这个运算叫做规格化内积，就是把两个序列的每一项相除然后相加，把最终结果除以序列的元素个数。

让我们来看看它是否符合我们的条件吧！

很明显，是满足交换律的，因为序列中的每一项的相乘没有次序要求，所以最终结果不变。

如果满足分配律则说明：

$$fun[A, (B + C)] = fun(A, B) + fun(A, C)$$

也就是：

$$A \otimes (B + C) = A \otimes B + A \otimes C$$

如果每个序列的长度都固定的话：

$$\sum_{i=1}^{m} A_i \cdot (B_i + C_i) = \sum_{i=1}^{m} (A_i \cdot B_i + A_i \cdot C_i)$$

$$\sum_{i=1}^{m} A_i \cdot (B_i + C_i) = \sum_{i=1}^{m} A_i \cdot B_i + \sum_{i=1}^{m} A_i \cdot C_i$$

所以它满足分配律。

我们再来看看第二个条件:

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

看来是满足的，我们再来看下一条:

$$\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} A_i \cdot \overline{A_i} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} -1 = -1$$

看来也是满足的，我们再来看下一条:

$$\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} A_i \cdot \overline{B_i} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} A_i \cdot (-B_i) = -\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} A_i \cdot B_i = -0 = 0$$

看来也成立，这个运算符完全符合我们所有的条件，那么我们就那它作为我们复用多路信号的算法了。