



内 容

01

信道复用技术的基本原理

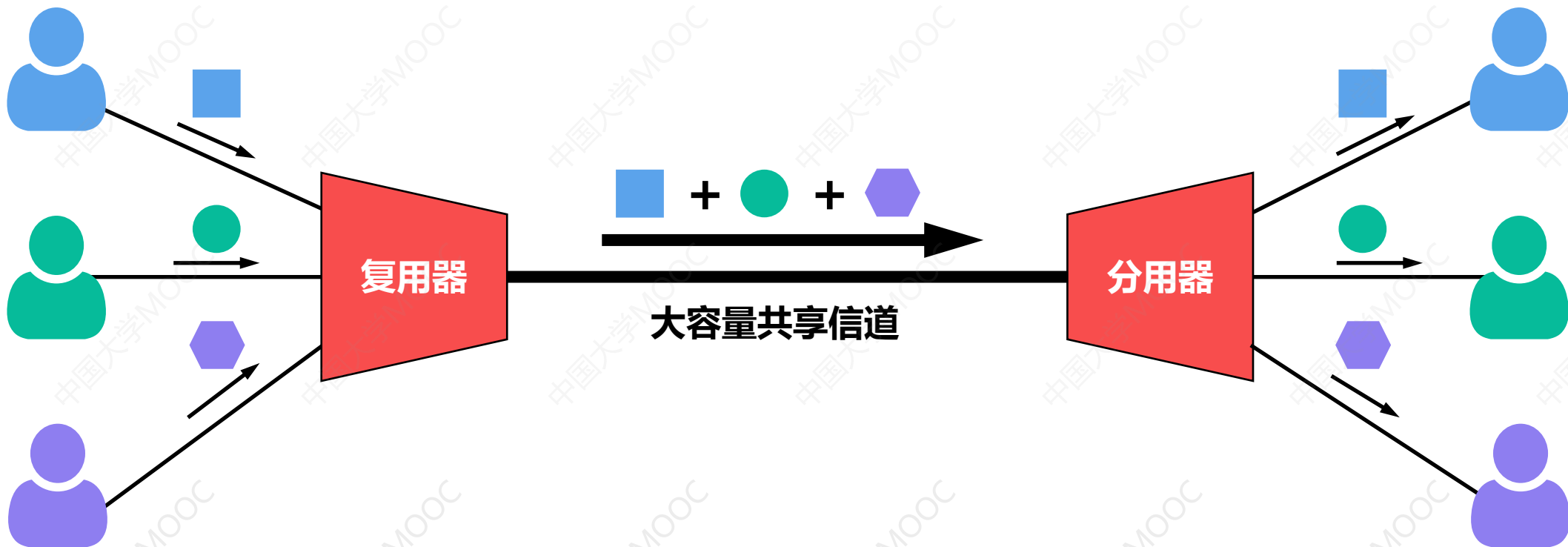
02

常见的信道复用技术



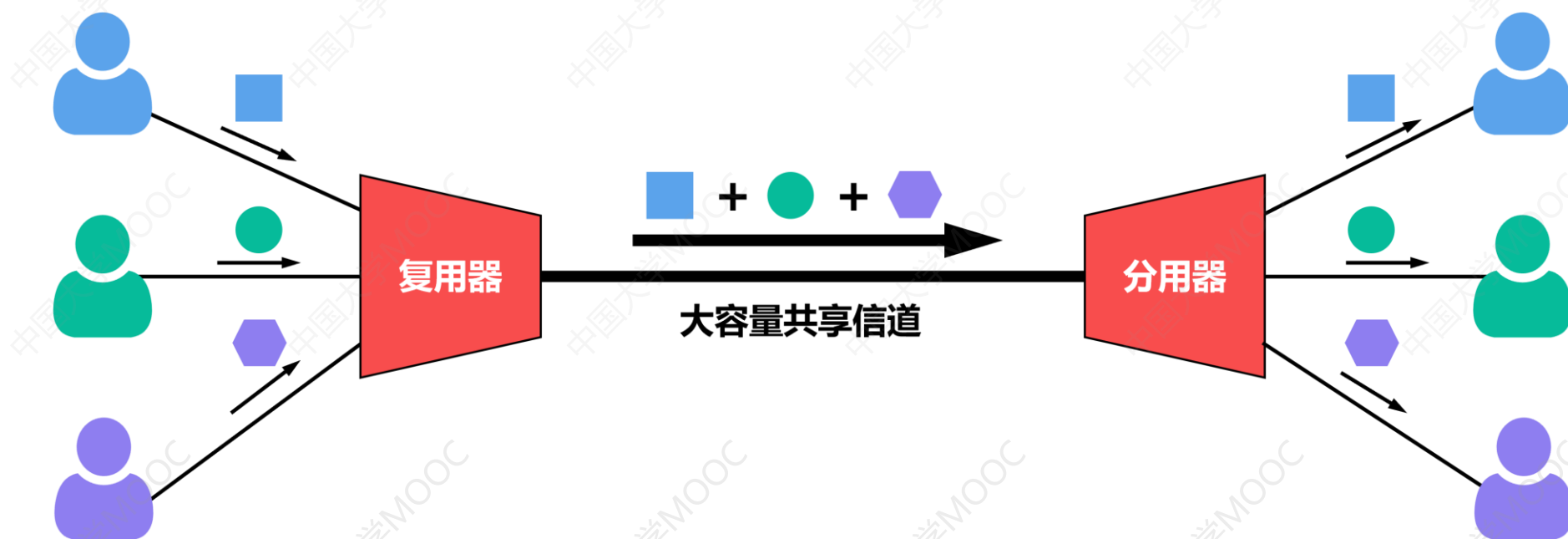
01 信道复用技术的基本原理

- 复用 (Multiplexing) 就是在**一条传输媒体上同时传输多路用户的信号**。
- 当一条传输媒体的传输容量大于多条信道传输的总容量时，就可以通过复用技术，在这条传输媒体上建立多条通信信道，以便**充分利用传输媒体的带宽**。

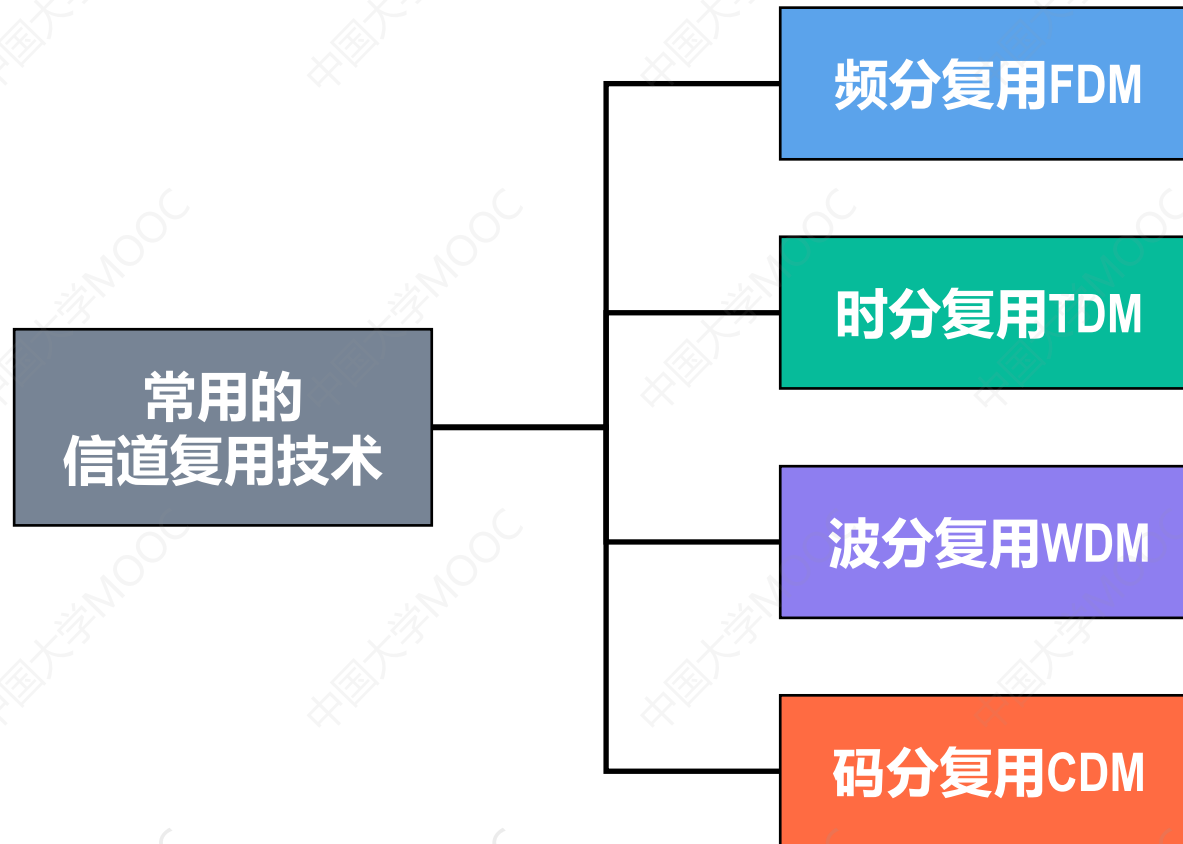


01 信道复用技术的基本原理

- 复用 (Multiplexing) 就是在**一条传输媒体上同时传输多路用户的信号**。
- 当一条传输媒体的传输容量大于多条信道传输的总容量时，就可以通过复用技术，在这条传输媒体上建立多条通信信道，以便**充分利用传输媒体的带宽**。
- 尽管实现信道复用会增加通信成本（需要复用器、分用器以及费用较高的大容量共享信道），但如果**复用的信道数量较大，还是比较划算的**。

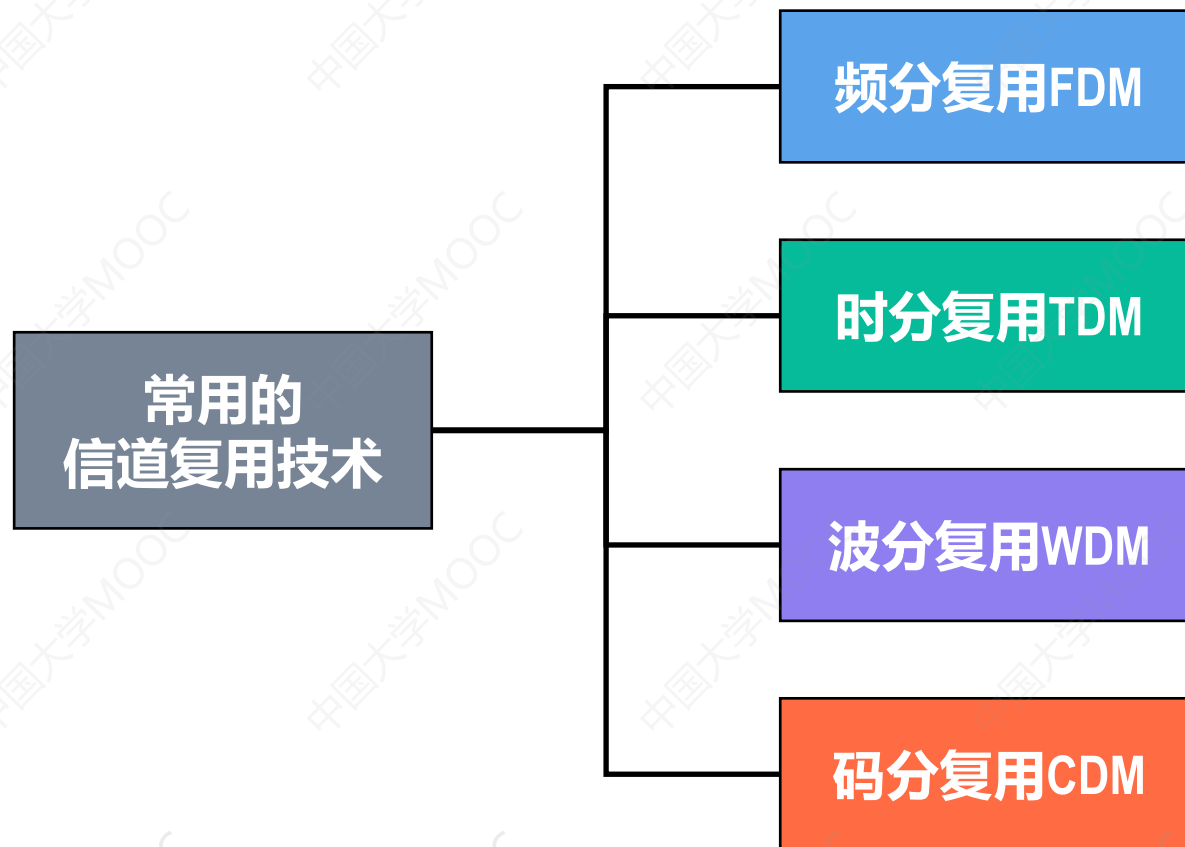


02 常见的信道复用技术





02 常见的信道复用技术





02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM



02 常见的信道复用技术

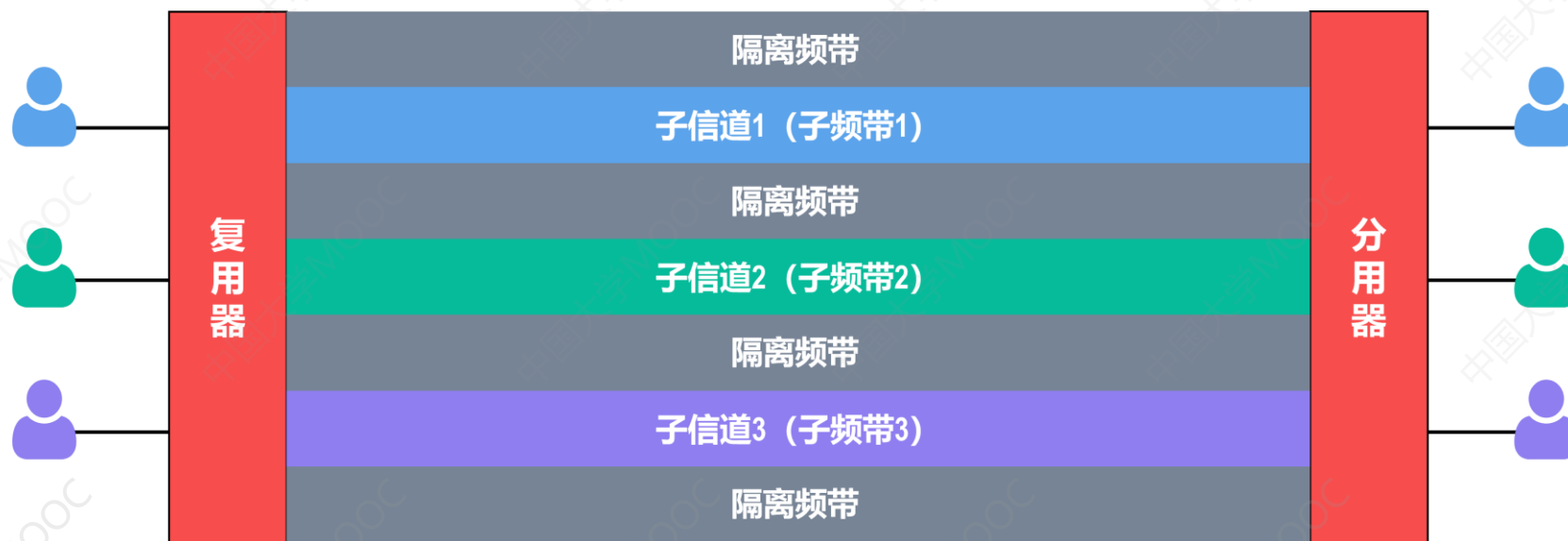
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

频分复用的所有用户**同时**占用**不同的频带**资源发送数据





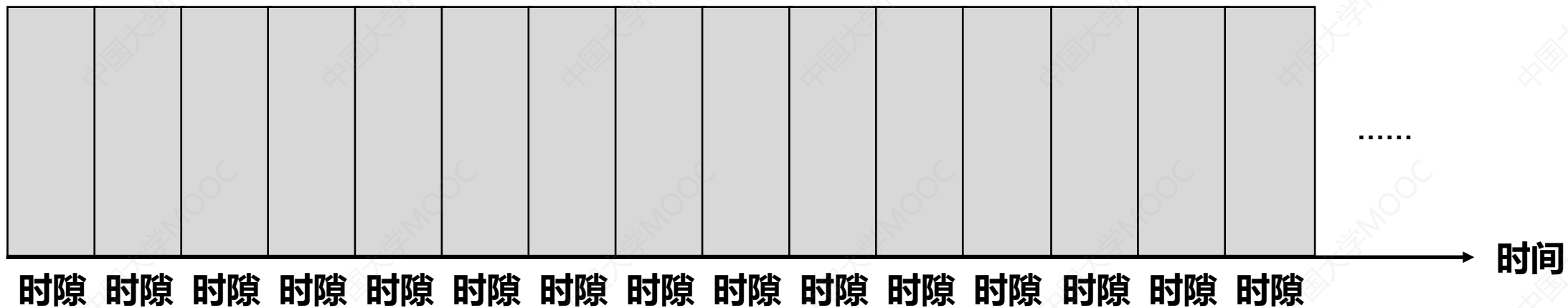
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM





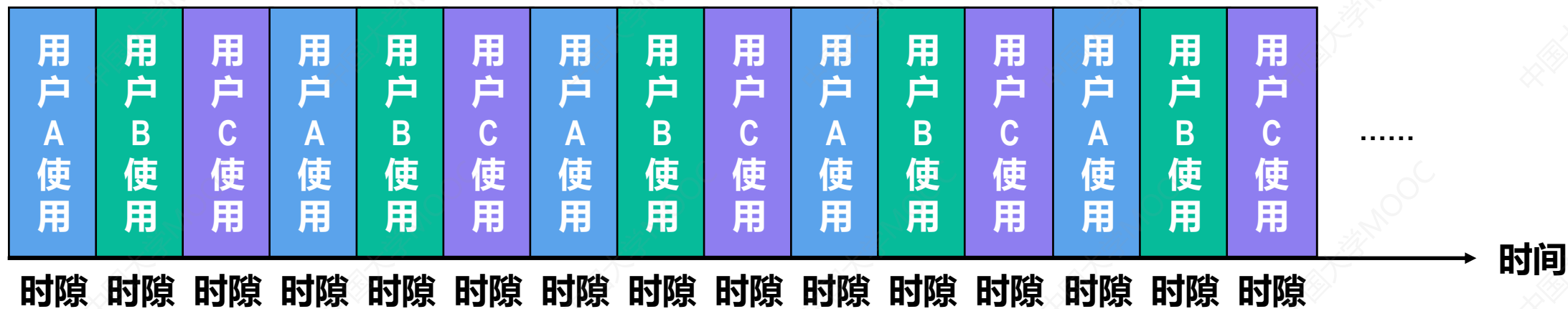
02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM





02 常见的信道复用技术

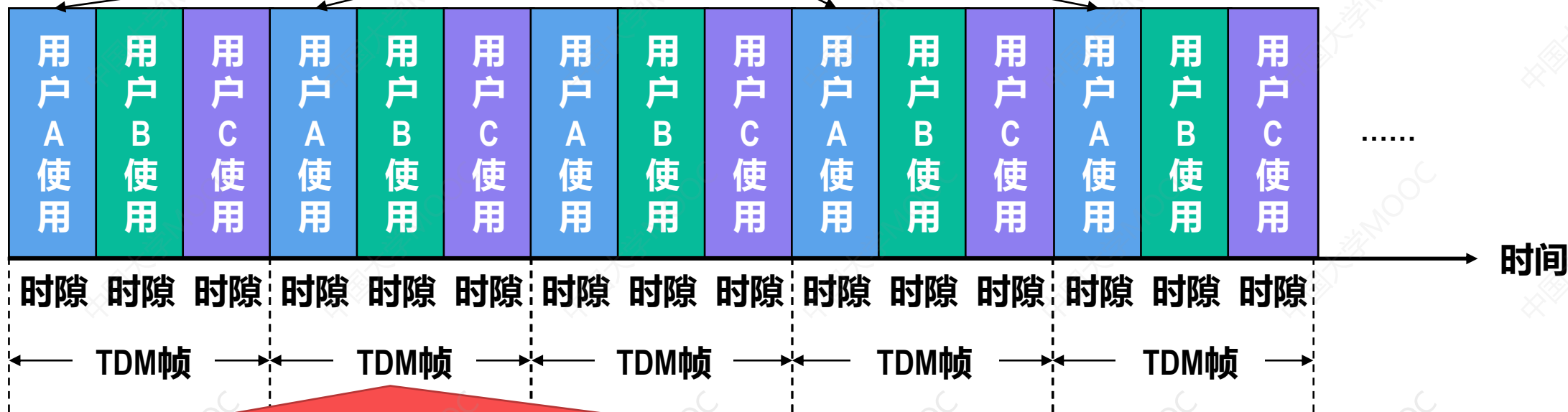
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

各用户时隙周期性出现
周期为TDM帧的长度



TDM帧实际上是一段固定长度的时间，它与数据链路层对等实体间逻辑通信的“帧”，是完全不同的概念。

02 常见的信道复用技术

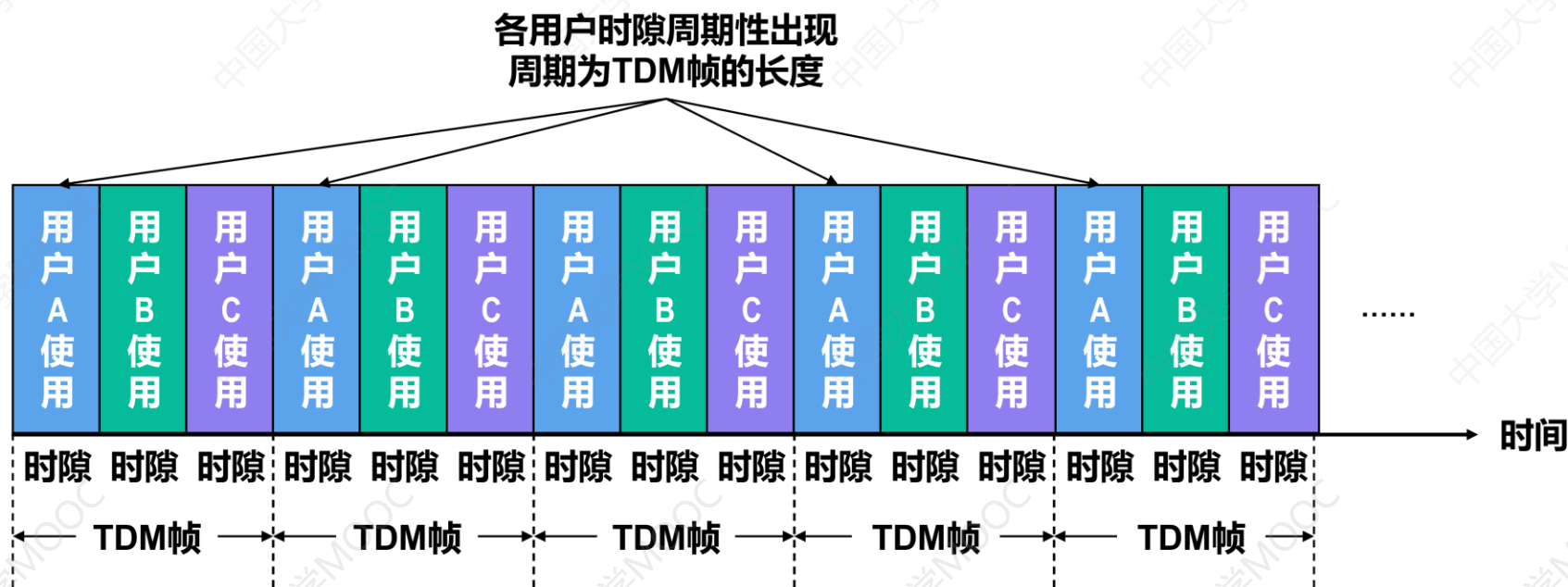
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

时分复用的所有用户**在不同的时间占用同样的频带**





02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM

■ 根据频分复用的设计思想，可在一根光纤上**同时传输多个频率（波长）相近的光载波信号**，实现基于光纤的频分复用技术。

■ 目前可以在一根光纤上复用80路或更多路的光载波信号。因此，这种复用技术也称为**密集波分复用DWDM**。



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

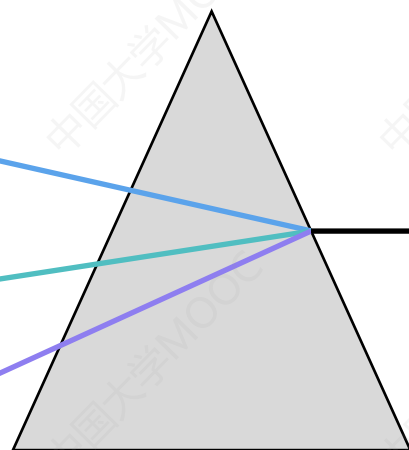
码分复用CDM

光的频分复用FDM

波长 λ_1

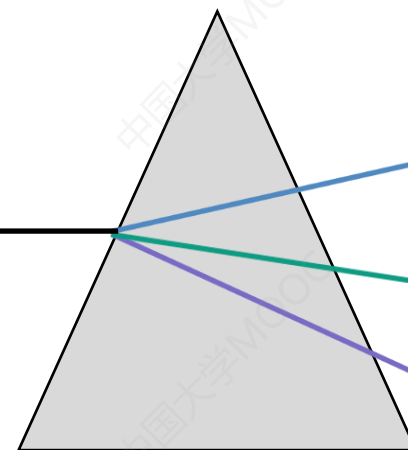
波长 λ_2

波长 λ_3



三棱镜

$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$



三棱镜

波长 λ_1

波长 λ_2

波长 λ_3



02 常见的信道复用技术

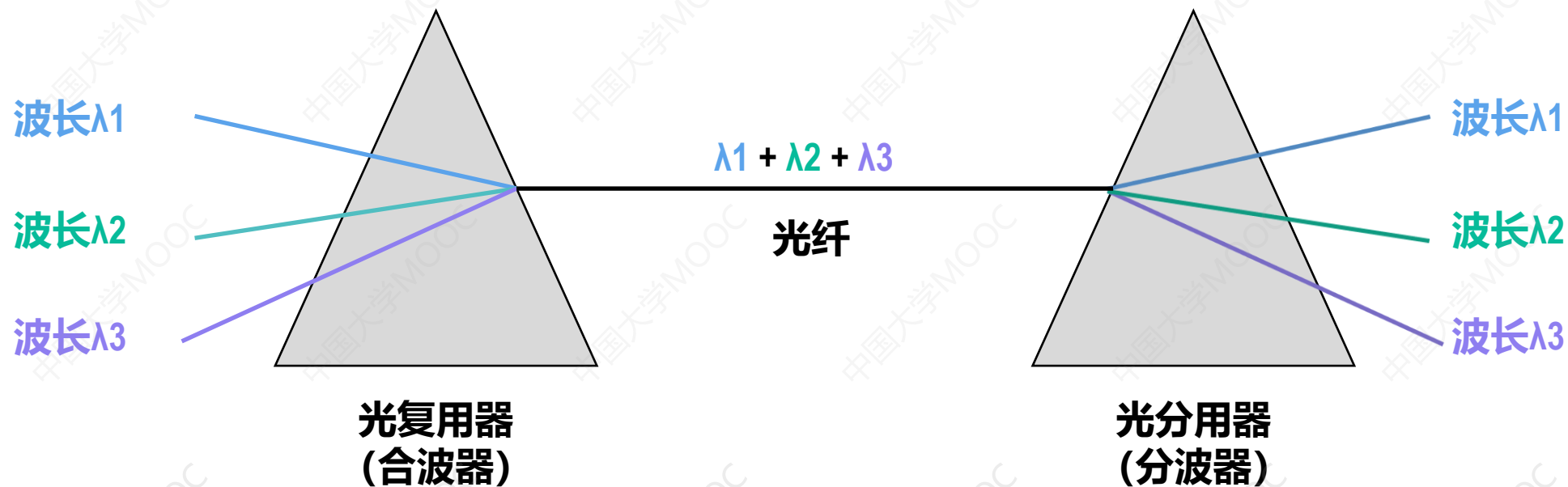
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM





02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM

根据频分复用的设计思想，可在一根光纤上**同时传输多个频率（波长）相近的光载波信号**，实现基于光纤的频分复用技术。

目前可以在一根光纤上复用80路或更多路的光载波信号。因此，这种复用技术也称为**密集波分复用DWDM**。

铺设光缆的工程耗资巨大，应尽量在一根光缆中放入尽可能多的光纤，然后对每一根光纤使用密集波分复用技术。

例如，在一根光缆中放入100根速率为2.5Gb/s的光纤，对每根光纤采用40倍的密集波分复用，则这根光缆的总数据速率为 $(2.5\text{Gb/s} \times 40) \times 100 = 10000\text{Gb/s} = 10\text{Tb/s}$ 。

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

■ 码分复用（**C**ode **D**ivision **M**ultiplexing, **CDM**）常称为码分多址（**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess, **CDMA**），它是在扩频通信技术的基础上发展起来的一种无线通信技术。

■ 与FDM和TDM不同，CDMA的每个用户可以在相同的时间使用相同的频带进行通信。

■ CDMA最初用于军事通信，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。

■ 随着技术的进步，CDMA设备的价格和体积都大幅度下降，因而现在已广泛用于民用的移动通信中。



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

- CDMA将每个比特时间划分为 m 个更短的时间片，称为**码片**（Chip）。 m 的取值通常为64或128。为了简单起见，在后续的举例中，我们假设 m 的取值为8。
- CDMA中的每个站点都被指派一个唯一的 **m 比特码片序列**（Chip Sequence）。
 - ☐ 某个站要发送**比特1**，则发送它自己的 **m 比特码片序列**；
 - ☐ 某个站要发送**比特0**，则发送它自己的 **m 比特码片序列的反码**。

【举例】

假设给某个站指派的8比特码片序列为01011001

该站发送比特1：发送自己的8比特码片序列01011001

该站发送比特0：发送自己的8比特码片序列01011001的反码10100110

将码片序列中的比特0记为-1，而比特1记为+1，可写出码片序列相应的**码片向量**。

在本例中，该站的码片向量为 $(-1 +1 -1 +1 +1 -1 -1 +1)$ 。



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

如果有两个或多个站同时发送数据，则信道中的信号就是这些站各自所发送一系列码片序列或码片序列反码的**叠加**。为了从信道中**分离**出每个站的信号，给每个站**指派码片序列**时，必须遵循以下规则：

- ☐ 分配给每个站的**码片序列必须各不相同**，实际常采用伪随机码序列。
- ☐ 分配给每个站的**码片序列必须相互正交**，即各码片序列相应的码片向量之间的**规格化内积为0**。

令向量A表示站A的码片向量，向量B表示站B的码片向量。

两个不同站A和B的码片序列相互正交，就是向量A与向量B的规格化内积为0，如下式所示。

$$A \cdot B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = 0$$



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

$$A \cdot B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = 0$$

【举例】

给站A分配的8比特码片序列为01011001，给站B分配的8比特码片序列为00110101，
则站A的码片向量为 $(-1 +1 -1 +1 +1 -1 -1 +1)$ ，站B的码片向量为 $(-1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1)$ 。

将站A和站B各自的码片向量代入上式计算规格化内积：

$$\frac{(-1) \times (-1) + (+1) \times (-1) + (-1) \times (+1) + (+1) \times (+1) + (+1) \times (-1) + (-1) \times (+1) + (-1) \times (-1) + (+1) \times (+1)}{8} = 0$$

02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

$$A \cdot B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = 0$$

时分复用TDM

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

波分复用WDM

$$A \cdot \bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i \bar{B}_i = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = -0 = 0$$

码分复用CDM

$$A \cdot \bar{A} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i \bar{A}_i = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i A_i = -1$$



02 常见的信道复用技术

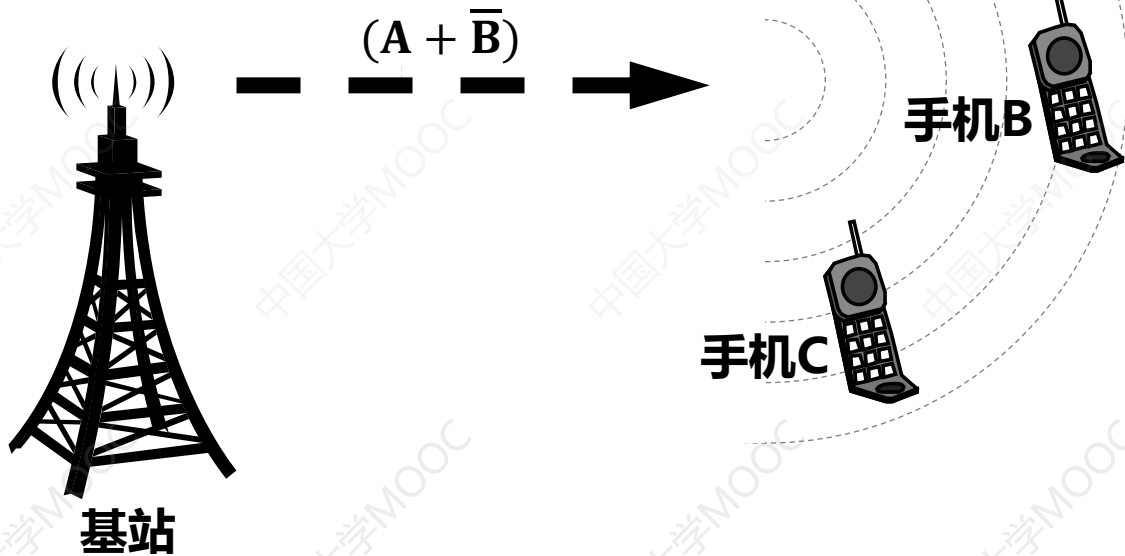
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特1
给手机B发送比特0



02 常见的信道复用技术

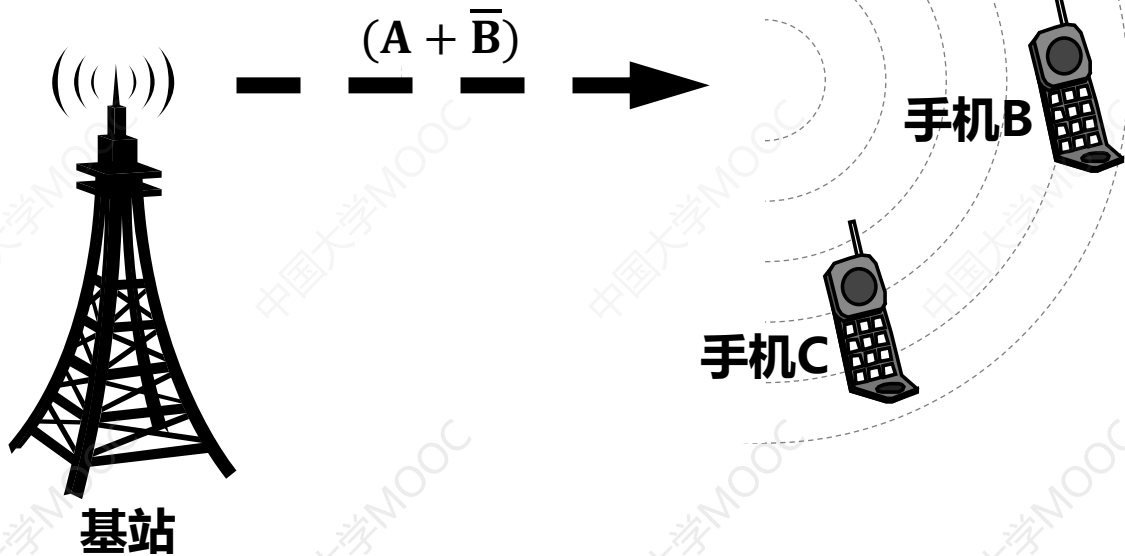
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特1
给手机B发送比特0



各手机用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$(A + \bar{B}) \cdot A = A \cdot A + A \cdot \bar{B} = 1 + 0 = 1$$

运算结果为1，表明收到的是比特1

$$(A + \bar{B}) \cdot B = A \cdot B + \bar{B} \cdot B = 0 + (-1) = -1$$

运算结果为-1，表明收到的是比特0

$$(A + \bar{B}) \cdot C = A \cdot C + \bar{B} \cdot C = 0 + 0 = 0$$

运算结果为0，表明没有收到信息



02 常见的信道复用技术

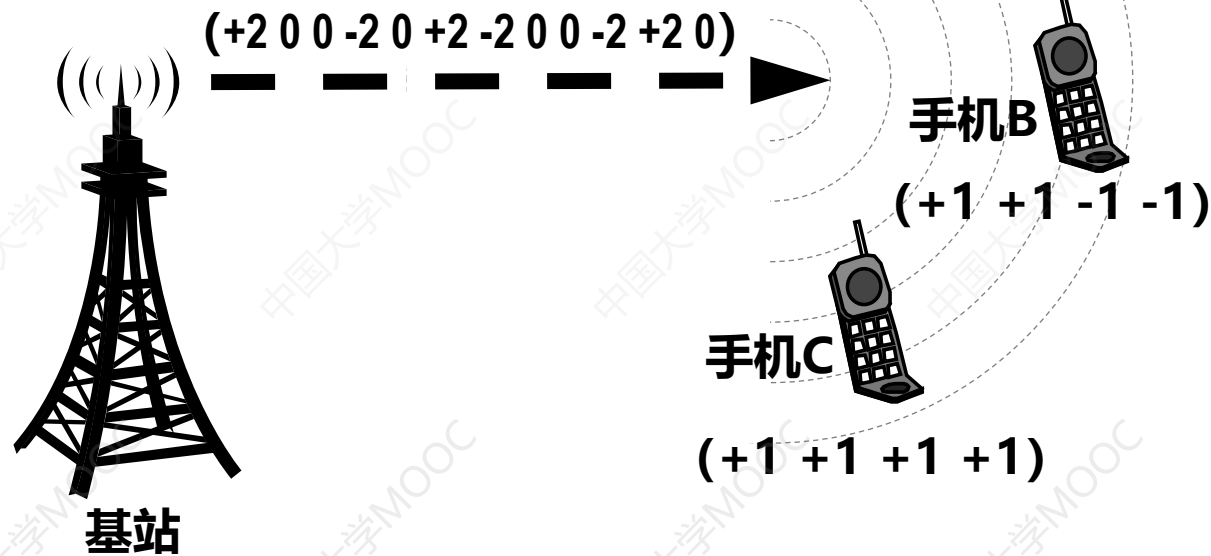
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



A发送数据

相应的码片向量

相应的信号

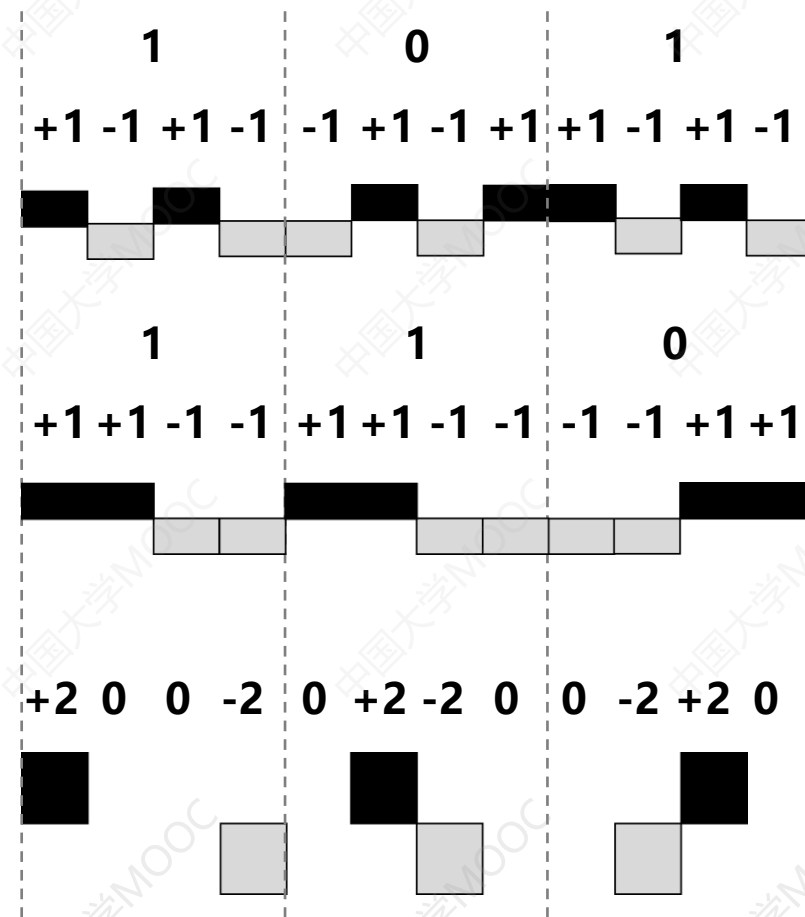
B发送数据

相应的码片向量

相应的信号

基站发送叠加向量

相应的信号





02 常见的信道复用技术

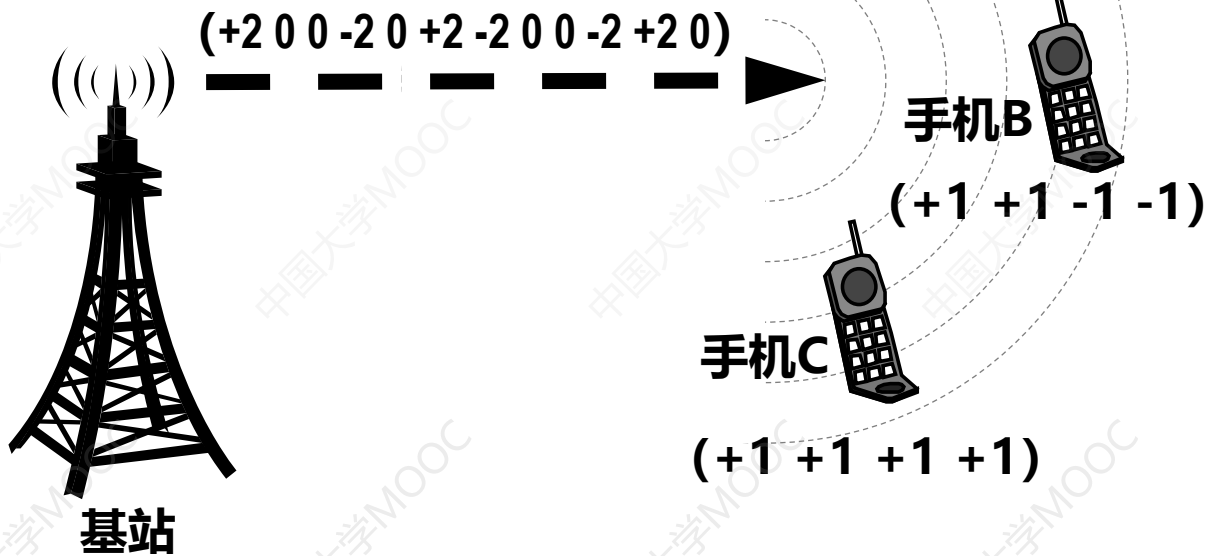
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



手机A收到基站发来的叠加后的信号，就用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$\frac{(+1) \times (+2) + (-1) \times 0 + (+1) \times 0 + (-1) \times (-2)}{4} = 1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (-1) \times (+2) + (+1) \times (-2) + (-1) \times 0}{4} = -1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (-1) \times (-2) + (+1) \times (+2) + (-1) \times 0}{4} = 1$$

根据运算结果可知：

手机A收到基站发来的数据是比特串101。



02 常见的信道复用技术

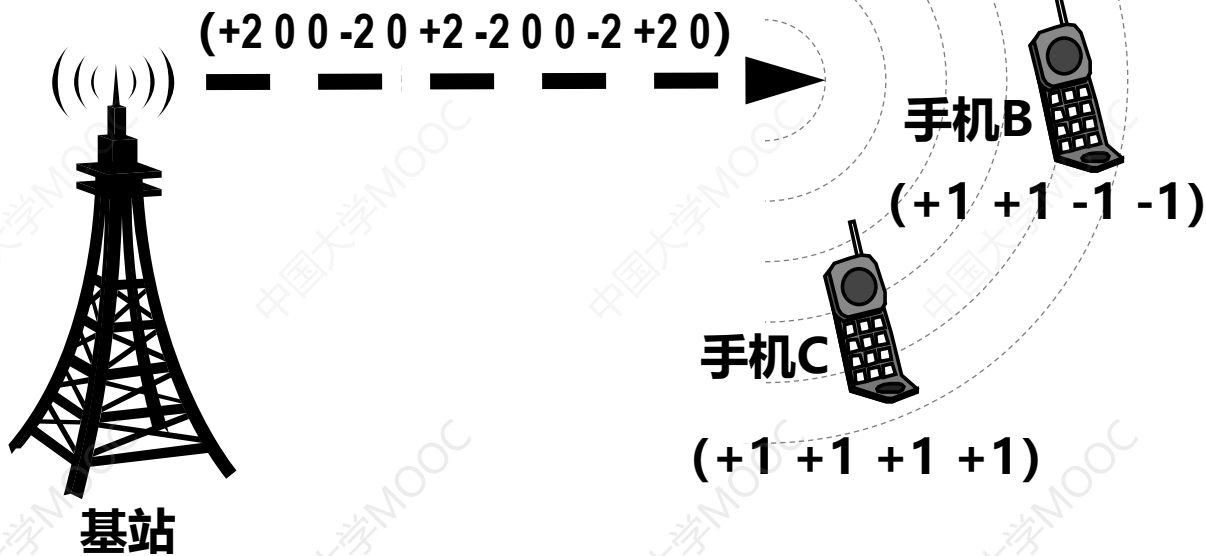
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



手机B收到基站发来的叠加后的信号，就用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$\frac{(+1) \times (+2) + (+1) \times 0 + (-1) \times 0 + (-1) \times (-2)}{4} = 1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (+2) + (-1) \times (-2) + (-1) \times 0}{4} = 1$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (-2) + (-1) \times (+2) + (-1) \times 0}{4} = -1$$

根据运算结果可知：

手机B收到基站发来的数据是比特串110。

02 常见的信道复用技术

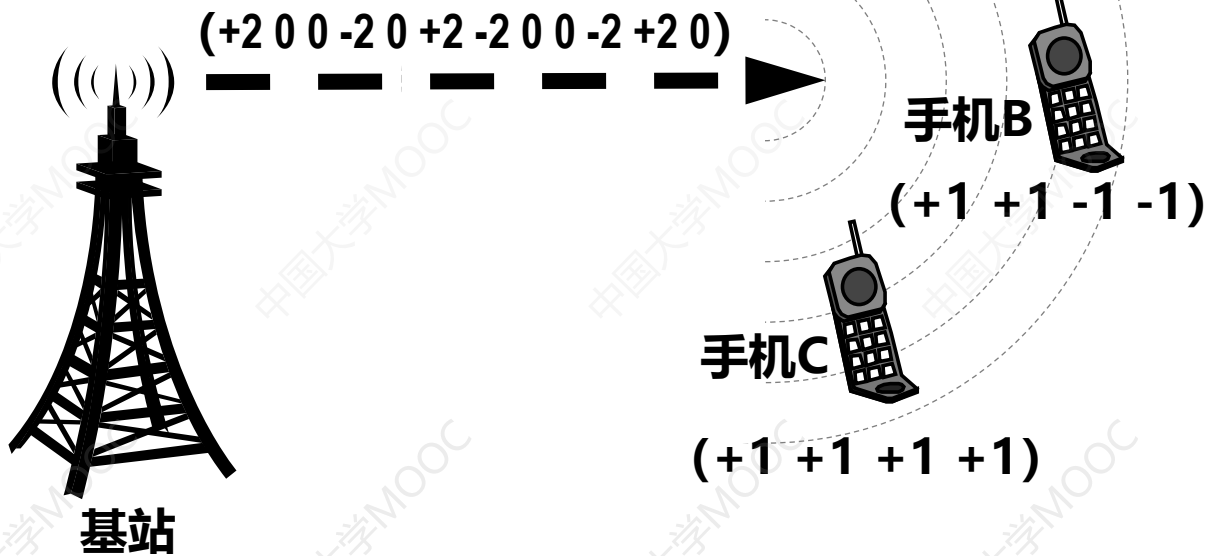
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特串101
给手机B发送比特串110



手机C收到基站发来的叠加后的信号，就用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，做规格化内积运算：

$$\frac{(+1) \times (+2) + (+1) \times 0 + (+1) \times 0 + (+1) \times (-2)}{4} = 0$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (+2) + (+1) \times (-2) + (+1) \times 0}{4} = 0$$

$$\frac{(+1) \times 0 + (+1) \times (-2) + (+1) \times (+2) + (+1) \times 0}{4} = 0$$

根据运算结果可知，基站没有给手机C发送数据。



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

【2014年 题37】 站点A、B、C通过CDMA共享链路，A、B、C的码片序列分别是(1,1,1,1)、(1,-1,1,-1)和(1,1,-1,-1)。若C从链路上收到的序列是(2,0,2,0,0,-2,0,-2,0,2,0,2)，则C收到A发送的数据是（**B**）。

A. 000

B. 101

C. 110

D. 111

解析

由于题目所给各站的码片序列为4比特，因此将站点C收到的序列分成三部分，每部分也由4比特组成：

(2, 0, 2, 0, 0, -2, 0, -2, 0, 2, 0, 2) \longrightarrow (2, 0, 2, 0) (0, -2, 0, -2) (0, 2, 0, 2)

将站点A的码片序列 (1, 1, 1, 1) 分别与上述三个部分进行规格化内积运算，根据结果可判断A发送的数据

$$(1, 1, 1, 1) \cdot (2, 0, 2, 0) = (1 \times 2 + 1 \times 0 + 1 \times 2 + 1 \times 0) \div 4 = 1$$

发送的是比特1

$$(1, 1, 1, 1) \cdot (0, -2, 0, -2) = (1 \times 0 + 1 \times (-2) + 1 \times 0 + 1 \times (-2)) \div 4 = -1$$

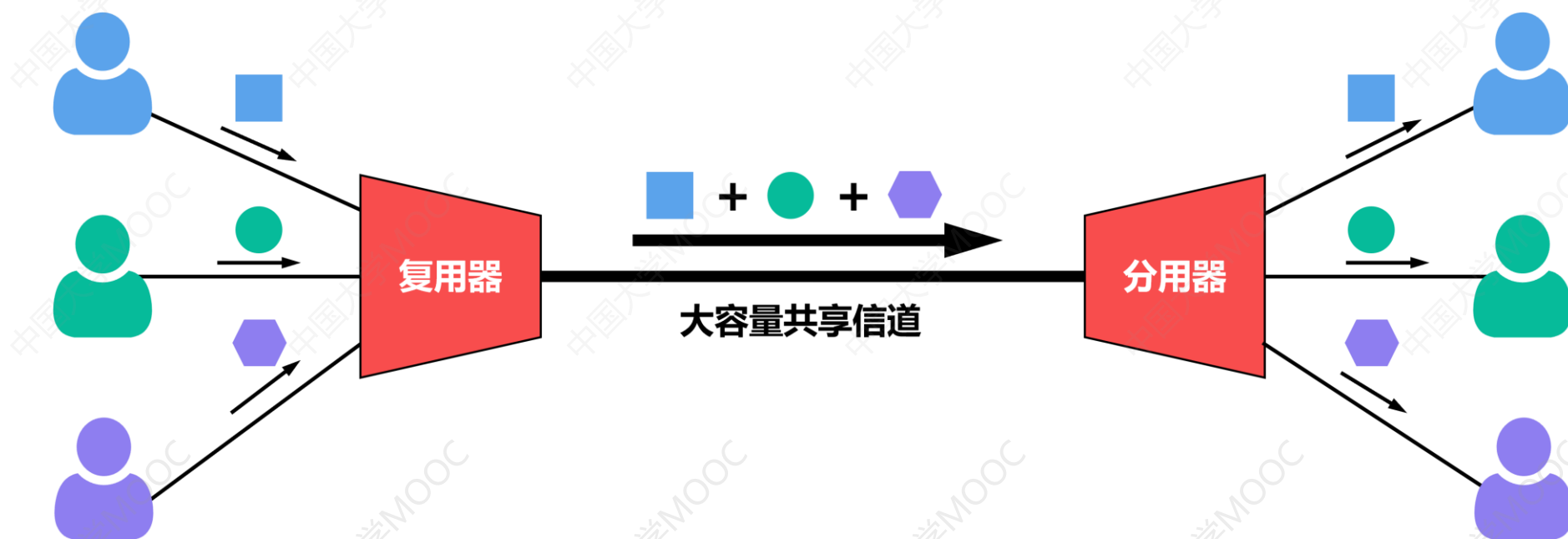
发送的是比特0

$$(1, 1, 1, 1) \cdot (0, 2, 0, 2) = (1 \times 0 + 1 \times 2 + 1 \times 0 + 1 \times 2) \div 4 = 1$$

发送的是比特1

01 信道复用技术的基本原理

- 复用 (Multiplexing) 就是在**一条传输媒体上同时传输多路用户的信号**。
- 当一条传输媒体的传输容量大于多条信道传输的总容量时，就可以通过复用技术，在这条传输媒体上建立多条通信信道，以便**充分利用传输媒体的带宽**。
- 尽管实现信道复用会增加通信成本（需要复用器、分用器以及费用较高的大容量共享信道），但如果**复用的信道数量较大，还是比较划算的**。



02 常见的信道复用技术

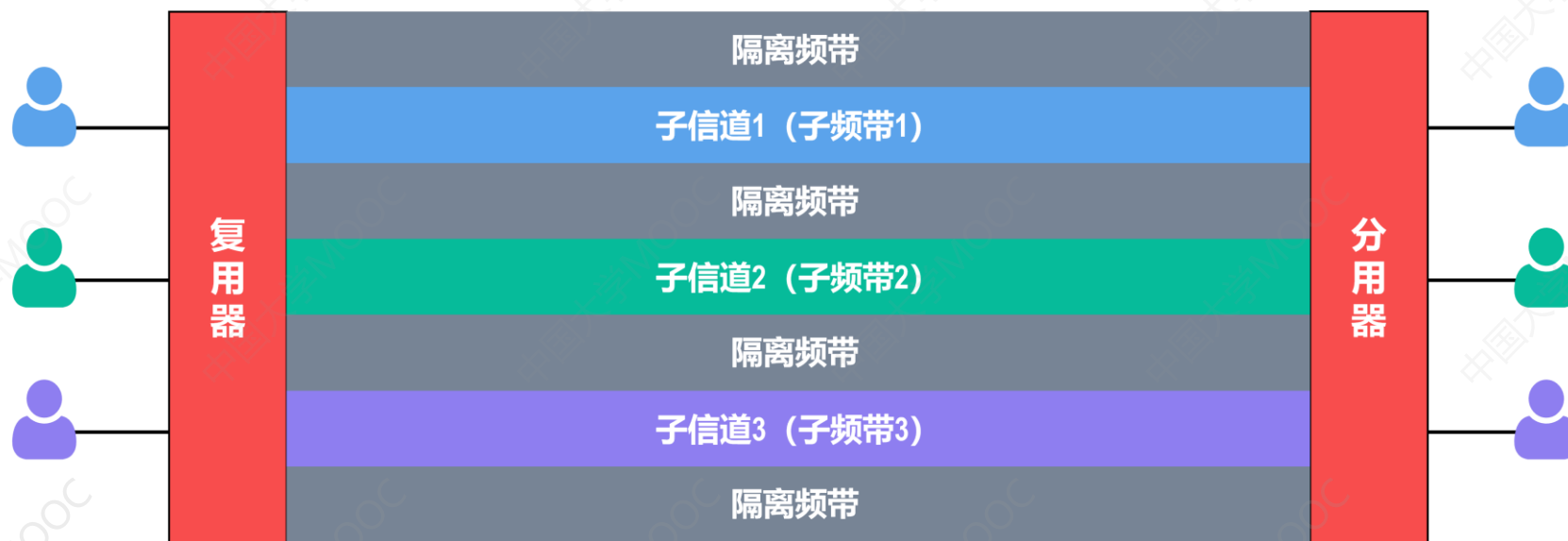
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

频分复用的所有用户**同时**占用不同的频带资源并行通信



02 常见的信道复用技术

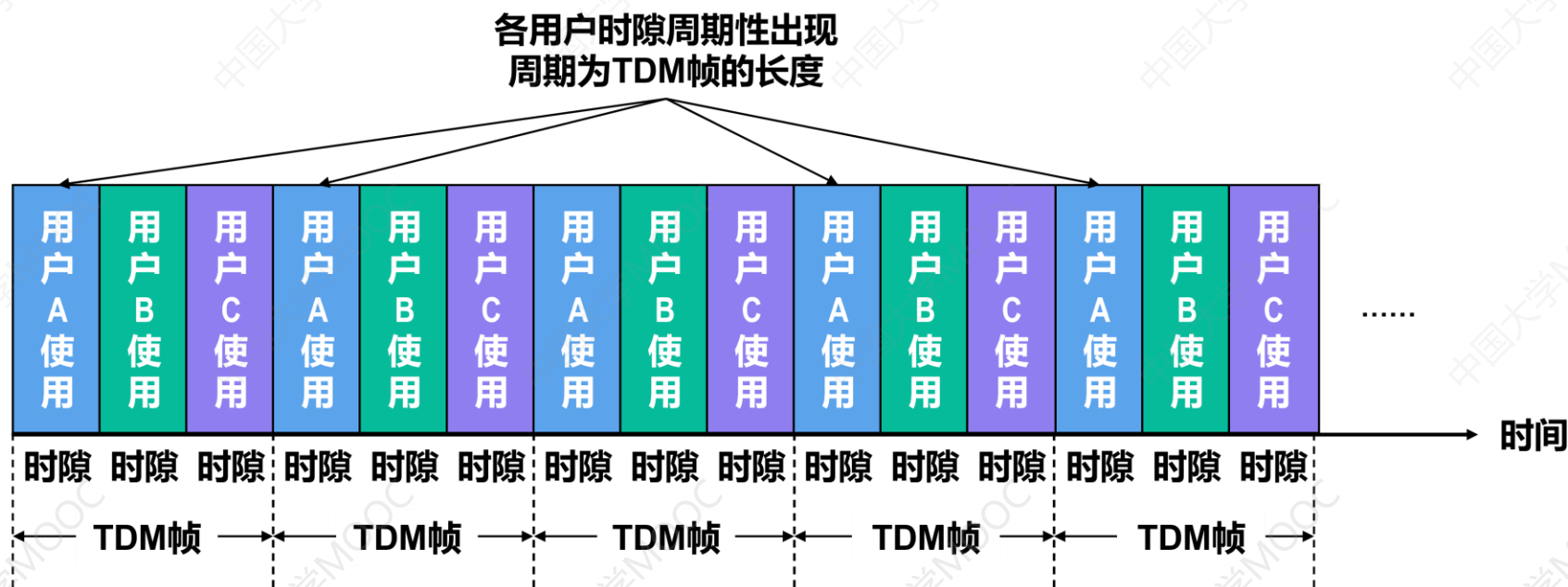
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

时分复用的所有用户**在不同的时间占用同样的频带**





02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

光的频分复用FDM

■ 根据频分复用的设计思想，可在一根光纤上**同时传输多个频率（波长）相近的光载波信号**，实现基于光纤的频分复用技术。

■ 目前可以在一根光纤上复用80路或更多路的光载波信号。因此，这种复用技术也称为**密集波分复用DWDM**。



02 常见的信道复用技术

频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

如果有两个或多个站同时发送数据，则信道中的信号就是这些站各自所发送一系列码片序列或码片序列反码的**叠加**。为了从信道中**分离**出每个站的信号，给每个站**指派码片序列**时，必须遵循以下规则：

- ☐ 分配给每个站的**码片序列必须各不相同**，实际常采用伪随机码序列。
- ☐ 分配给每个站的**码片序列必须相互正交**，即各码片序列相应的码片向量之间的**规格化内积为0**。

令向量A表示站A的码片向量，向量B表示站B的码片向量。

两个不同站A和B的码片序列相互正交，就是向量A与向量B的规格化内积为0，如下式所示。

$$A \cdot B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = 0$$

$$A \cdot \bar{B} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i \bar{B}_i = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i B_i = -0 = 0$$

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

$$A \cdot \bar{A} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i \bar{A}_i = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m A_i A_i = -1$$

02 常见的信道复用技术

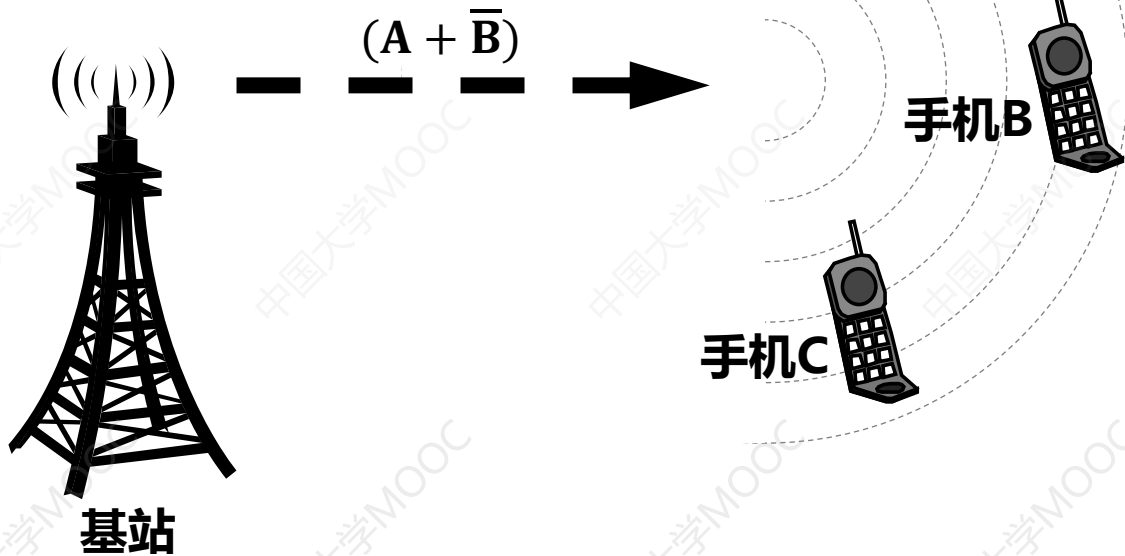
频分复用FDM

时分复用TDM

波分复用WDM

码分复用CDM

知道各手机的码片序列
给手机A发送比特1
给手机B发送比特0



各手机用自己的码片向量与收到的叠加后的码片向量，
做规格化内积运算：

$$(A + \bar{B}) \cdot A = A \cdot A + A \cdot \bar{B} = 1 + 0 = 1$$

运算结果为1，表明收到的是比特1

$$(A + \bar{B}) \cdot B = A \cdot B + \bar{B} \cdot B = 0 + (-1) = -1$$

运算结果为-1，表明收到的是比特0

$$(A + \bar{B}) \cdot C = A \cdot C + \bar{B} \cdot C = 0 + 0 = 0$$

运算结果为0，表明没有收到信息

