



哈尔滨工业大学  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

立足航天，服务国防，面向国民经济主战场



# 计算机网络之网尽其用

主讲人：李全龙

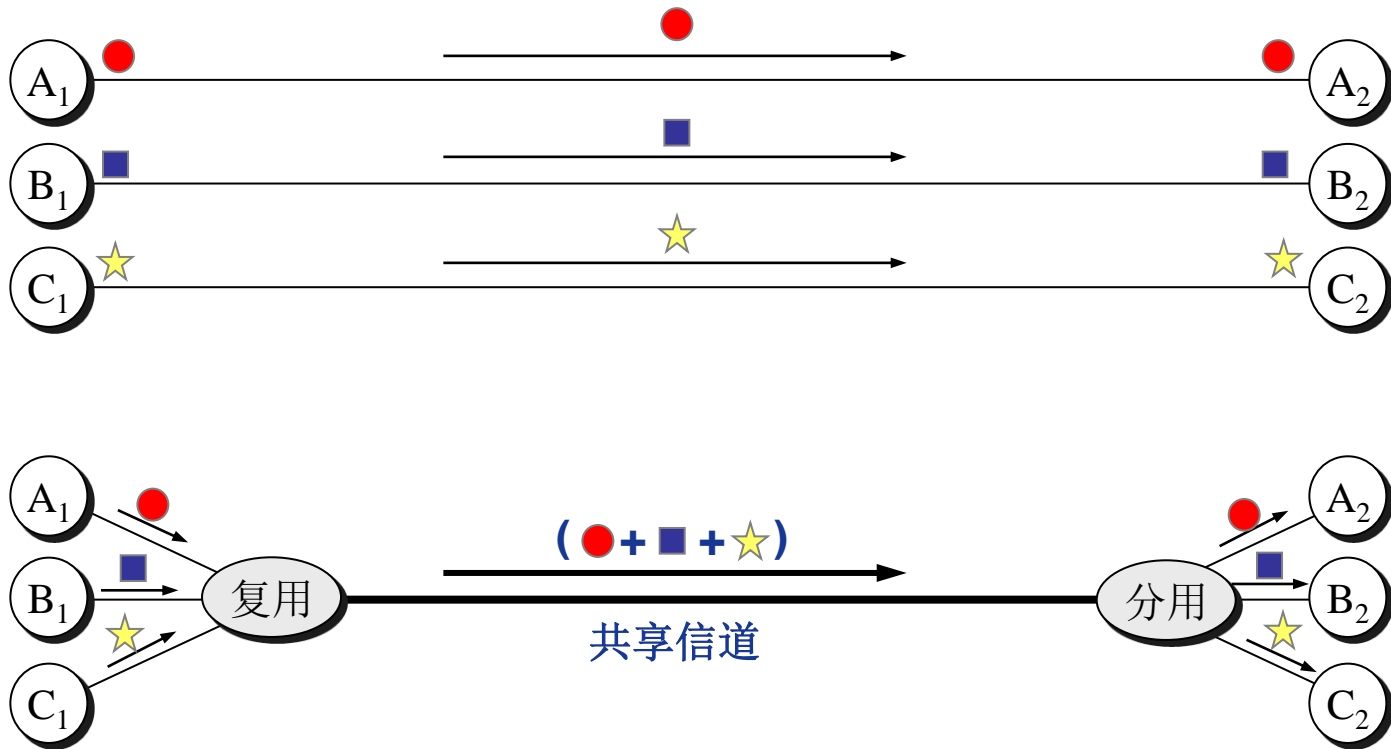
# 本讲主题

## 多路复用



# 多路复用?

❖ 多路复用(multiplexing), 简称复用, 是通信技术中的基本概念



# 多路复用？

多路复用(Multiplexing):  
链路/网络资源（如带宽）划分为“资源片”

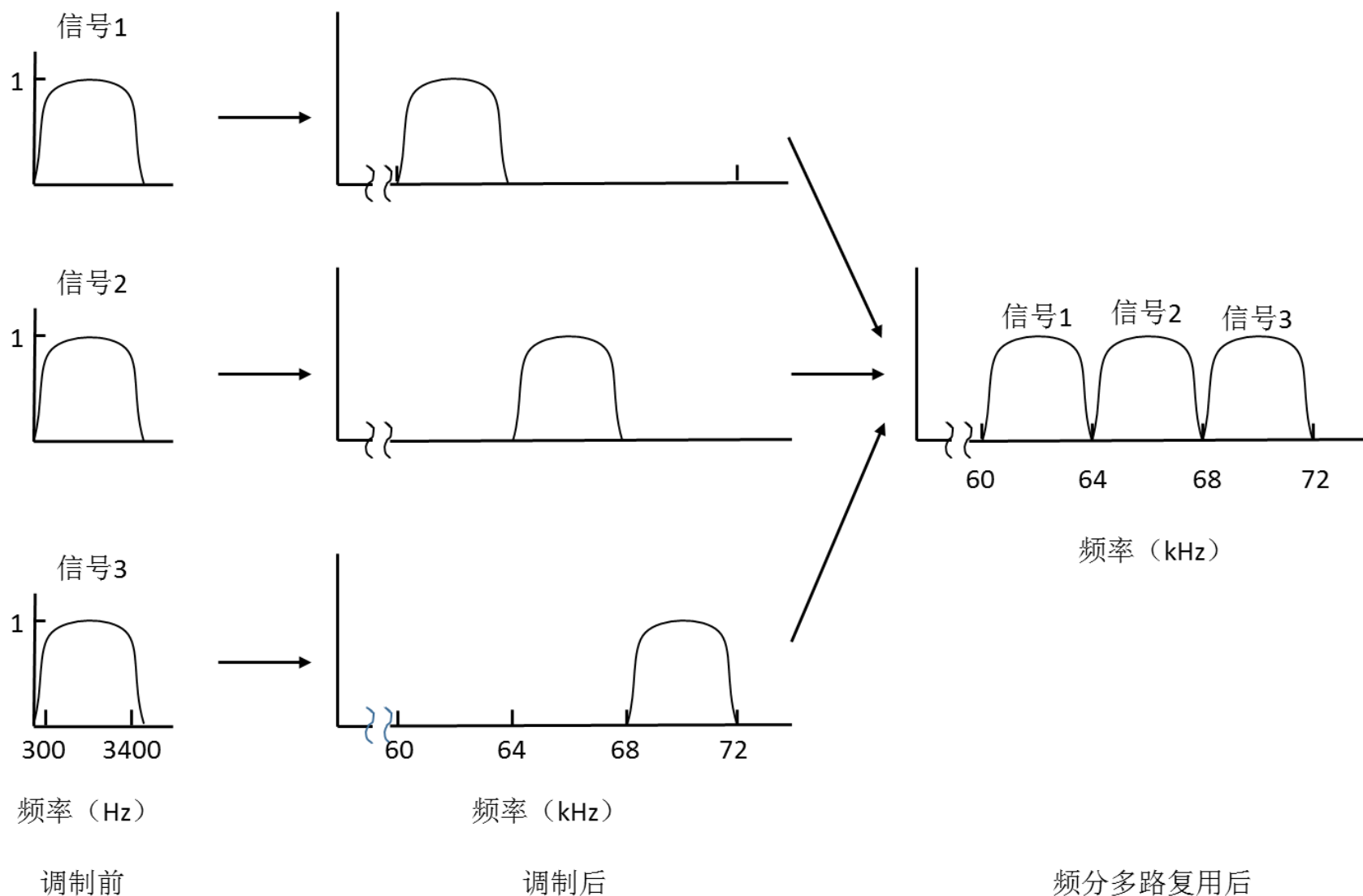
- ❖ 将资源片分配给各路“呼叫”（calls）
- ❖ 每路呼叫**独占**分配到的资源片进行通信
- ❖ 资源片可能“**闲置**”（*idle*）（无共享）

典型多路复用方法:

- ❖ 频分多路复用( frequency division multiplexing-**FDM** )
- ❖ 时分多路复用( time division multiplexing-**TDM** )
- ❖ 波分多路复用(Wavelength division multiplexing-**WDM**)
- ❖ 码分多路复用( Code division multiplexing-**CDM** )



# 频分多路复用FDM



# 频分多路复用FMD

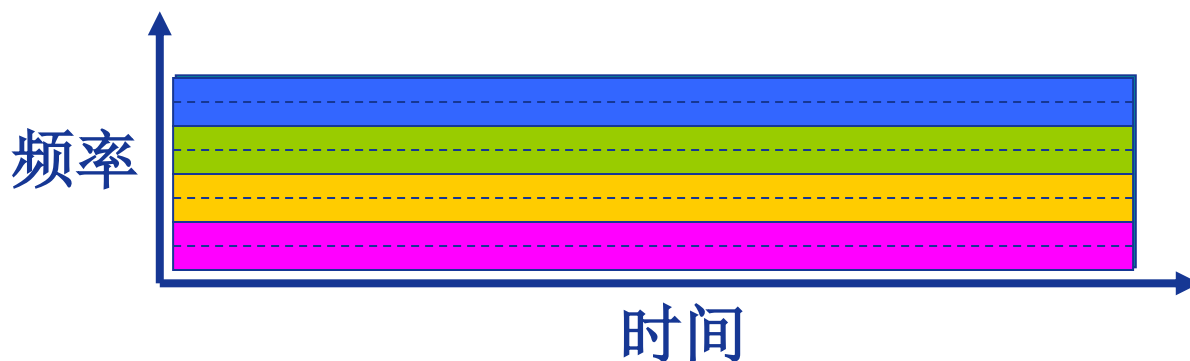
- ❖ 频分多路复用的各用户占用不同的带宽资源（请注意，这里的“带宽”是频率带宽（单位：Hz）而不是数据的发送速率）
- ❖ 用户在分配到一定的频带后，在通信过程中自始至终都占用这个频带

例如：

4个用户



**FDM**



# 时分多路复用TDM

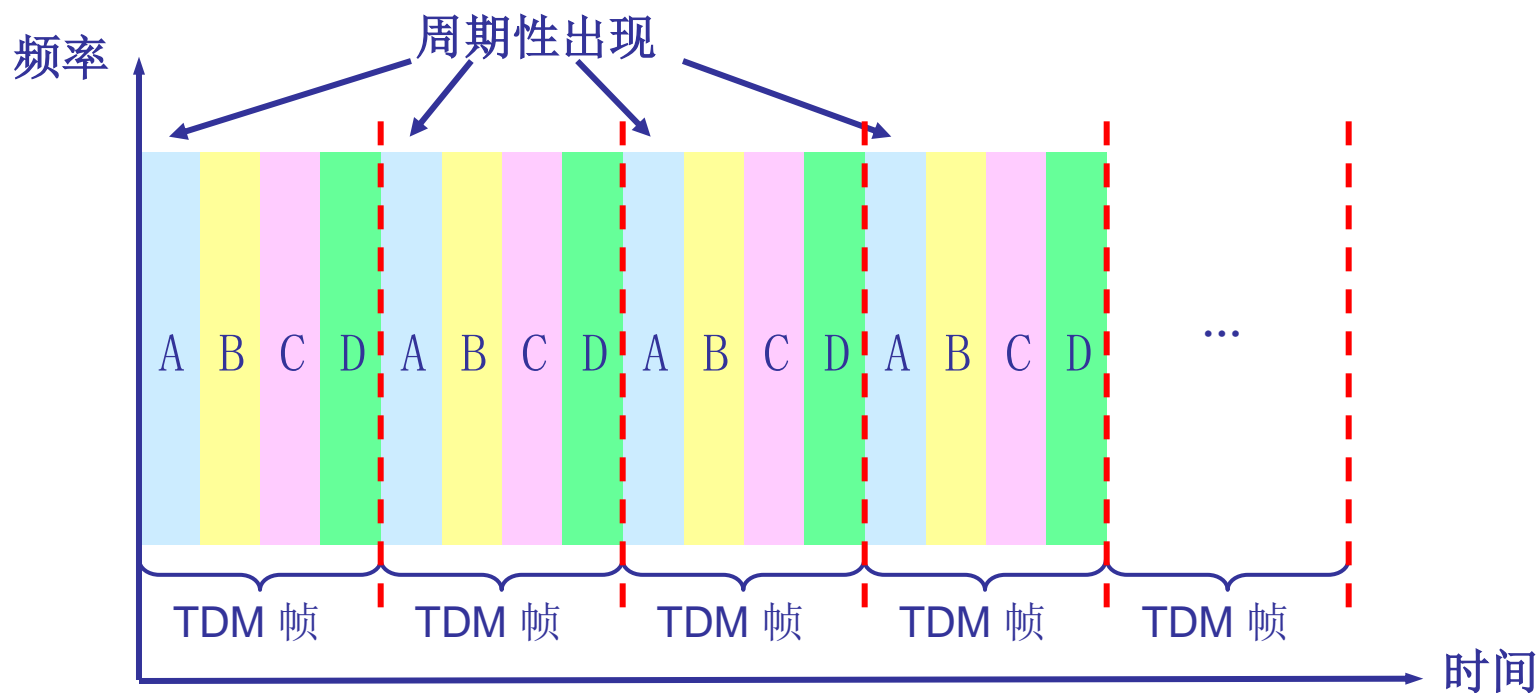
- ❖ 时分复用则是将时间划分为一段段等长的时分复用帧（TDM 帧），每个用户在每个 TDM 帧中占用固定序号的时隙
- ❖ 每用户所占用的时隙是周期性出现（其周期就是 TDM 帧的长度）



- ❖ 时分复用的所有用户是在不同的时间占用相同的频带宽度



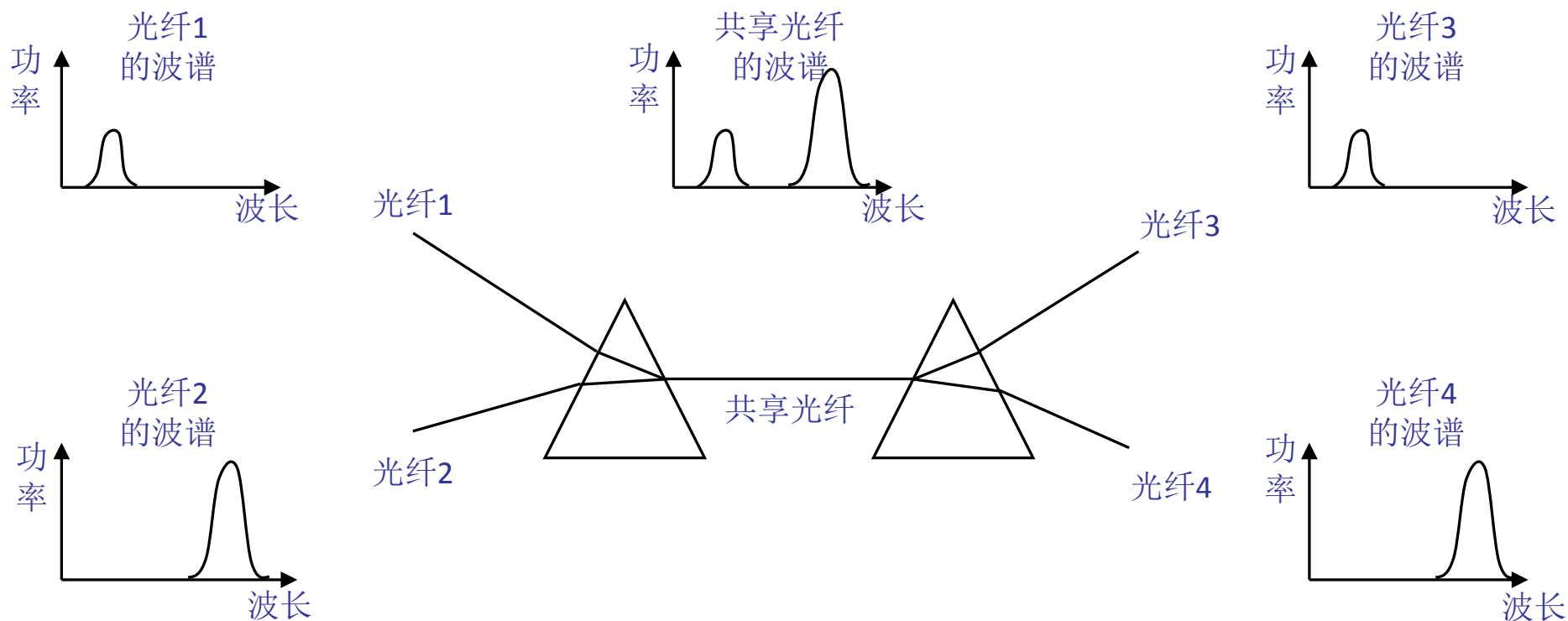
# 时分多路复用TDM



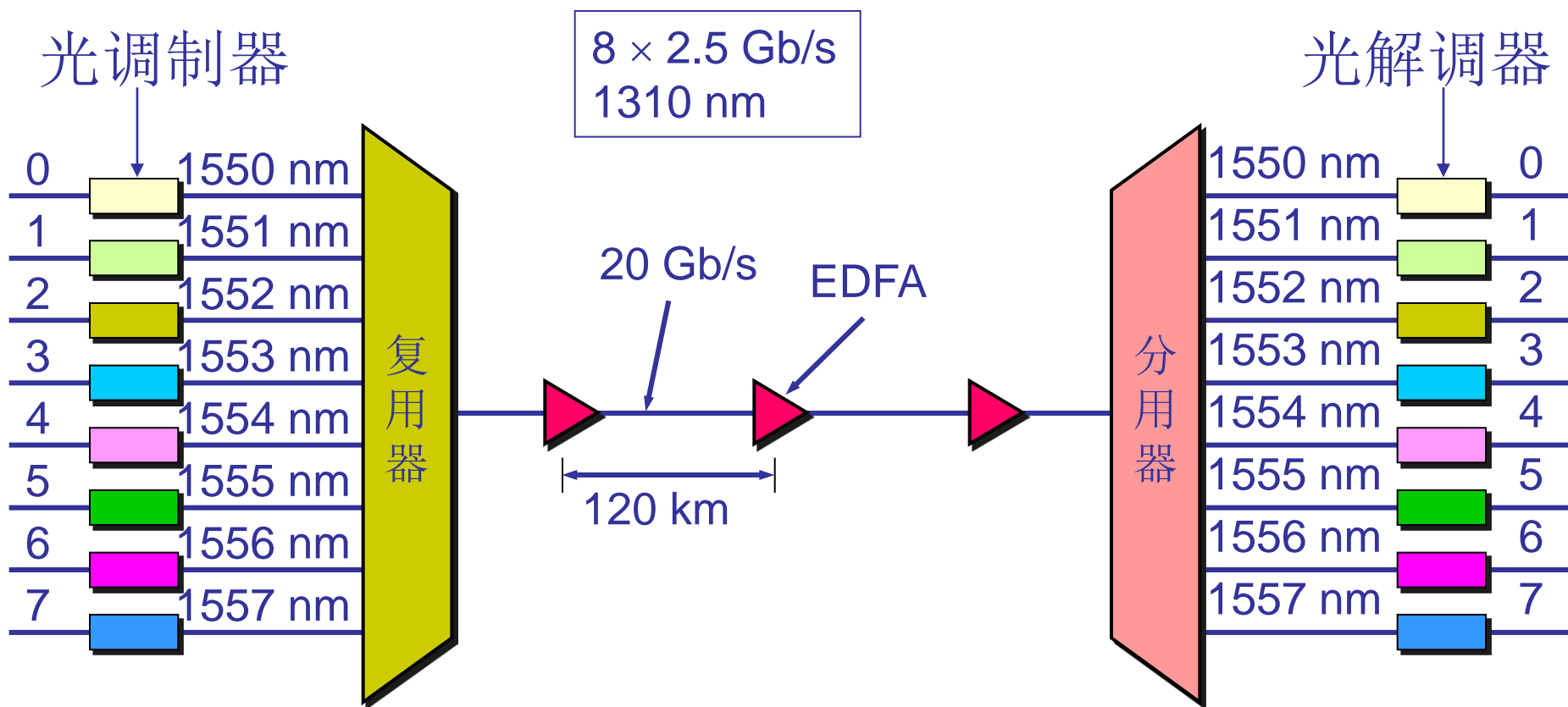


# 波分多路复用WDM

❖ 波分复用就是光的频分复用



# 波分多路复用WDM



# 码分多路复用CDM

- ❖ 广泛应用于无线链路共享 (如蜂窝网,卫星通信等)
- ❖ 每个用户分配一个唯一的  $m$  bit 码片序列 (chipping sequence), 其中“0”用“-1”表示、“1”用“+1”表示, 例如:
  - S 站的码片序列:  $(-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$
- ❖ 各用户使用相同频率载波, 利用各自码片序列编码数据
- ❖ 编码信号 = (原始数据)  $\times$  (码片序列)
  - 如发送比特 1 (+1), 则发送自己的  $m$  bit 码片序列
  - 如发送比特 0 (-1), 则发送该码片序列的  $m$  bit 码片序列的反码
- ❖ 各用户码片序列相互正交(orthogonal)

$$\frac{1}{m} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{S}_j = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad \frac{1}{m} \mathbf{S}_i \cdot \bar{\mathbf{S}}_j = \begin{cases} -1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$



# 码分多路复用CDM

❖ 令 $\{d_i\}$ 为原始数据序列，各用户的叠加向量为

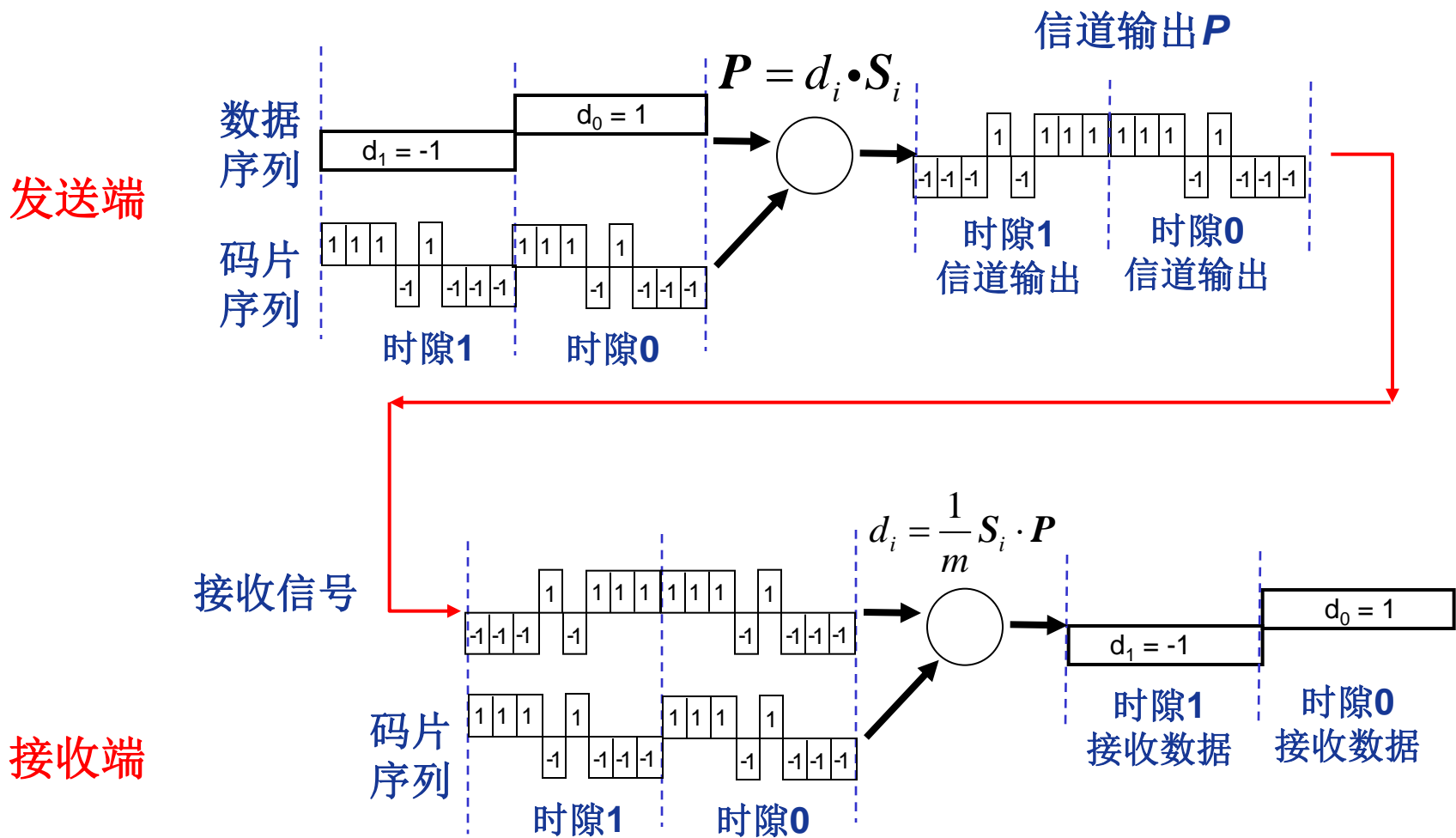
$$\mathbf{P} = \sum_{i=1}^N d_i \cdot \mathbf{S}_i = \sum_{i=1}^N \mathbf{S}_i^{(-)}$$

❖ 解码: 码片序列与编码信号的内积

$$\frac{1}{m} \mathbf{S}_i \cdot \mathbf{P} = \begin{cases} 1 & \mathbf{S}_i \in \mathbf{P} \\ -1 & \overline{\mathbf{S}}_i \in \mathbf{P} \\ 0 & \mathbf{S}_i, \overline{\mathbf{S}}_i \notin \mathbf{P} \end{cases}$$



# 码分多路复用编/解码举例



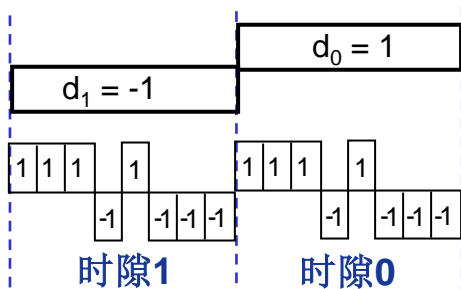
# 码分多路复用编/解码举例

发送端

用户1

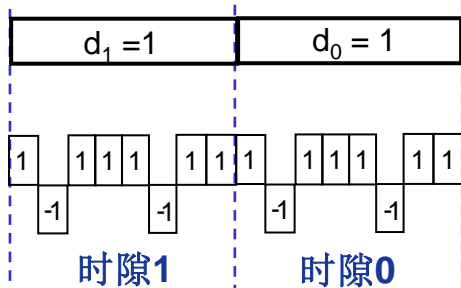
数据  
序列

码片  
序列



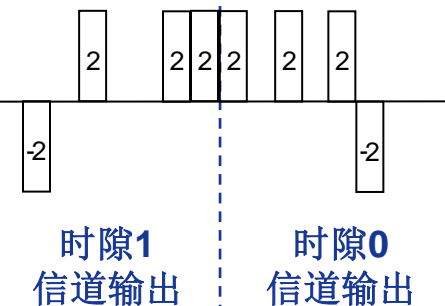
数据  
序列

码片  
序列



$$P = d_i \cdot S_i$$

信道输出  $P$

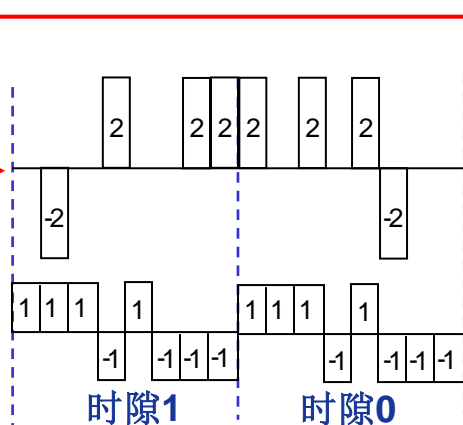


接收端

接收信号

接收用户1的数据

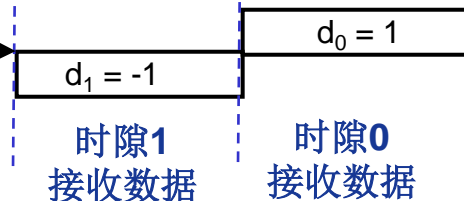
码片  
序列



$$d_i = \frac{1}{m} S_i \cdot P$$

时隙1  
接收数据

时隙0  
接收数据





哈爾濱工業大學  
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY



立足航天，服务国防，面向国民经济主战场

谢谢！