

数据通信



复 用

殷亚凤

yafeng@nju.edu.cn

<http://cs.nju.edu.cn/yafeng/>
Room 901, Building of CS



复用

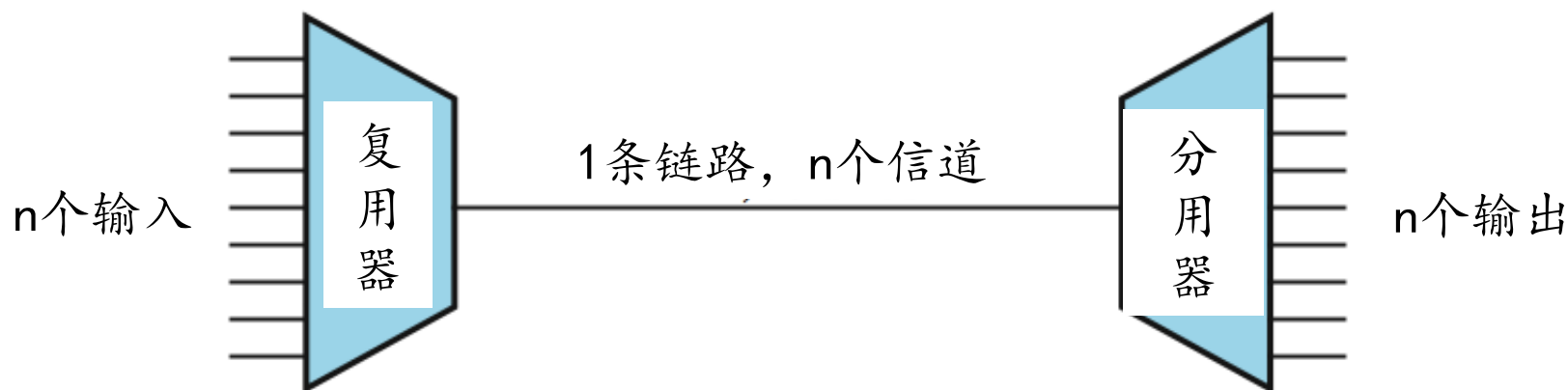


- 正在通信的**两个站点**一般不会完全利用数据链路的**容量**。
- 为了提高数据率，数据链路的**容量应当可以被共享**。
- 这种共享统称为**复用**。

复用



- 复用技术最常见的是在长途通信上的应用



- **复用器**：将n条输入线上的数据组合起来（**复用**），并通过大容量数据链路传输；
- **分用器**：接收经过复用的数据流，根据信道分解这些数据（**分用**），并将它们交付给相应的输出线。
- **数据链路**：可以运载n个独立的数据信道

复用

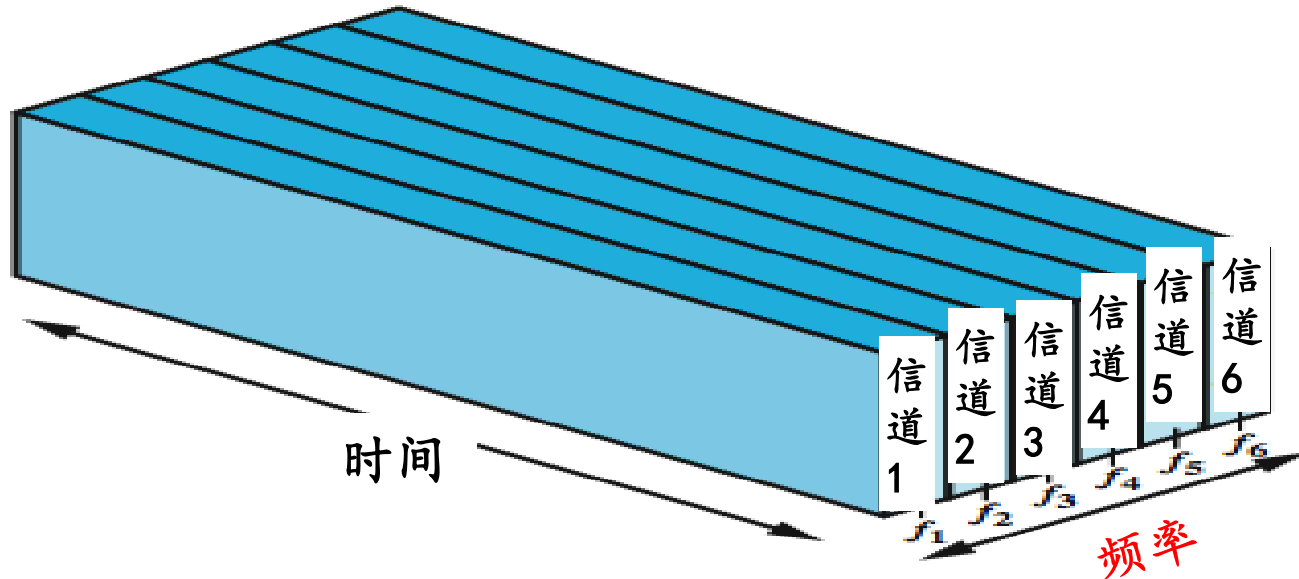


- 复用被广泛应用的原因：
- 数据率越高，传输设施的**性能价格比**就越高：
 - 每kbps的花费随传输设施数据率的提高而降低，每kbps对应的传输和接收设备的费用也相应减少。
- 大部分数据通信设备**自身要求达到的数据率**相对来说不太高：
 - 对于大多数不涉及Web访问或大量图片的终端和个人计算机的应用，典型的数据率在9.6-64kbps之间。



1. 频分复用
2. 同步时分复用
3. 统计时分复用
4. 非对称数字用户线路

频分复用 FDM

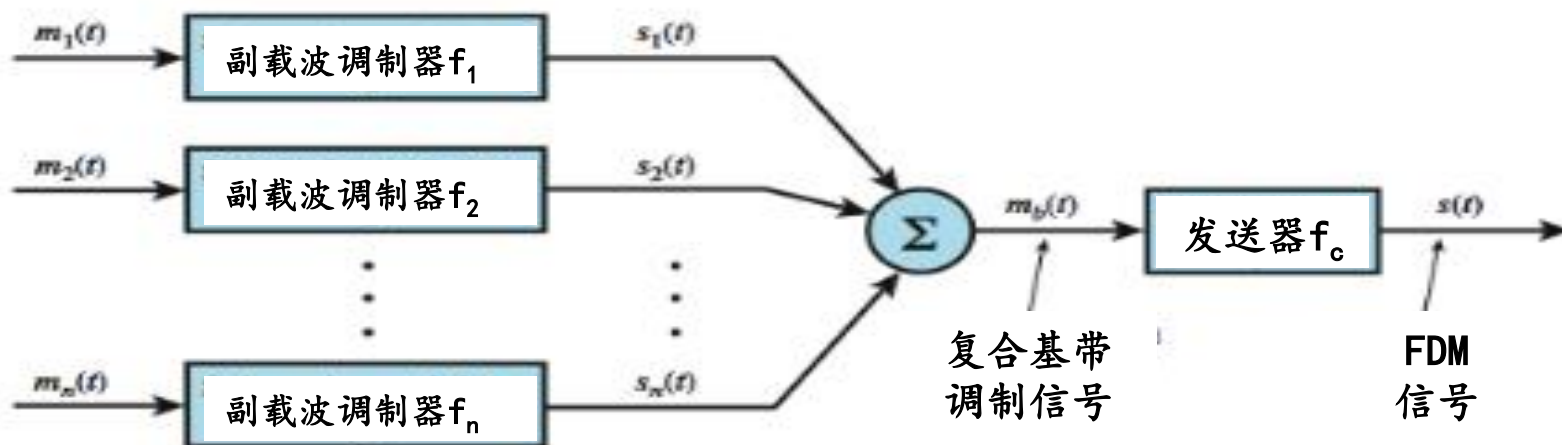


- 传输媒体的有效带宽超出被传输信号所要求的带宽，则可以使用频分复用；
- 每个信号调制到不同的载波频率上，这些载波频率间距足够大以保证这些信号带宽不会重叠，使多个信号可以同时被运载；
- 每个被调制的信号具有以各自载波频率为中心的一定带宽，称为信道；
- 信道被防护频带（频谱中未使用部分）隔开，防止干扰。

频分复用 FDM



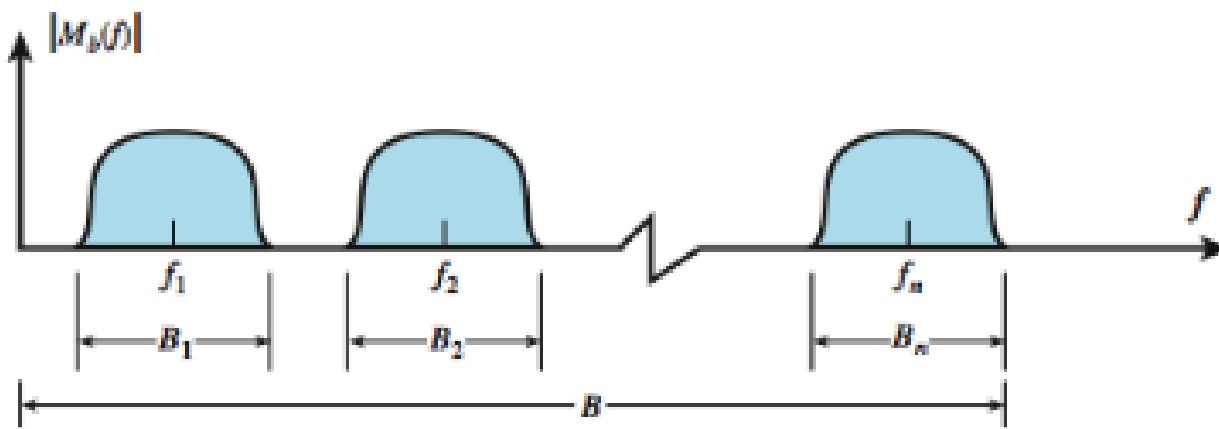
- 输入信号可以是**数字**的，也可以是**模拟**的
 - 数字输入：必须通过调制解调器转换成模拟信号
- **媒体**上传输的混合信号是**模拟**的



FDM系统发送器

- FDM系统的**发送器**:
 - 各路信号先被**调制到载波 f_i 上**（副载波），即频谱搬移到以 f_i 为中心的位置；
 - 经调制的模拟信号叠加起来，产生**复合基带信号**；
 - **复合信号**作为整体，可再进行另外的**调制**，如搬移到载波频率 f_c 上；

频分复用 FDM

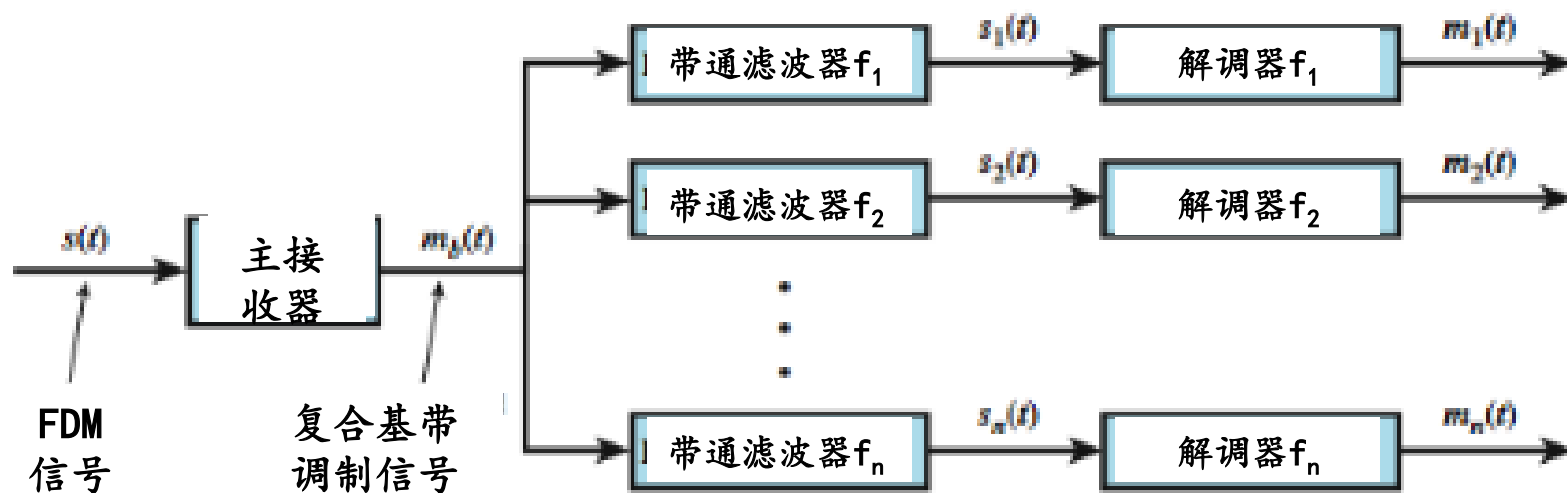


复合基带信号的频谱

- 复合基带信号：

- 总带宽为 B ，其中 $B > \sum_{i=1}^n B_i$ ；
- 该模拟信号经过适当的媒体进行传输。

频分复用 FDM



FDM系统：接收器

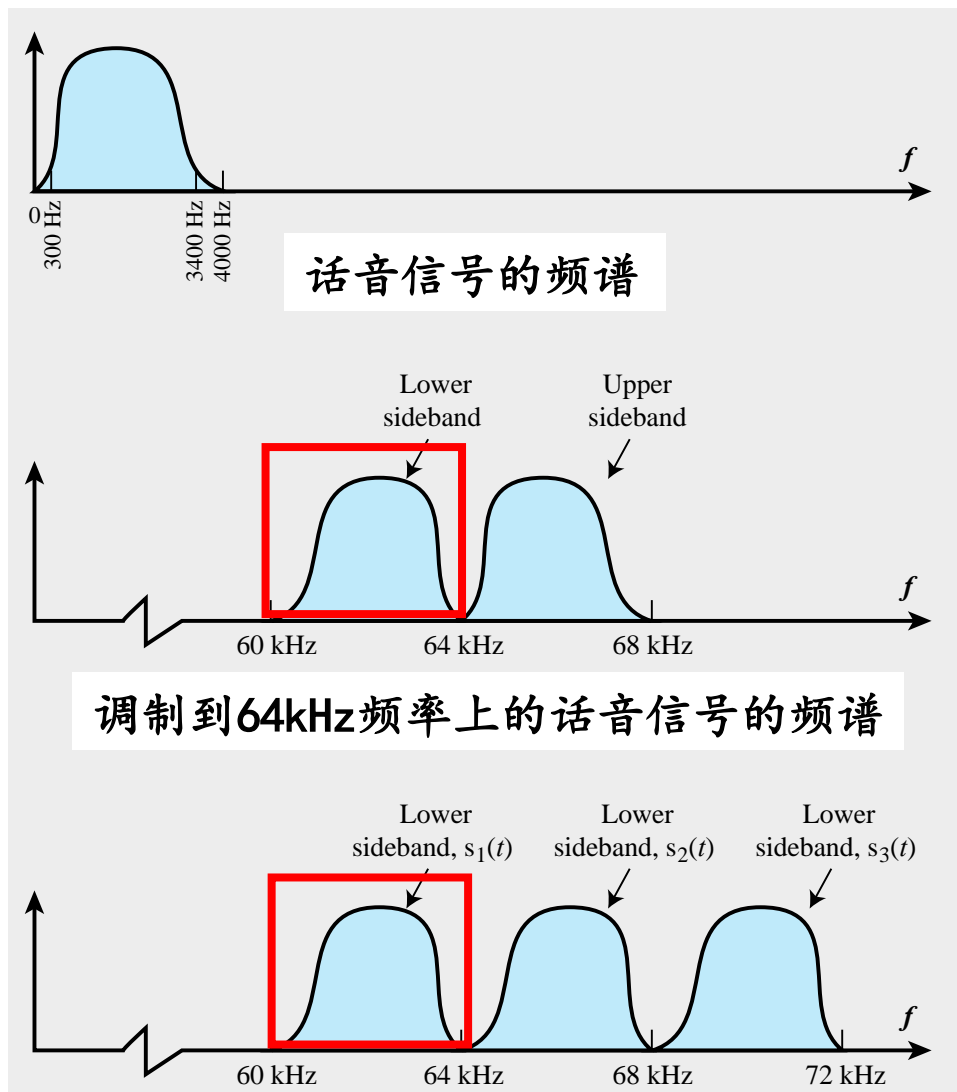
- FDM系统的**接收器**：

- FDM信道经过**解调**得到复合基带信号；
- 复合基带信号通过 n 个**带通滤波器**，每个滤波器以 f_i 为中心，且具有 B_i 的带宽；
- 各成员部分经过**解调**后恢复为原始信号；

话音信号频分复用



- 传输三路话音信号：
 - 话音信号的带宽一般为4kHz，其中有效频谱为300-3400Hz；
 - 采用64kHz载波进行调制，调制到的带宽为8kHz，范围是60-68kHz；
 - 为了提高利用率，只传输下边带，最终三路话音信号对应的频谱如右图所示。

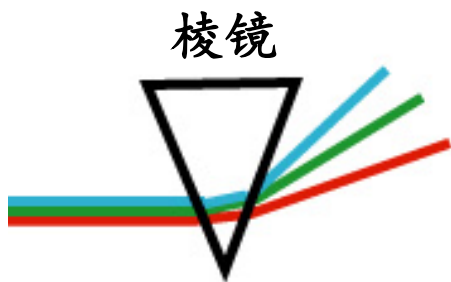


使用64kHz、68kHz、72kHz副载波的合成信号的频谱

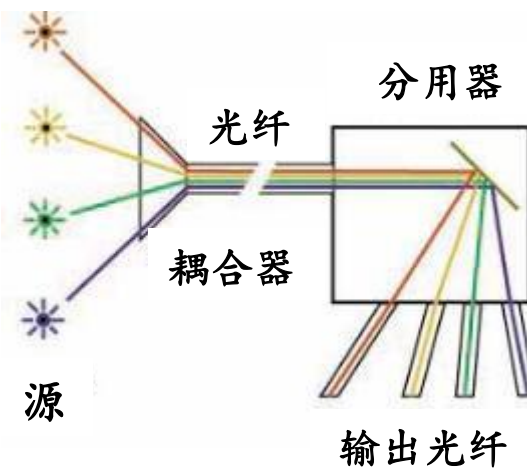
波分复用 WDM



- **波分复用**：频分复用的另一种形式
- **不同波长的光信号**通过同一根光纤传输
- 采用不同源的窄带光组成一个宽带光
 - 棱镜可用作波分复用及其多路分解



将一束光分为不同颜色



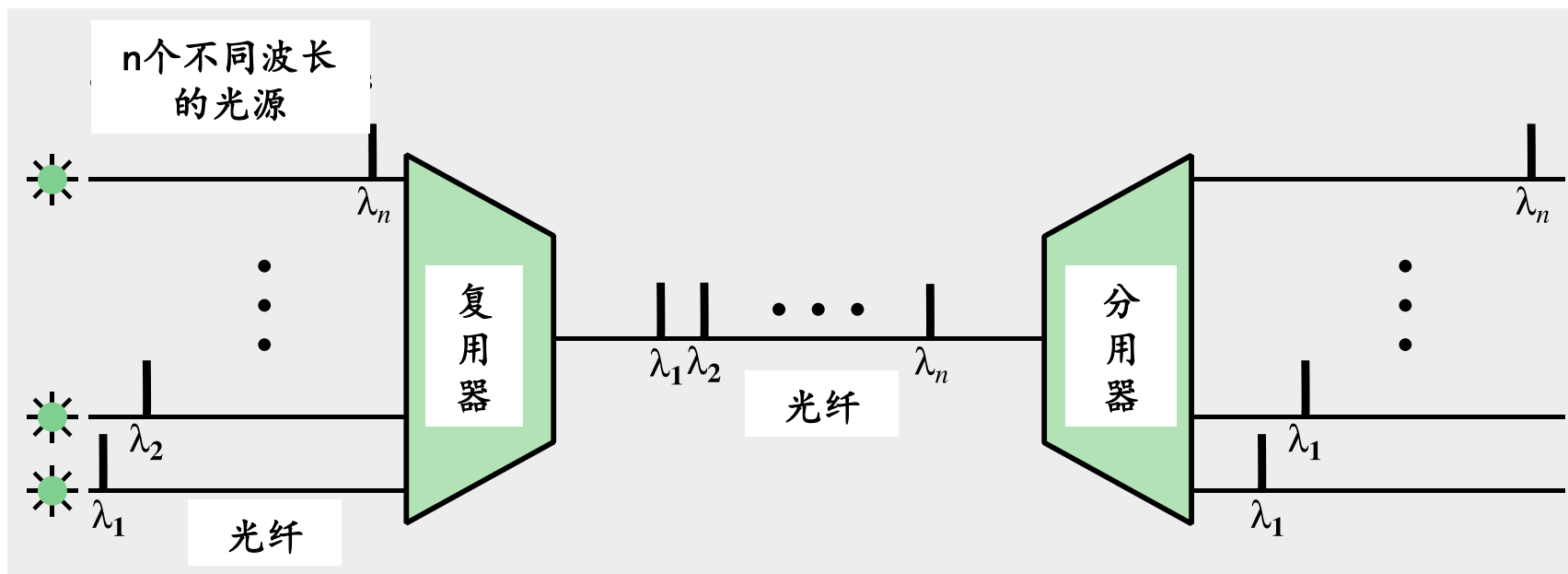
WDM 分用器

波分复用 WDM



• WDM系统:

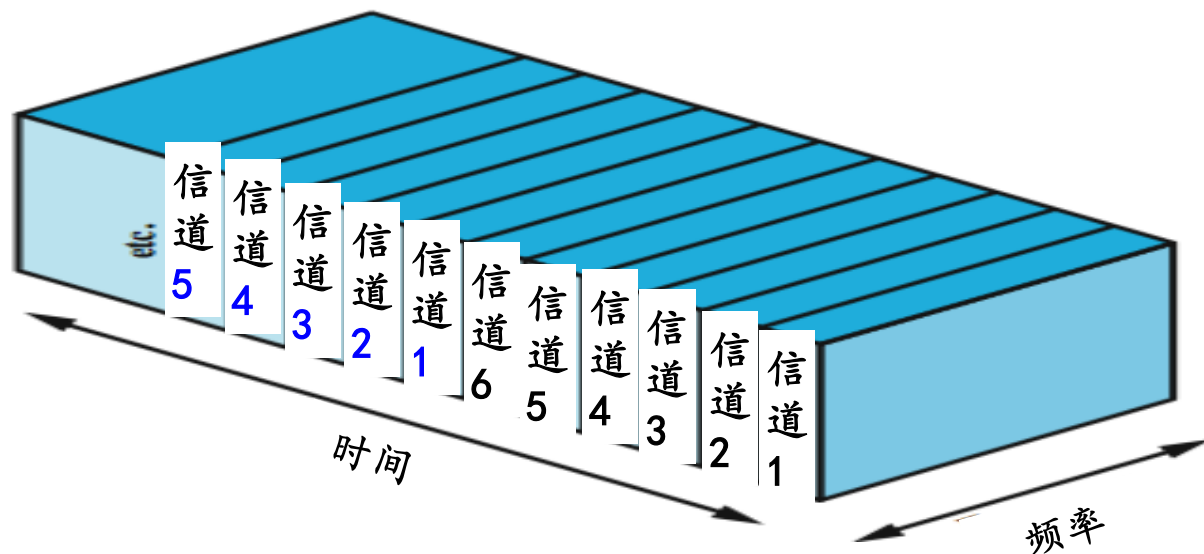
- 数个源生成波长不同的激光线束并发送到一个复用器上;
- 复用器将这些源合并再通过一条光纤线路传输;
- 复合信号到达分用器, 各个成员信道在这里被分解并发送到目的点的各个接收器上。





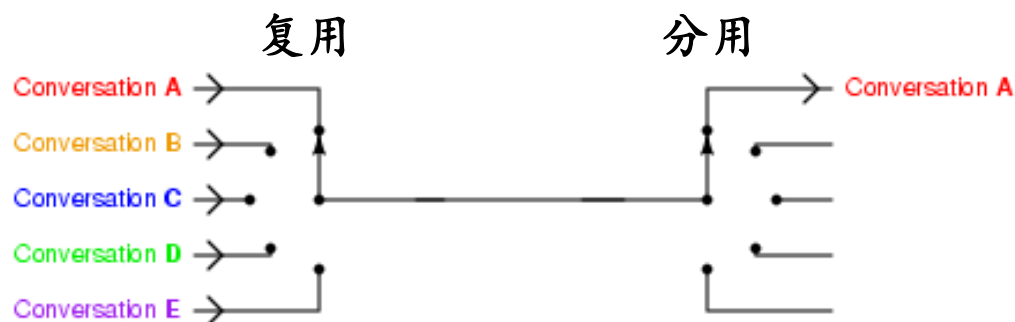
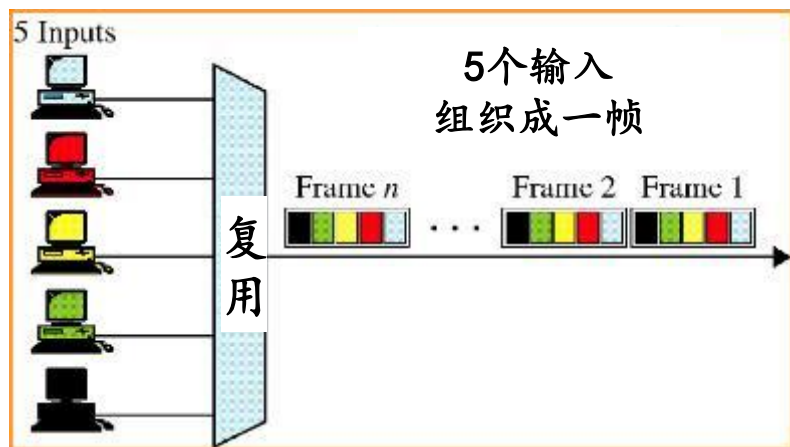
1. 频分复用
- 2. 同步时分复用**
3. 统计时分复用
4. 非对称数字用户线路

同步时分复用 (同步TDM)



- **同步时分复用**（要求：传输媒体能够达到的数据率超出被传输的数字信号的数据率）
 - 采用在**不同时间交错传输**每个信号中的一部分；
 - 多路**数字信号**（或携带**数字数据的模拟信号**）可用一条传输通路运载；
 - **交错**可以是比特级，也可以是字符级或更大的粒度
 - **同步**是指时隙被提前分配给数据源且是固定的

同步时分复用

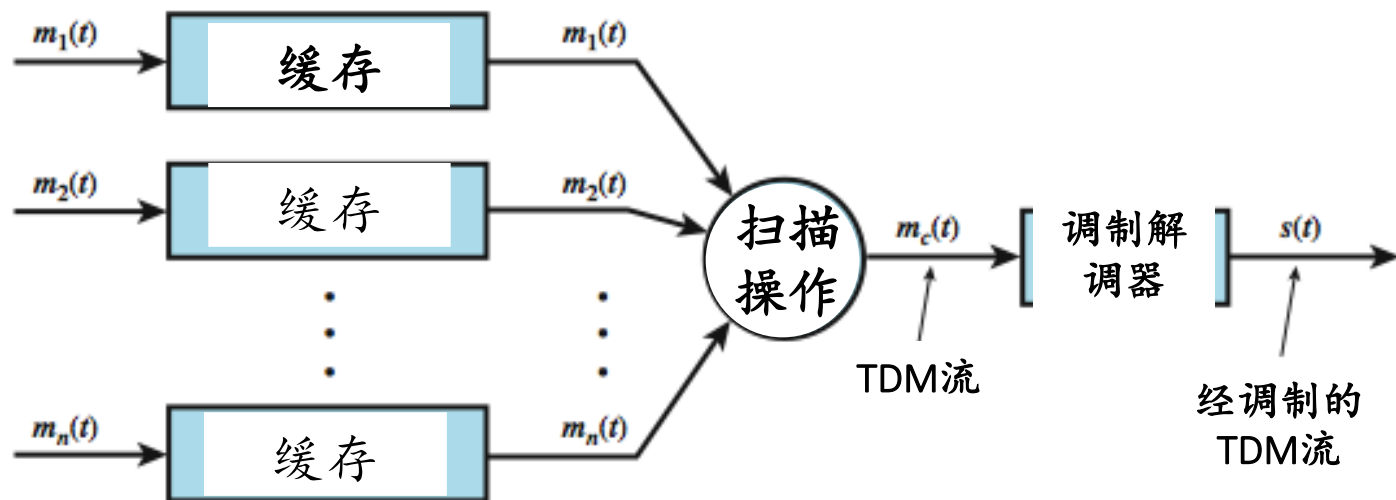


• 同步时分复用

➤ 数据被组织成“帧”：

- 每帧包含一组**循环**使用的时隙；
- 每个数据源可以被分配一个或多个时隙

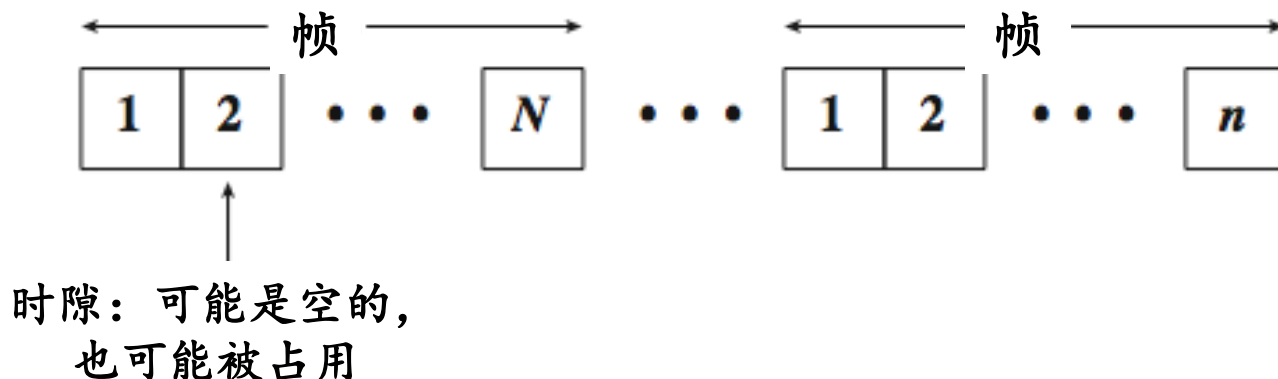
TDM系统发送器



• TDM系统发送器：

- 所有来自数据源的输入数据都被暂时缓存起来；
- 缓存经顺序扫描后，形成复合数字数据流；
(复合数据流的传输率至少是多路数据流的数据率之和)
- 复合数字信号可直接传输，也可经过调制解调器（变成模拟信号）。

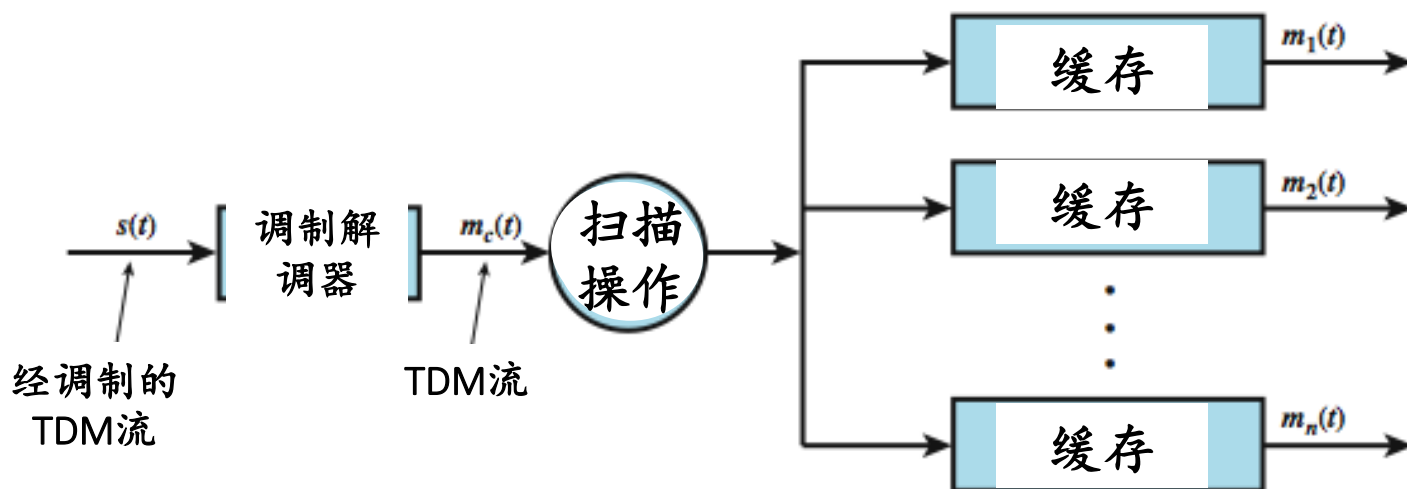
TDM帧



- TDM帧：

- 数组被组织成**帧**的形式；
- 每个帧含有一组**循环使用**的时隙；
- 每个帧中，各**数据源**都有其**对应**的一个或多个**时隙**；
- 从一帧到另一帧，所有为某个数据源指定的**时隙序列**形成一个**信道**；
- **时隙**的长度等于发送器**缓存的长度**，通常为1比特或1字节。

TDM系统接收器



- TDM系统接收器:

- 交错的数据解除复用，并传递到不同的目的缓存中；
- 每个输入数据源，都有一个对应的输出目的点；
- 每个输出点接收到数据率与数据生成时的数据率相同。

TDM链路控制



输入1 **F₁** f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁
输入2 ... F₂ f₂ **f₂** d₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂

输入数据流

... f₂ F₁ d₂ f₁ d₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ d₁ A₂ C₁ F₂ A₁ f₂ F₁ f₂ f₁ d₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ C₁ A₂ A₁ F₂ F₁

复用数据流

F=标志字段；A=地址字段；C=控制字段
d=数据字段的一个八位组；f=FCS字段的一个八位组

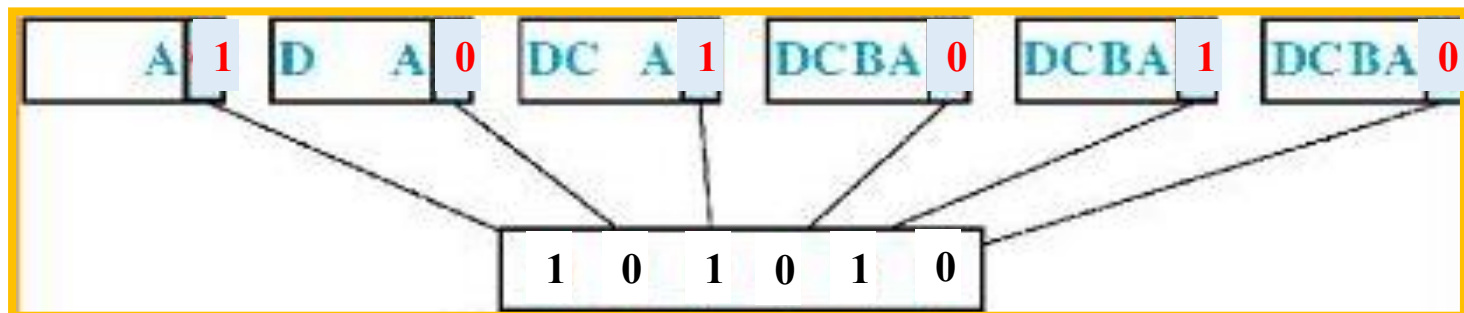
在TDM信道上使用数据链路控制：

- 两个数据源，都使用HDLC；
- 采用字符交错复用技术，混合后单个HDLC失去了自身的完整性；
- 但在接收方，HDLC又被组装起来。

组帧



- 无需链路控制协议管理整个TDM链路，但需要确保帧同步
- 组帧技术：增加数字组帧技术
 - 每个TDM帧附加一个控制比特；
 - 一帧到另一帧，形成可识别的比特模式；
 - 一个典型的交替比特模式 101010.....；
 - 同步搜索模式：接收器将接收到的帧中的比特位与预期的模式相比较，直到这个模式在多个帧里持续传输，建立帧同步



脉冲填充



TDM最困难的问题是**同步不同的数据源**：

- 每个数据源具有**独立的时钟**，时钟偏差会引起同步丢失；
- 输入数据率之间也可能**不存在简单的比例**关系。

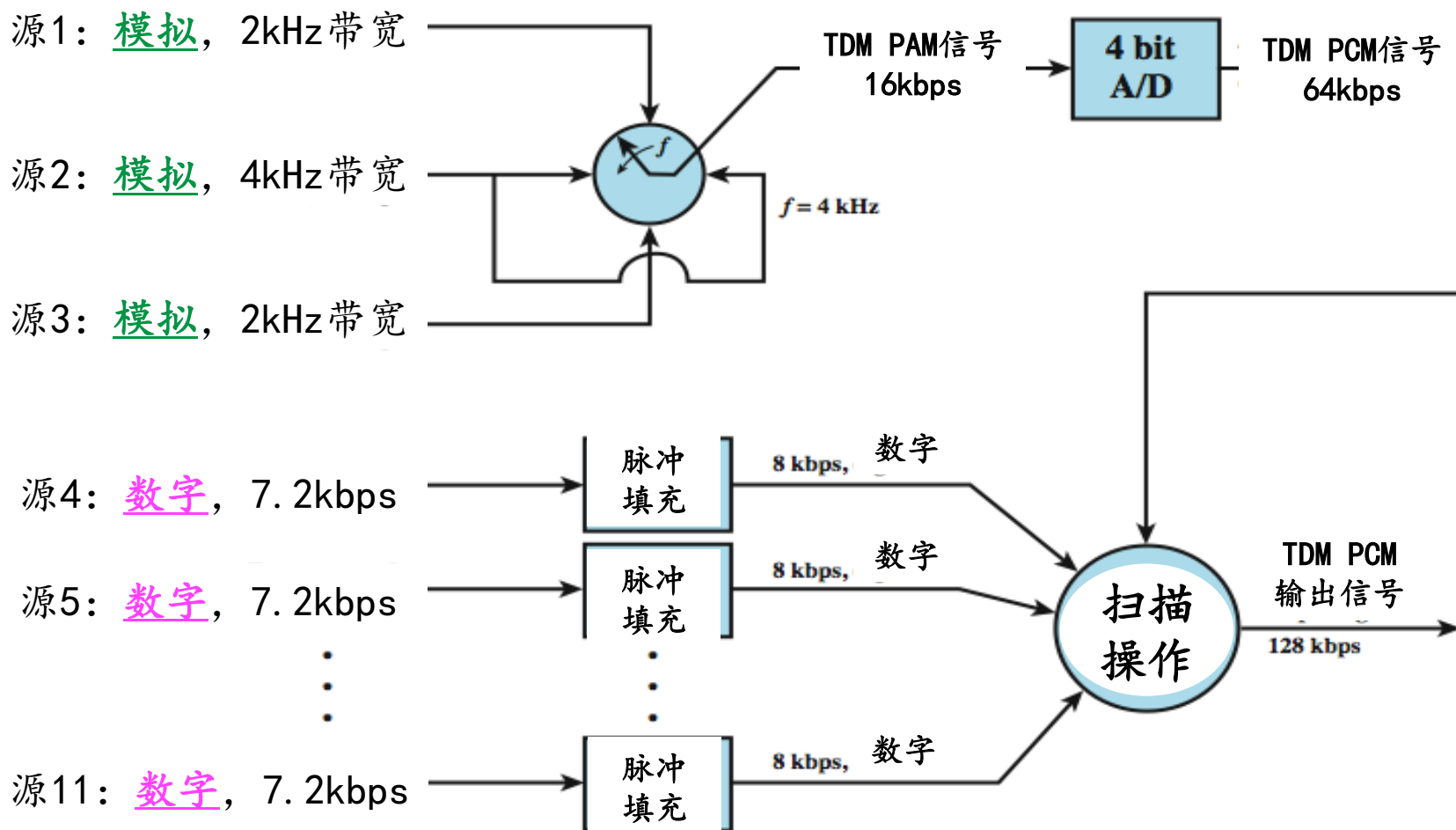
脉冲填充：

- 复用器**输出的数据率**（不包括组帧比特）**高于进入的数据率**之和；
- 在每个**输入信号**中**填充额外的比特或脉冲**，直到输入速度被提高到本地时钟信号速率；
- **填充脉冲**被插入到复用器帧格式的**固定位置**，在分用器删除。

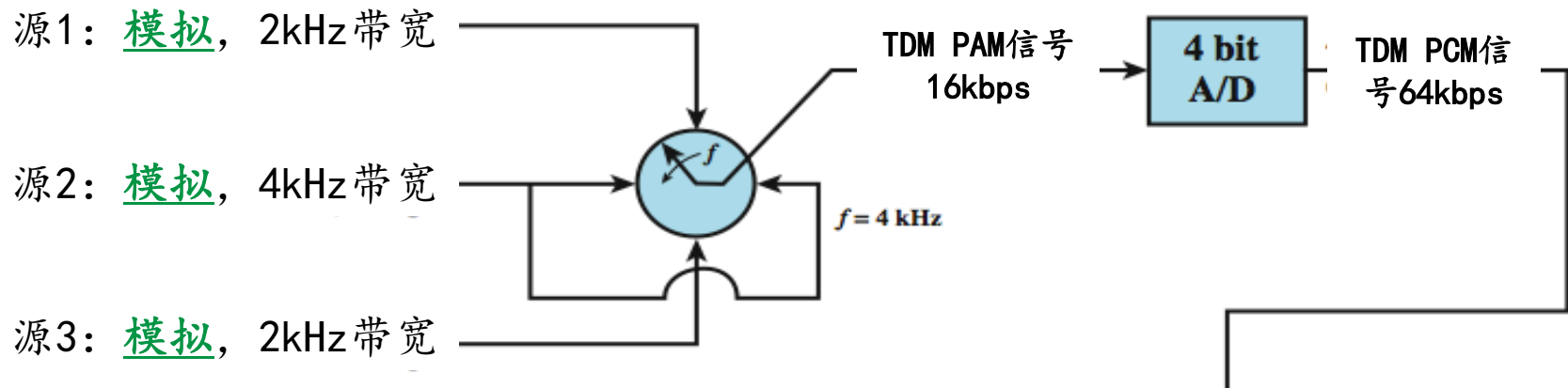
TDM 综合示例



- 使用同步TDM技术复用数字和模拟的11路数据源



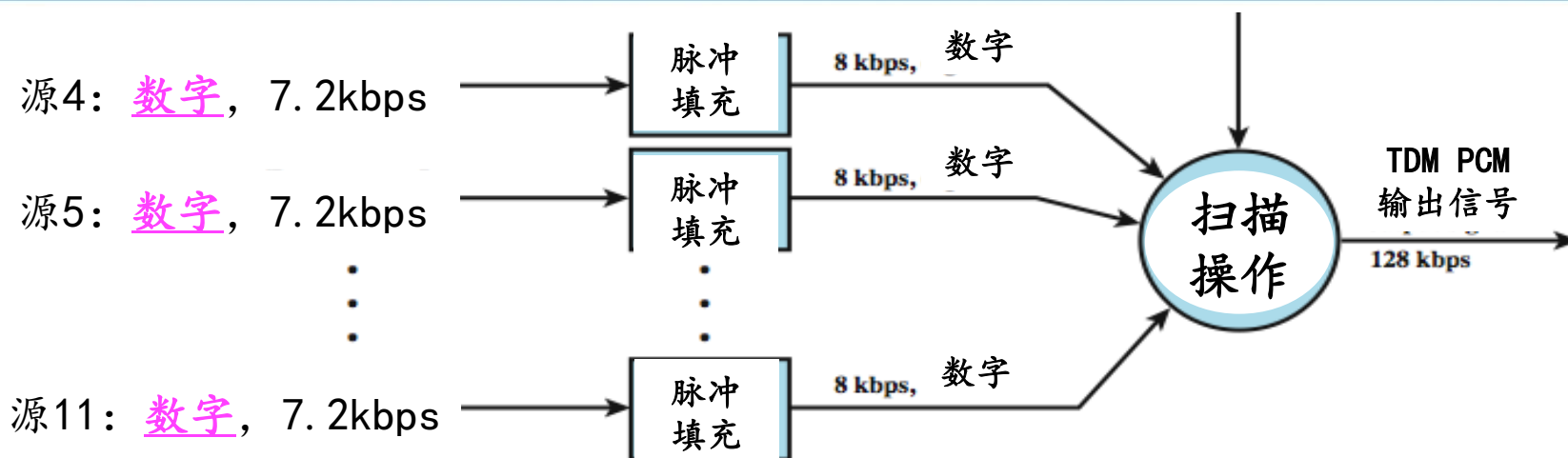
TDM 综合示例



模拟数据源→数字信号:

- **采样**速率是带宽的2倍: 源1和源3为每秒**4000**个样本, 源2为每秒**8000**个样本;
- 模拟样本PAM需要**量化**/数字化, 假设每个样本需要**4比特**表示;
- **扫描速率为4kHz**, 每次从源1和源3中各取一个样本, 从源2中取两个样本;
- 4个样本经过交错形成**16比特**PCM样本;
- 每秒4000次扫描, 合成比特率为**64kbps**。

TDM 综合示例



数字源→脉冲填充:

- 每个源采用脉冲填充, 将数据率提高到8kbps;
- 总数据率达到64kbps。

模拟源、数字源最终汇合:

- 64bps+64kbps→128kbps;
- 每秒扫描4000次, 每次32比特 (包括模拟源最终产生的16比特PCM和数字源最终形成16比特数据)



1. 频分复用
2. 同步时分复用
3. 统计时分复用
4. 非对称数字用户线路

统计时分复用



同步时分复用：

- 会发生多个时隙被浪费的情况

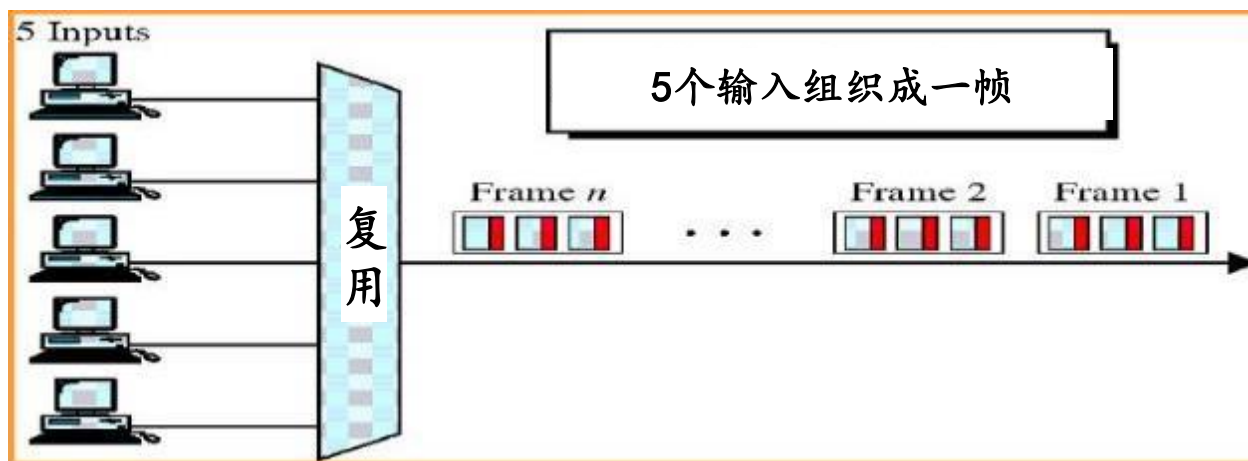
统计时分复用：

- 按需动态分配时隙；
- 复用器扫描输入缓存，搜集数据直到帧被填满，发送该帧；
- 分用器接收到一帧，并将时隙数据分发给合适的输出缓存。

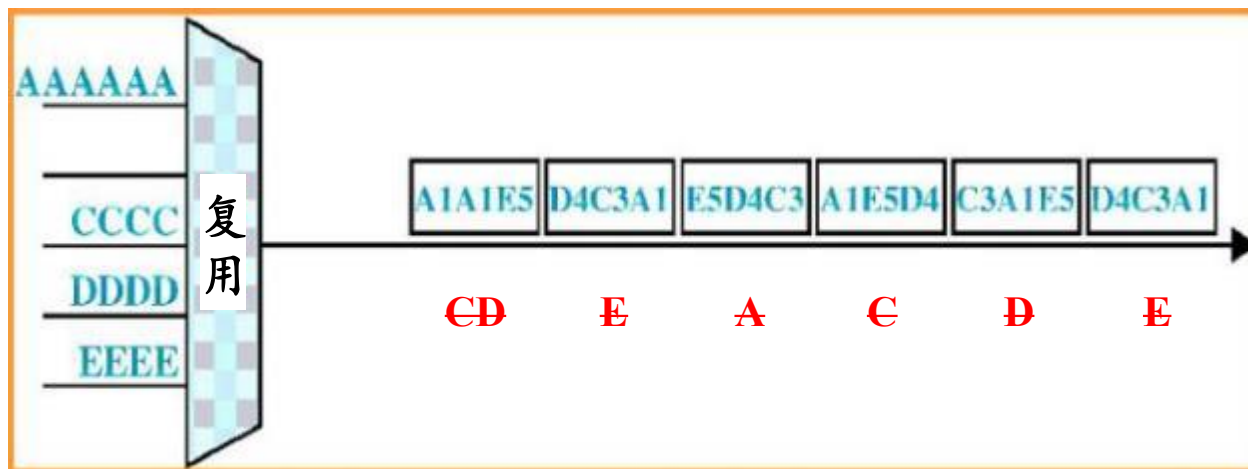
统计时分复用



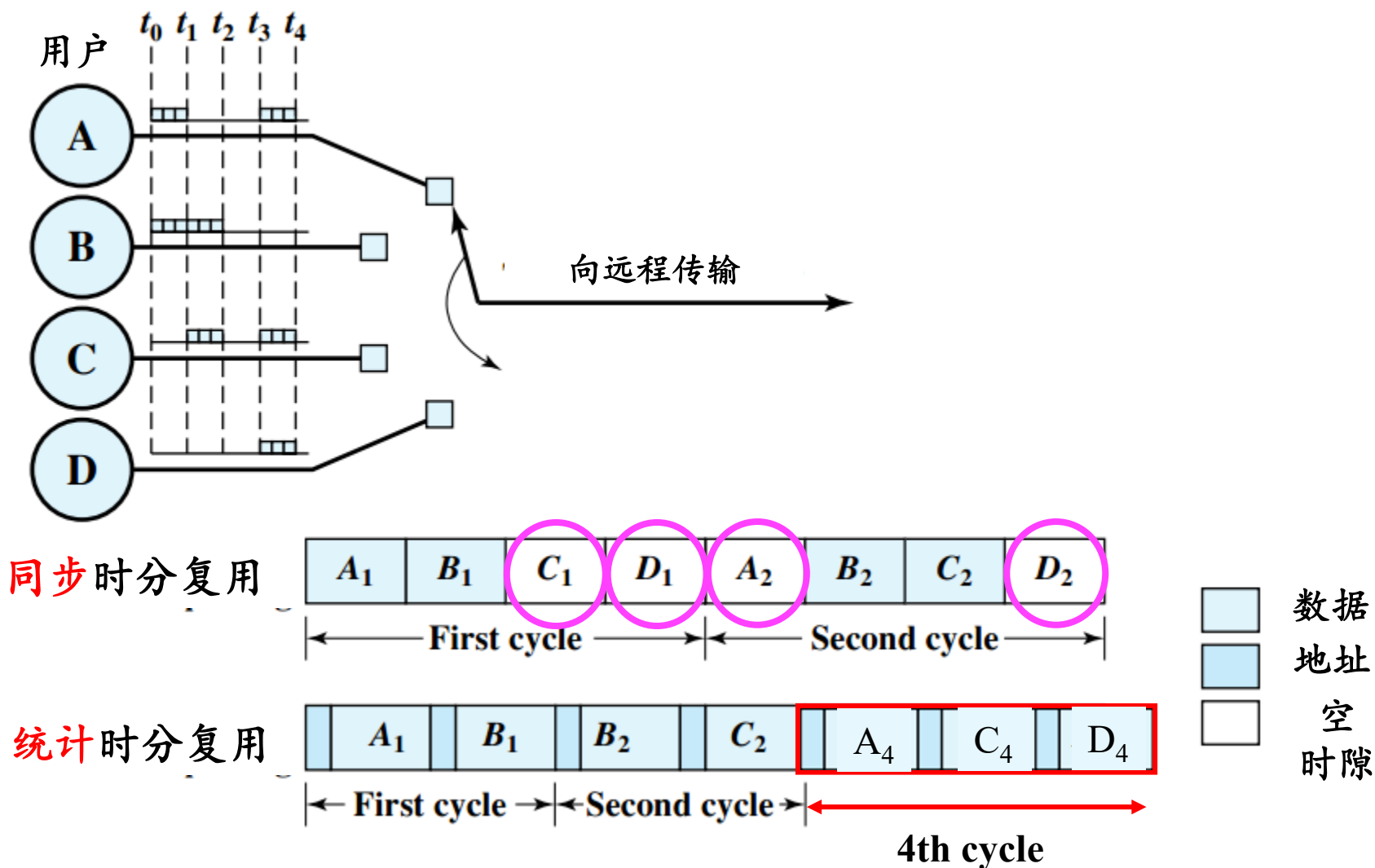
- 同步时分复用



- 统计时分复用



统计时分复用



统计时分复用的应用



电缆调制解调器：

- 让用户通过有线电视网访问因特网；
- 两条专用信道：网络到用户，用户到网络；
- 每个信道被多个用户共享
 - 需要分配每个信道上的传输容量的机制
 - 统计时分复用
- 为了支持有线电视节目和数据信道，电缆频谱分为3端
 - 用户到网络数据: 5 - 40 MHz
 - 电视节目: 50 - 550 MHz
 - 网络到用户数据: 550 - 750 MHz

复用



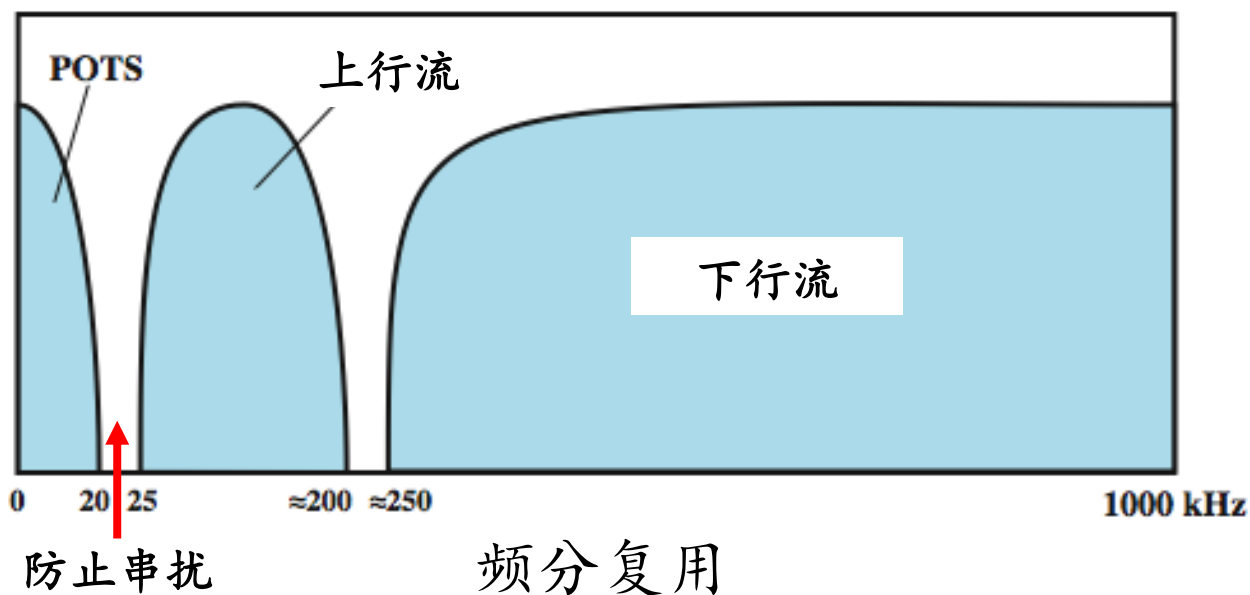
1. 频分复用
2. 同步时分复用
3. 统计时分复用
4. 非对称数字用户线路

非对称用户数字线路 ASDL



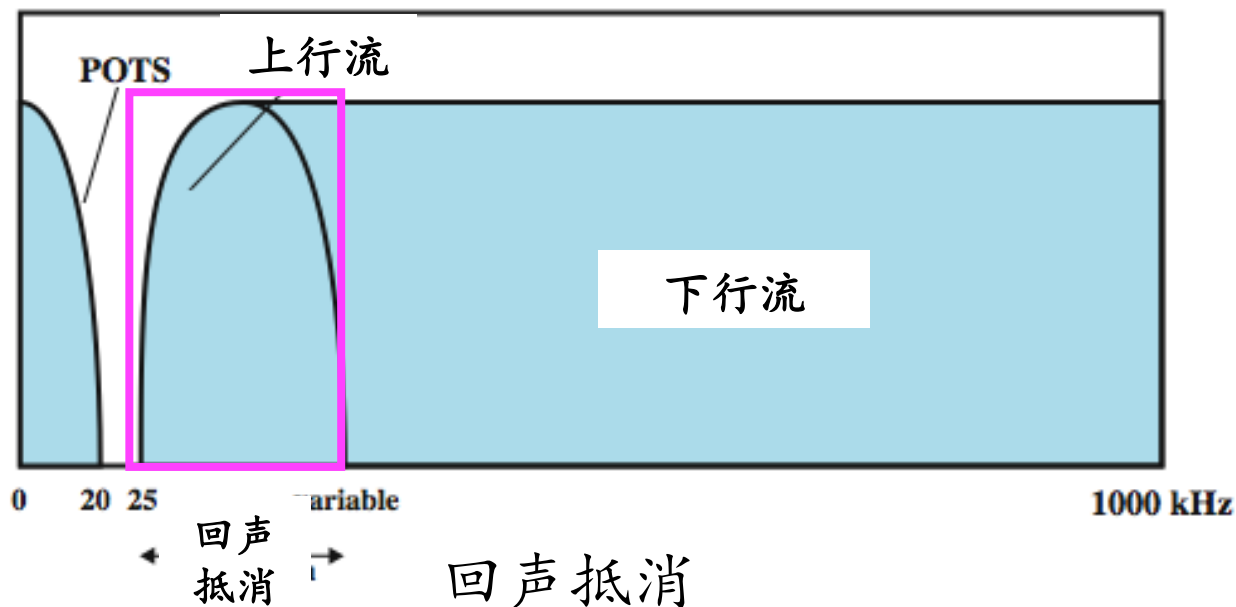
- **高速广域网面临的最大挑战**：用户和网络之间的链路（数字用户线路）
 - 无法为每个客户安置一条电缆；
 - 已有**双绞线**将住宅用户和商业用户与电话网络连接起来；
 - 通过普通电话线提供高速数字数据→ **非对称数字用户线路**。
- **非对称数字用户线路（ASDL）**
 - **非对称**：ASDL提供的下行流（电信公司到用户）容量高于上行流（用户到电信公司）容量；
 - ASDL采用**频分复用技术**充分利用了双绞线的1MHz容量。

非对称用户数字线路 ASDL



- 最低的25kHz为语音保留，称为POTS（传统电话业务）；
- 分配上行流和下行流时，采用频分复用或者回声抵消。
- 上行流/下行流内部使用频分复用。

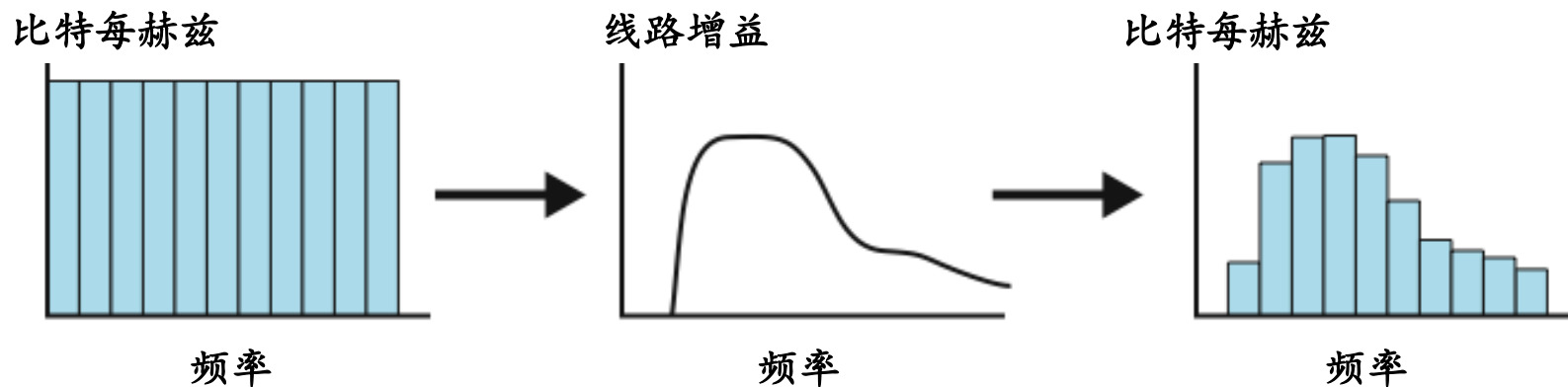
非对称用户数字线路 ASDL



- 使用回声抵消：

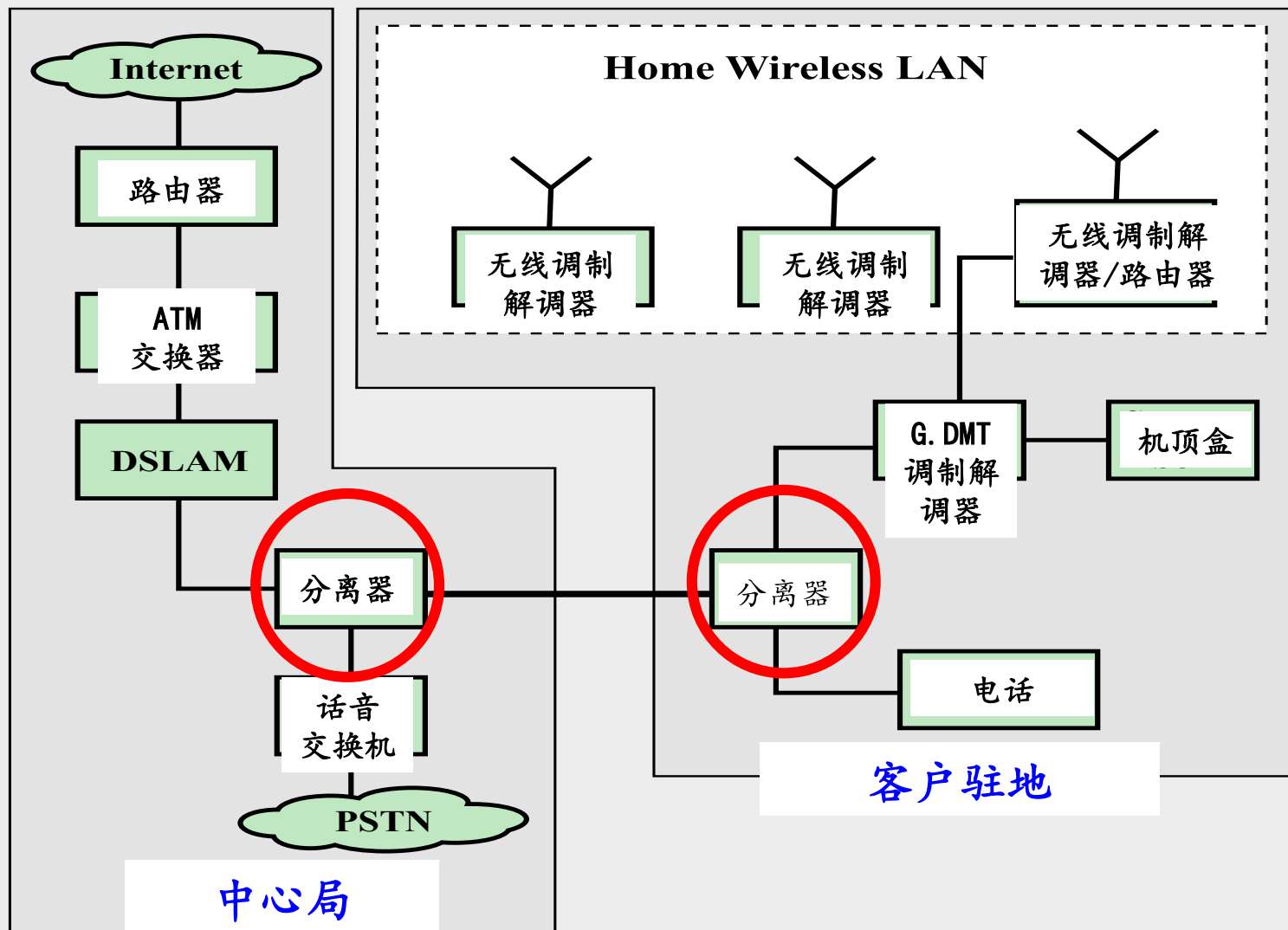
- 频率越高，衰减越大。使用回声抵消，更多的下行流可以位于较好的频谱区；
 - 在改变上行流容量时具有更大的灵活性（重叠区扩展）。
-
- 回声抵消：允许同一条传输线路上同时传输两个方向的信号，发送器必须从接收到的信号中减去自己的传输回声，已回复对方的信号。

离散多音调 DMT



- 不同频率使用多个载波信号；
- 有效频带被划分为 4kHz 子信道；
- DMT调制解调器在每路信道上发送测试信号，判断信噪比；
- 根据信噪比分配比特，信号质量好的信道多分配一些比特，信号质量弱的信道少分配一些比特。

DSL宽带接入配置



课程习题（作业）

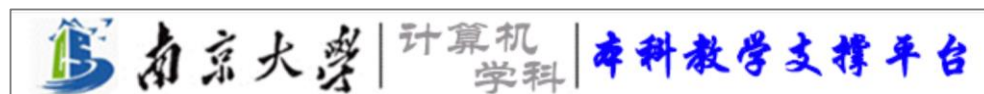


课本（截止日期：6月2日晚23:55）：

8.9 ; 8.13 ; 8.14 (a) (b) (c)

提交方式：<http://cslabcms.nju.edu.cn>（本科教学支撑平台）

第 11 周 05月10日-05月16日	
主题	
数据通信作业-第8章	



提交截止时间

2021年06月2日 星期三 23:55

- 命名：学号+姓名+第*章。
- 若提交遇到问题请及时发邮件或在下一次上课时反馈。

课程习题（作业）



8.9 24路语音被复用，并在双绞线上传输，FDM需要多大带宽？假设带宽有效率（数据率与传输带宽之比值，在第5章中介绍）是1 bps/Hz，那么使用PCM的TDM需要的带宽为多少？

8.13 10条9600 bps的线路TDM进行复用。忽略其额外开销比特，那么同步TDM所需的总容量为多少？假设我们希望将线路的平均利用率限制在0.8，再假设每条线路有50%的时间处于忙状态，那么统计TDM所需的总容量为多少？

8.14 用同步非统计TDM复用4条4.8 kbps和1条9.6 kbps的信号到一条专用线路上传输。在组帧方面，每48个数据比特插入一个7比特块（模式1011101）。帧重组算法（在接收端的分用器上）如下：

1. 随机选择一个比特位置。
2. 假设7比特块从该位置开始连续插入。
3. 观察每个帧中的这个7比特块，共观察12个连续的帧。
4. 如果12个块中有10个与组帧模式相匹配，则系统“帧同步”；如果不是，则向前一个比特的位置，然后返回第2步。

a. 画出复用后的比特流（注意9.6 kbps的输入可以视为两个4.8 kbps输入）。

b. 在复用后的比特流中，额外开销所占的百分比是多少？

c. 复用后的输出比特速率是多少？

~~d. 帧重组的最小时间是多少？最大时间是多少？平均时间又是多少？~~

8.15 有一个公司分布在两个地区，公司的总部与它的工厂相距

总结



问题？

殷亚凤

yafeng@nju.edu.cn

<http://cs.nju.edu.cn/yafeng/>

Room 901, Building of CS

