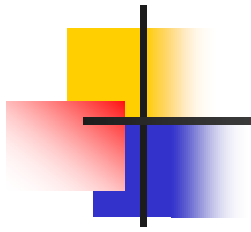


第6章

带宽利用



为达到特殊的目的，带宽利用是可用带宽的合理使用。

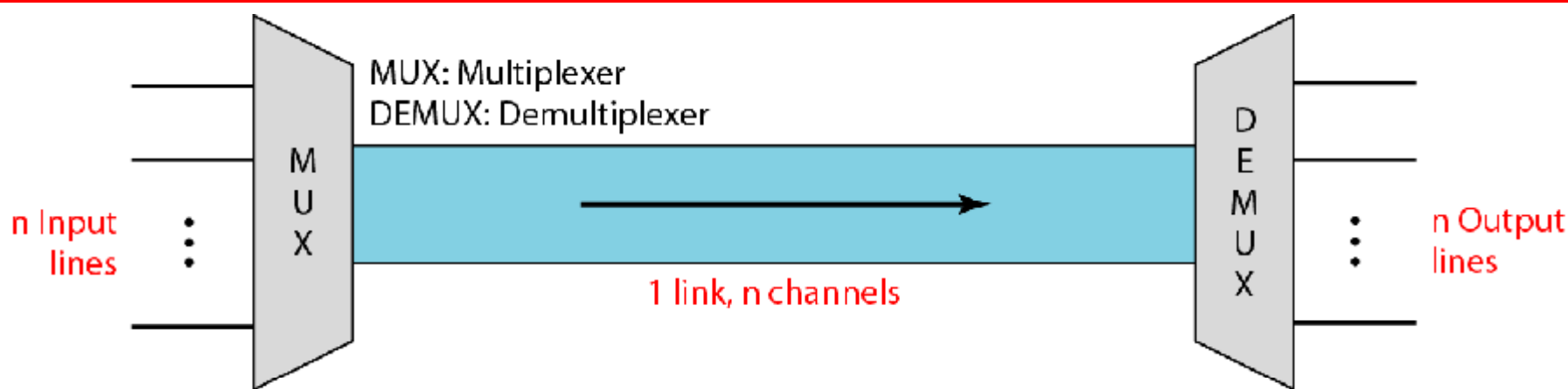
复用（**multiplexing**）可获得效率，扩频（**spreading**）可达到保密与抗干扰（插入冗余扩展通道的带宽）

6-1 复用

p只要连接两台设备的介质带宽比设备间传输所要求的带宽高时，该链路就可以被共享；

p复用就是允许同时通过一条数据链路传输多个信号的一组技术

图6.1 链路划分为通道



- N条线路共享一条链路（物理通路）的带宽
- 复用器MUX：将多条流量组成一个单独的传输流
- 分离器DEMUX：接收传输流，并进行分解，然后直接发送到对应的线路上
- 通道channel：在给定一对设备之间传送传输信号的链路的一个部分（通常指逻辑上独立的一部分）

图6.2 多路复用分类（前两种用于传模拟信号，后一种用于数字信号）

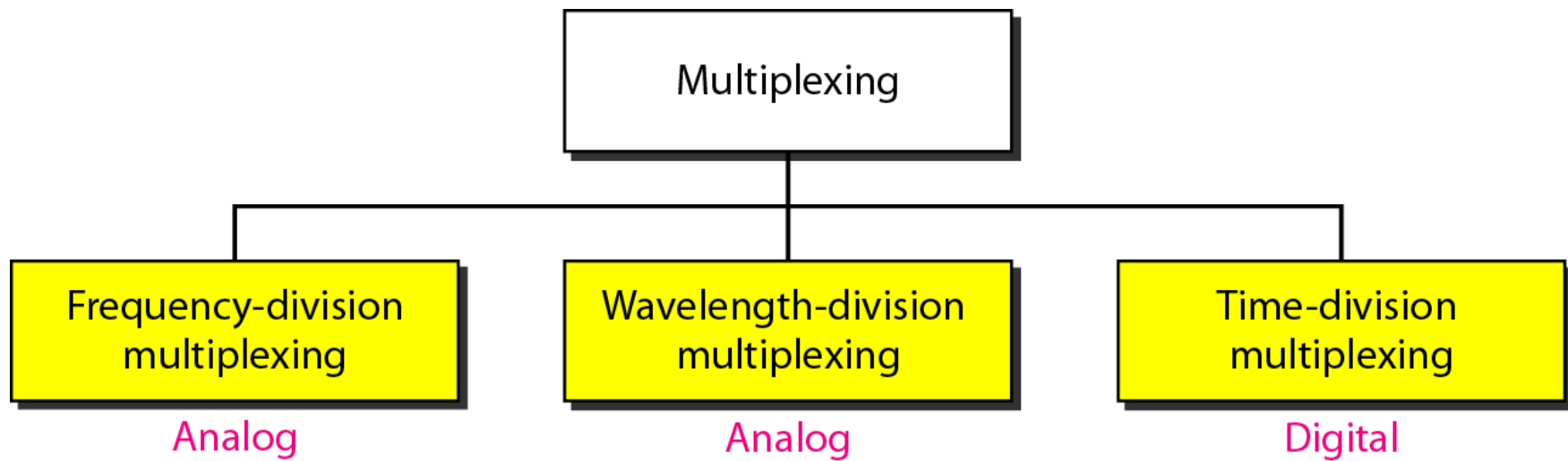
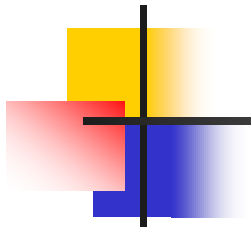


Figure 6.3 频分多路复用FDM

- p 链路带宽大于要传输的信号带宽之和时使用；
- p 每个发送设备生成的信号用于调制不同的载波频率，调制后的信号再被合并成一个复合信号；
- p 载波频率之间的频率差必须能够容纳调制信号的带宽；
- p 通道之间由防护频带进行隔离，以防止信号重叠





FDM是用来组合模拟信号的模拟多路复用技术（要传送数字信号，必须将其转换成模拟信号）。

图6.4 FDM 过程

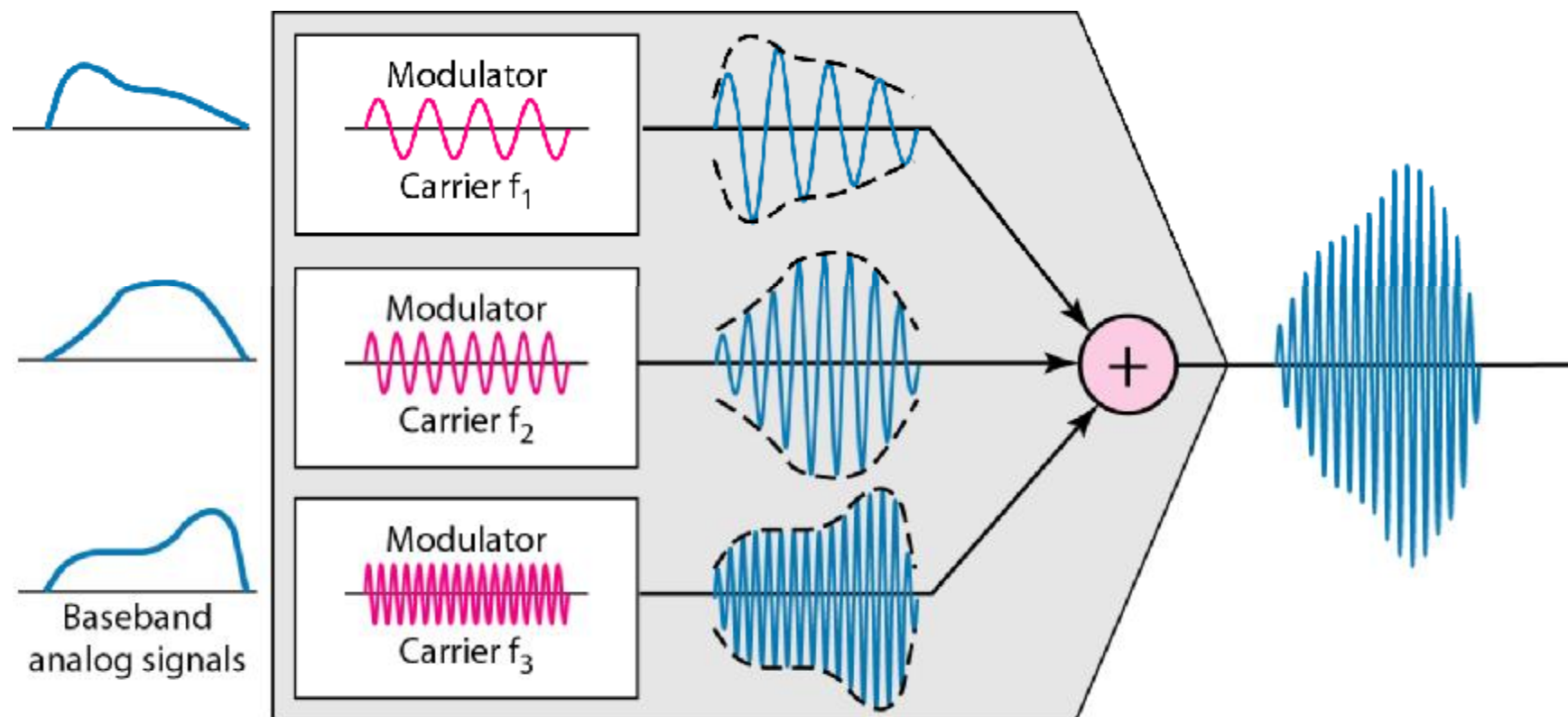
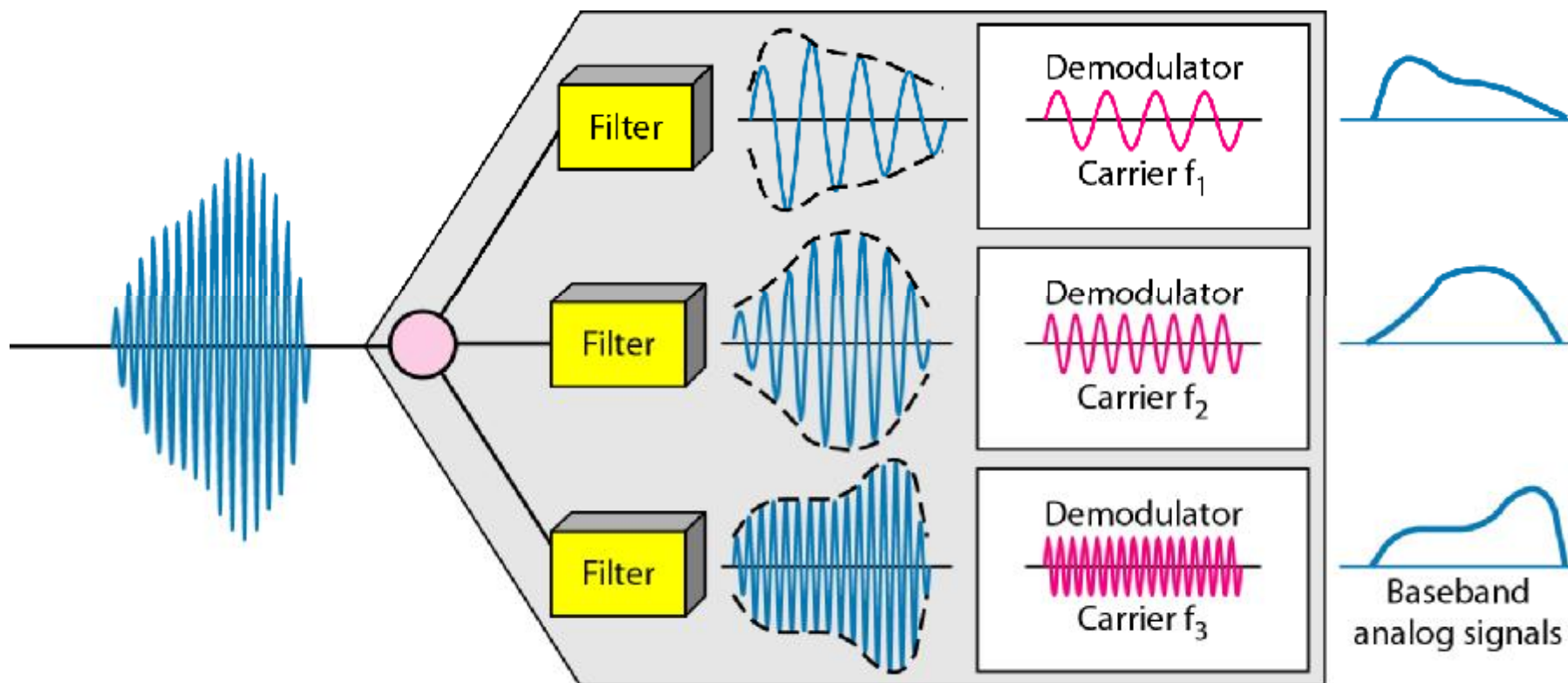


图6.5 FDM分离示例（滤波器+解调器）





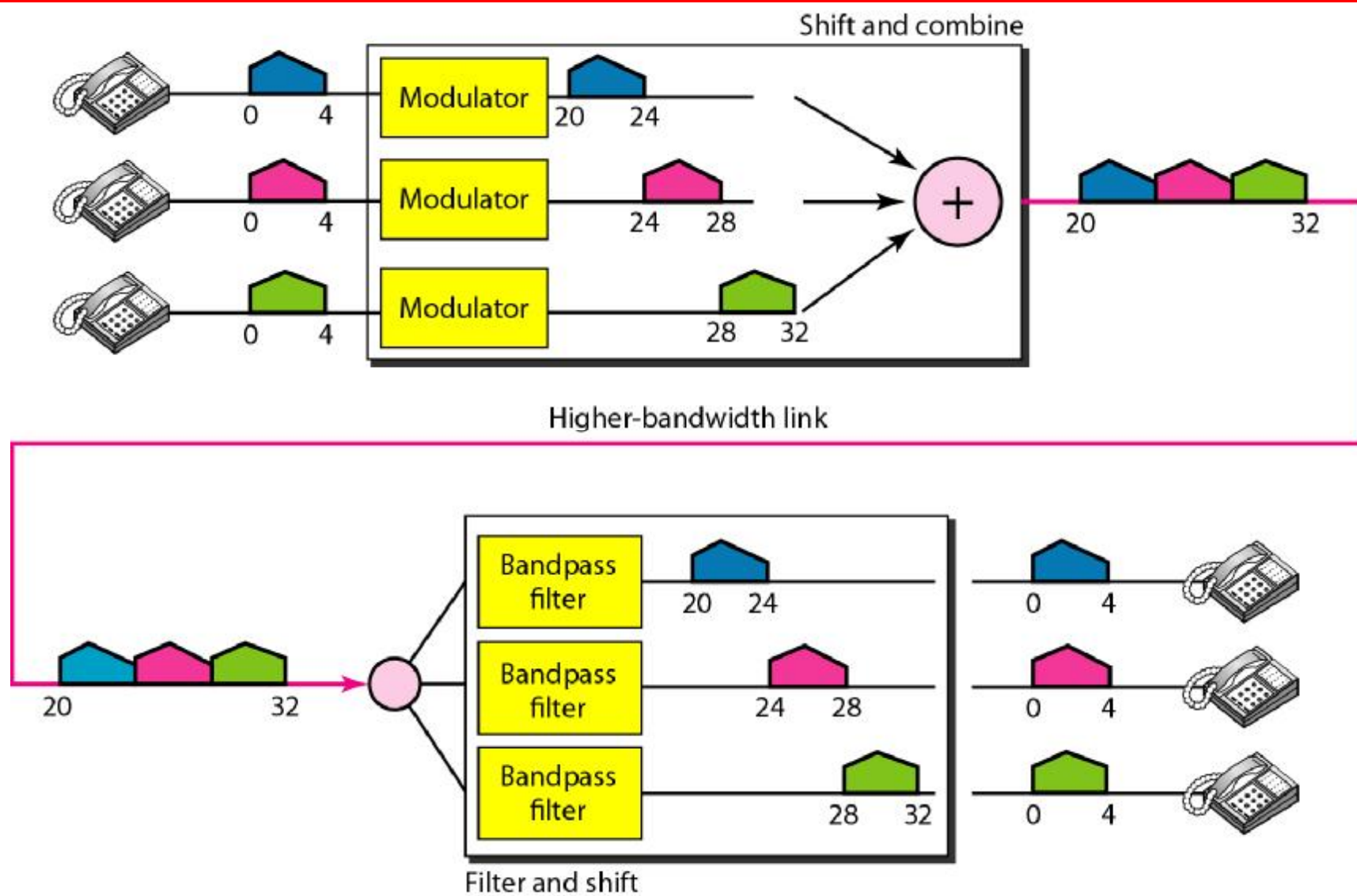
例6.1

假定一个语音通道占用的带宽是4kHz，要将三个语音通道合并到一条带宽为12kHz（20~32kHz）的链路，使用频域图表示这一配置过程，这里假定不使用防护频带。

解：

将三语音通道平移（调制）到不同的带宽，如图6.6所示。第一个信道使用20~24kHz的带宽，第二个信道使用24~28kHz的带宽，第三信道使用28~32kHz的带宽，如图6.6所示将它们合并。

图6.6 例6.1





例6.2

有5个通道，每个通道的带宽是100kHz，全部进行多路复用。如果通道之间需要10kHz的防护频带以防止干扰，则链路的最小带宽是多少？

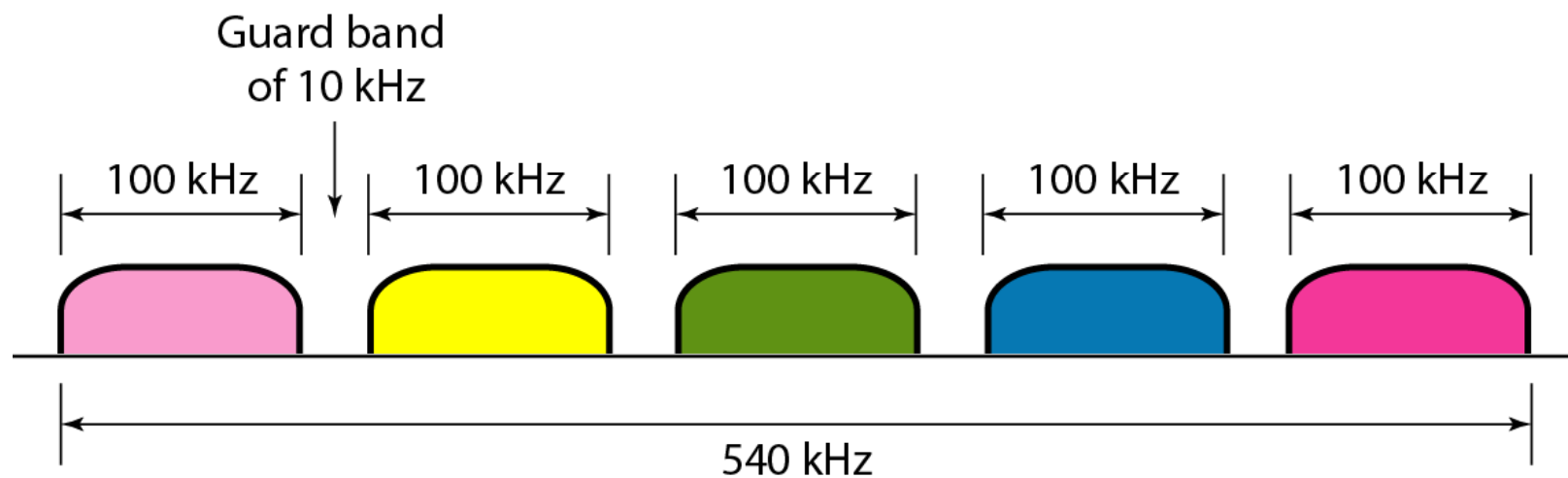
解：

对于5个通道，至少需要4个防护频带。这意味着至少需要带宽：

$$5 \times 100 + 4 \times 10 = 540\text{kHz}$$

如图6.7所示。

图6.7 例6.2





例6.3

有4个数据通道（数字的），每个通道的传输速率是1Mbps，使用1MHz的卫星信道，使用FDM设计一种合理的配置。

解：

卫星信道是模拟的，将其划分为4个通道，每个通道的带宽是250kHz。对每个1Mbps的数字信道进行调制，每4位调制为1Hz。一种解决方案是16-QAM，图6.8描述了一种可能的配置方案。

图6.8 例6.3

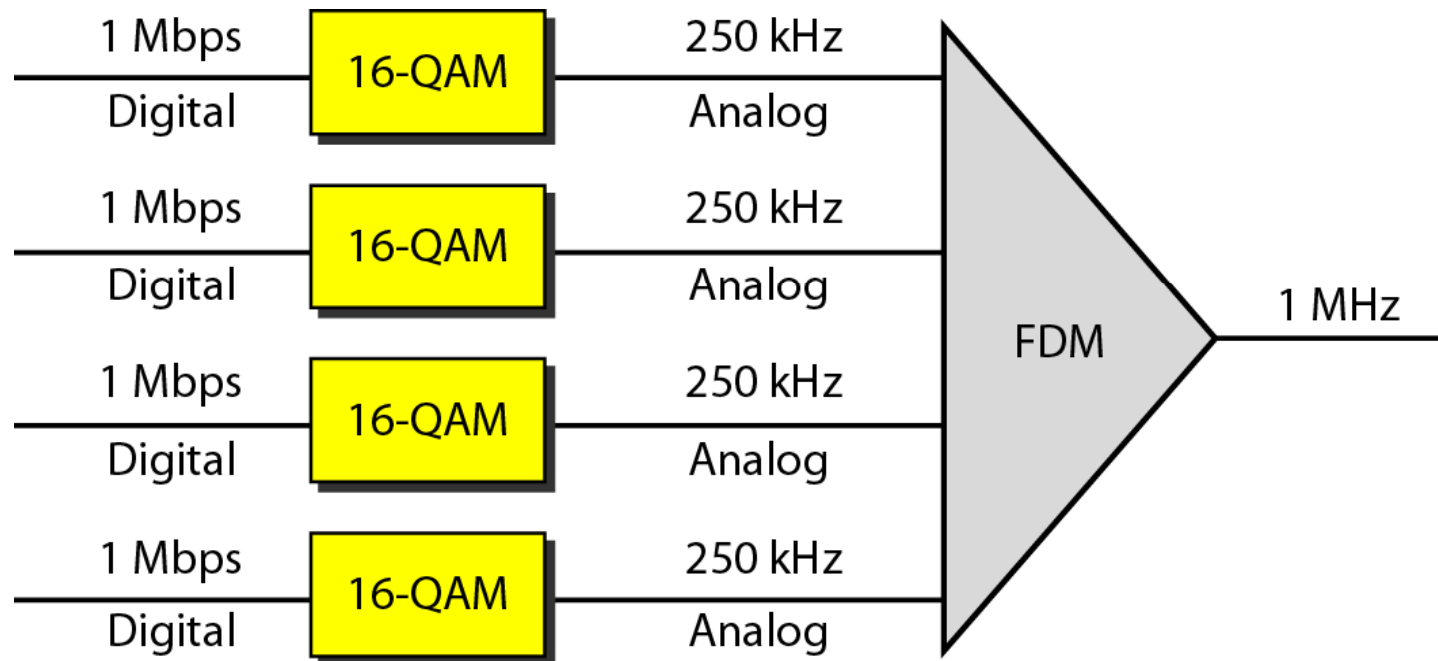
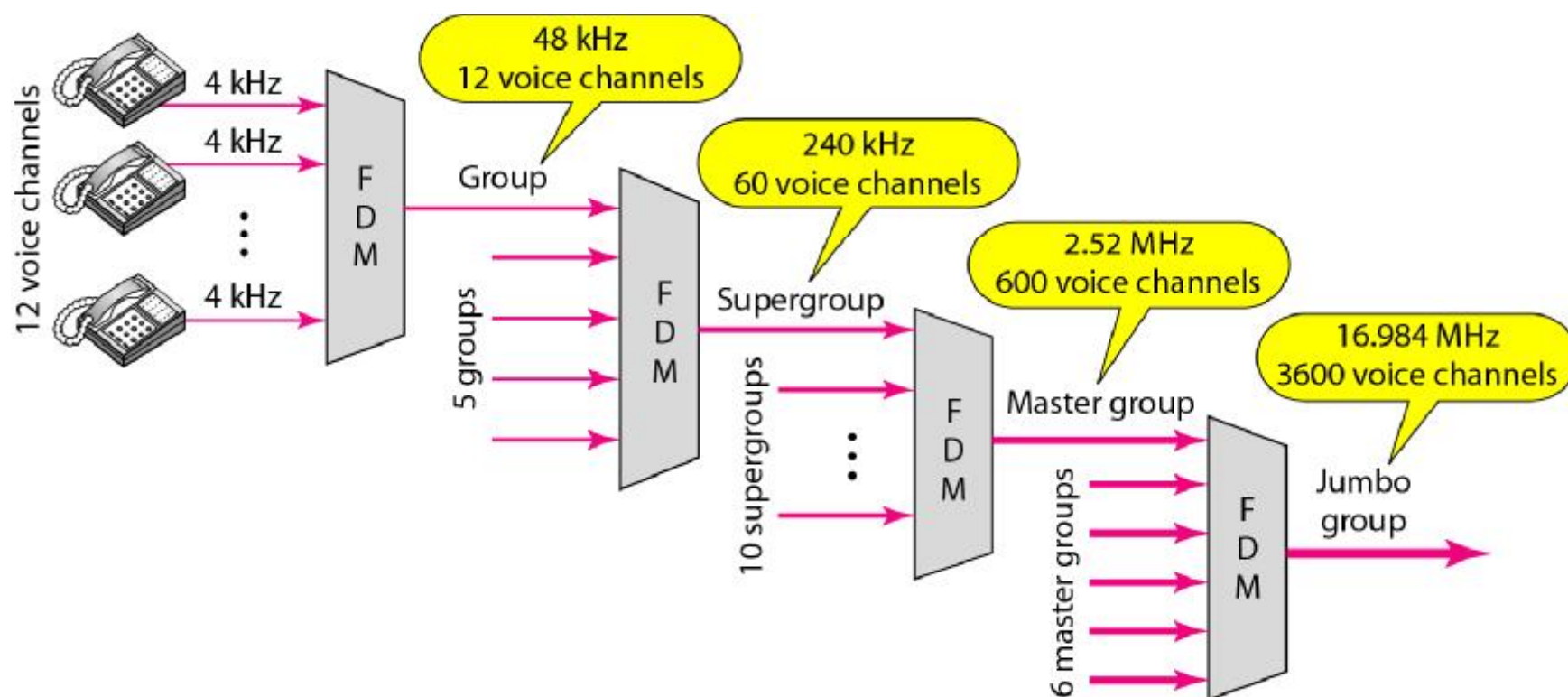


图6.9 模拟层次结构（电话公司模拟载波系统：将低带宽线路的信号复用到更高带宽的线路上）

p群->超群->主群->巨群（后两者需要防护频带）





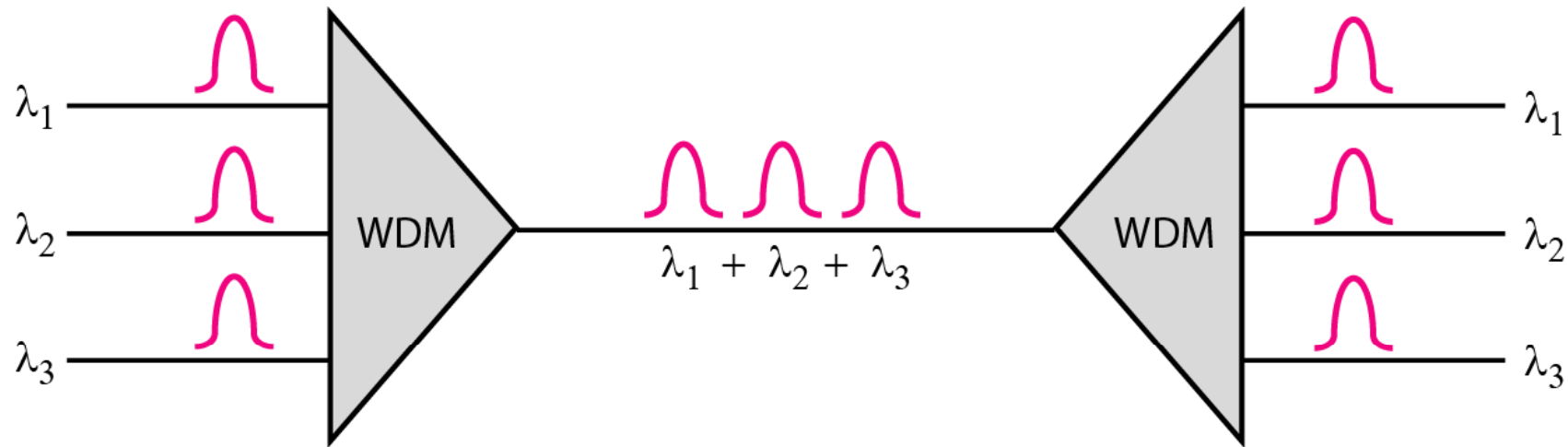
例6.4

高级移动电话系统（Advanced Mobile Phone System，AMPS）使用2个波段，第一个波段是824~849MHz用于发送，而869~894MHz用于接收。每一个用户在每个方向上都有30kHz带宽。3kHz语音使用FM调制，生成30kHz的调制信号。试问，可以有多少人同时使用移动电话？

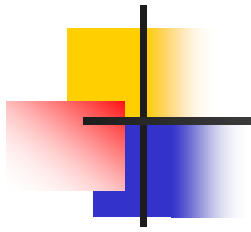
解：

每个波段是25MHz，如果将25MHz按30kHz划分，可以得到833.33个。实际上，波段划分为832通道，在这些通道中，42个通道用于控制，意味着只有790个通道可用于移动电话用户。

图6.10 波分多路复用WDM

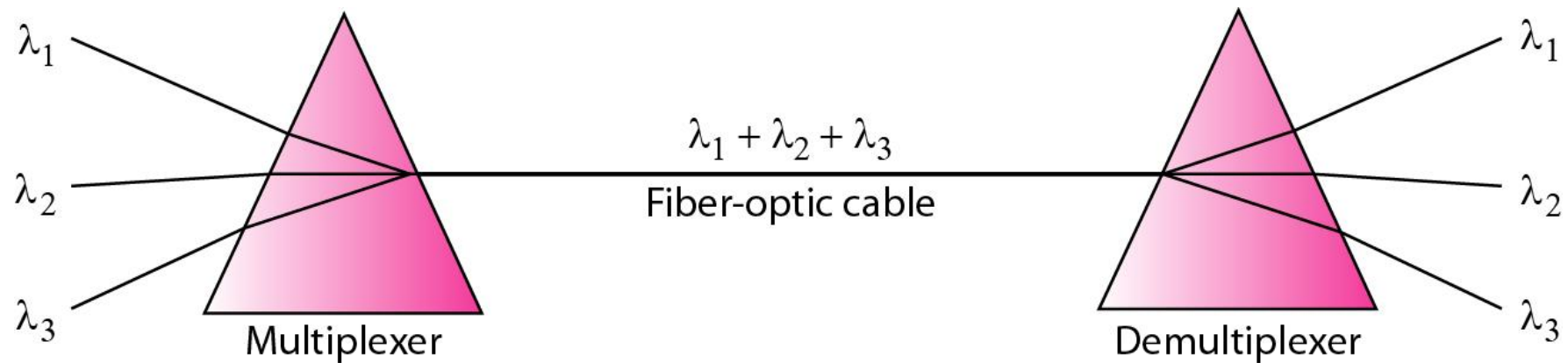


- 用于具有高数据速率传输能力的光缆
- WDM在概念上与FDM相同，其原理也一样
- 差别是这些频率非常高



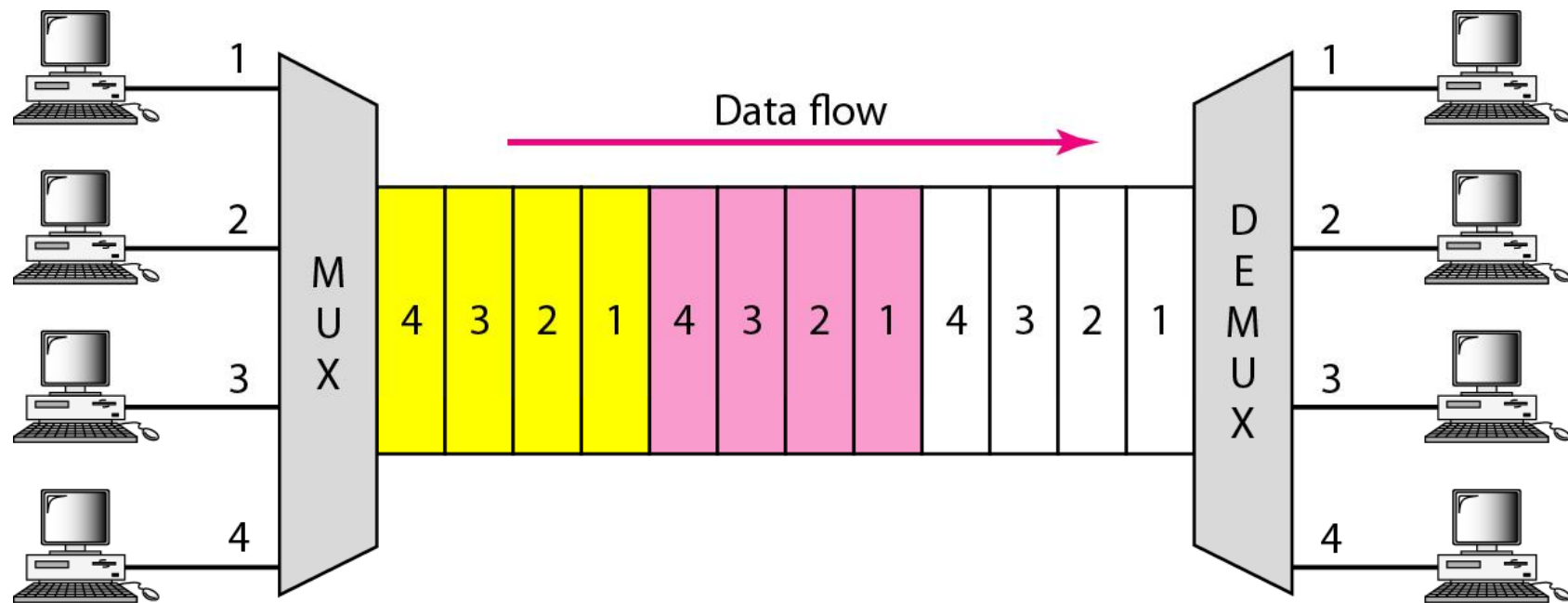
WDM是合并多个光信号的模拟多路复用技术。

图6.11 棱镜作为波分复用中的复用和分离器

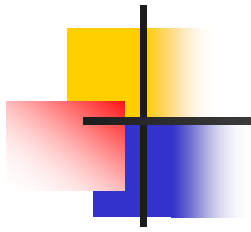


- 在复用器上将多个光源组成单一光信号
- 在分离器上做相反的处理
- 光源组合与分离由棱镜完成（根据入射角和频率将几束光合成一束光）
- WDM的一种应用是同步光纤网络（**SONET**）
- DWDM密集波分复用通过使相邻通道之间的频率更接近来复用大量的通道

图6.12 时分复用TDM

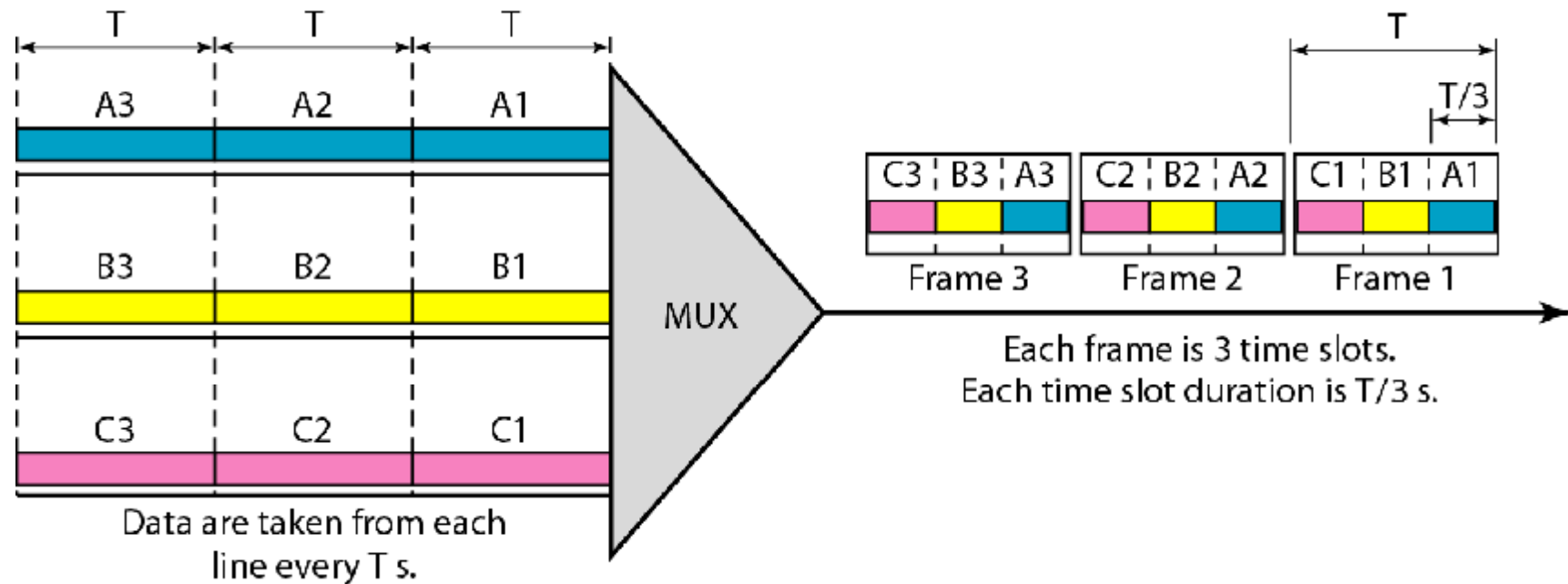


- ❑ TDM是一个数字化的过程，它允许多个连接共享一条高宽链路
- ❑ TDM在时间上共享，每个连接占用链路的一个时间片段-时隙
- ❑ TDM将不同源端的数字数据合并到一个时间共享的链路上。

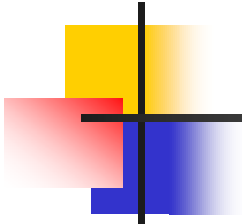


TDM是组合多个低速的通道为一个高速通道
数据的**数字**复用技术。

图6.13 同步时分复用 (*Synchronous time-division multiplexing*)



- 每个输入连接的数据流被划分为多个单元，每个输入占用一个输入时隙
- 一个单元可以是一位，一个字符或一个数据块
- 每个输入单元成为一个输出单元，占用一个输出时隙；但每个输出单元的持续时间是输入单元持续时间的 $1/n$ （？）



在同步TDM中，链路速率是单个连接数据速率的 n 倍，并且分给每个单元连接的持续时间是单元持续时间的 $1/n$

帧由多个时隙组成的一个完整的循环构成，
每个时隙专用于一个发送设备



例6.5

在图6.13中，每个输入连接的数据速率是**1kbps**，一个单元为1位，试确定：（a）每个输入单元的时隙（b）每个输出单元的时隙（c）每个帧的时隙？

解：

- a.** 每个输入连接的数据速率是1kbps，这就是说位持续时间是 $1/1000\text{s}$ ，即1ms。输入时隙的持续时间是1ms（与位持续时间相同）。
- b.** 每个输出时隙的持续时间是输入时隙的 $1/3$ ，这说明输出时隙的持续时间是 $1/3\text{ms}$ 。
- c.** 每个帧具有三个输出时隙，因此一个帧持续时间是 $3 \times 1/3\text{ms}$ ，即1ms。

例6.6

图6.14表示了4个输入数据流和1个输出数据流的同步TDM，数据单元是一位。试求：（a）输入位的持续时间；（b）输出位的持续时间；（c）输出比特率；（d）输出帧的速率。

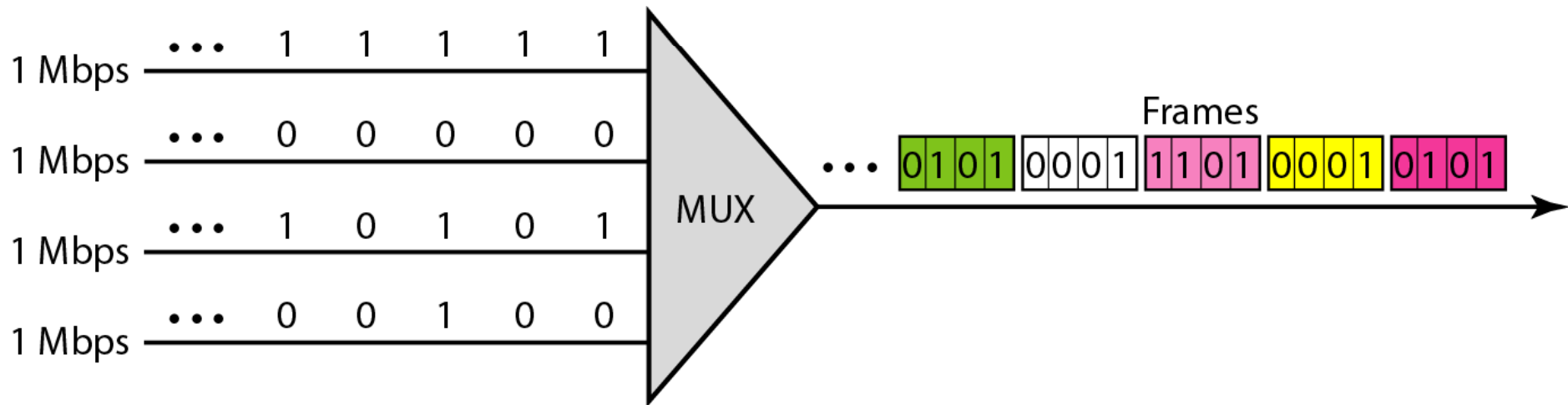


图6.14 例6.6



例6.6 (cont.)

解:

- a. 输入位的持续时间是速率的倒数: $1/1\text{Mbps} = 1\mu\text{s}$ 。
- b. 输出位持续时间是输入位持续时间的四分之一, 即 $1/4\mu\text{s}$ 。
- c. 输出比特率是输出位持续时间 $1/4\mu\text{s}$ 的倒数, 即 4Mbps 。这也可从输出速率是输入速率的4倍这一事实推出, 即 $\text{输出速率} = 4 \times 1\text{Mbps} = 4\text{Mbps}$ 。
- d. 帧速率常与任一输入速率相同, 因此帧速率是每秒 1,000,000 帧。因为我们发送每帧 4 位, 所以我们可用复用证明前一结论, 用每帧位的个数来证明帧速率。



例6.7

将4个1kbps的连接一起复用，每个单位为1 位。试求：

- (a) 复用前一位持续的时间； (b) 链路传输速率；
(c) 时隙持续时间； (d) 一帧持续时间。

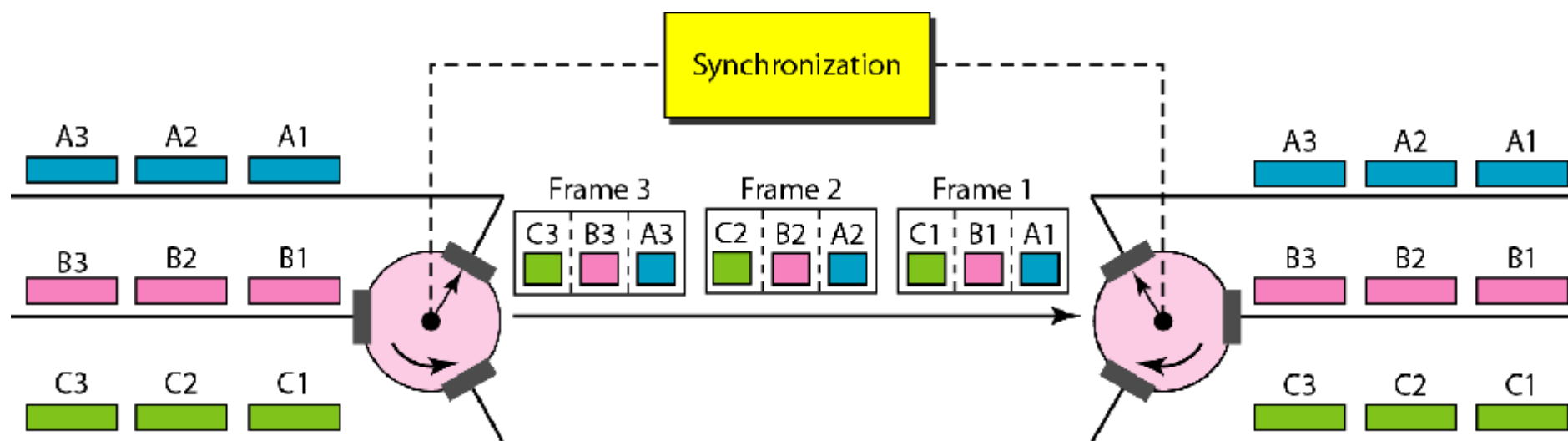
解：

- a. 复用前一位持续时间是 $1/1\text{kbps}$ ，即 0.001s （ 1ms ）。
- b. 链路速率是连接速率的4倍，即 4kbps 。
- c. 每个时隙持续时间是复用前每位持续时间的 $1/4$ ，即 $250\mu\text{s}$ 。
- d. 帧持续时间总是与复用前一个单元持续时间相同，即 1ms 。我们也可以用另一方法计算，此时每帧有4个时隙，所以一个帧持续时间是 $250\mu\text{s}$ 的4倍，即 1ms 。

图6.15 交替

pTDM可以看作两个快速旋转的开关，在复用一侧，当开关在一个连接前打开时，连接即有机会向通道上发送一个单元，这称为交替；

p在信号分离一侧，开关在某个连接前打开时，连接即有机会从通道中接收一个单元





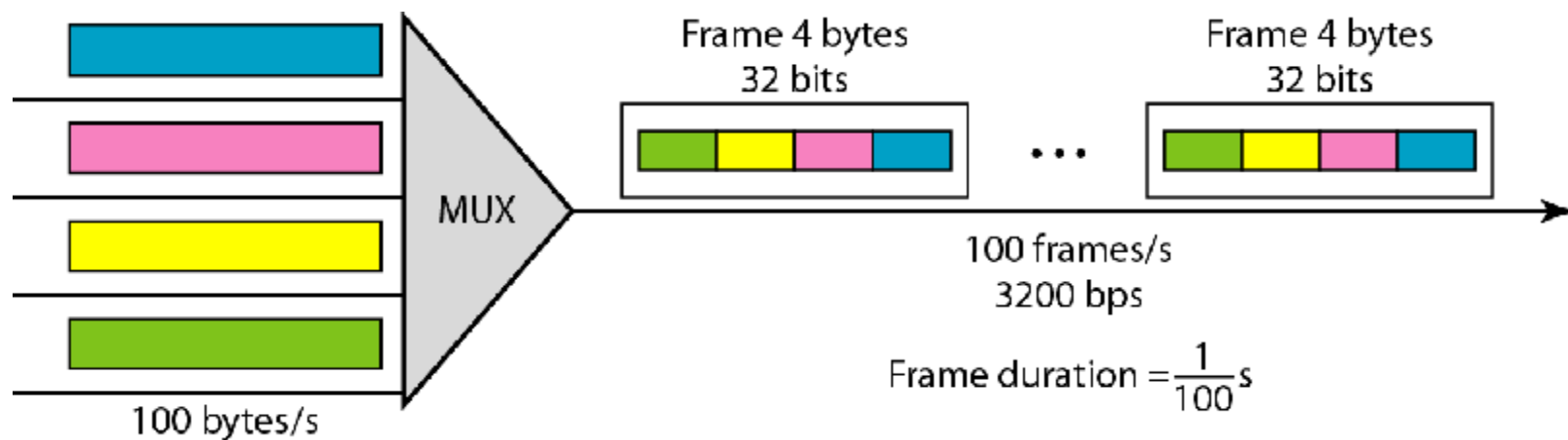
例6.8

4个通道使用TDM实现复用。如果每个通道的发送速度是100字节/秒，每个通道复用1字节，试画出链路中帧的传输情况，说明帧的大小、帧的持续时间、帧传输速度以及链路的比特率。

例6.8 (cont.)

解:

复用器如图6.16所示。每帧从每个通道中传送1字节，所以每个帧的大小是4字节，即32位。因为每个通道发送速率是100字节/秒，一帧从每个通道中运送一个字节，帧传输速率必须是每秒100帧。所以，每帧的持续时间是1/100秒。链路每秒钟运送100帧，每帧包含32位，所以比特率是 100×32 ，即3200bps。这实际上是每个通道的比特率（每个通道比特率是 $100 \times 8 = 800\text{bps}$ ）的4倍。





例6.9

复用器使用2位的时隙合并4个100kbps。试画出任意4种输入的输出结果。帧速率是多少？帧的持续时间是多少？比特率是多少？位持续时间是什么？

解：

图6.17画出了任意4种输入的输出结果。由于每帧包含每个通道的2位，所以链路每秒钟传输50,000帧。每帧的持续时间是 $1/50,000\text{s}$ ，即 $20\mu\text{s}$ 。帧速率是50,000帧/秒，每帧运送8位，比特率是 $50,000 \times 8 = 400,000\text{bps}$ ；位持续时间是 $1/400,000\text{s}$ ，即 $2.5\mu\text{s}$ 。注意：帧的持续时间是位持续时间的8倍，因为每帧运送8位。

图6.17 例6.9

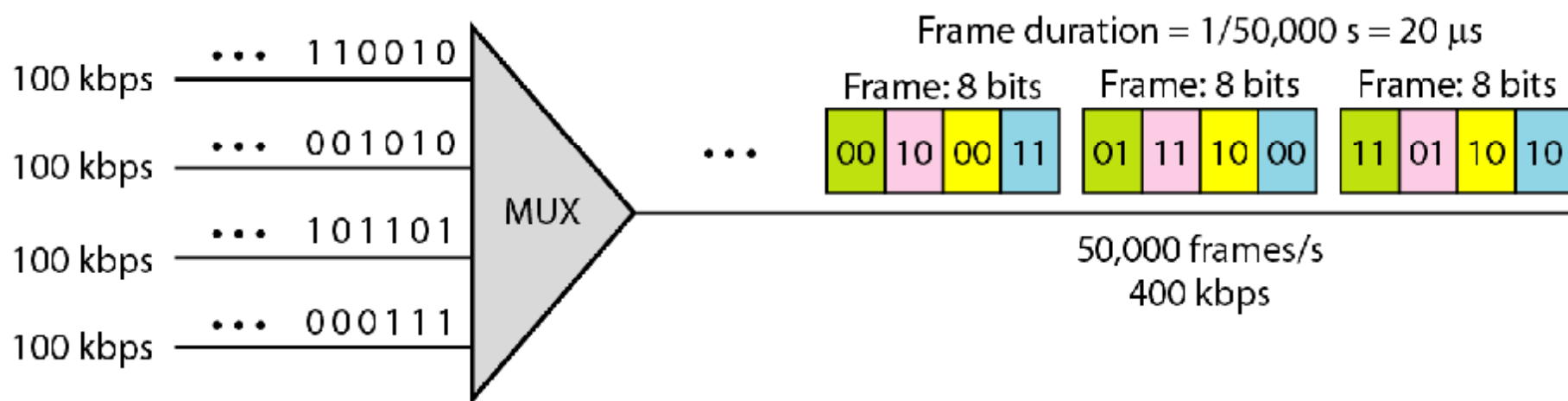


图6.18 空时隙（影响效率）

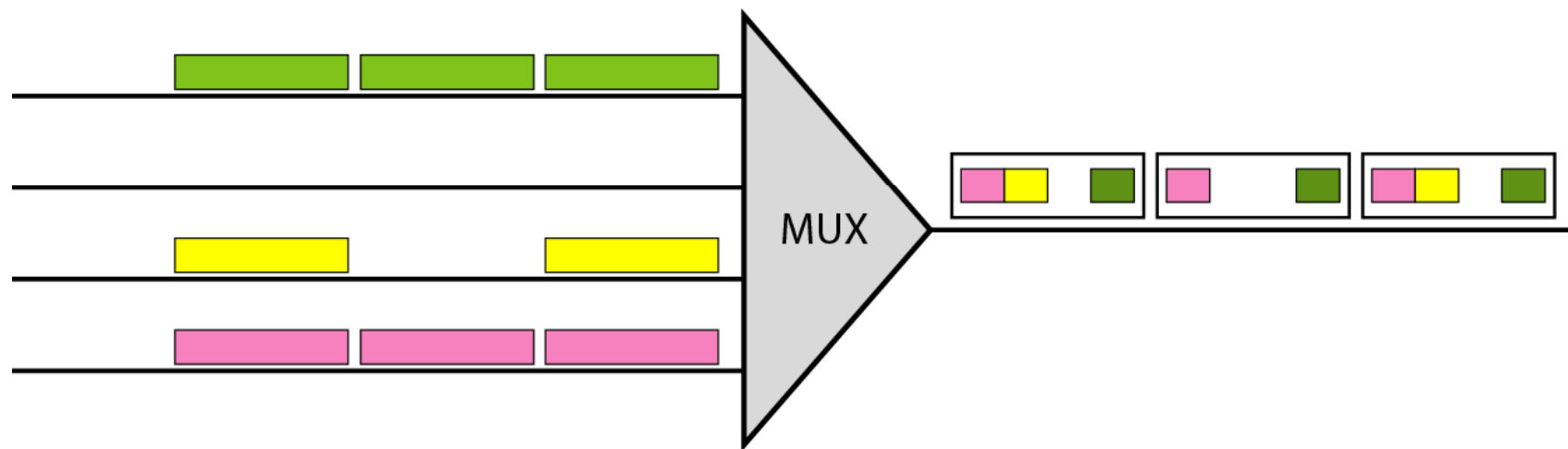


图6.19 输入速率不同时方案1-多级复用

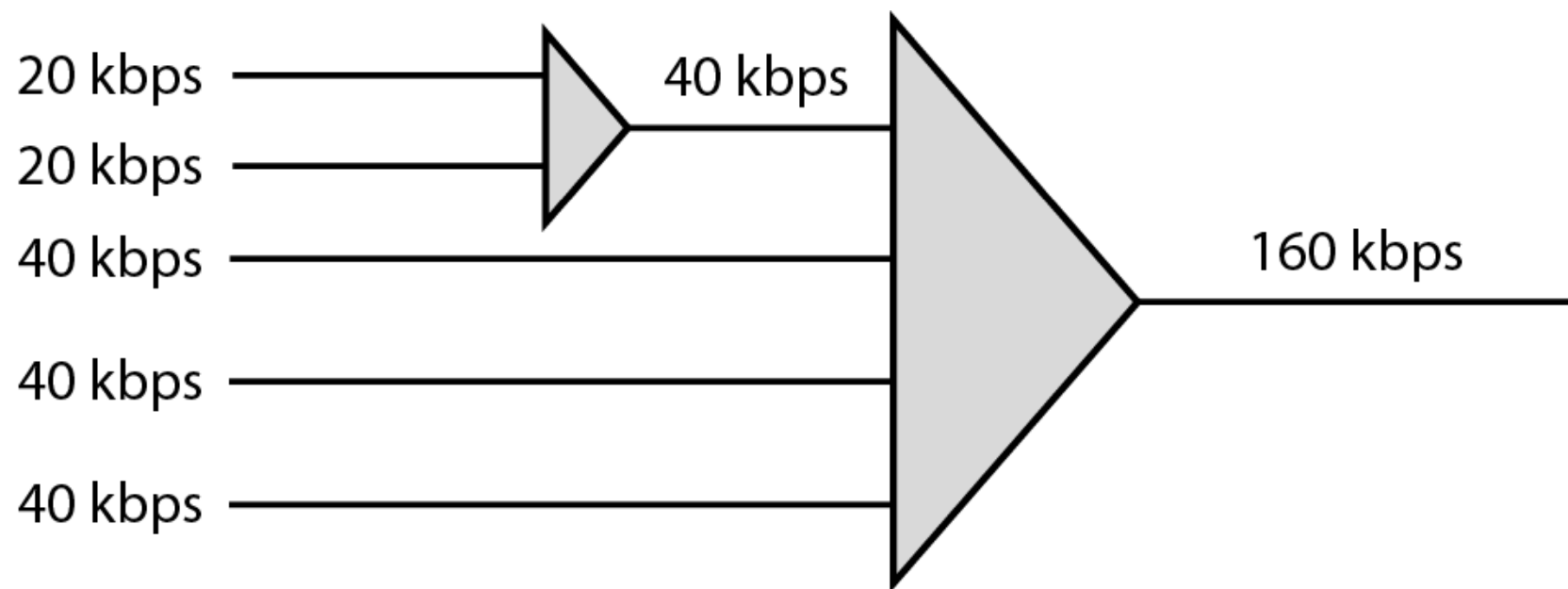


图6.20 输入速率不同时方案2-多时隙

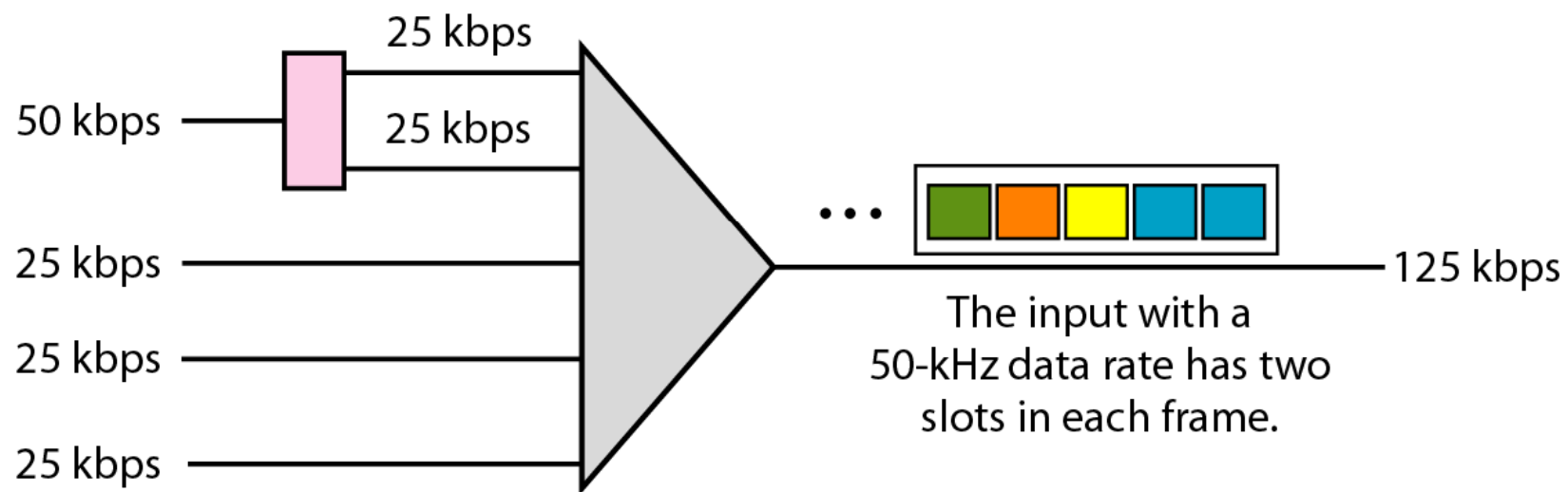


图6.21 输入速率不同时方案3-脉冲填充（不成倍数关系）

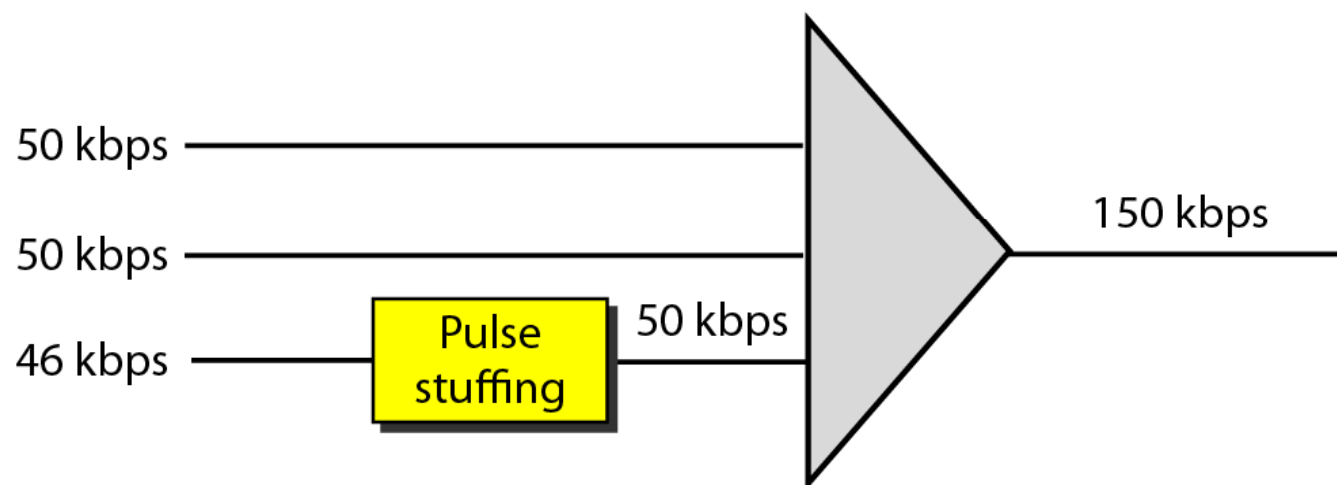
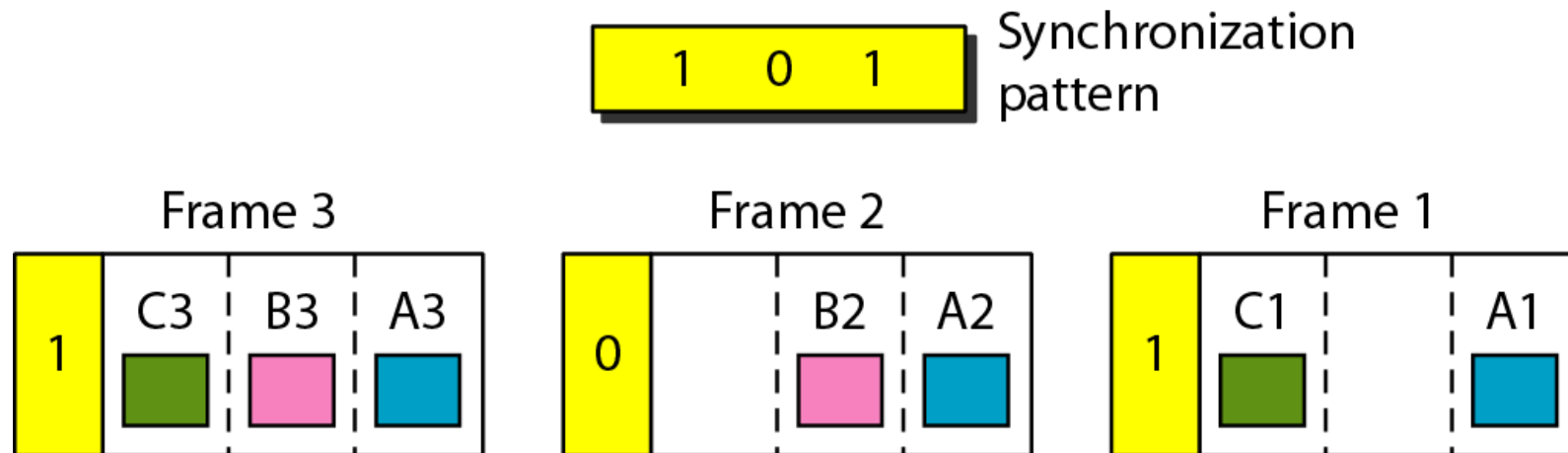


图6.22 帧同步机制-帧指示位

- ❶ 为了防止复用器和分离器失去同步，通常在每帧的开始增加一个或多个同步位，即帧指示位；
- ❷ 帧指示位按照某种模式逐帧发生变化，使分离器与输入流同步，以准确地分离时隙；
- ❸ 提高链路传输速率的需求





例6.10

有4个数据源，每个数据源每秒产生250个字符。如果交替的单元是1个字符，每帧增加1个同步位，试确定：
（a）每个数据源的数据速率；（b）每个数据源中每个字符的持续时间；（c）帧速率；（d）每帧的持续时间；（e）每帧的位数；（f）链路的数据速率。



例6.10 (cont.)

解:

- a. 每个数据源的数据速率 $250 \times 8 = 2000 \text{ bps} = 2 \text{ kbps}$ 。
- b. 每个数据源每秒发送250个字符，所以每个字符的持续时间是 $1/250 \text{ s}$ ，即 4 ms 。
- c. 每帧含有每个数据源的1个字符，意味着链路需要每秒发送250帧，以保护每个数据源的传输率。
- d. 每帧的持续时间是 $1/250 \text{ s}$ ，即 4 ms 。注意每帧的持续时间与来自各个数据源的每个字符的持续时间相同。
- e. 每帧传送4个字符和1个附件的同步位，这表示每帧 $4 \times 8 + 1 = 33$ 位。
- f. 链路每秒钟发送250帧，每帧包含33位，这表示链路的数据速率是 250×33 ，即 8250 bps 。



例6.11

两个通道，一个通道的比特率是100kbps，而另一个通道的比特率是200kbps，对它们实现多路复用如何实现？帧速率是多少？每帧的持续时间是多少？链路的比特率是多少？

解：

可以为第一个通道分配1个时隙而为第二个通道分配2个时隙，每帧传送3bits。由于它从第一个通道中传送1个位，所以帧速率是100,000帧/s。每帧的持续时间是1/100,000，即10ms。链路比特率是100,000帧/秒 \times 3位/秒，即300kbps。

注意：由于每帧从第一个通道中传送1个位，第一个通道的比特率得到保持。因为每帧从第二通道中传送2个位，所以第二个通道的比特率也得到保持。

图6.23 电话公司数字层次结构（上一级额外开销通常用于同步）

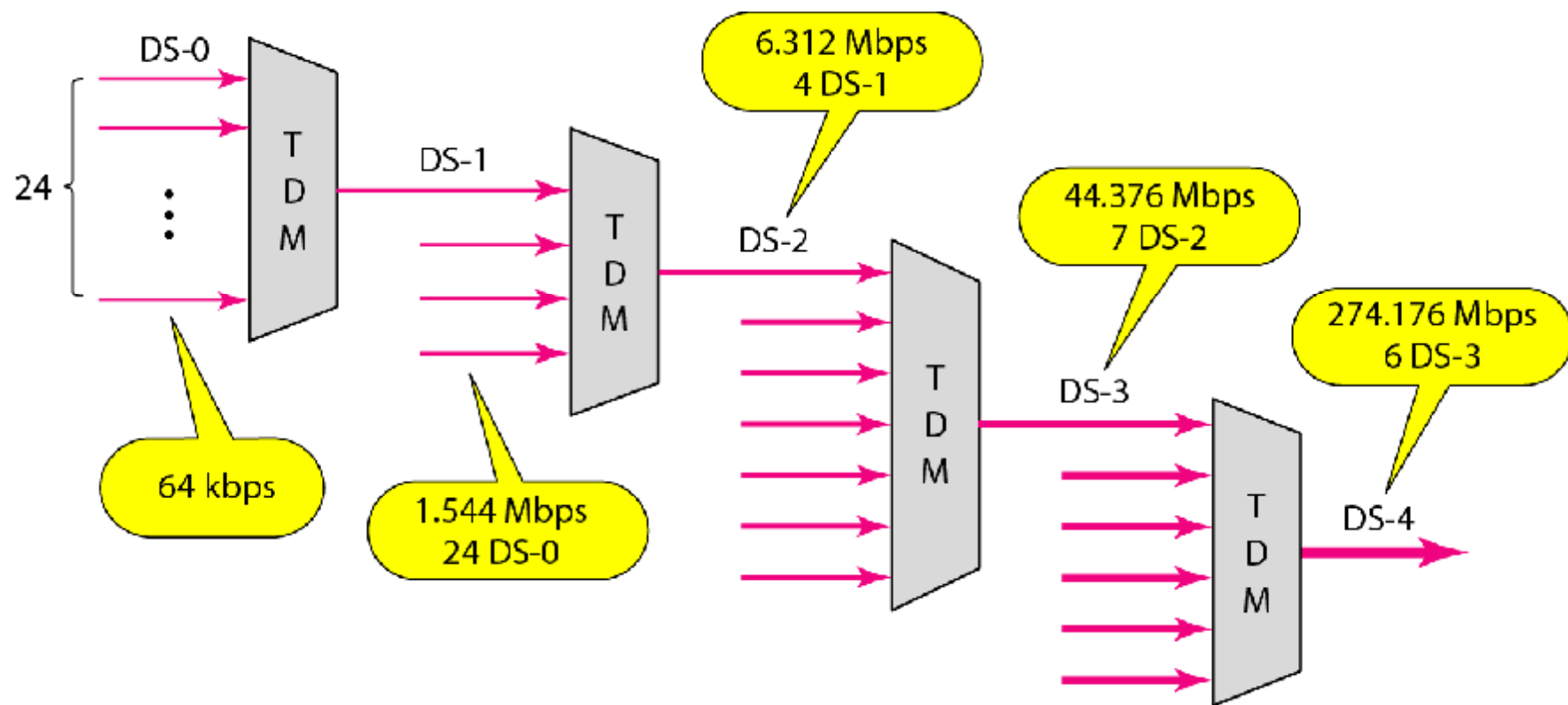


表6.1 DS和T线路速率

pDS-x是服务名称，为了实现这些服务，电话公司使用T线路（T-1到T-4，美国标准）；

p线路容量与DS-1到DS-4的数据速率精确匹配

<i>Service</i>	<i>Line</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>Voice Channels</i>
DS-1	T-1	1.544	24
DS-2	T-2	6.312	96
DS-3	T-3	44.736	672
DS-4	T-4	274.176	4032

图6.24 用于电话线路多路复用的T-1线路

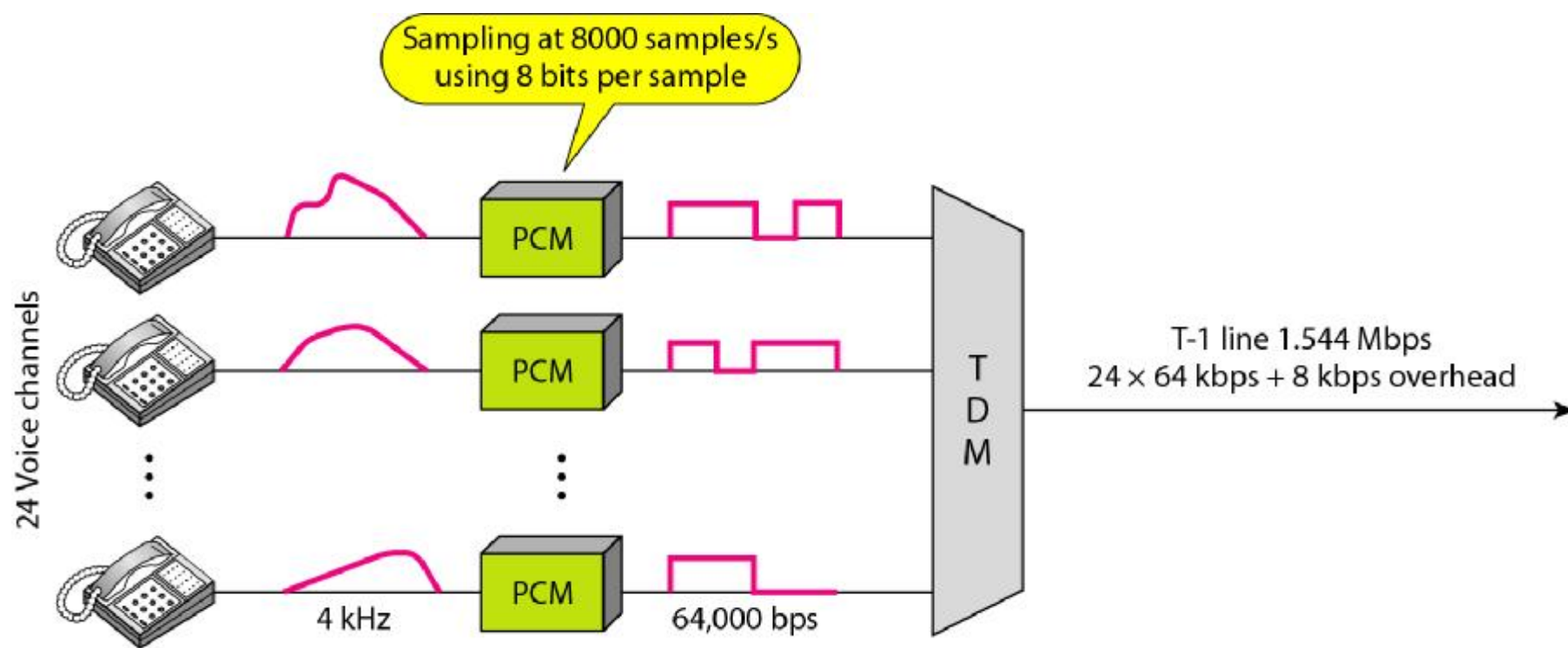


图6.25 T-1 帧结构

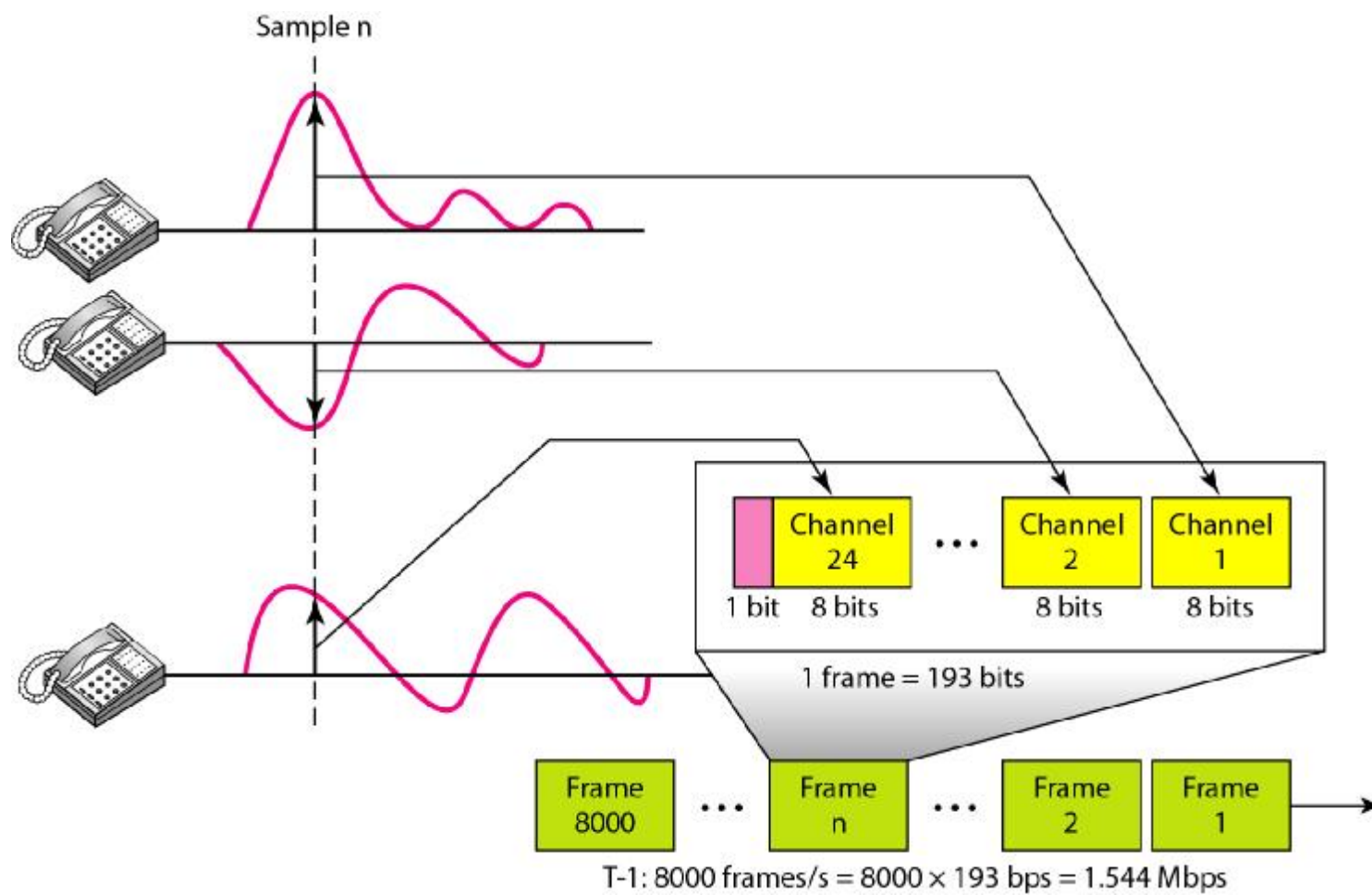


表6.2 E线路的速率（欧洲标准）

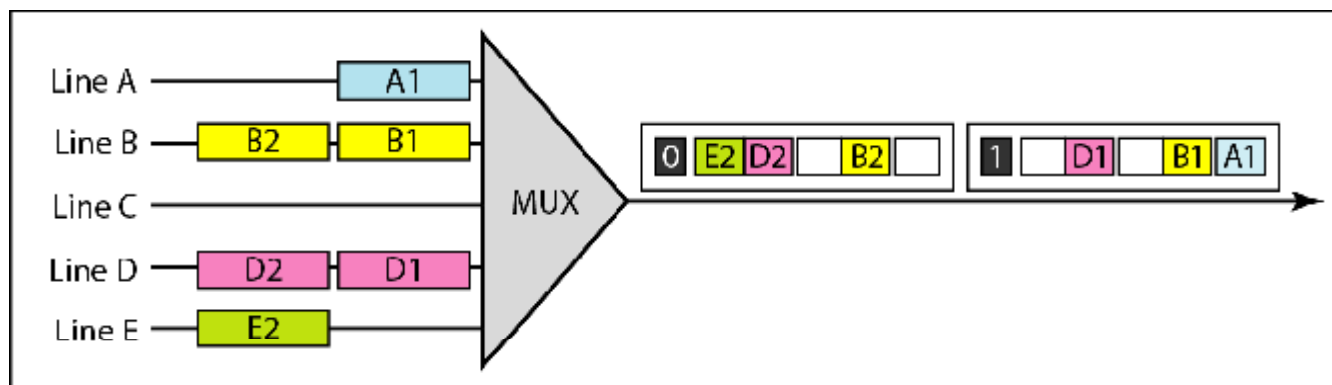
<i>Line</i>	<i>Rate (Mbps)</i>	<i>Voice Channels</i>
E-1	2.048	30
E-2	8.448	120
E-3	34.368	480
E-4	139.264	1920

统计时分复用

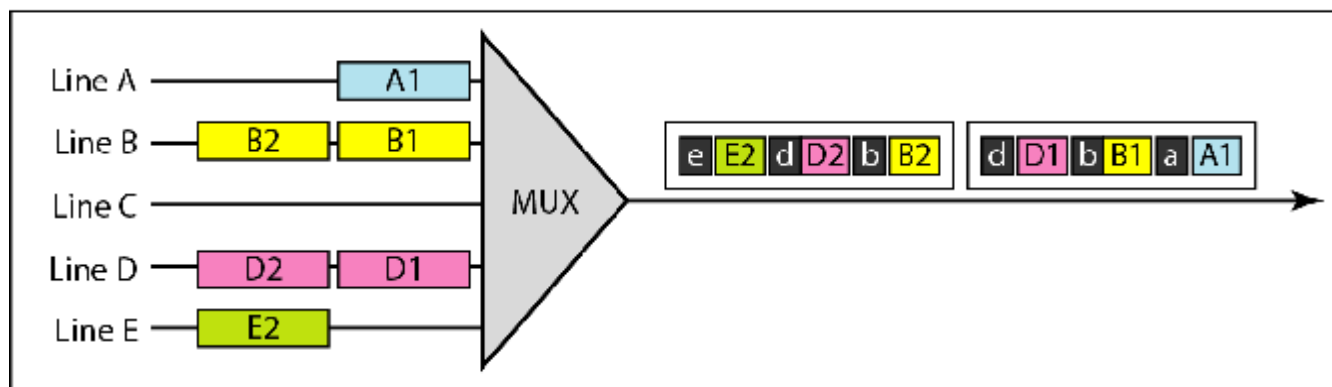
- 动态分配时隙以提高带宽的效率；
- 仅当输入线有发送数据，时隙才有意义并在输出帧中给予一个时隙；
- 统计复用中，每个帧中时隙的个数通常小于输入线的条数；
- 复用器循环顺序的检测每条输入线，如果输入线有数据发送，则对输入线分配一个时隙，否则跳过这条线检测下一条线。

图6.26 TDM 时隙比较

p统计TDM输出时隙需要携带数据和目的地址，没有同步位？



a. Synchronous TDM

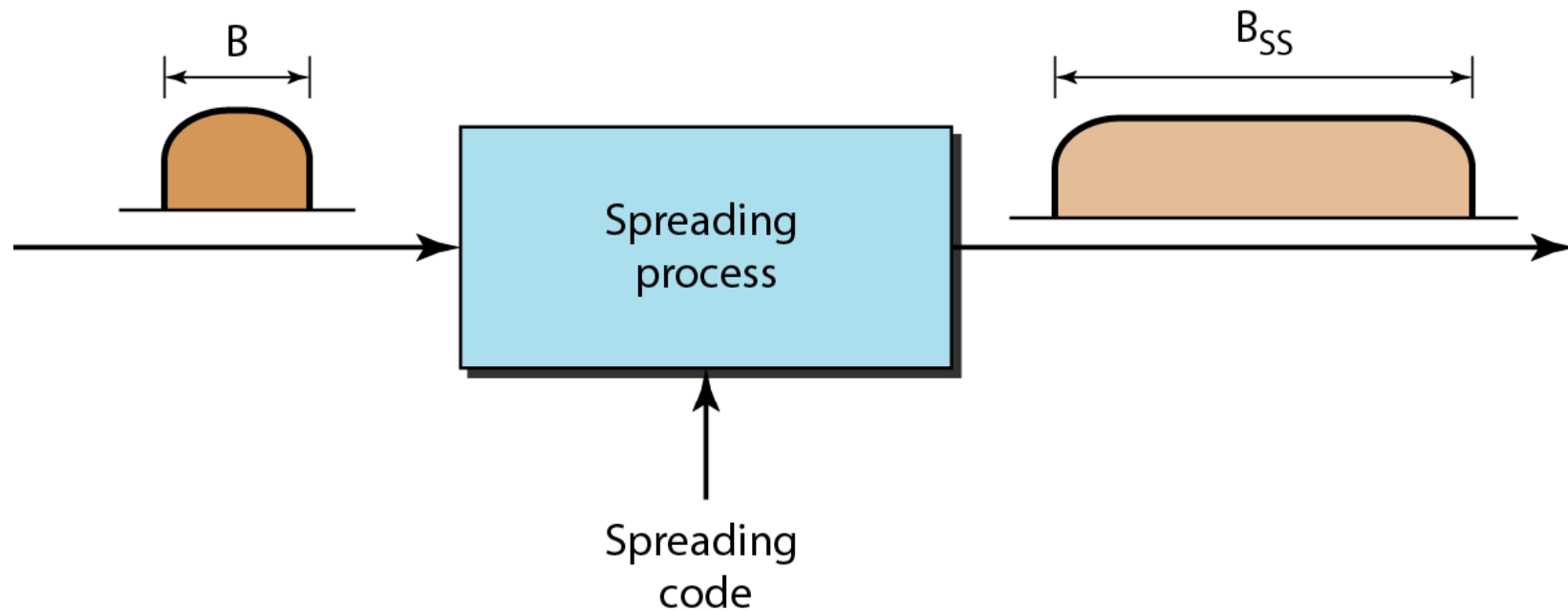


b. Statistical TDM

6-2 扩频 (SPREAD SPECTRUM)

- 在扩频中，也把来自某些源端的信号组合在一起形成一个更宽的带宽，可是目的略有不同；
- 扩频是无线通信一种重要的编码形式，不但能提高接收效果，而且可以加大人为干扰和窃听的难度；
- 扩频的基本思想是对信号进行调制，使传输信号的带宽明显增加；
- 扩频技术增加了冗余部分，扩展原始信号的频带满足每个站的需要；
- 扩大的带宽允许源端用有防护带的封装将它的报文进行更安全的传输

图6.27 扩频



- 对每个站点需要分配的带宽显然要比它所需要的带宽更大
- 原来的带宽 B 扩大到 B_{SS} ，必须由一个独立于原信号的过程来做。也就是说，信号由源端生成后，扩频过程才发生。

图6.28 跳频扩频FHSS (frequency hopping spread spectrum, 每一时刻用不同的载波频率)

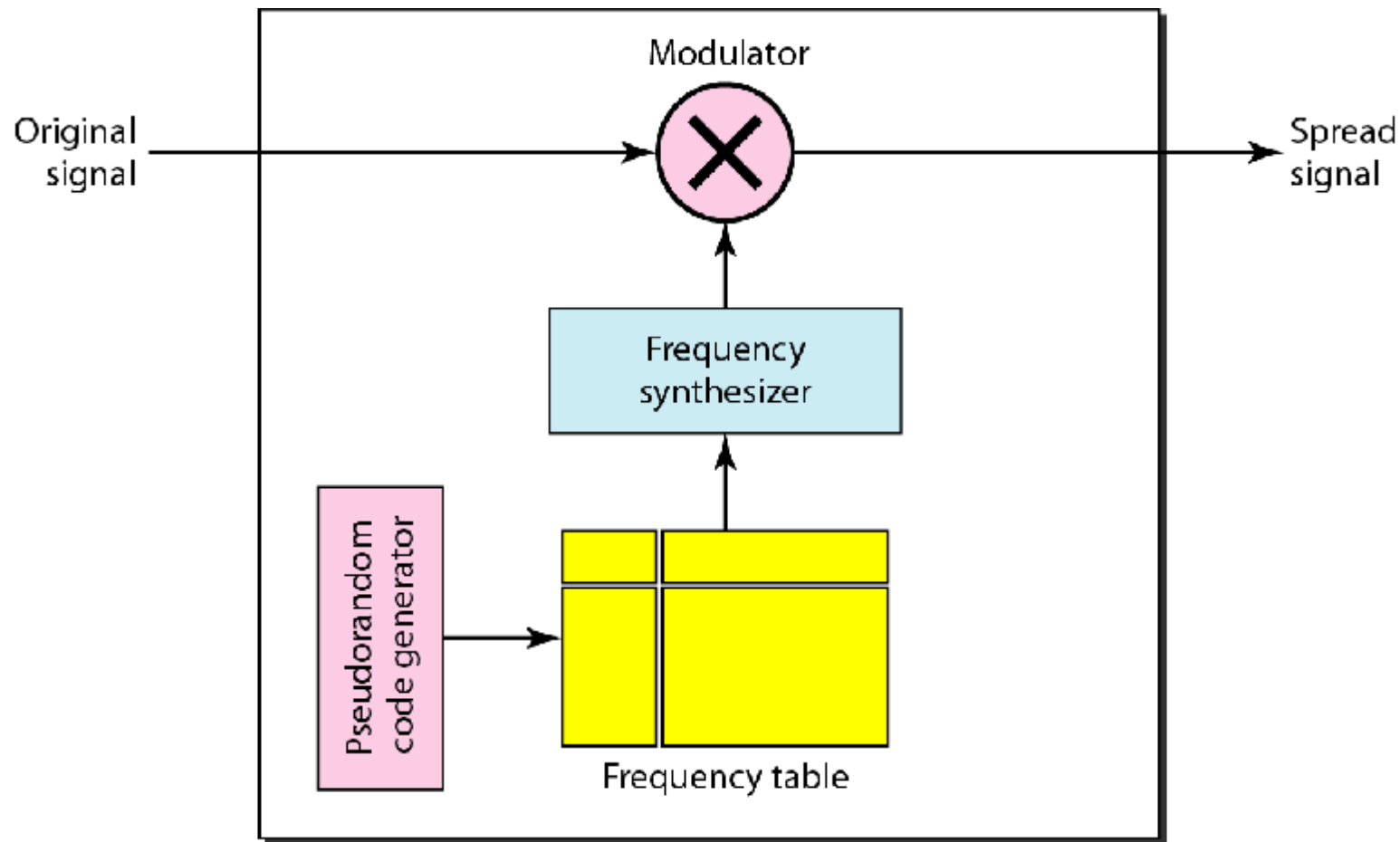


图6.29 FHSS中频率的选择（8次跳频后模式重复）

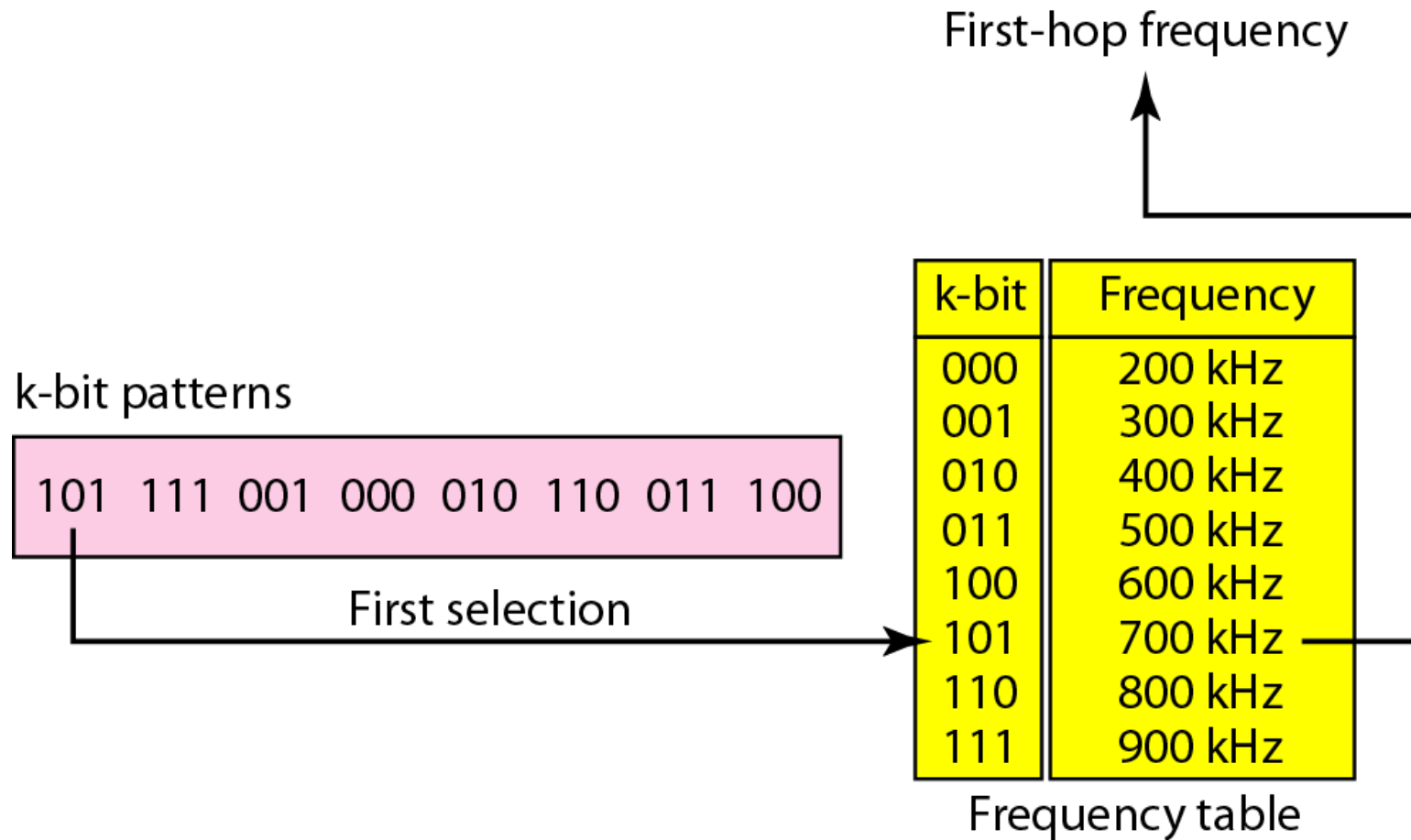


图6.30 FHSS 循环-窃听者不知道扩频序列，不能很快适应下一次跳变

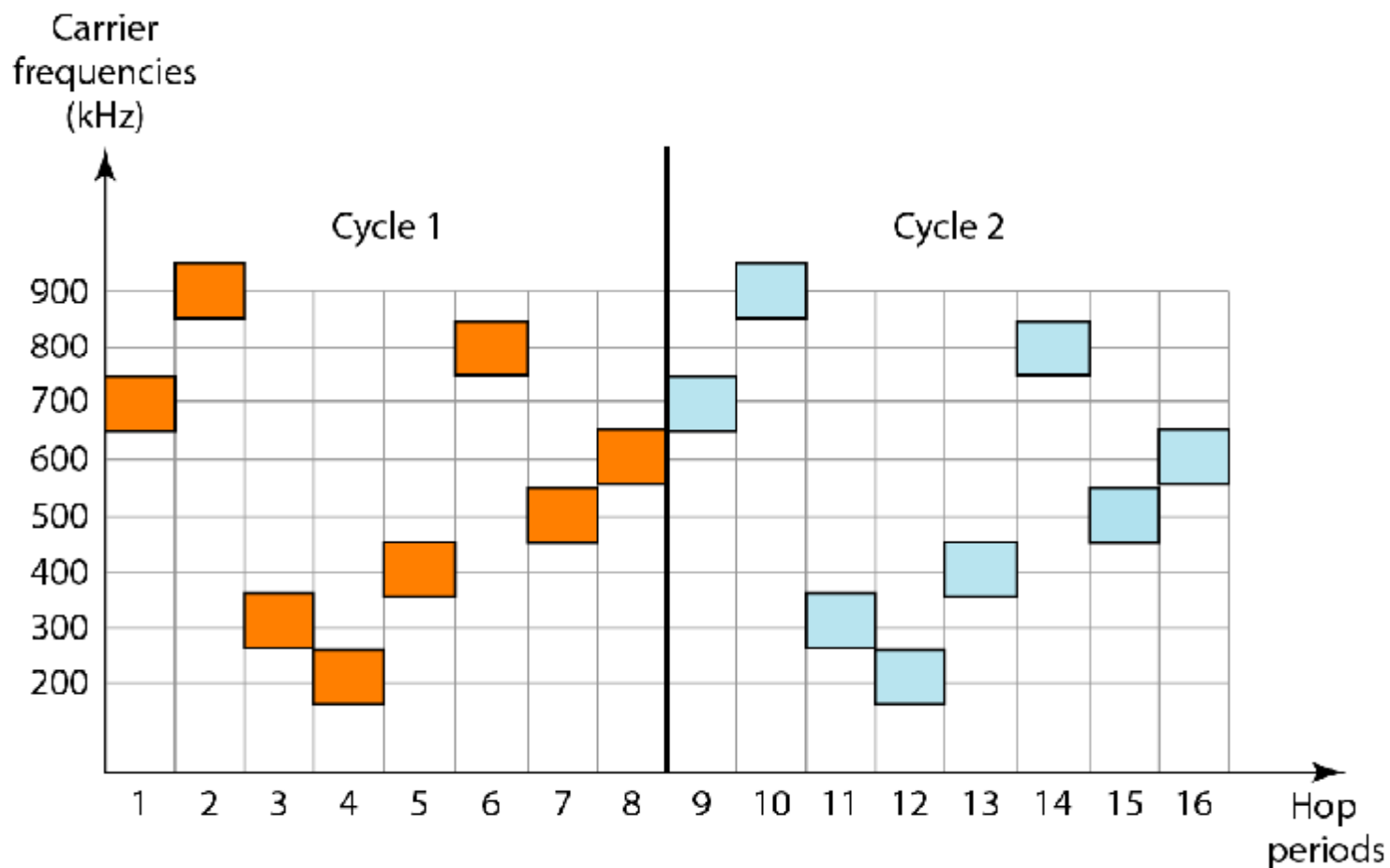
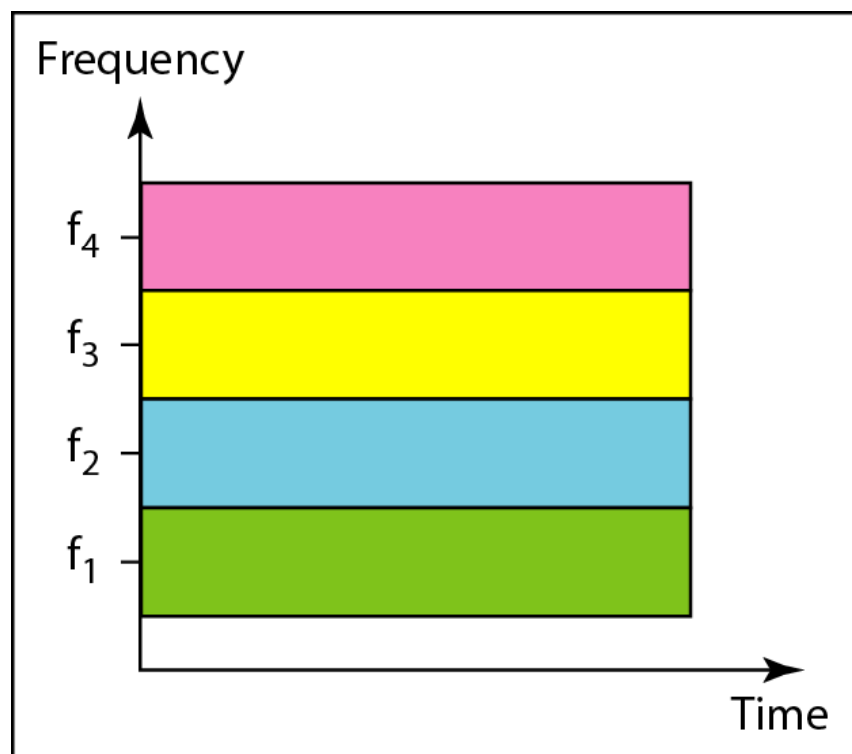
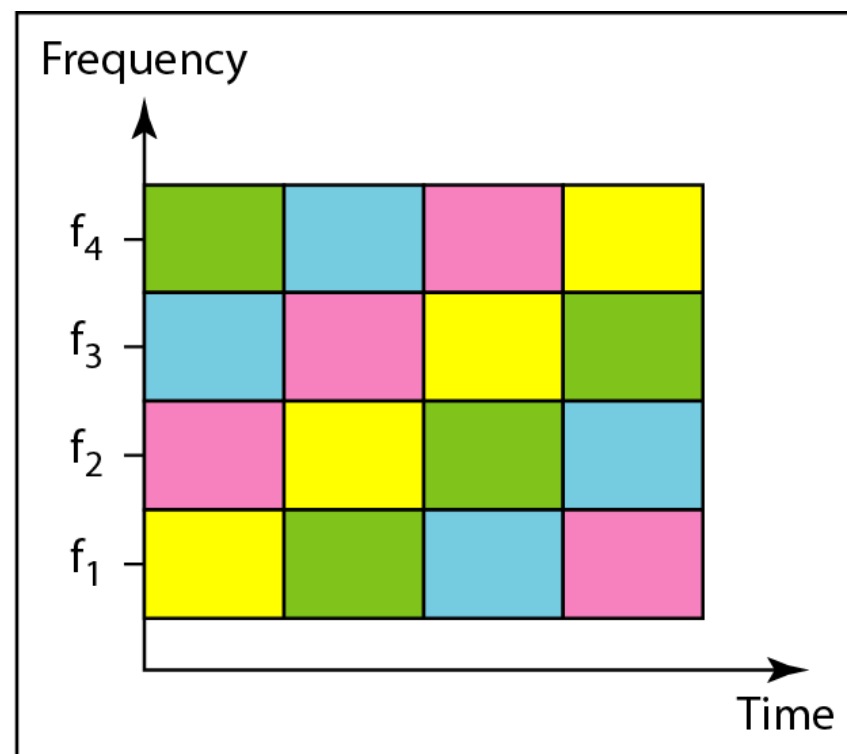


图6.31 带宽共享

若跳频数为 M ，则可将 M 个通道复用为使用同一带宽 B_{ss} 的一个通道；FDM固定分配，而FHSS跳到跳改变分配



a. FDM



b. FHSS

图6.32 直接序列扩频DSSS (direct sequence spread spectrum)

p在DSSS中，每个数据位用扩展编码的 n 位替代，即每一位被编码为 n 个码片，码片的速率是数据比特率的 n 倍

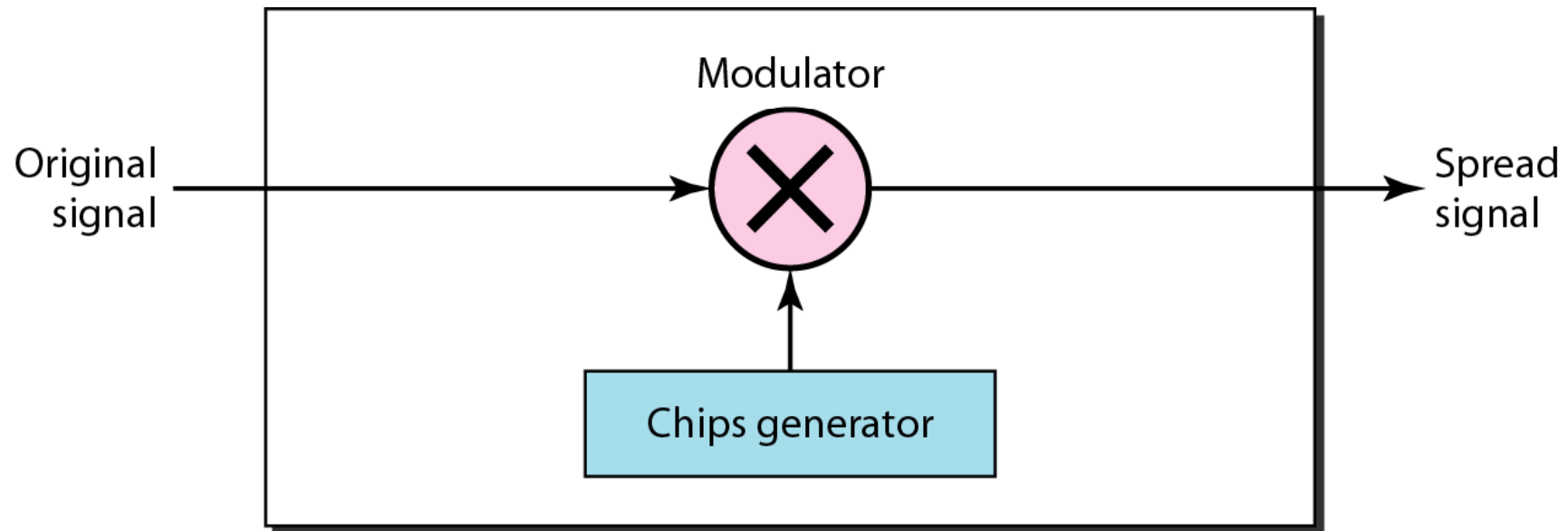


图6.33 DSSS的例子-无线局域网中的巴克序列 (n=11)

- 图中扩频信号的带宽是源信号的11倍；
- 如果入侵者不知道该编码，扩频信号可提供保密；
- 如果每个站点使用不同的编码，它也可提供抗干扰的能力

