Chapter 6

带宽利用

(Bandwidth Utilization: Multiplexing and Spreading)

Note

- ◆ 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) 可以保密与抗干扰。

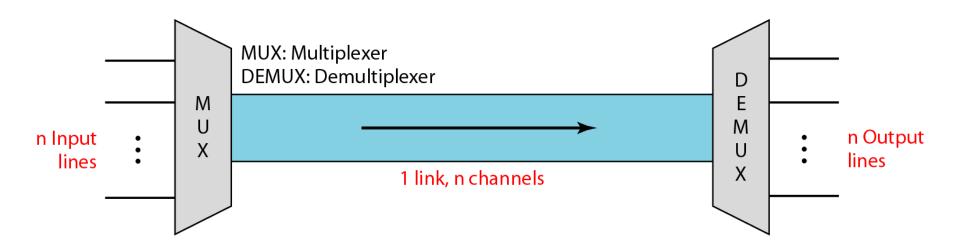
6-1 MULTIPLEXING

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。 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。

Topics discussed in this section:

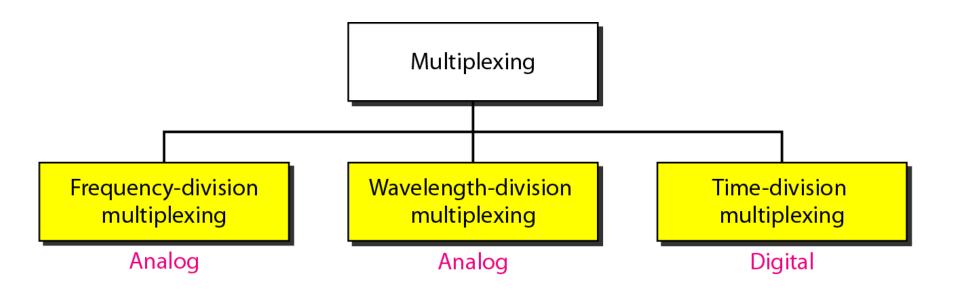
频分多路复用 (Frequency-Division Multiplexing) 波分多路复用 (Wavelength-Division Multiplexing) 同步时分多路复用 (Synchronous Time-Division Multiplexing) 统计时分多路复用 (Statistical Time-Division Multiplexing)

Figure 6.1 链路划分为通道



- 通过一条数据链路传输多个信号
- 复用器 MUX
- 分离器 DEMUX
- 通道 channel

Figure 6.2 多路复用的分类



频分多路复用 (FDM)



Figure 6.3 频分多路复用

- FDM 是用来组合模拟信号的模拟多路复用技术;
- 载波频率之间的频率差能够容纳调制信号的带宽;
- 通道之间使用防护频带进行分隔,防止信号重叠;
- 载波频率不能影响原始的数据频率;
- 数字信号转换为模拟信号之后仍然可以使用 FDM。

Figure 6.4 FDM 过程

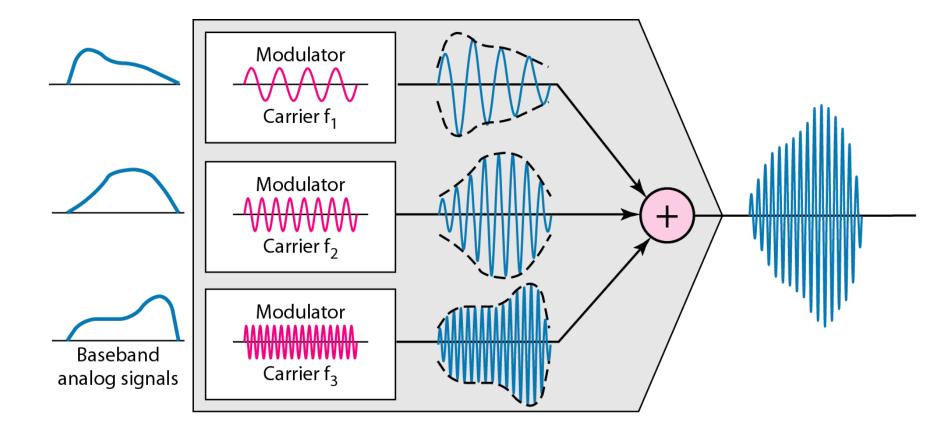
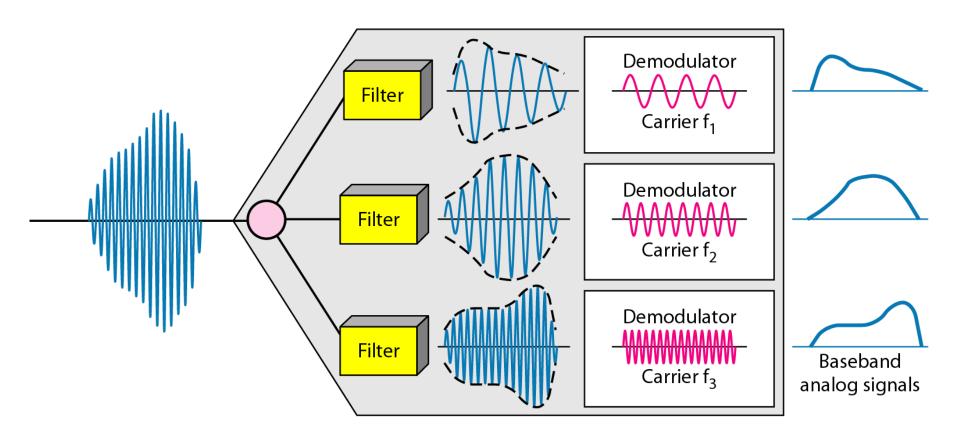


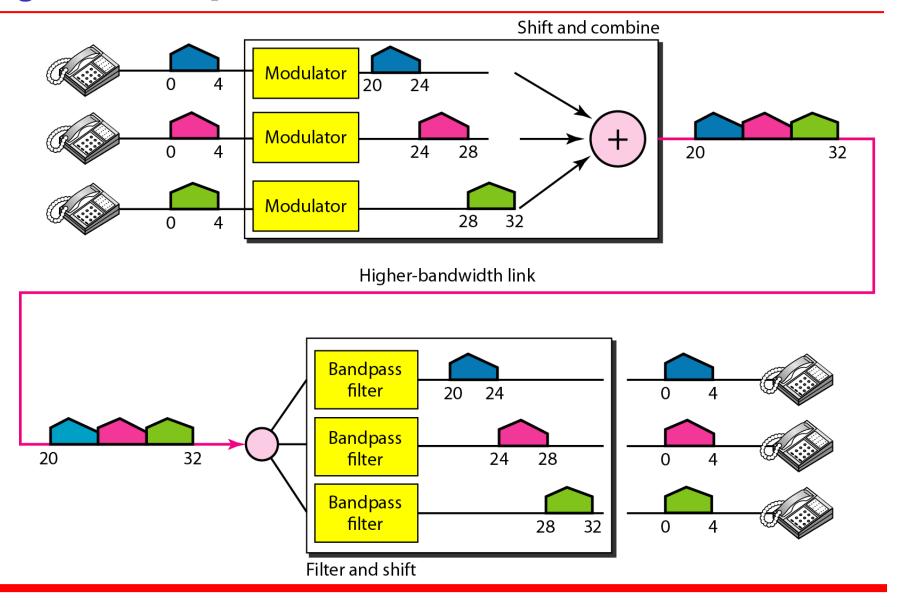
Figure 6.5 FDM 分离示例



Example 6.1

假定语音通道占用 4kHz 带宽。需要将 3 个语音通道合并到一个带宽为 12kHz (20~32 kHz)的链路。使用频域图表示这一配置过程,假设不用防护频带。

Figure 6.6 Example 6.1



Example 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?

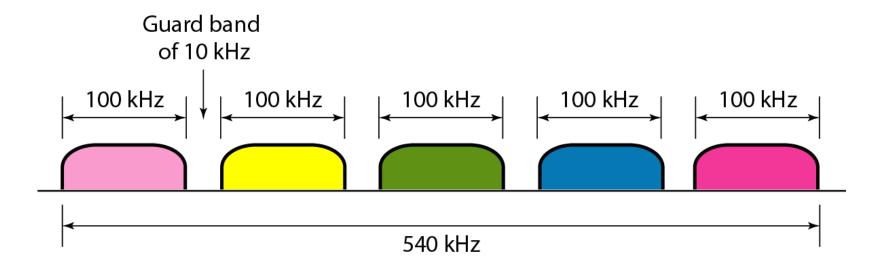
Solution

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。

Figure 6.7 Example 6.2



模拟载波系统

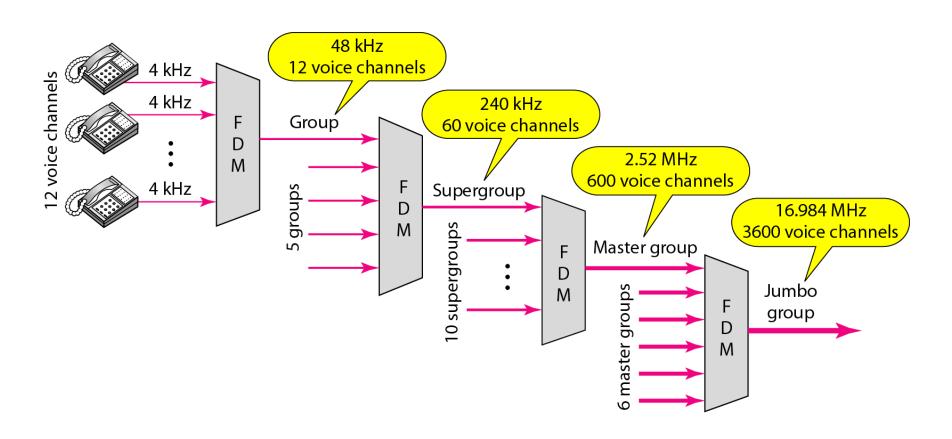


Figure 6.9 模拟层次结构 (Analog hierarchy)

Example 6.4

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

Solution

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 个通道,在这些通道中,42 个通道用于控制,即只有 790 个通道可用于移动电话用户。

波分多路复用 (WDM)

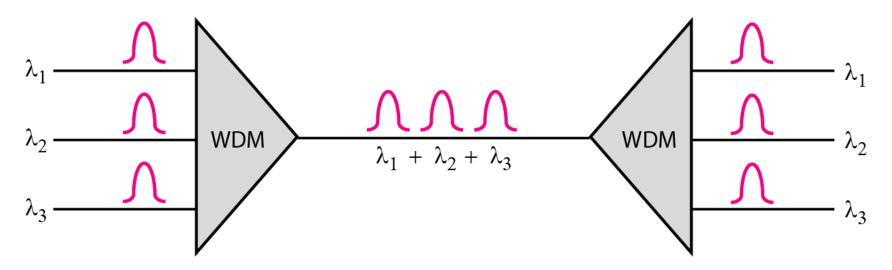
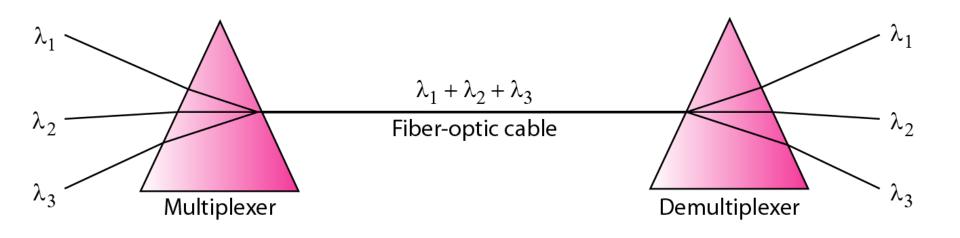


Figure 6.10 波分多路复用

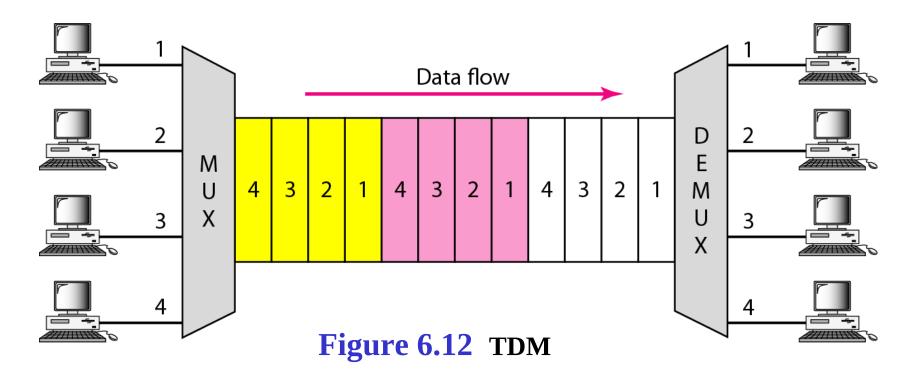
- WDM 是合并多个光信号的模拟多路复用技术
 - ;
- 用于具有高数据速率传输能力的光缆;
- WDM 在概念上与 FDM 相同, 其原理也一样;
- 差别是 WDM 复田的驗家非常喜。

Figure 6.11 Prisms(棱镜) 在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;
- WDM 的一种应用是同步光纤网络 (SONET)

时分多路复用 (TDM)



- TDM 是组合多个低速通道为一个高速通道数据的复用技术;
- TDM 是一个数字化的过程,它允许多个连接共享一条高带宽链路;TDM 在时间上共享,每个连接占用链路的一个时间片段;
- 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 之一——同步时分复用

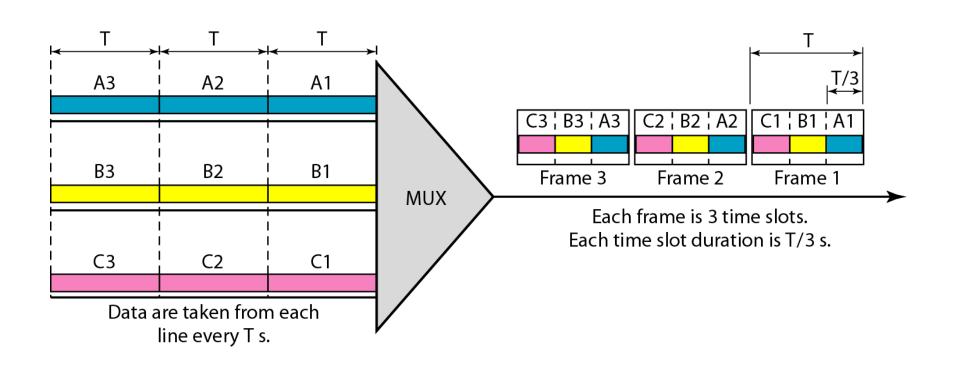


Figure 6.13 Synchronous time-division multiplexing

Note

在同步 TDM 中,链路速率是数据速率的n 倍,并且比单元持续时间短 n 倍。

Example 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。

Solution

- a. 复用前一位持续时间是 1/1 kbps, 即 0.001s (1 ms)。
- 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 μs 。也可以从链路数据速率 4kbps 来计算,位持续时间是数据速率 1/4kbps 的倒数,即 250 μs 。
- d. 帧持续时间与复用前一个单元持续时间相同,即 1ms。也可从另一个方法计算,每帧有4个时隙,所以一个帧持续时间是 250μs的 4倍,即 1 ms。

Figure 6.15 交替 (Interleaving)

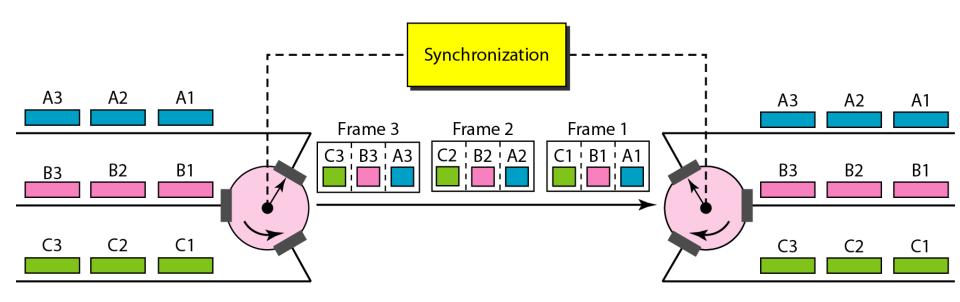
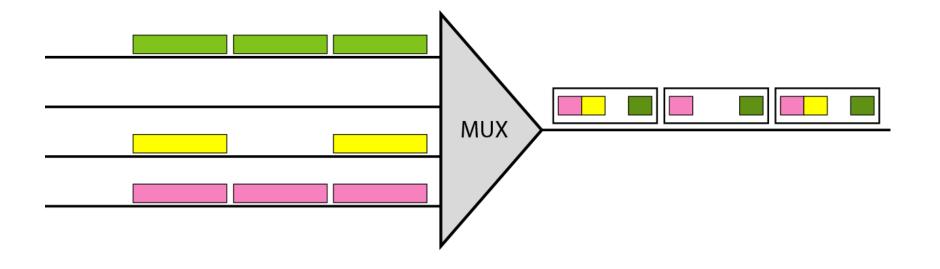


Figure 6.18 空时隙 (Empty slots)



数据速率管理

目前假定所有输入数据的速率是相同的,

当数据速率不同的时候,采用策略:

- 多级复用(Multilevel Multiplexing)
- 多时隙分配(Multiple-slot Allocation)
- 脉冲填充 (Pulse Stuffing)

Figure 6.19 多级复用 (Multilevel multiplexing)

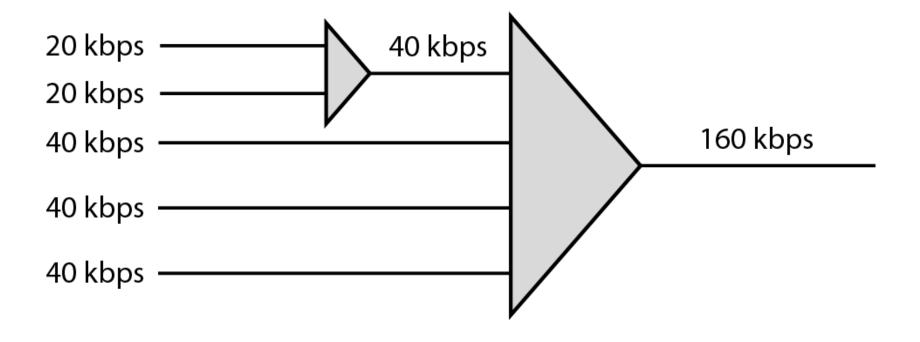


Figure 6.20 多时隙 (Multiple-slot multiplexing)

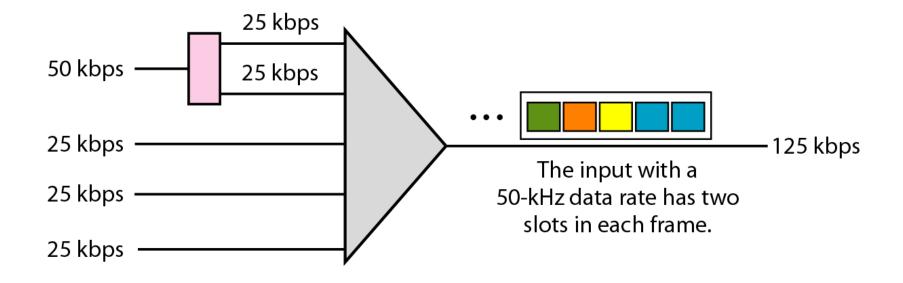
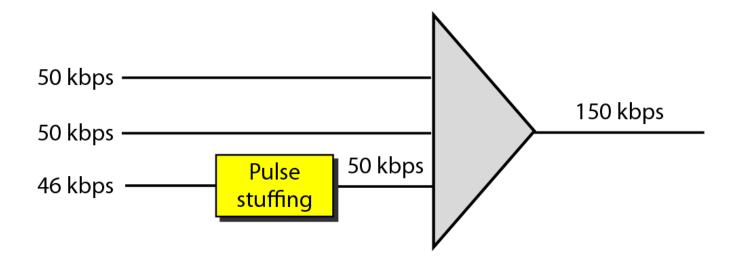


Figure 6.21 脉冲填充 (Pulse stuffing)



帧同步

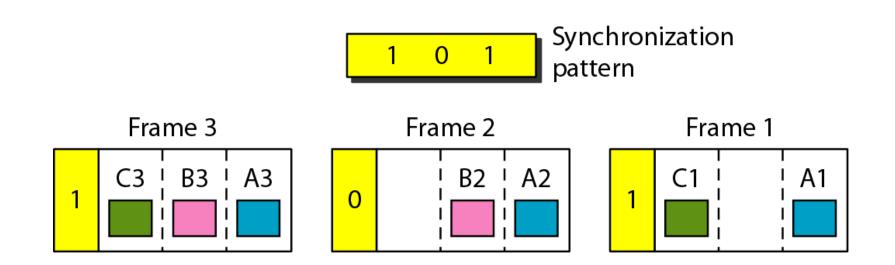


Figure 6.22 帧指示位 (Framing bits)

数字体系

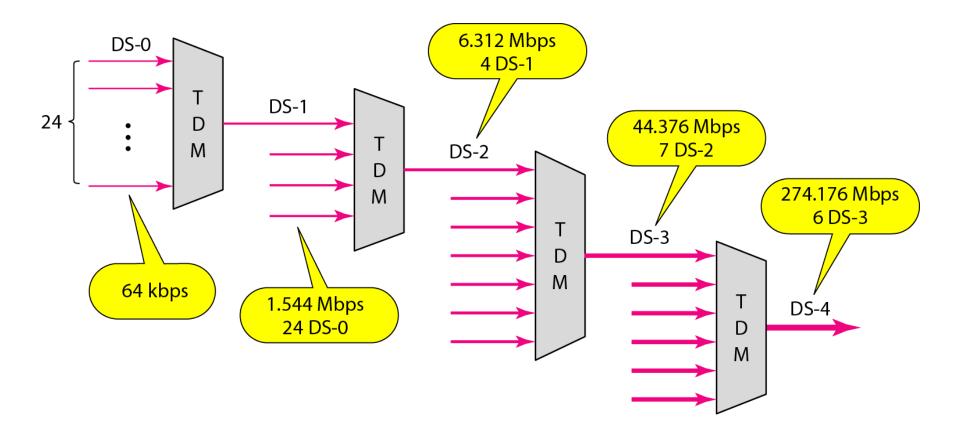


Figure 6.23 数字体系 (Digital hierarchy) —— 美国标准

Table 6.1 DS 和 T 线路速率

Service	Line	Rate (Mbps)	Voice Channels
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

Figure 6.24 用于电话线路多路复用的 T-1 线路

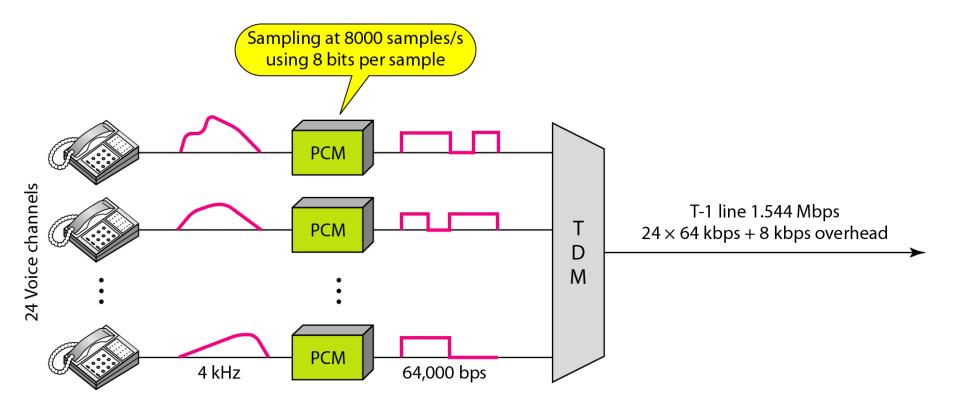


Figure 6.25 T-1 帧结构

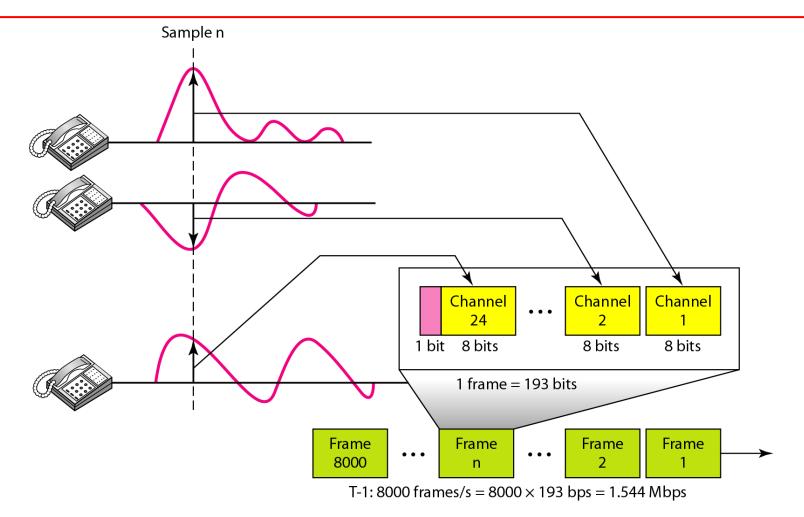
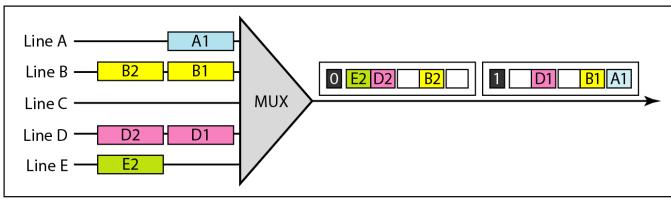


Table 6.2 E 线路的速率(欧洲的标准)

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

TDM 之二 —— 统计时分复用



a. Synchronous TDM

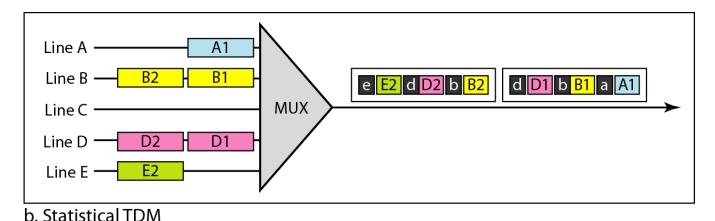


Figure 6.26 TDM 时隙比较

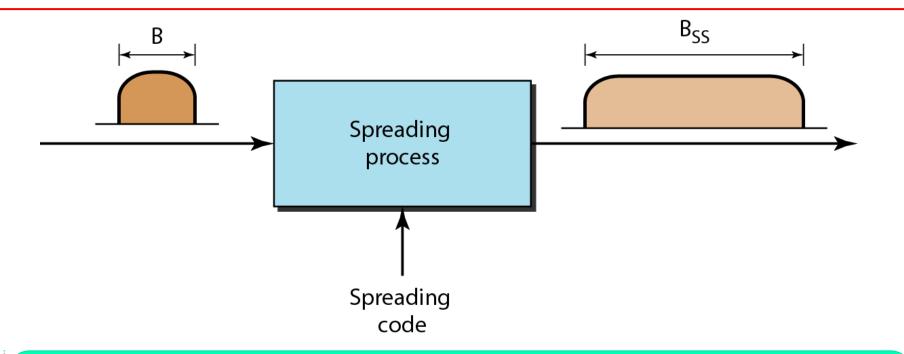
6-2 扩频 (SPREAD SPECTRUM)

在扩频系统 SS 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。为达到此目的,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。

Topics discussed in this section:

```
调频扩频(Frequency Hopping Spread Spectrum , FHSS
)
直接序列扩频(Direct Sequence Spread Spectrum , DSSS
)
```

Figure 6.27 扩频 (Spread spectrum)



- 对每个站点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} 必须有一个与原来信号无关的过程 来做。也就是说,信号由源端生成后,扩频过程才发生。

Figure 6.28 跳频扩频 (FHSS)

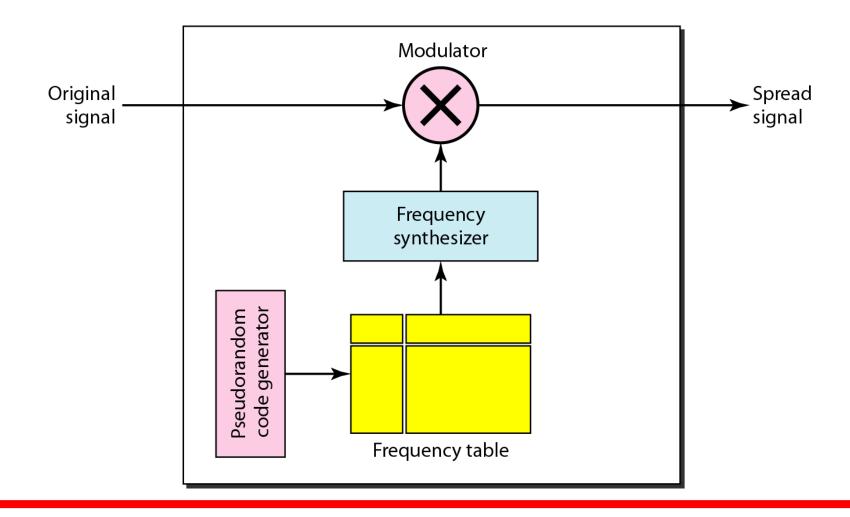


Figure 6.29 FHSS 中频率的选择

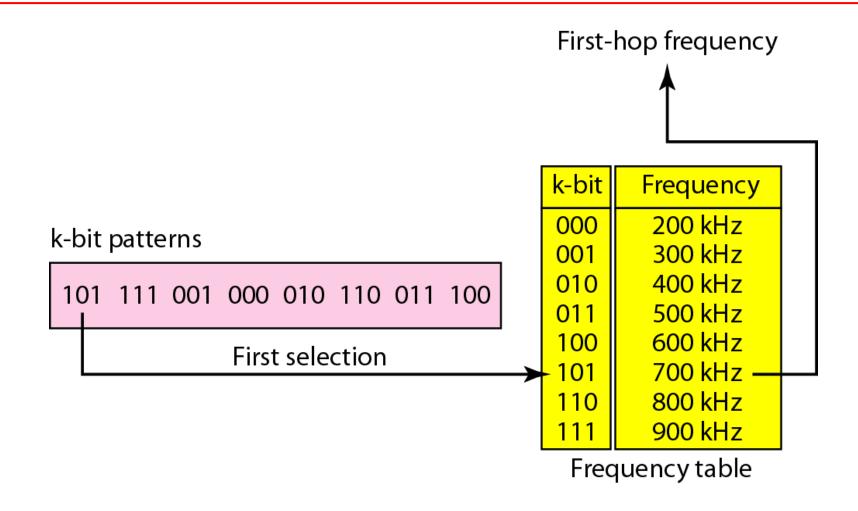


Figure 6.30 FHSS 循环

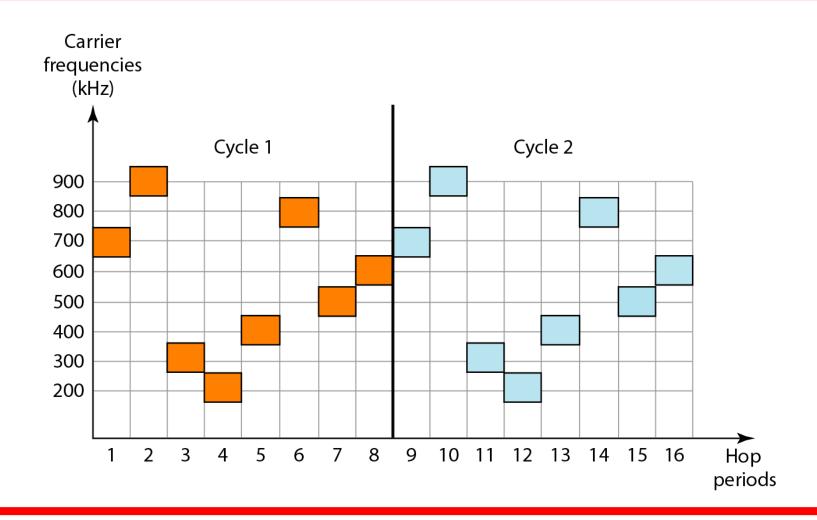
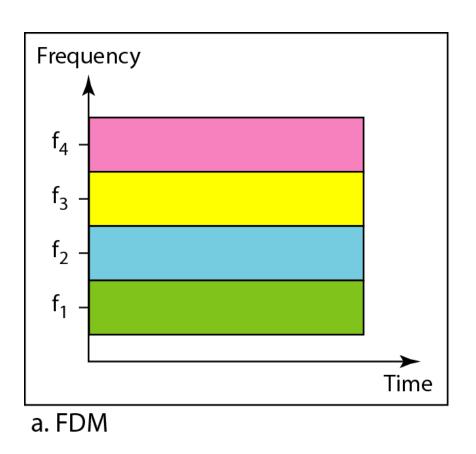


Figure 6.31 带宽共享 (Bandwidth sharing)



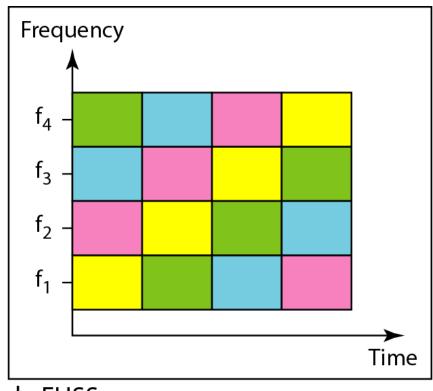


Figure 6.32 直接序列扩频 (DSSS)

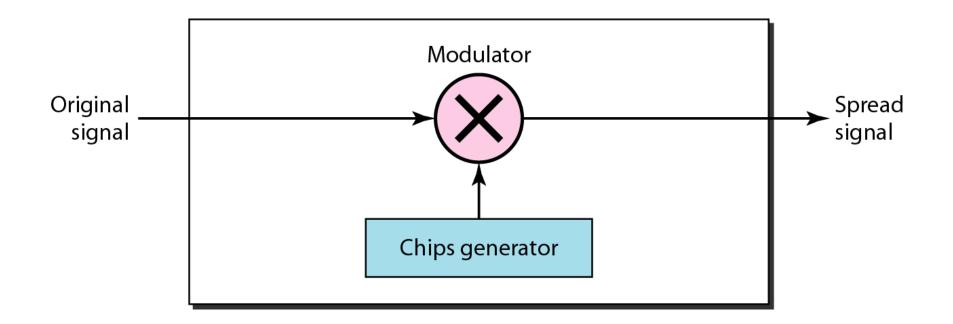
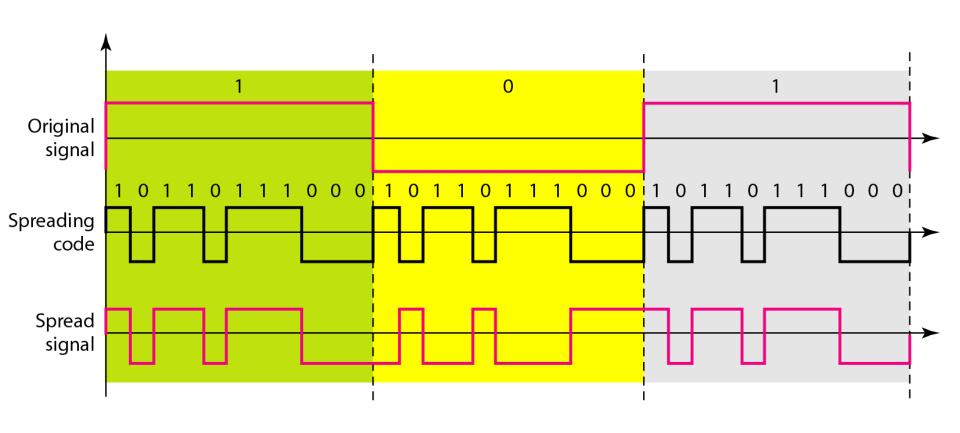


Figure 6.33 DSSS 的例子



作业

■ P122 页 24