

## 第二章 物理层

2. 每 1 毫秒对一条无噪声 4kHz 信道采样一次。试问最大数据传输率是多少？如果信道上存在噪声，且信噪比是 30dB，试问最大数据速率将如何变化？

答：对于无噪声信道，由 Nyquist 公式可知最大码元传输速率为

$$B = 2H = 2 \times 4\text{kHz} = 8\text{kbaud}$$

最大数据传输速率取决于每次采样的位数，若每次采样产生 16 bits，最大数据传输速率为

$$C = 2H \log_2 N = 2 \times 4\text{kHz} \times 16 = 128\text{Kbps}$$

若每次采样产生 1024 bits，最大数据传输速率为

$$C = 2H \log_2 N = 2 \times 4\text{kHz} \times 1024 = 8192\text{Kbps}$$

对于有噪声信道， $10 \log_{10} S/N = 30$ ，则  $S/N = 1000$ ，由 Shannon 公式可知最大数据传输速率为

$$C = H \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) = 4\text{kHz} \times (1 + 1000) \approx 39.87\text{Kbps}$$

8. 现在需要在一条光纤上发送一系列的计算机屏幕图像。屏幕的分辨率为 2560X1600 像素，每个像素 24 比特。每秒钟产生 60 幅屏幕图像。试问需要多少带宽？在 1.30 微米波段需要多少微米的波长？

答：数据传输速率为  $2560 \times 1600 \times 24 \times 60 = 5898240000\text{bps} \approx 5898\text{Mbps}$

假设 1bps 每 Hz，则需要的带宽约为 5898MHz，需要的波长为

$$\begin{aligned} \lambda f &= c \\ \frac{df}{d\lambda} &= \frac{c}{\lambda^2} \\ \Delta\lambda &= \frac{\lambda^2 \Delta f}{c} \\ \Delta\lambda &= \frac{\lambda^2 \Delta f}{c} = \frac{1.69 \times 10^{-12} \times 5.898 \times 10^9}{3 \times 10^8} \approx 3.3 \times 10^{-11}\text{m} = 3.3 \times 10^{-5}\mu\text{m} \end{aligned}$$

18. 一个简单的电话系统包括两个端局和一个长途局，每个端局通过一条 1MHz 的全双工中继线连接到长途局。在每 8 个小时的工作日中，平均每部电话发出 4 次呼叫，每次呼叫平均持续 6 分钟，并且 10% 的呼叫是长途（即要通过长途局）。试问端局最多能支持多少部电话（假设每条电路为 4kHz）？请解释为什么电话公司决定支持的电话数要少于端局的最大电话数？

答：每个电话机每小时平均 0.5 次呼叫，每次呼叫持续 6 分钟，可以理解为每部电话每小时占用 3 分钟，20 部电话可以共享一条线路。其中长途电话只占 10%，所以需要 200 部电话才能全时间占满长途线路，电话线路共有  $1\text{MHz} / 4\text{kHz} = 250$  条，所以该端局最多可以支持  $250 \times 200 = 50000$  部电话。

因为支持最大电话数会造成严重的延迟。例如，如果 5000 个用户决定同时拨打长途电话并且每个电话都持续 3 分钟，那么最坏的情况下要等待 57 分钟，这会给用户造成极差的体验感。

28. 若将无噪声的 4kHz 信道用于下面的用途，请比较它们的最大数据传输率：

(a) 每个样值 2 比特的模拟编码（比如 QPSK）。

(b) T1 PCM 系统

答：

根据 Nyquist 定理，需要每秒采样 8000 次，且 T1 系统每次采样 7bits。

$$(a) \quad C = 2H \log_2 N = 2 \times 4\text{kHz} \times 2 = 16 \text{ Kbps}$$

$$(b) \quad C = 2H \log_2 N = 2 \times 4\text{kHz} \times 7 = 56 \text{ Kbps}$$

32. 使用如图 2-17 所示的中继器，试问需要多长时间才能把一个 1GB 的文件从一个 VSAT 发送到另一个？假设上行链路是 1Mbps，下行链路是 7Mbps，采用电路交换技术，电路的建立时间是 1.2 秒。

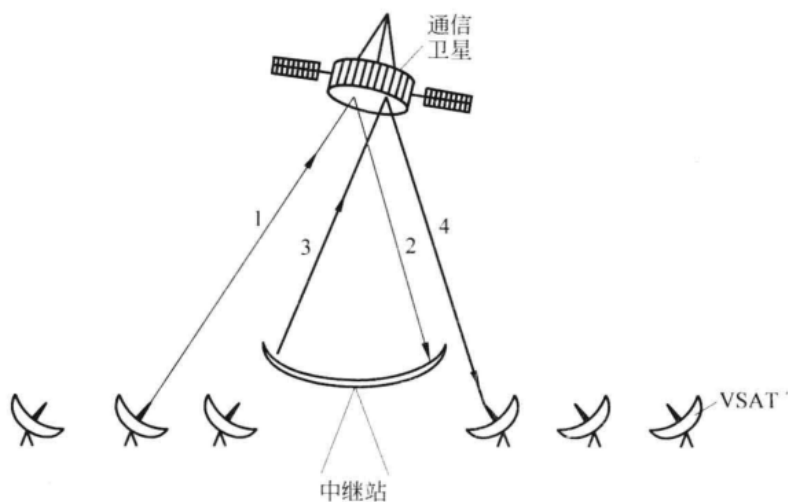


图 2-17 VSAT 使用中继站的图示

答：电路的建立时间：1.2s

$$\text{传播时延为：} 4 \times (35800000\text{m} / 300000000\text{m/s}) = 480\text{ms} = 0.48\text{s}$$

$$\text{发送时延为：} 1\text{GB} \times 8 / 1\text{Mbps} = 8192\text{s}$$

$$\text{所需要的总时间为：} 0.48 + 1.2 + 8192 = 8193.68\text{s}。$$

38. 比较在一个电路交换网络和一个（负载较轻的）包交换网络中，沿着 k 条路径发送一个 x 位长度消息的延迟。假设电路建立时间为 s 秒，每一条的传播延迟为 d 秒，数据包的大小为 p 位，数据传输率为 b bps。试问在什么条件下数据包网络的延迟比较短？请解释之。

答：

$$\text{电路交换时延} = \text{连接时延} + \text{发送时延} + \text{传播时延} = s + x/b + kd$$

包交换时延 = 发送时延 + 传播时延，在包交换网络中，由于采取存储转发技术，一个站点的发送时延为  $t = p/b$ 。数据在信道中经过  $k-1$  个  $t$  时间的流动后，从第  $k$  个  $t$  开始，每个  $t$  时间段内将有一个分组到达目的站（把传播时延和发送时延分开讨论后，这里不再考虑传播时延），从而  $n$  个分组的发送时延为  $(k-1)t + x/b$ ，

$$\text{因而包交换的总时延为 } (k-1)p/b + x/b + kd$$

令 $(k-1)p/b + x/b + kd < s + x/b + kd$ , 得 $(k-1)p/b < s$ , 即当 $(k-1)p/b < s$ 时, 包交换网络的延迟比较短。

46. 一个 CDMA 接收器得到了下面的码片:  $(-1+1-3+1-1-3+1+1)$ 。假设码片序列如图 2-28 (a) 所定义, 试问哪些移动站传输了数据? 每个站发送了什么比特?

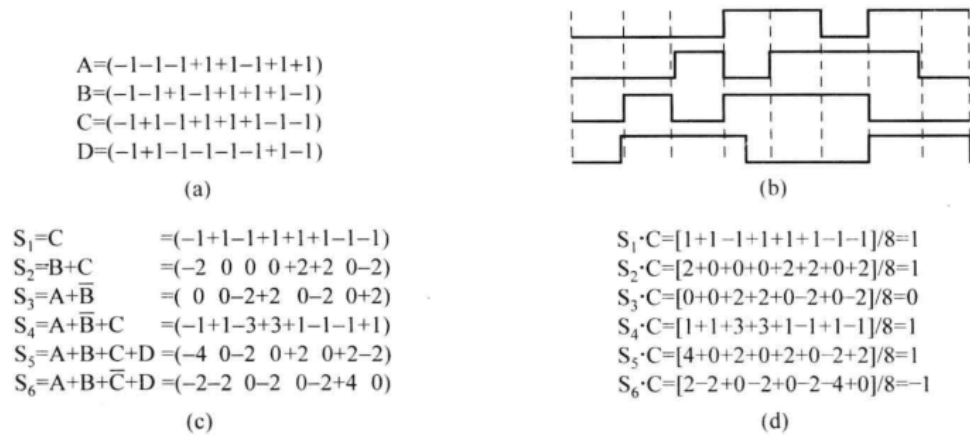


图 2-28

(a) 4 个站的码片序列; (b) 序列表示的信号; (c) 6 个传输实例; (d) 站 C 信号的恢复

答:

$$A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1) \cdot (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)/8 = 1$$

$$B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1) \cdot (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)/8 = -1$$

$$C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1) \cdot (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)/8 = 0$$

$$D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1) \cdot (-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)/8 = 1$$

因此 A、B、D 移动站传输了数据, 其中 A、D 移动站发送了 1, B 移动站发送了 0。