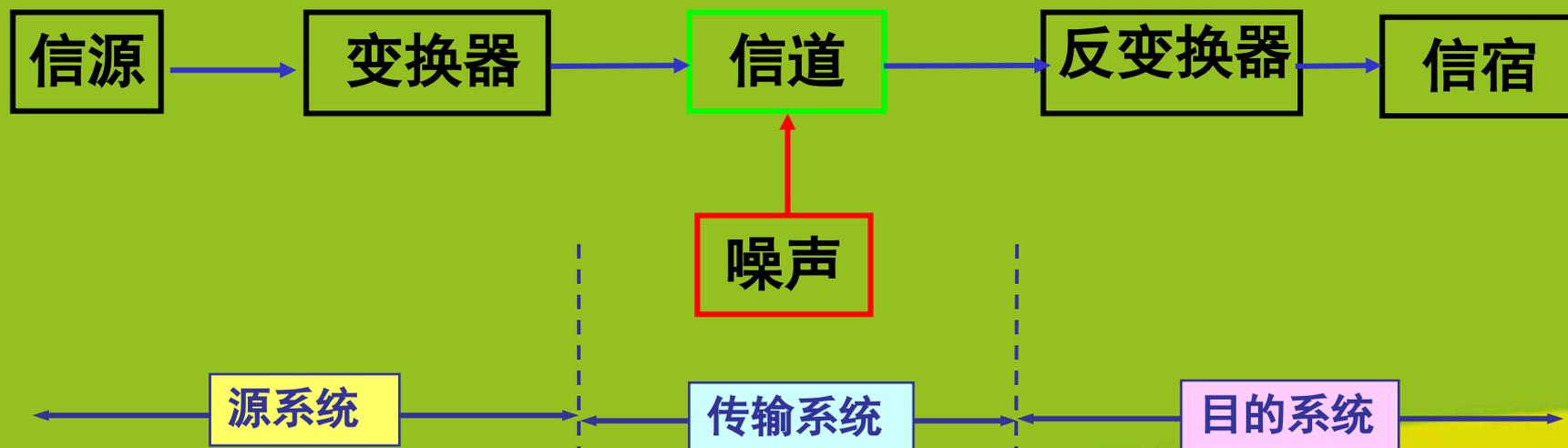


计算机通信与网络

§2.1 数据通信的基础理论

- 通信系统模型
- 带宽与傅里叶分析
- 信道的最大数据速率

通信系统模型



Modem (Modulator 和 Demodulator) 调制解调器

Codec (Coder 和 Decoder) 编码解码器

通信系统模型(续)

■单工(simplex) 通信

一端只发送，而另一端只接收。

■双工(duplex) 通信

此时信源与信宿合为一体，变换器与反变换器也合为一体。

又分全双工(full duplex) 和半双工(half duplex)

通信系统模型(续)

■ 模拟信号

■ 例 线（信道）上传送的按照话音强弱幅度连续变化的电波就是一种连续变化的电信号。

■ 数字信号

■ 计算机产生的电信号则是电脉冲序列串，每一瞬间的电压取值只可能是离散的有限个，比如说是+3v或0v两种不同的值。

■ 按照信道中传输的是模拟信号还是数字信号 可以相应地把信道分为两类，模拟

2.1.2 带宽与傅立叶分析

■将数字信号不经调制直接放到模拟信道上进行传输，会引起信号的失真（**distortion**，又译为畸变）

■任何实际的模拟信道所能传输的信号的频率都有一定的范围，称之为该信道通频带的宽度或称为带宽（**bandwidth**）。

注意：这一术语也可以用来表示容量，这时单位是比特每秒。

2.1.2 带宽与傅立叶分析(续)

- 信道的带宽是由传输媒体和有关的附加设备与电路的频率特性综合决定的。
- 一个低通信道，若对于从0到某个截止频率 f_c 的信号通过时振幅不会衰减或衰减很小，而超过此截止频率的信号通过时就会大大衰减，则此信道的带宽为 f_c Hz。

2.1.2 带宽与傅立叶分析(续)

有失真，但**可识别**



失真大，**无法识别**



2.1.2 带宽与傅立叶分析(续)

傅立叶分析

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$

$$\square \int_0^T \sin(2\pi kft) \sin(2\pi nft) dt = \begin{cases} 0 & \text{当 } k \neq n \\ T/2 & \text{当 } k = n \end{cases}$$

基波频率 $f=1/T$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \sin(2\pi nft) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cos(2\pi nft) dt$$

2.1.2 带宽与傅立叶分析(续)

以传输ASCII字符“b”为例,被传输的位模式是“01100010”,则 $g(t)$ 可表示为:

$$g(t) = \mu(t - \tau) - \mu(t - 3\tau) + \mu(t - 6\tau) - \mu(t - 7\tau)$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt \\ &= \frac{2}{T} \int_0^T (\mu(t - \tau) - \mu(t - 3\tau) + \mu(t - 6\tau) - \mu(t - 7\tau)) dt \\ &= \frac{2}{T} \left[\int_{\frac{T}{8}}^T \mu(t) dt - \int_{\frac{3T}{8}}^T \mu(t) dt + \int_{\frac{6T}{8}}^T \mu(t) dt - \int_{\frac{7T}{8}}^T \mu(t) dt \right] \\ &= \frac{2}{T} \left(T - \frac{T}{8} - T + \frac{3T}{8} + T - \frac{6T}{8} - T + \frac{7T}{8} \right) = \frac{3}{4} \end{aligned}$$

2.1.2 带宽与傅立叶分析(续)

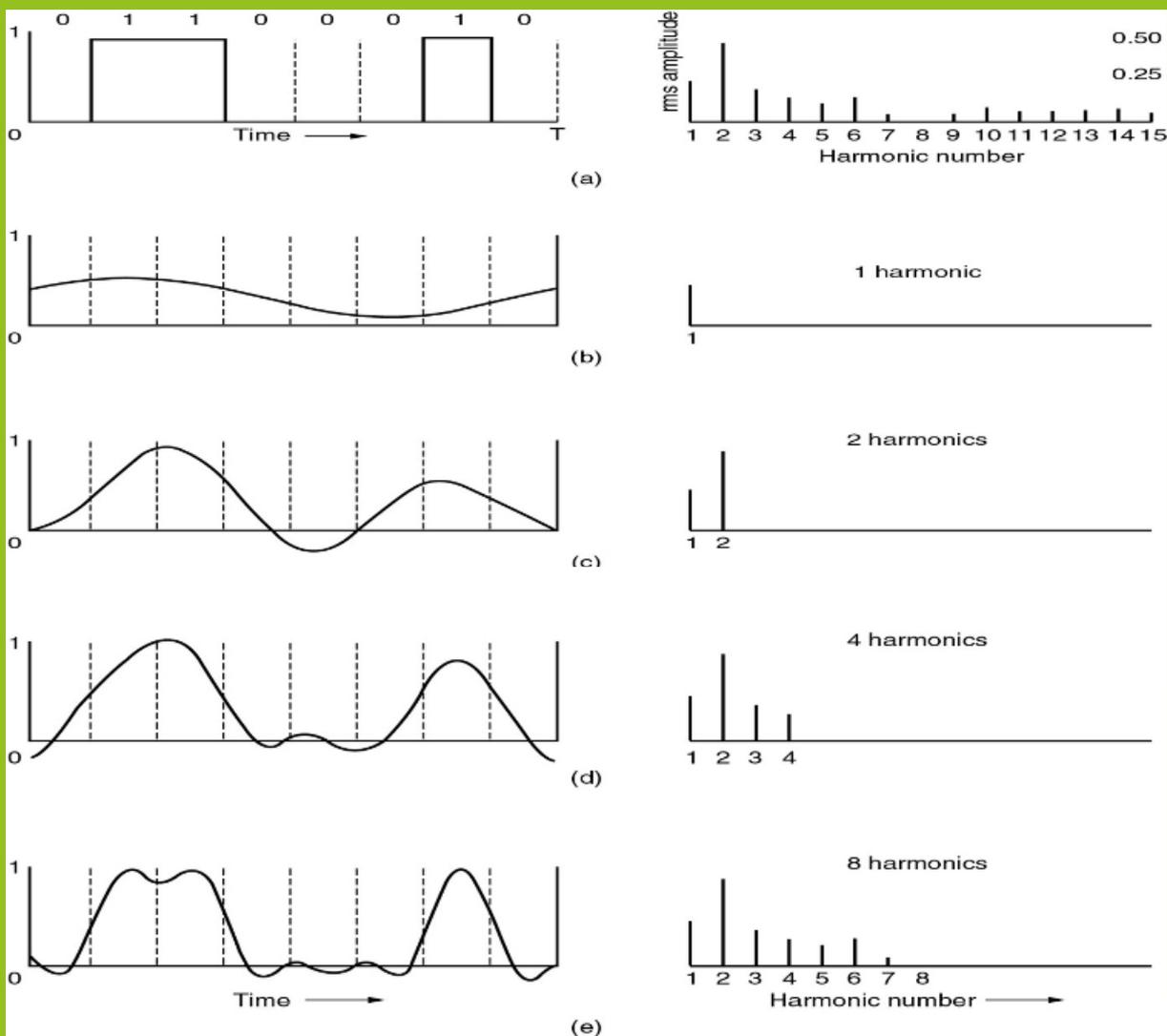
$$a_n = \frac{1}{\pi n} \left[\cos\left(\frac{\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{3\pi n}{4}\right) + \cos\left(\frac{6\pi n}{4}\right) - \cos\left(\frac{7\pi n}{4}\right) \right]$$

$$b_n = \frac{1}{\pi n} \left[\sin\left(\frac{3\pi n}{4}\right) - \sin\left(\frac{\pi n}{4}\right) + \sin\left(\frac{7\pi n}{4}\right) - \sin\left(\frac{6\pi n}{4}\right) \right]$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

A_n (振幅)的平方与对应频率处传输的能量成正比。

2.1.2 带宽与傅立叶分析(续)



信道的带宽越宽，则它传输数字信号时失真越小。反之，若信道的带宽是固定的，则用它来直接传输数字信号的数据速率越高则失真越大。

信道带宽和数字信号失真的关系

2.1.3 信道的最大数据速率

1. 奈奎斯特定理

1924年奈奎斯特(H.Nyquist)特推导出一个有限带宽无噪声信道的最大数据传输速率公式：

$$C = 2H \log_2 L \quad (\text{b/s})$$

其中：H-信道带宽，

L-该信号包含的状态数

C-最大数据传输速率

给出了在假定的理想条件下，为了避免码间串扰，码元的传输速率的上限值。

2.1.3 信道的最大数据速率(续)

例：如果一个理想低通信道带宽为6kHz，并通过4个电平的数字信号，则在无噪声的情况下，信道的容量为：

$$\begin{aligned}C &= 2H \log_2 L \\ &= 2 * 6\text{kHz} * \log_2 4 \\ &= 24\text{kb/s}\end{aligned}$$

2.1.3 信道的最大数据速率(续)

2. 香农定理

1948年香农(C.Shannon)进一步研究了受噪声（服从高斯分布）干扰的信道的情况，给出了香农公式：

$$C = H \log_2(1+S/N) \quad (\text{b/s})$$

其中：H-信道带宽，

C-最大数据传输速率

S/N——信号功率和噪声功率的比值

由于S/N比较大，故用 $10 \lg(S/N)$ 分贝(dB)来计量

2.1.3 信道的最大数据速率(续)

例：信噪比为30dB，带宽为4000Hz的随机噪声信道的最大数据传输速率为：

$$\begin{aligned} C &= 4000 * \log_2(1 + 10^{30/10}) \\ &= 4k * \log_2 1001 \approx 40kb/s \end{aligned}$$

2.1.3 信道的最大数据速率(续)

3. 波特率和比特率

波特率 (又称调制速率或码元速率)是单位时间内调制信号波形的变换次数。

$B = 1/T$ 单位是**波特(Baud)**

比特率 (又称数据传输速率或信道容量)是指单位时间内传送的比特数, 表示单位时间内通过信道的信息量。

单位是**比特/秒 (b/s或bps)**

如果一个信号有L个状态, 每个波形持续时间为T(s), 比特率C为:

$$C = (\log_2 L) / T = B \log_2 L$$

§ 2.2 传输技术

- 模拟传输与数字传输
- 数字调制技术
- 脉码调制技术
- 多路复用技术
- 数字信号编码技术

2.2.1 模拟传输与数字传输

- 模拟传输是一种不考虑其内容的模拟信号传输方式。
 - 在传输过程中，信号由于噪声的干扰和能量的损失总会发生畸变和衰减。
 - 放大器
 - 多级放大器
- 数字传输则不一样，关心的是信号的内容
 - 0和1变化模式的数据就可以采用。
 - 方波脉冲式的数字信号会衰减,也会更容易发生畸变
 - 转发器(repeater)：再生器(regenerator)

2.2.1 模拟传输与数字传输(续)

- 在长距离通信中，数字传输技术逐步取代模拟传输技术已是一种必然的趋势。
- 但是，在如局域网这种近距离的通信中，由于衰减和畸变不太严重，甚至于不必经过放大器中继，模拟传输技术仍有一席之地。

2.2.2 模拟传输与数字传输

■通信系统中

■**基带信号**：由信源产生的原始电信号

基带信号往往包含有较多的低频成分，甚至有直流成分，而许多信道并不能传输这种低频分量或直流分量。因此必须对基带信号进行**调制(modulation)**

■在调制过程中基带信号又称调制信号

■调制的过程就是按调制信号（基带信号）的变化规律去改变载波某些参数的过程

2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

■调制的方法分两大类

■正弦型高频信号作为载波的正弦波调制

√模拟调制：调制信号为连续型的正弦波调制

√数字调制：调制信号为数字型的正弦波调制

■用脉冲串作为载波的脉冲调制

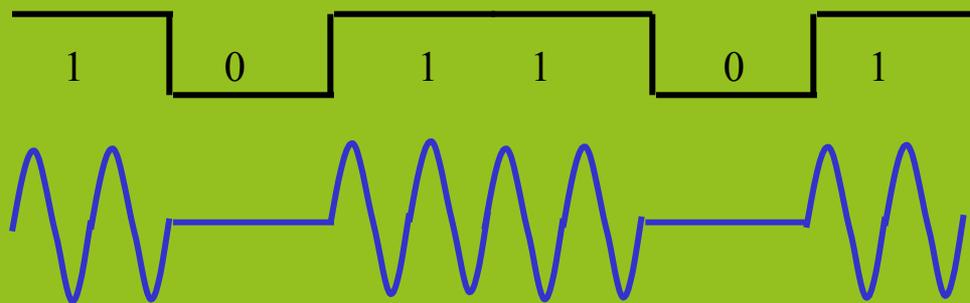
2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

正弦振荡的载波可用 $A \sin(2\pi ft + \Phi)$ 来表示,使其幅度 A 、频率 f 或相位 Φ 随基带信号变化而变化,就可在载波上进行调制了。

- 幅度调制
- 频率调制
- 相位调制
- 混合调制

2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

1. 幅度调制 (Amplitude Modulation)

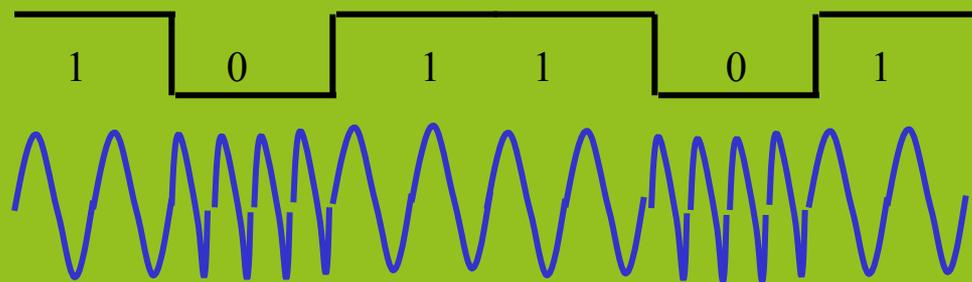


$$s(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi ft) & \text{binary 1} \\ 0 & \text{binary 0} \end{cases}$$

幅度调制技术简单，实现容易，但抗干扰能力差，传输速率低。

2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

2. 频率调制(Frequency Modulation)

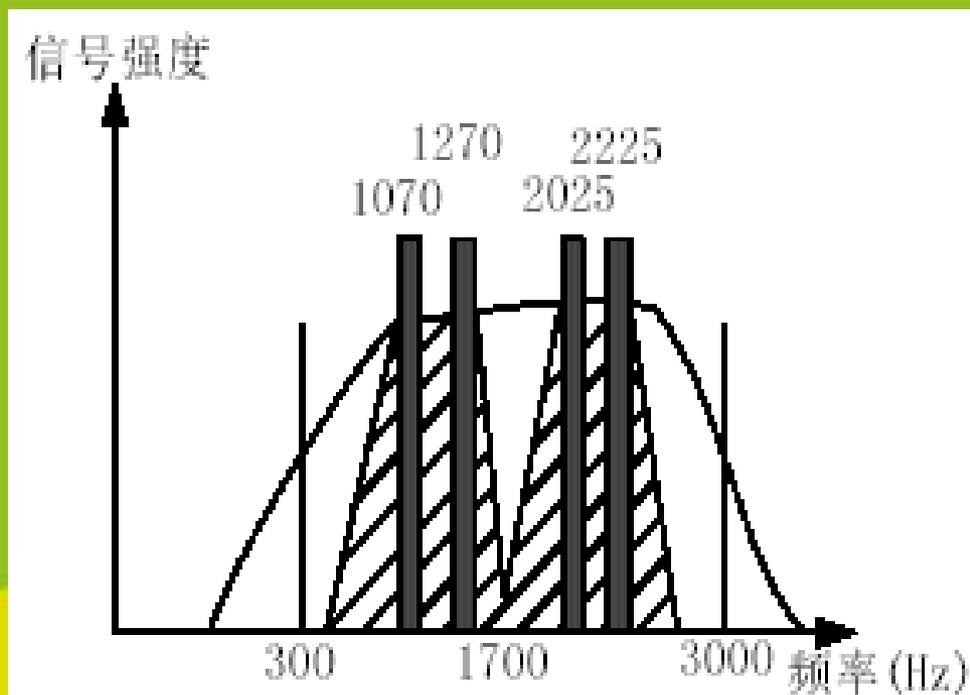


$$s(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi f_1 t) & \text{binary } 1 \\ A \sin(2\pi f_2 t) & \text{binary } 0 \end{cases}$$

频率调制抗干扰能力优于调幅，但频带利用率不高，也只在传输较低速率的数字信号时得到广泛应用。

2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

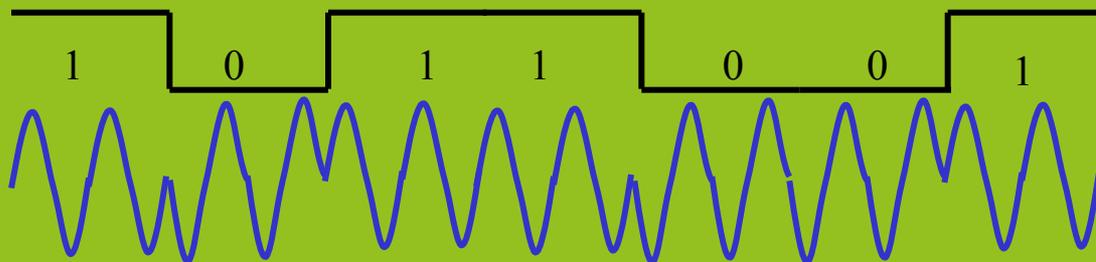
- 在音频**300~3000 Hz**的范围内一分为二。
- 图中每对频率周围的阴影区表示每个方向已调信号的实际带宽。阴影部分重叠极少，也就意味着相互干扰很小



贝尔公司的**108**系列调
频方式的调制解调器

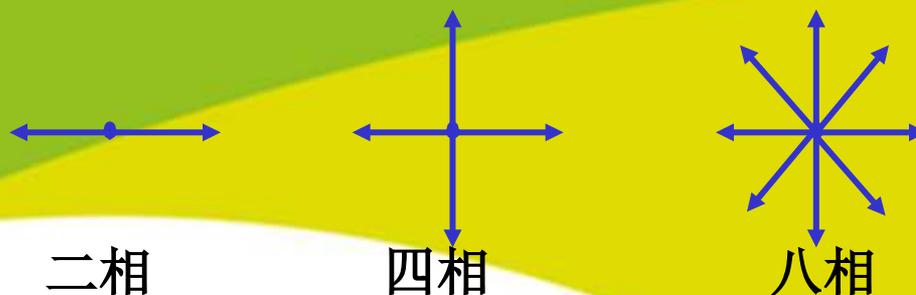
2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

3. 相位调制(Phase Modulation)



$$s(t) = \begin{cases} A \sin(2\pi ft + \pi) & \text{binary 1} \\ A \sin(2\pi ft) & \text{binary 0} \end{cases}$$

多相调制

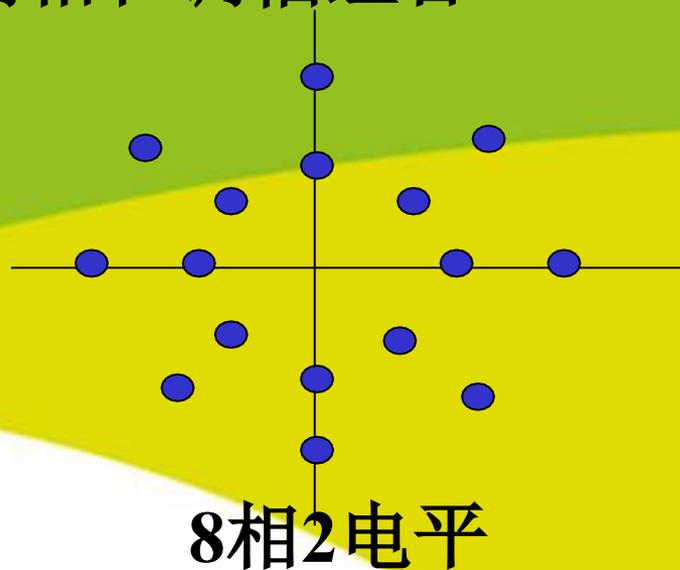
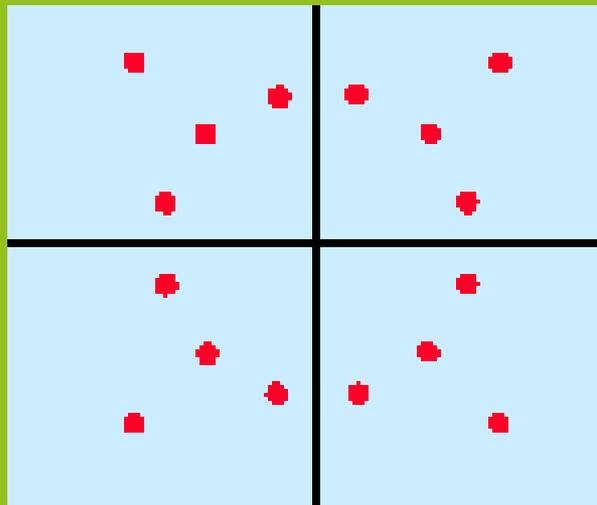


相位调制技术具有较优的抗噪声性能和频率利用率，在中、高速数据传输中广泛应用。

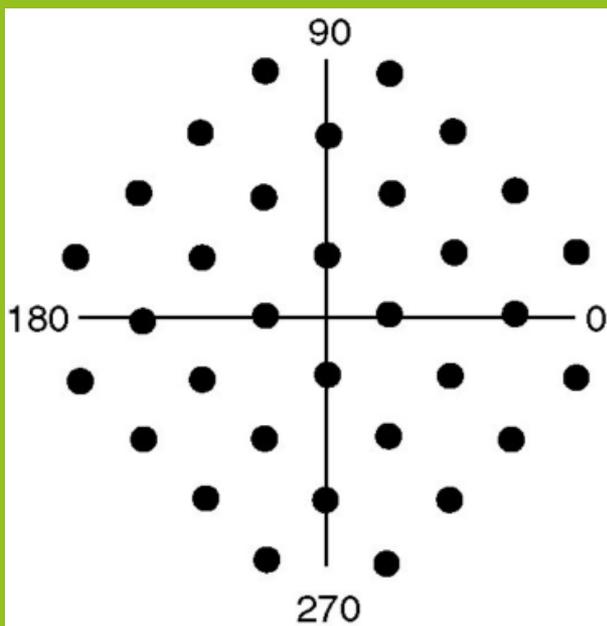
2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

4.混合调制

各种调制方式可适当地组合使用。最常用的有调相与调幅的结合，正交调制QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 就是调相和调幅组合

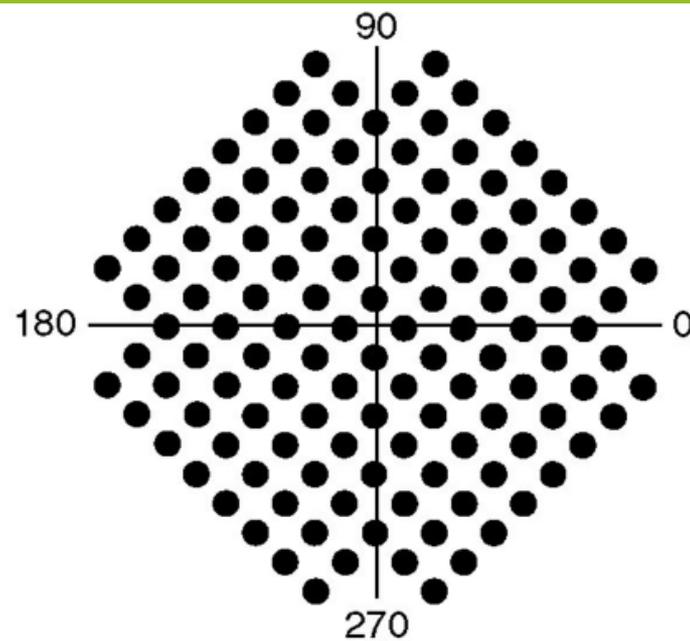


2.2.2 模拟传输与数字传输(续)



(b)

(b) V.32 for 9600 bps.



(c)

(c) V.32 bis for 14,400 bps.

2.2.2 模拟传输与数字传输(续)

在数据通信中调幅、调频和调相常相应地称为：

- 幅移键控ASK(Amplitude Shift Keying)
- 频移键控FSK(Frequency Shift Keying)
- 相移键控PSK(Phase Shift Keying)

2.2.3 脉码调制技术

- 在发送端将模拟信号变换为数字信号的装置称为编码器（Coder），而在接收端将收到的数字信号复原成模拟信号的装置则称为解码器(Decoder)。既能编码又能解码的装置，即编码解码器（Codec）。
- 将模拟信号变换为数字信号的常用方法是脉码调制PCM(Pulse Code Modulation)。脉码调制的过程由取样、量化和编码三步构成。

2.2.3 脉码调制技术 (续)

- 脉码调制 **PCM** 体制最初是为了在 局之间的中继线上传送多路的 。
- 由于 上的原因，**PCM** 有两个互不兼容的国际标准，即北美的 **24 路 PCM**（简称为 **T1**）和欧洲的 **30 路 PCM**（简称为 **E1**）。我国采用的是欧洲的 **E1** 标准。
- **E1** 的速率是 **2.048 Mb/s**，而 **T1** 的速率是 **1.544 Mb/s**。
- 当需要有更高的数据率时，可采用复用的方法。

2.2.3 脉码调制技术 (续)

1. 取样

- 按一定的时间间隔采样测量模拟信号幅值
- 若模拟信号的带宽是 H Hz,则取样频率达到 $2H$ 就足以捕获可恢复原有模拟信号的信息

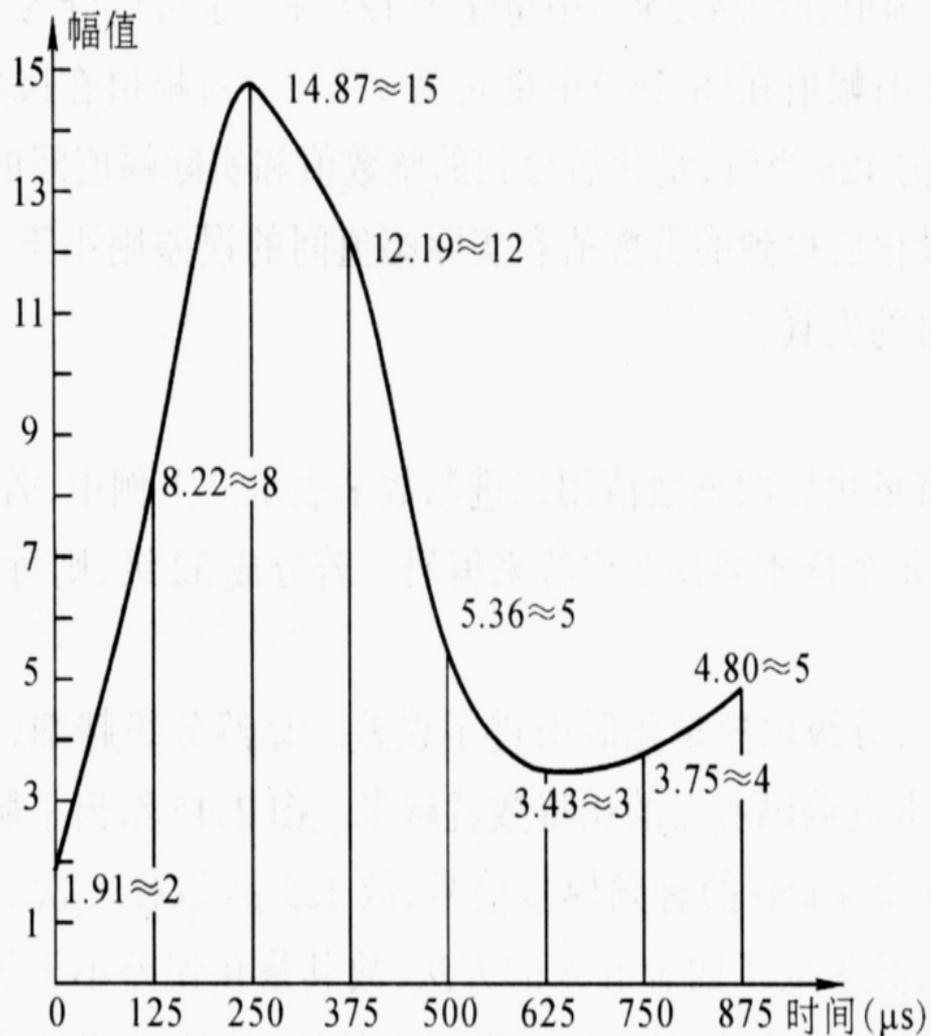
2. 量化

- 将取样点处测得的信号幅值分级取整的过程
- 将信号的最大可能幅值等分为若干级(2^n 级),把测得的幅值按此分级舍入取整到一个正整数。

3. 编码

- 将量化后的整数值用二进制数来表示

2.2.3 脉码调制技术 (续)



■左图是4 kHz的音频模拟信号，故 $125 \mu\text{s}$ 取样一次。

■量化时按最大幅值等分为16级来进行，其量化误差小于等于最大幅值的 $1/32$ 。

■量化后的整数用4位二进制来编码，故得到的脉码为：

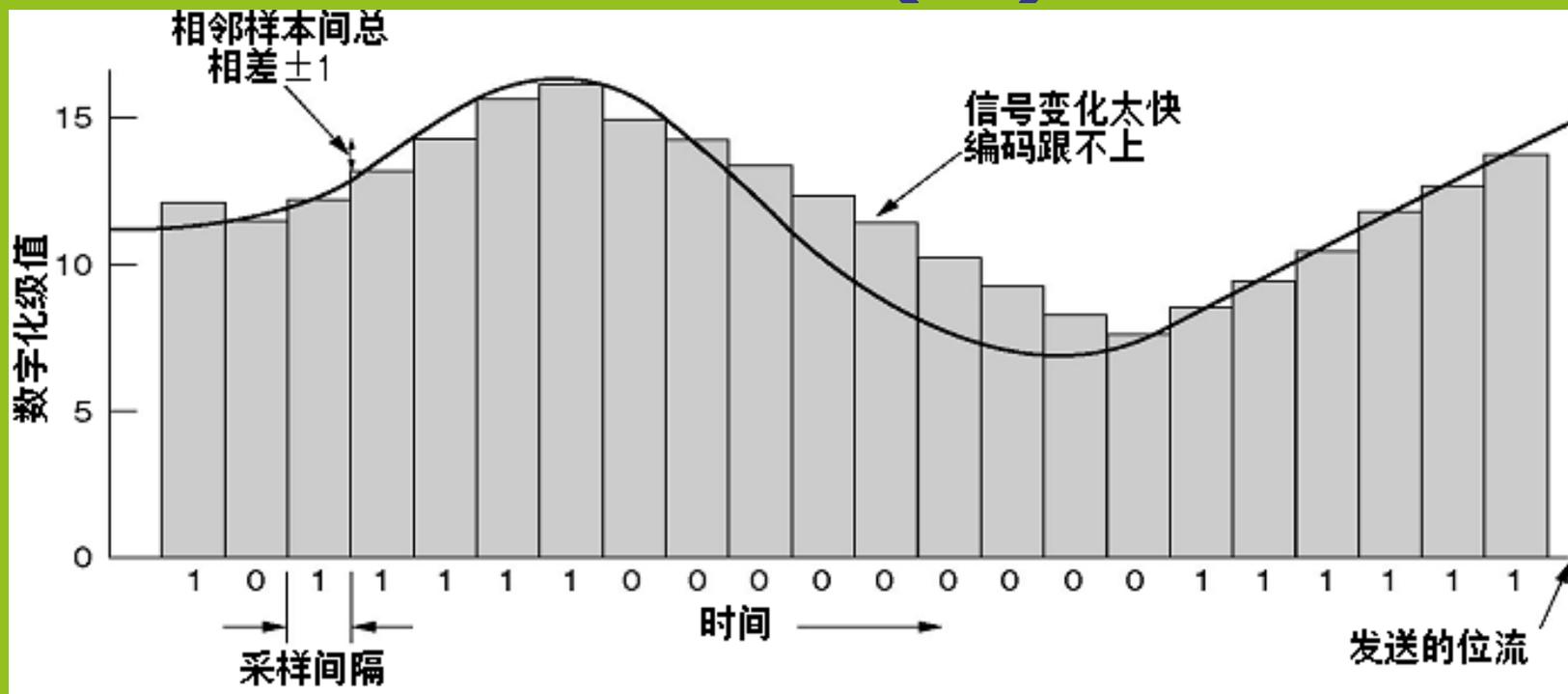
0010 1000 1111 1100

0101 0011 0100 0101

2.2.3 脉码调制技术 (续)

- 差分脉码调制DPCM(Differential Pulse Code Modulation)
 - 输出不是数字化的幅度本身，而是当前值和前一个值之差。
 - 这种压缩方法的一种变形只考虑每个取样值是大于或是小于前一个值。

2.2.3 脉码调制技术 (续)



- **增量调制 (Delta Modulation)**
 - 用0或1就可以分别表示新的取样值是大于或是小于前一个取样值，这样只需传送一个比特。
 - 这个技术假设两个相邻取样值间的变化是小的，如果信号变化太快，增量编码将遇到麻烦。

2.2.3 脉码调制技术 (续)

- 预测性编码 (Predictive Encoding)
 - 改进是从前面的几个值预测将要到来的下一个值，然后对实际信号值和预测值间的差进行量化和编码。
 - 发送器和接收器必须使用同样的预测算法。
 - 它缩短了编码数字的长度，因而减少了需要发送的比特数。

一般说来，越是复杂的编码方法实现起来也就更困难，编码解码器的价格也就更贵

2.2.4 多路复用技术

把多路信号在单一的传输线路和用单一的传输设备来进行传输的技术。

- 频分多路复用
- 时分多路复用
- 波分多路复用

2.2.4 多路复用技术 (续)

1. 频分多路复用 (FDM——Frequency Division Multiplexing)

■在物理信道能提供比单个原始信号宽得多的带宽的情况下，我们就可将该物理信道的总带宽分割成若干个和传输的单个信号带宽相同（或略为宽一点）的子信道传输一路信号。

■多路的原始信号在频分复用前，首先要通过频谱搬移技术，将各路信号的频谱搬移到物理信道频谱的不同段上，这可以通过频率调制时采用不同的载波来实现。

2.2.4 多路复用技术 (续)

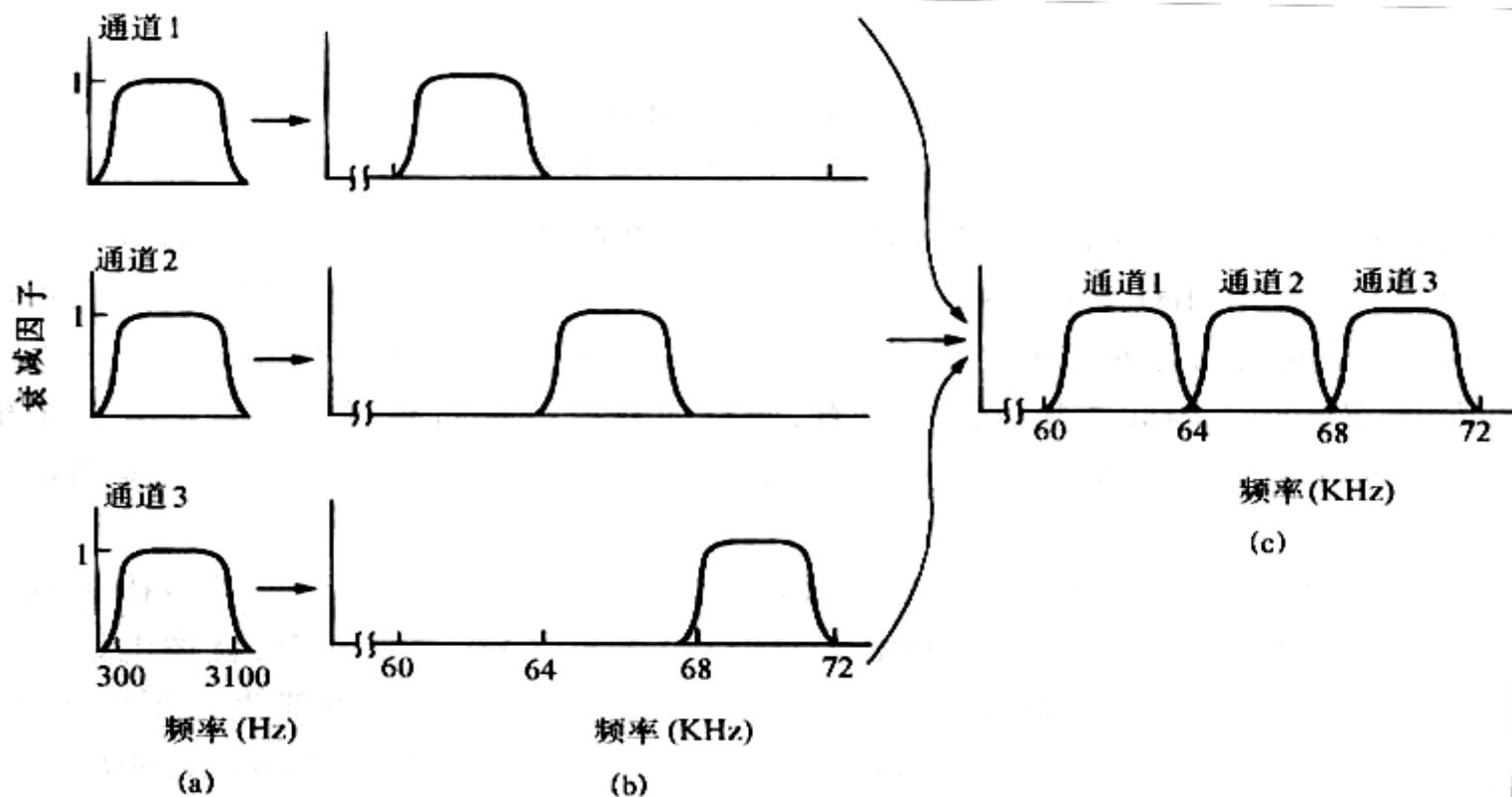
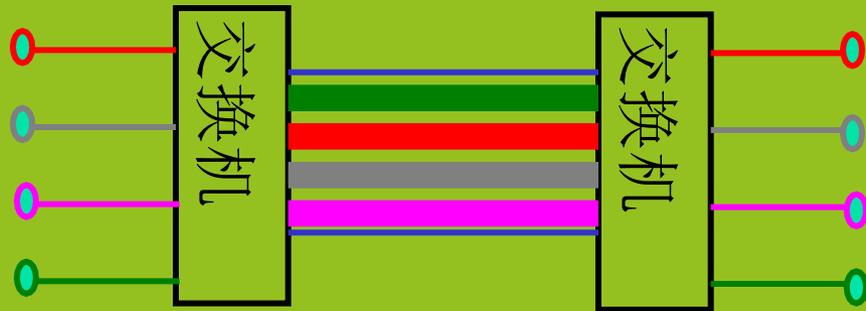


图 2-24 频分多路复用

(a) 原来的带宽; (b) 带宽被升频; (c) 多路复用的通道。

2.2.4 多路复用技术 (续)



群 (group): 12个4kHz音频通道复用在带宽为48KHz的线路上。

超群 (super group): 5个群复用在带宽为240KHz的线路上。

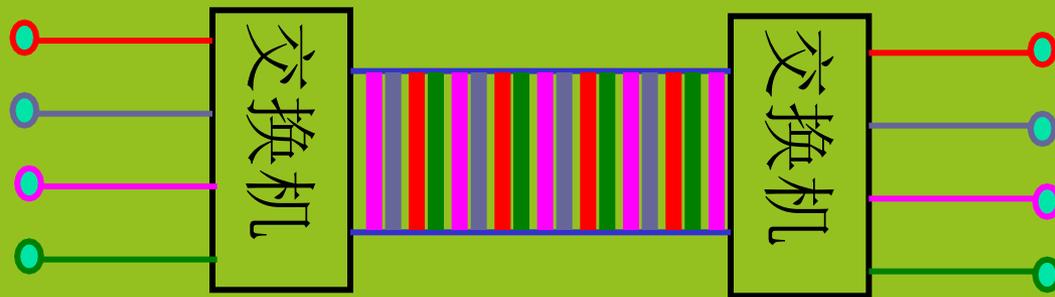
主群 (master group): 5个或10个超群复用。

2.2.4 多路复用技术 (续)

2.时分多路复用 (TDM——Time Division Multiplexing)

- 将一条物理的传输线路按时间分成若干时间片轮换地为多路信号所使用。
- 与FDM区别：每一时间片由复用的一个信号占用，而FDM是同一时间同时发送各路信号。
- 性质上：特别适合于数字信号的场合，可用一组定时的时间选通门来执行信号的复合与分离。

2.2.4 多路复用技术 (续)



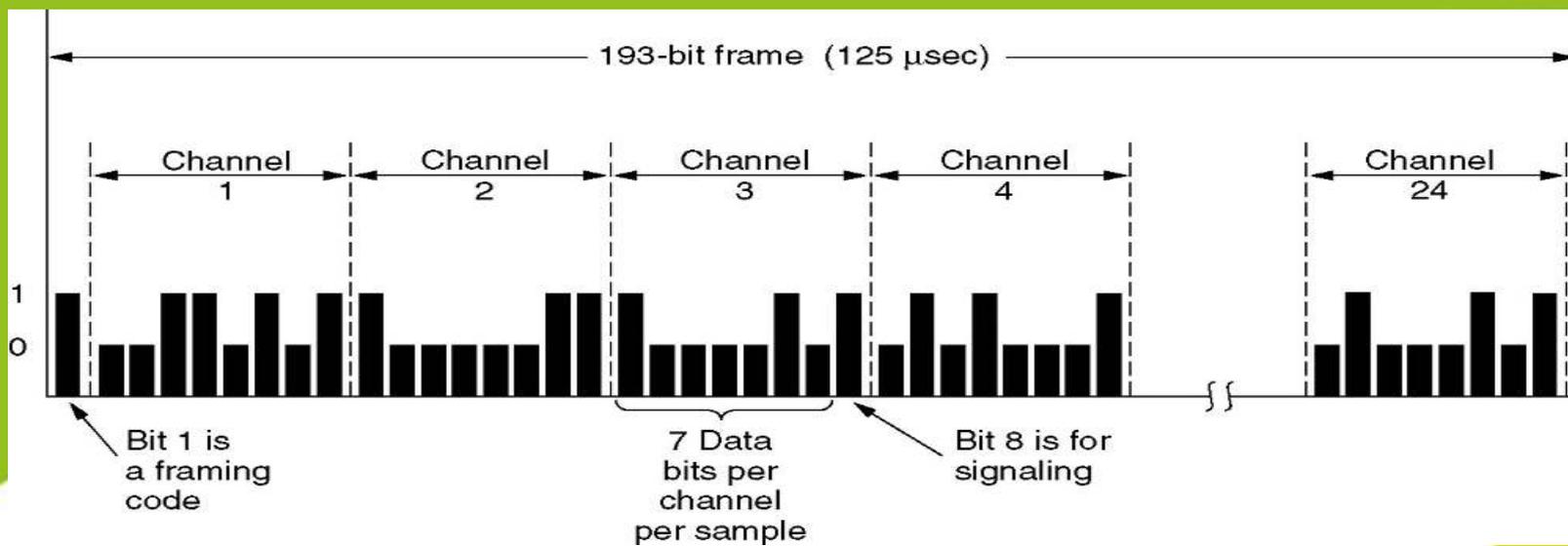
- 频分多路复用中各路信号在微观上是并行传输的。
- 时分多路复用在微观上是串行传输，而在宏观上是并行的。

2.2.4 多路复用技术 (续)

T1载波 (北美) 和E1载波 (欧洲)

T1载波：每125us产生193比特，构成一帧。
每样本每信道7个数据位,1位信令信息

$$\text{总带宽} = [(7+1)*24+1] * 8000 = 1544000$$



以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/198116143100006066>