



## 2.2 信道的极限容量



# 信道的极限容量

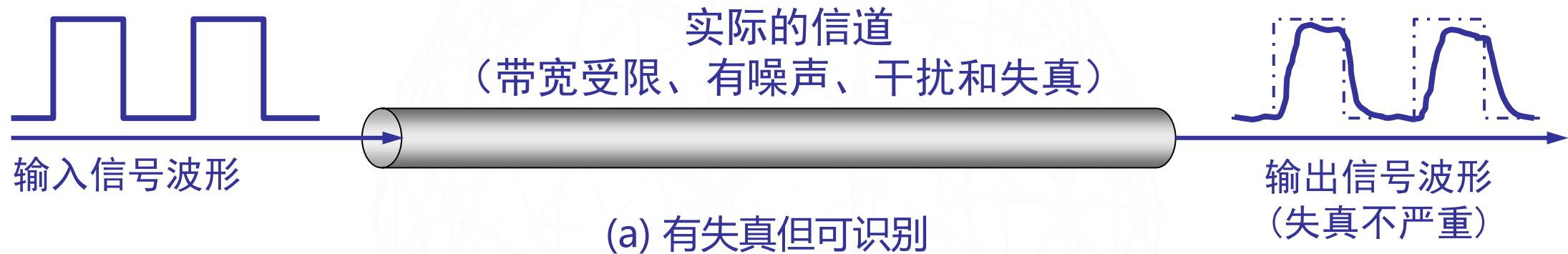


- 任何实际的信道都不是理想的，在传输信号时会产生各种失真以及带来多种干扰。
- 码元传输的速率越高，或信号传输的距离越远，在信道的输出端的波形的失真就越严重。
- 数字通信的优点：在接收端只要我们能从失真的波形识别出原来的信号，这种失真对通信质量就没有影响。

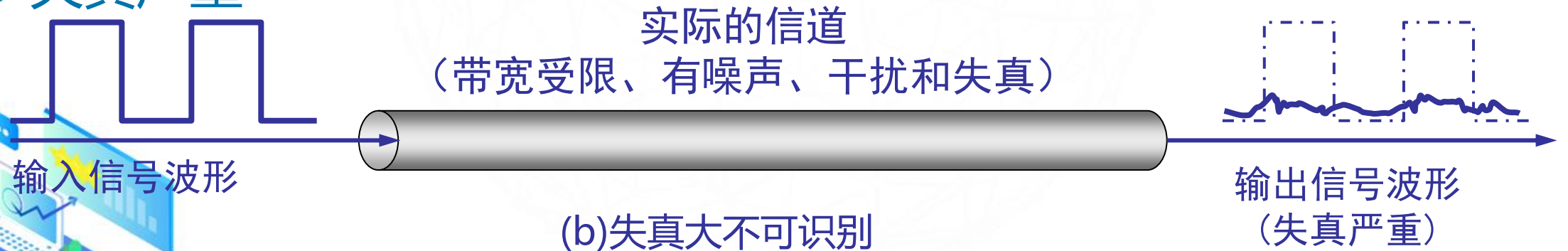


# 数字信号通过实际的信道

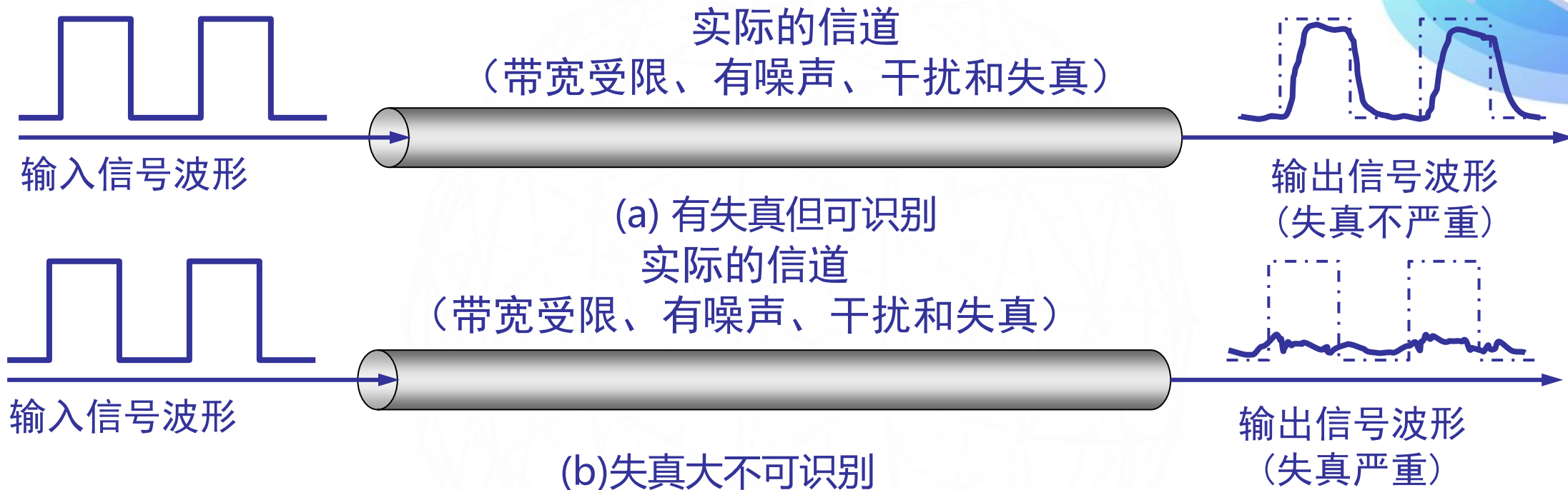
## 失真不严重



## 失真严重



# 码间串扰



➤ 在接收端收到的信号波形失去了码元之间清晰界限，这种现象叫做**码间串扰**。

# 信道的最高码元传输速率



限制码元在信道上的传输速率的因素：

## (1) 信道能够通过的频率范围

- 1924 年，奈奎斯特(Nyquist)就推导出了著名的**奈氏准则**。他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。
- 在任何信道中，码元传输的速率是有上限的，否则就会出现码间串扰的问题，使接收端对码元的判决（即识别）成为不可能。
- 如果信道的频带越宽，也就是能够通过的信号高频分量越多，那么就可以用更高的速率传送码元而不出现码间串扰。

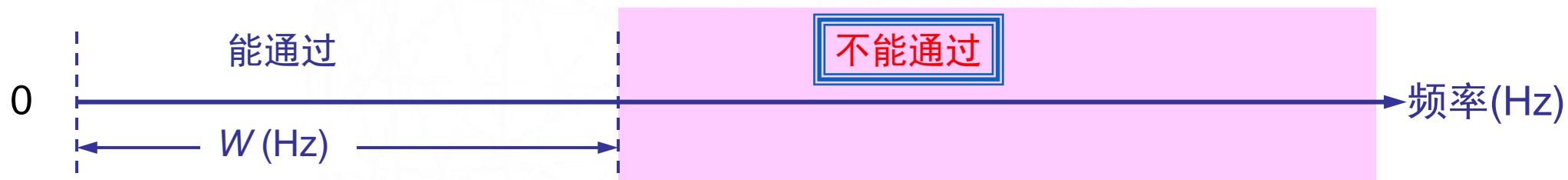




# 奈氏 (Nyquist) 准则

理想低通信道的最高码元传输速率 =  $2W$  Baud

$W$  是理想低通信道的带宽, 单位为赫兹(Hz)



- 每赫带宽的理想低通信道的最高码元传输速率是每秒 2 个码元。
- Baud 是波特, 是码元传输速率的单位, 1 波特为每秒传送 1 个码元。

## 要强调以下两点

- 实际的信道所能传输的最高码元速率，要明显地低于奈氏准则给出上限数值。
- 波特(Baud)和比特(bit)是两个不同的概念。
  - 波特是码元传输的速率单位（每秒传多少个码元）。码元传输速率也称为调制速率、波形速率或符号速率。
  - 比特是信息量的单位。

## 要注意“比特/秒”与“波特”的关系



- 信息的传输速率“比特/秒”与码元的传输速率“波特”在数量上有一定的关系。
- 若 1 个码元只携带 1 bit 的信息量，则“比特/秒”和“波特”在数值上相等。
- 若 1 个码元携带  $n$  bit 的信息量，则  $M$  Baud 的码元传输速率所对应的信息传输速率为  $M \times n$  b/s。

[例]有一个带宽为3kHz的理想低通信道，其最高码元传输速率为6000波特，若1个码元能携带3bit的信息，则最高信息传输速率为

$$6000 \times 3 = 18000 \text{ b/s}。$$






码元的传输速率受奈氏准则的制约，所以要提高信息的传输速率，就必须设法使每个码元能携带更多个比特的信息量。这就需要采用多元制的调制方法。





2010年考研题：

在无噪声情况下，若某通信链路的带宽为3kHz，采用4个相位，每个相位具有4种振幅的QAM调制技术，则该通信链路的最大信息传输速率为（    ）b/s。





2010年考研题：

在无噪声情况下，若某通信链路的带宽为3kHz，采用4个相位，每个相位具有4种振幅的QAM调制技术，则该通信链路的最大信息传输速率为（    ） b/s。

解答：采用4个相位，每个相位具有4种振幅的QAM调制技术，则有16种不同的组合，则1个码元可携带4bit信息量，根据奈氏准则：

$$\begin{aligned}\text{最高信息传输速率} &= 2W\text{Baud} = 2 \times 3\text{kHz} = 6000\text{Baud} \\ &= 6000\text{码元/s} \times 4\text{bit/码元} = 24000\text{b/s}.\end{aligned}$$



# 信道的极限信息传输速率

限制码元在信道上的传输速率的因素：

## (2) 信噪比

- 噪声存在于所有的电子设备和通信信道中。
- 如果信号相对较强，噪声的影响就相对较小。
- **信噪比**是信号的平均功率 $S$ 和噪声的平均功率 $N$ 之比，常记为 $S/N$ ，单位是分贝(dB)。  
$$\text{信噪比(dB)} = 10 \log_{10}(S/N) \text{ (dB)}$$

已知 $S/N=10$ ，则信噪比为10dB；

若信噪比为30dB，则 $S/N=1000$



# 香农 (Shannon) 公式

- 1948年，香农(Shannon)用信息论的理论推导出了带宽受限且有高斯白噪声干扰的信道的极限、无差错的信息传输速率，即**香农公式**。

信道的极限信息传输速率  $C$  可表达为：
$$C = W \log_2(1 + S/N) \text{ b/s}$$

- $W$  为信道的带宽（以Hz为单位）；
  - $S/N$  为信道内所传信号的平均功率与信道内部的高斯噪声功率之比。
- 实际使用的信道，信噪比都要足够大。

**【例】** 已知信噪比为30dB，带宽为3kHz，求信道的最大数据传输速率。

$$\because 10\lg(S/N)=30 \quad \therefore S/N=10^3=1000$$

$$\therefore C=3\text{k}\log_2(1+1000)\approx 30\text{k bps}$$



## 香农公式表明

- 信道的带宽或信道中的信噪比越大，则信息的极限传输速率就越高。
- 只要信息传输速率低于信道的极限信息传输速率，就一定可以找到某种办法来实现无差错的传输。
- 若信道带宽  $W$  或信噪比  $S/N$  没有上限（当然实际信道不可能有这样的），则信道的极限信息传输速率  $C$  也就没有上限。
- 实际信道上能够达到的信息传输速率要比香农的极限传输速率低不少。

