

本节内容

信道的极限 容量

知识总览

信道的极限容量

回顾：信道带宽的概念

噪声的概念 —— 噪声会影响信道的数据传输效果

奈奎斯特定理 —— 无噪声情况下信道的极限波特率

香农定理 —— 有噪声情况下信道的极限比特率

回顾：带宽

本质一样：
信道带宽
越大，传
输数据的
能力越强

在《计算机网络》中：

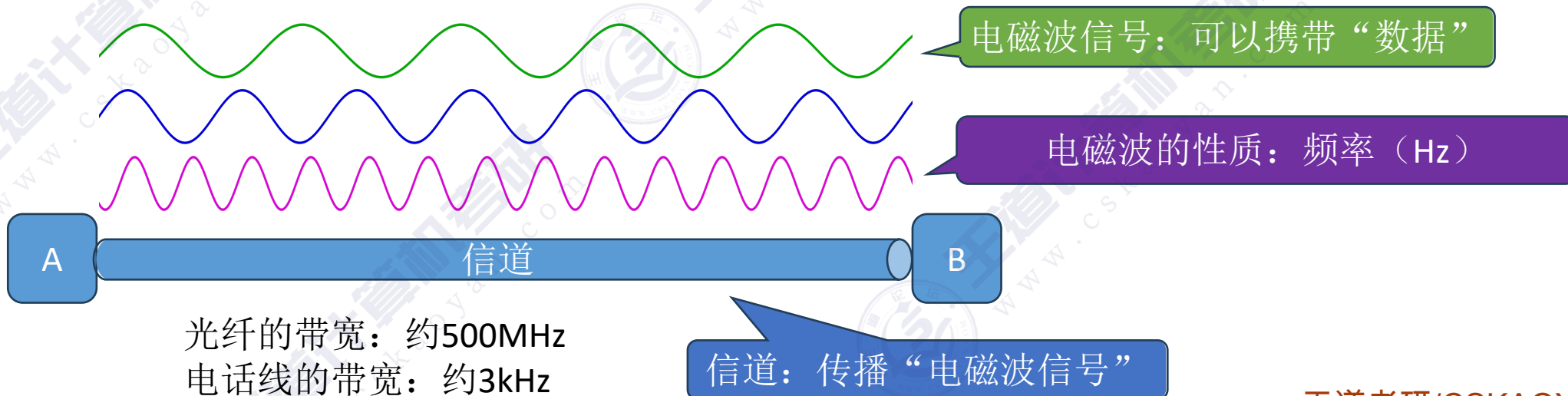
带宽 (bandwidth)：表示某信道所能通过的“**最高数据率**”。
单位：**bps** (或记为 b/s、bit/s；可加上数量前缀 k、M、G、T)。

在《通信原理》（通信领域的一门基础学科）中：

带宽 (bandwidth)：表示某信道**允许通过的信号频带范围**。
单位：**Hz** (读作“赫/赫兹”；可加上数量前缀 k、M、G、T)。

内在联系

香农定理
奈氏准则



噪声

信号：是数据的载体，在信道上传输

声波

听觉信道

喂，呼叫二狗！

听觉信道带宽 = 19980Hz

噪声：对信道产生干扰，影响信道的数据传输效率

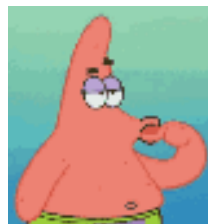
正常人耳能听到的声音的频率范围

次声

超声

20Hz

20000Hz



奈奎斯特定理（奈氏准则）

奈奎斯特定理：对于一个 理想低通信道（**没有噪声**、带宽有限的信道）
极限波特率 = $2W$ （单位：波特，即 码元/秒）

W 是信道的频率带宽（单位：Hz）

一个码元可以携带多少比特数据？

如果一个“信号周期”内可能出现 K 种信号，则：

$$1 \text{ 码元} = \log_2 K \text{ bit}$$

$$\text{极限比特率} = 2W \log_2 K \text{ b/s}$$

例题1

【2022年408真题_34】

使用奈奎斯特定理
的前提条件

4个幅值——即4种信
号，也即4种码元

34. 在一条带宽为 200 kHz 的无噪声信道上，若采用 4 个幅值的 ASK 调制，则该信道的最大数据传输速率是（ ）。

A. 200 kbps

B. 400 kbps

C. 800 kbps

D. 1600 kbps

奈奎斯特定理：无噪声信道上，极限波特率 = $2W$ （单位：波特，即 码元/秒）

每个码元携带 $\log_2 4 = 2\text{bit}$ 数据

该信道最大数据传输速率 = $2 \times 200\text{k} \times \log_2 4 = 800\text{kbps}$

香农定理

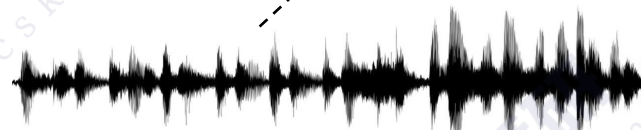
香农定理: 对于一个**有噪声**、带宽有限的信道

$$\text{极限比特率} = W \log_2(1 + S/N) \quad (\text{单位: b/s})$$

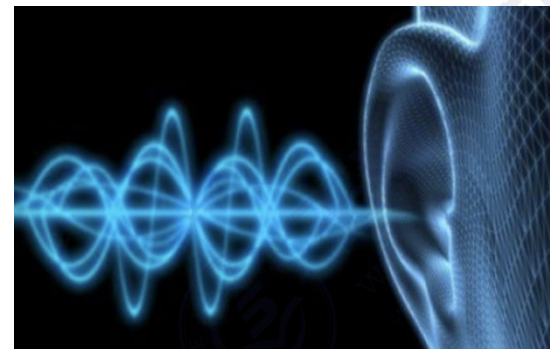
W 是信道的频率带宽 (单位: Hz)

S/N 信噪比

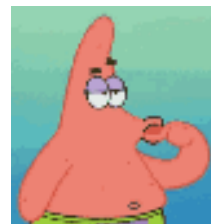
信噪比



信号：是数据的载体，在信道上传输



噪声：对信道产生干扰，影响信道的数据传输效率



$$\text{信噪比} = S/N = \frac{\text{信号的功率}}{\text{噪声的功率}}$$

信噪比越高，噪声对数据传输的影响越小

例如：

你讲话的声音功率 $S = 100$ 瓦

舍友背单词的声音功率 $N = 5$ 瓦

信噪比 $= S/N = 100/5 = 20$

信噪比的另一种记法

$$\text{信噪比} = S/N = \frac{\text{信号的功率}}{\text{噪声的功率}}$$

无单位

以“dB（分贝）”为单位表示信噪比：

$$\text{信噪比} = 10 \log_{10} S/N$$

单位：dB（分贝）

在通信领域，信号功率往往比噪声功率大得多，如：

网线信号功率>10W，电场、磁场噪声干扰极小。

采用无单位记法，信噪比 $= \frac{S}{N} = 100000000000000000000$ （👉🐼别数了，19个0）

采用分贝记法，信噪比 $= 10 \log_{10} S/N = 10 \log_{10} 100000000000000000000 = 190\text{dB}$

香农定理

香农定理: 对于一个**有噪声**、带宽有限的信道

$$\text{极限比特率} = W \log_2(1 + S/N) \quad (\text{单位: b/s})$$

W 是信道的频率带宽 (单位: Hz)

S/N 信噪比

注意: 使用香农定理计算信道的极限比特率时, “**信噪比**”应采用“**无单位记法**”

$$\text{信噪比} = S/N = \frac{\text{信号的功率}}{\text{噪声的功率}}$$

无单位

$$\text{信噪比} = 10 \log_{10} S/N$$

单位: dB (分贝)

例题2

【2016年408真题_34】

需要将信噪比从“分贝记法”转换为“无单位记法”

34. 若连接 R2 和 R3 链路的频率带宽为 8kHz，信噪比为 30dB，该链路实际数据传输速率约为理论最大数据传输速率的 50%，则该链路的实际数据传输速率约是（ ）。

A. 8kbps

B. 20kbps

C. 40kbps

D. 80kbps

分贝记法

$$\text{信噪比} = 10 \log_{10} S/N = 30 \text{ dB}$$

无单位记法

$$S/N = 10^3 = 1000$$

香农定理： 对于一个有噪声、带宽有限的信道

$$\text{极限比特率} = W \log_2(1 + S/N)$$

$$= 8\text{k} \log_2(1 + 1000) \approx 80\text{k} \quad (\text{单位: b/s})$$

即理论最大数据传输速率 = 80kbps，因此实际数据传输速率 = 40kbps

奈奎斯特定理&香农定理

奈奎斯特定理：对于一个理想低通信道（**没有噪声**、带宽有限的信道）

极限波特率 = $2W$ （单位：**波特**，即 **码元/秒**）

奈奎斯特定理说明：

- 如果波特率太高，会导致“**码间串扰**”，即接收方无法识别码元
- 带宽越大，信道传输码元的能力越强
- 奈奎斯特定理并未对一个码元最多可以携带多少比特做出解释

香农定理：对于一个**有噪声**、带宽有限的信道

极限比特率 = $W \log_2(1 + S/N)$ （单位：**b/s**）

香农定理说明：

- 提升信道带宽、加强信号功率、降低噪声功率，都可以提高信道的极限比特率
- 结合奈奎斯特定理，可知，在带宽、信噪比确定的信道上，一个码元可以携带的比特数是有上限的

知识回顾与重要考点

信道的极限容量

带宽 —— 信道允许通过的信号频带范围。单位：Hz

噪声 —— 噪声会影响信道的数据传输效果

奈奎斯特定理

无噪声情况下信道的极限波特率 = $2W$ (单位：波特，即码元/秒)

无噪声情况下信道的极限比特率 = $2W \log_2 K$ (单位：b/s)

若一个码元有K种状态

香农定理

信噪比 S/N

分贝记法 —— $10 \log_{10} S/N$ (单位：dB)

无单位记法

$$S/N = \frac{\text{信号功率}}{\text{噪声功率}}$$

做题时注意转换

有噪声情况下信道的极限比特率 = $W \log_2(1 + S/N)$ (单位：b/s)

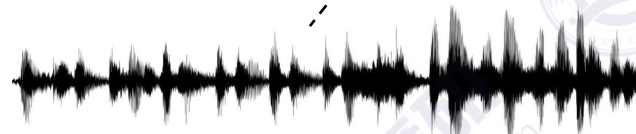
课后甜点：太阳风暴

通信卫星



$$\text{信噪比} = S/N = \frac{\text{信号的功率}}{\text{噪声的功率}}$$

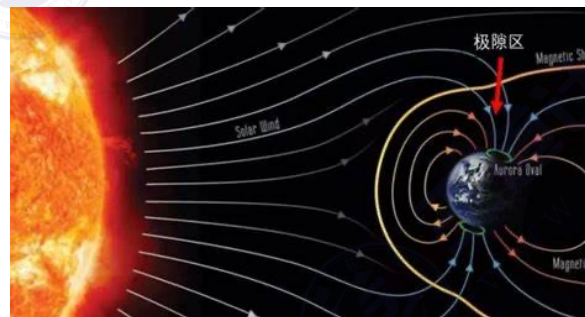
信号：电磁波（短波）



无线信道



噪声：太阳风暴导致地球磁场
剧烈变动，影响短波通信



极光

