

信道的极限

日期: 2024 年 10 月 17 日

知识总览

- 回顾：信道带宽(Hz)的概念
 - 噪声的概念
 - 噪声会影响信道的数据传输结果
 - 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

- **计算机网络中的带宽 (bandwidth)**：某信道所能传输的**最高数据率**，即**信道的传输能力 (单位同速率)**
- **通信原理中的带宽**：在《通信原理》中，带宽 (bandwidth) 表示某通道**允许通过的信号频带范围**。单位为 **Hz** (赫兹)，可加前缀 k、M、G 等。人眼也是一种信道，其看到的电磁波频率范围即为带宽。
- **两个带宽本质都是在反映传输数据的能力**

噪声

- **对信道产生干扰，影响信道的数据传输效率**
-

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、带宽有限的通道)：
 - **极限波特率** = $2W$ (单位：波特，码元/秒)，其中 W 是信道的频率带宽 (单位：Hz)
 - **极限比特率** = $2W \log_2 K$ (单位：比特/秒)，其中 K 是每个信号周期内可能出现的信号种类数
- **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：

◦ 极限比特率 = $2W \log_2(1 + S/N)$ （单位：b/s），其中 W 是信道的频率带宽（单位：Hz）， S/N 是信道中的信噪比

▪ 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

▪ 以分贝(dB)为单位表示信噪比：信噪比 = $10 \log_{10} \frac{S}{N}$ ，单位为分贝(dB)

▪ S/N 信噪比 = $10^{\frac{\text{dB信噪比}}{10}}$

• 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

无单位记法

信噪比 = $10 \log_{10} S/N = 30 \text{ dB}$  $S/N = 10^3 = 1000$

香农定理：对于一个有噪声、带宽有限的信道

极限比特率 = $W \log_2(1 + S/N)$

= $8\text{k} \log_2(1 + 1000) \approx 80\text{k}$ （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、带宽有限的通道）：
 - **极限波特率** = $2W$ （单位：波特，码元/秒），其中 W 是信道的频率带宽（单位：Hz）
- **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
 - 奈氏准则并未对一个码元最多可以携带多少个比特做出解释
- **香农定理**：对于一个**有噪声、带宽有限的信道**：
 - **极限比特率** = $2W \log_2(1 + S/N)$ （单位：b/s），其中 W 是信道的频率带宽（单位：Hz）， S/N 是信道中的信噪比
- **香农定理说明**
 - 提升信道带宽、加强信号功率、降低噪声功率，都可以提升信道的极限比特率
 - 结合奈氏准则定理可知，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