+ ×

− ÷

Medida da informação produzida pela fonte

Quantidade de informação ou Informação própria (Numa mensagem x_i) → $I_i = \log_2 \frac{1}{P_i}$ bits

P_i → probabilidade da mensagem ou do acontecimento i

Entropia - informação média por símbolo

→ Entropia em fontes sem memória → $H(x) = \sum_{i=1}^{m} P_i I_i$ bits/símbolo

I_i → informação própria

$0 \leq H(x) \leq \log_2 m$

m → quantidade de símbolos gerados

→ Entropia em fontes com memória → Entropia condicional (para cada símbolo) → $H(X|x_j) = \sum_{i=1}^{m} P(x_i|x_j) \log_2 \frac{1}{P(x_i|x_j)}$

$P(x_i|x_j)$ → probabilidade do símbolo x_i ser escolhido depois do símbolo x_j

→ Entropia real → $H(x) = \sum_{j=1}^{m} P(x_j) . H(X|x_j)$ bits/símbolo

$P(x_j)$ → probabilidade do símbolo x_j

Débito médio de informação de uma fonte → $R = r_s . H(x)$ bits/segundo

$H(x)$ → entropia (bits/símbolo)

r_s → nº de símbolos gerados (símbolos/segundo)

Codificação da fonte

Comprimento médio do código → $\overline{N} = \sum_{i=1}^{m} P_i N_i$ digbin/símbolo

N_i → comprimento, quantos bits tem o símbolo x_i

$H(x) \leq \overline{N} < H(x) + \frac{1}{K}$

$\overline{N}$ → $\overline{N}$ normalizado $= \frac{\overline{N_K}}{K}$

K → nº de símbolos juntos na codificação $K=1$ (simples), $K>1$ (por blocos)

Rendimento → $p = \frac{H(x)}{\overline{N}} \leq 1$

Compressão → $c = \frac{N_f - \overline{N}}{N_f} \times 100\%$

N_f → comprimento fixo mínimo $= \log_2 m$

Capacidade do canal

Capacidade do canal → $C = B_T \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right)$ bits/segundo

S → Potência do sinal

N → Potência do ruído

B_T → Banda de transmissão

Digitalização

Teoria da Amostragem

Sinal amostrado ⟶ $\underbrace{x_a(t)}_{\text{Sinal obtido por amostragem do sinal analógico } x(t)} = \underbrace{x(t)}_{\text{sinal original}} \cdot p(t)$ ⟶ sequência de pulsos rectangulares de amplitude unitária

Espectro do sinal amostrado ⟶ $X_a(f) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} 1 \cdot \underbrace{X}_{\text{espectro do sinal original}}(\underbrace{f - n f_a}_{\text{espectro } X(f) \text{ deslocada na frequência de um múltiplo inteiro } n \text{ da frequência de amostragem}})$

f_a ⟶ frequência de amostragem

Teorema da Amostragem ⟶ $f_a \geq 2B$

⟶ Um sinal de espectro limitado à banda de frequências $[0, B]$ fica completamente definido pelas suas amostras desde recolhidas a uma frequência superior a $2B$, podendo o sinal ser recuperado a partir das amostras por filtragem passabaixo com largura de banda do filtro B_T igual a B Hz.

Número de níveis quanticos (q) e número de dígitos (k) ⟶ $q = 2^k$; $k = \log_2 q$ ⟶ porque usamos a base binária

Ritmo máximo teórico de símbolos digitais (r_s) ⟶ $r_s \leq 2 \cdot \underbrace{B_T}_{\text{largura da banda de transmissão}}$

Ruído de quantização (erro de quantização) numa amostra (ϵ_q) ⟶ $\epsilon_q = |\underbrace{x_a(t)}_{\text{sinal amostrado}} - x_q(t)|$

Potência do ruído de quantização ⟶ $N_q = \underbrace{\overline{\epsilon_q^2}}_{\text{valor quadrático médio dos erros}} = \frac{1}{3\underbrace{q^2}_{\text{níveis de quantização}}}$

Razão entre a potência do sinal (S) e a potência do ruído de quantização (N_q) ⟶ $\frac{S}{N_q} = 3q^2 S$; $\frac{S}{N_q} \leq 3q^2$

$$\left(\frac{S}{N_q}\right)_{dB} \leq 10\log_{10}\left(3 \times 2^{2k}\right) \text{ dB} \qquad \Rightarrow \left(\frac{S}{N_q}\right)_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{S}{N_q}\right)$$

$$\left(\frac{S}{N_q}\right)_{dB} \leq 4{,}8 + 6{,}0k \text{ dB}$$

→ binário ($S \leq 1$)

Lei-A ⟶ $y = \begin{cases} \frac{Ax}{1+\ln A} & \text{para } |x| \leq \frac{1}{A} \\ \frac{1+\ln Ax}{1+\ln A} & \text{para } \frac{1}{A} < |x| \leq 1 \end{cases}$ $(A = 87{,}6)$

espectro/amplitude

espectro/amplitude

Lei-μ ⟶ $y = \frac{\ln(1+\mu x)}{\ln(1+\mu)}$ $(\mu = 255)$

PCM- Pulse Code Modulation

Ritmo binário de um canal PCM codificado a k bits por amostra ⟶ $r_c = k f_a \geq 2k\underbrace{B}_{\text{largura da banda}}$

Potência total do ruído (erro) no destino ⟶ $N_D = \underbrace{N_d}_{\text{potência do ruído (erro) de descodificação}} + \underbrace{N_q}_{\text{potência do ruído (erro) de quantização}} = \frac{4\overset{\text{probabilidade de erro por bit na transmissão ou gravação}}{P_e}}{3} + \frac{1}{3q^2} = \frac{1+4q^2P_e}{3q^2}$

se $S \leq 1$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_D \leq \frac{3q^2}{1+4q^2P_e} \longrightarrow \left(\frac{S}{N}\right)_D \leq \begin{cases} 3q^2 & \text{se } P_e \ll \frac{1}{4q^2} \\ \frac{3}{4P_e} & \text{se } P_e \gg \frac{1}{4q^2} \end{cases}$$

Multiplexagem

TDM

Ritmo do comutador ⟶ $f_a \geq 2B$

→ frequência

→ largura de banda

→ Ritmo do comutador se todas as fontes produzirem sinais com a mesma largura de banda (B)

Ritmo de pulsos PAM no canal de transmissão
(Ritmo de transmissão do sinal TDM) ⟶ $r_c = N \cdot f_a \geq N \cdot 2 \cdot B$

→ pares de fonte/destino

→ frequência

Período ⟶ $\frac{1}{f_a}$ seg (o período é o inverso da frequência)

TDM Estatístico

Ritmo médio de chegadas (λ) ⟶ $\lambda = N a \frac{r_{be}}{K}$

→ nº de linhas do multiplexador

→ ritmo binário de entrada

→ tamanho das mensagens (ou DUs)

→ fator de utilização das linhas

→ se linhas de entrada com ritmos e 'a' diferentes ⟶ $\lambda = [a_1 r_{be1} + a_2 r_{be2} + \dots + a_N r_{beN}] / K$

Tempo médio de Serviço ($\bar{s}$) ⟶ $\bar{s} = \frac{K}{r_{bs}}$ seg por DU

→ tamanho das mensagens (ou DUs) em bits

→ ritmo de saída em bps

Utilização do Servidor (ρ) ⟶ $\rho = \lambda \bar{s}$

$\xrightarrow{\text{se } \rho < 1}$ Sistema em equilíbrio

$\xrightarrow{\text{se } \rho > 1}$ Não consegue se despachar, logo fila $= \infty$, perda de pacotes permanente

Tempo médio de atraso de uma DU no multiplexador ⟶ $\bar{t}_q = \bar{s} + \boxed{\frac{\rho \bar{s}}{2(1-\rho)}}$ → em fila → $\bar{t}_w$

Número médio de DUs no multiplexador ⟶ $\bar{n}_q = \rho + \boxed{\frac{\rho^2}{2(1-\rho)}}$ → em fila → $\bar{n}_w$

Probabilidade de Sobrelotação