



Ficha 2 – Transmissão de dados

Ano Letivo de 2020/2021

Na presente Ficha iremos abordar a transmissão de dados através de *links* com diferentes características. Como ferramenta de simulação, irá ser usado o Network Simulator 2 (NS-2) que já se encontra instalado na VM fornecida.

Em conjunto com esta Ficha são fornecidos os scripts `link_simulation_1.tcl` e `link_simulation_2.tcl` que serão usados para correr as simulações.

Exercícios

~~Exercícios~~ ← *Conforme com o Moodle*

Notas:

- Despreze os tempos de processamento da informação;
- Indique sempre as unidades que utiliza;
- Apresente os cálculos realizados.
- Use $1\text{ kB} = 1024 \text{ bytes}$

1) Considere que pretende enviar um ficheiro que ocupa 1 MBytes para 3 máquinas diferentes.

- Máquina A: Distância de 100 m por cabo, usando um canal com uma largura de banda de 1 MHz e com 16 níveis por elemento de sinalização;
- Máquina B: Distância de 100 Km por cabo, usando um canal com uma largura de banda de 2 MHz e com 8 níveis por elemento de sinalização;
- Máquina C: Ligação por satélite a uma altura de 50 000 Km, usando um canal com uma largura de banda de 20 KHz, uma relação S/N de 20 dB e usando uma codificação que usa 2 bits por elemento de sinalização; $H=4 \rightarrow 2\times c$

- a) Supondo que não existem erros e admitindo as velocidades máximas de transmissão teóricas, qual das máquinas irá receber o ficheiro primeiro? Apresente os cálculos que utilizou para obter a sua resposta.
- b) Verifique por simulação o resultado da alínea anterior. Para isso irá usar o NS-2 e um script TCL que é fornecido com esta ficha (`link_simulation_1.tcl`). O script usa o protocolo UDP para realizar o envio de dados, com cada pacote enviado a conter um máximo de 1000 bytes de dados. A simulação começa aos 0.1 segundos.

Use o script da seguinte forma:

- Coloque o script numa pasta dentro da VM;

T_p = tempo de propagação

T_x = tempo de transmissão

V_p = velocidade de propagação

V_x = velocidade de transmissão

A Velocidade de propagação depende do meio físico. Vamos considerar 2 meios principais e uns valores médios:

V_p em condutores metálicos: 2×10^8 m/s

V_p no ar/vácuo: 3×10^8 m/s

Fórmulas:

$$T_p = \frac{\text{distância (m)}}{V_p (\text{m/s})} \text{ segundos}$$

$$T_x = \frac{n^{\text{o}} \text{bits (bit)}}{V_x (\text{bit/s})} \text{ segundos}$$

$$\log_{y/x} = \frac{\log_a x}{\log_a y}$$

Fórmula de Nyquist: $C=2B\log_2 M$ (bps)

(considerando que não há ruído)

Fórmula de Shannon: $C=B\log_2(1+S/N)$ (bps)

(S e N dados em watts)

$$S/N (\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10}(S/N) \text{ dB} \quad (\text{conversão para dB})$$

C= velocidade máxima teórica de transmissão

B= largura de banda em Hz

M= n^o de estados de sinalização – a parte $\log_2 M$ dá o n^o de bits em que o estado pode ser traduzido

1. a) Ficheiro = 1 MB = $1024 \times 1024 \times 8 = 8\ 388\ 608$ bits

Máquina A:

$$\underline{C} = \frac{2}{(\text{bps})} B \frac{\log_2 M}{(\text{Hz})} = \frac{2 \times 1\ 000\ 000}{(1\ \text{MHz})} \times \log_2 16 = \frac{8\ 000\ 000}{= 8\ \text{Mbps}}$$

Tempo de Transmissão:

$$T_x = \frac{\text{nº bits}}{v (\text{b/s})} = \frac{8\ 388\ 608}{8\ 000\ 000} = 1,048\ 576 \text{ segundos } \checkmark$$

Tempo de Propagação:

$$T_p = \frac{d}{v} = \frac{100 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,000\ 000\ 5 \text{ segundos } \checkmark$$

$$T_{\text{total}} = T_x + T_p = 1,048\ 576\ 5 \text{ segundos } \checkmark$$

7 casas decimais

Máquina B:

$$\underline{C} = \frac{2}{(\text{bps})} B \frac{\log_2 M}{(\text{Hz})} = \frac{2 \times 2\ 000\ 000}{(2\ \text{MHz})} \times \log_2 8 = \frac{12\ 000\ 000}{= 12\ \text{Mbps}}$$

Tempo de Transmissão:

$$T_x = \frac{\text{nº bits}}{v (\text{b/s})} = \frac{8\ 388\ 608}{12\ 000\ 000} = 0,699\ 05 \text{ segundos } \checkmark$$

Tempo de Propagação:

$$T_p = \frac{d}{v} = \frac{100\ 000 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,000\ 5 \text{ segundos } \checkmark$$

$$T_{\text{total}} = T_x + T_p = 0,699\ 55 \text{ segundos } \checkmark$$

5 casas decimais

Máquina C:

$$d = 50 \text{ 000 Km} = 50 \text{ 000 000 m} \times 2 = 100 \text{ 000 000 m}$$

$$B = 20 \text{ KHz} = 20 \text{ 000 Hz}$$

$$\begin{aligned} S/N(\text{dB}) &= 10 \log_{10} (SN) \\ \Leftrightarrow (S/N) &= 10^{(S/N(\text{dB})/10)} \end{aligned} \rightarrow SN = 10^{(20/10)} = 10^2 = 100$$

~~Ruido~~ $C = 20 \text{ 000} \times \log_2 (1 + 100) = \frac{133}{\text{H=4}} 164,2 \text{ bps}$

~~Normal~~ $C = 2 \times 20 \text{ 000} \times \log_2 (4) = 80 \text{ 000 bps}$
 $= \underline{\underline{80 \text{ kbps}}}$

$\uparrow C \text{ Menor} \rightarrow \underline{\underline{\text{Limita}}} \text{ e Transmissão!}$

Tempo de Transmissão:

$$T_x = \frac{\text{no bits}}{\text{V (bps)}} = \frac{8388608 \text{ bits}}{80 \text{ 000}} = 104,8576 \text{ segundos} \checkmark$$

Tempo de Propagação:

$$T_p = \frac{100 \text{ 000 000 m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,3333 \text{ segundos} \checkmark$$

$$T_{\text{total}} = T_x + T_p = 105,1909 \text{ segundos}$$

4 Casas decimais

R: Máquina B

- Corra o script fazendo:

```
ns link_simulation_1.tcl {Size} {Ls} {Tp} {End}
```

Nota: *Size* = tamanho do pacote em bytes; *Ls* = velocidade da ligação (use Gb, Mb, Kb,...); *Tp* = tempo de propagação (s, ms, us, ns,...); *End* = fim da simulação (em segundos)

2 – Suponha que vai enviar um ficheiro de 0.02GBytes de uma máquina A para uma máquina D. Para chegar a D o ficheiro terá de passar sequencialmente pelas máquinas B e C. Tendo em conta a informação seguinte, que detalha cada uma das ligações individuais, determine o Tempo de transmissão, o Tempo de propagação e a Velocidade máxima da transmissão para cada ligação. Suponha ainda que os dados do ficheiro só serão retransmitidos por uma máquina após terem sido completamente recebidos por essa mesma máquina.

- Máquina A->B: Distância de 500Km por cabo, usando um canal com largura de banda de 1.5MHz em que são transmitidos 8 bits por elemento de sinalização;
 - Máquina B->C: Ligação por satélite geoestacionário situado a uma altitude de 35500Km usando um canal com uma largura de banda de 1GHz e uma relação sinal ruído de 20dB;
 - Máquina C->D: Ligação rádio a uma distância de 10Km usando um canal com uma largura de banda de 100MHz e uma relação sinal ruído de 15.
- a) Quanto tempo demorara o ficheiro desde que é enviado até ser completamente recebido pela máquina D?
 - b) Verifique por simulação o resultado teórico que calculou. Para isso irá usar o NS-2 e um script TCL que é fornecido com esta ficha (*link_simulation_2.tcl*). O script usa o protocolo UDP para realizar o envio de dados, com cada pacote enviado a conter um máximo de 1000 bytes de dados. A simulação começa aos 0.1 segundos.

Use o script da seguinte forma:

- Coloque o script numa pasta dentro da VM
- Corra o script fazendo:

```
ns link_simulation_2.tcl {size} {Ls1} {Tp1} {Ls2} {Tp2} {Ls3} {Tp3} {End}
```

3 – Suponha que é estabelecida uma ligação de 100 Mbps entre uma base terrestre e o *space shuttle* em órbita da terra a 320Km de altitude.

- a) Sabendo que a largura de banda do canal existente é de 20MHz, que relação S/N em dB é necessária para assegurar que se conseguem obter os 100 Mbps?
- b) Qual o mínimo RTT (*Round-trip time*) para a ligação?
- c) O controlo da missão quer fazer download de 25MB de dados do *space-shuttle*. Para isso faz um pedido ao *space-shuttle* de 100KB. Qual o tempo que decorre entre o início do pedido e a chegada de todos os dados à estação terrestre?

2. a) Ficheiro = 0.02 GB = $0.02 \times 1024 \times 1024 \times 1024 \times 8 = 171\ 798\ 692$ bits

• Entre Máquinas A → B:

$$d = 500 \text{ Km} \times 1000 = 500\ 000 \text{ m}$$

$$B = 1.5 \text{ MHz} \times 1000 \times 1000 = 1\ 500\ 000 \text{ Hz}$$

$$M = 256 \Leftrightarrow 8 \text{ bits / elemento de sinalização}$$

⇒ Velocidade Máxima de Transmissão:

$$C = 2 \times 1500\ 000 \times 8 = 24\ 000\ 000 \text{ bps} = 24 \text{ Mbps}$$

⇒ Tempo de Transmissão:

$$T_x = \frac{171\ 798\ 692 \text{ b}}{24\ 000\ 000 \text{ bps}} \approx 7,158 \text{ segundos} \checkmark$$

⇒ Tempo de Propagação:

$$T_p = \frac{500\ 000 \text{ m}}{2 \times 10^8 \text{ m/s}} \approx 0,0025 \text{ segundos} \checkmark$$

(cabo cobre)

• $T_{\text{total}} = 7,158 + 0,003 = 7,161 \text{ segundos}$

• Entre Máquinas B → C:

$$d = 35\ 500 \text{ Km} \times 1000 \times 2 = 71\ 000\ 000 \text{ m}$$

$$B = 1 \text{ GHz} \times 1000 \times 1000 \times 1000 = 1\ 000\ 000\ 000 \text{ Hz}$$

$$M = 2 \Leftrightarrow 1 \text{ bits / elemento de sinalização} \quad (\text{omissão})$$

$$S/N (\text{dB}) = 20 \text{ dB} \Leftrightarrow S/N = 10^{(20/10)} = 10^2 = 100$$

⇒ Velocidade Máxima de Transmissão: (Ruido)

$$C = 1\ 000\ 000\ 000 \times \log_2(1+100) = 6\ 658\ 211\ 983 \text{ bps} \approx 6,7 \text{ Gbps}$$

⇒ Velocidade Máxima de Transmissão:

~~$$C = 2 \times 1\ 000\ 000\ 000 \times 1 = 2\ 000\ 000\ 000 \text{ bps} \approx 2 \text{ Gbps}$$~~

⇒ Tempo de Transmissão:

$$T_x = \frac{171\ 798\ 692 \text{ b}}{6\ 658\ 211\ 983 \text{ bps}} \approx 0,026 \text{ segundos} \checkmark$$

⇒ Tempo de Propagação:

$$T_p = \frac{71\ 000\ 000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \approx 0,237 \text{ segundos} \checkmark$$

Aviso:

• $T_{\text{total}} = 0,026 + 0,237 = 0,263 \text{ segundos}$ ✓

↑ C menor
limita
NÃO SE APlica

Entre Máquinas C → D:

$$d = 10 \text{ Km} \times 1000 = 10000 \text{ m}$$

$$B = 100 \text{ MHz} \times 1000 \times 1000 = 100000000 \text{ Hz}$$

$M = 2 \Leftrightarrow 1 \text{ bits / elemento de síntese de saída}$ (omissão)

$$S/N = 15$$

⇒ Velocidade Máxima de Transmissão: (Ruido)

$$C = 100000000 \times \log_2(1+15) = 400000000 \text{ bps} \approx 400 \text{ Mbps}$$

⇒ Velocidade Máxima de Transmissão:

$$C = 2 \times 100000000 \times 1 = 200000000 \text{ bps} \approx 200 \text{ Mbps}$$

⇒ Tempo de Transmissão:

$$T_x = \frac{171798692 \text{ b}}{400000000 \text{ bps}} \approx 0,429 \text{ segundos} \quad \checkmark$$

⇒ Tempo de Propagação:

$$T_p = \frac{101000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \approx 0,00003 \text{ segundos} (3,3 \times 10^{-5} \text{ s}) \quad \checkmark$$

Aé/Vacuo

$$\bullet T_{\text{total}} = 0,429 + 0,00003 = 0,429 \text{ Segundos} \quad \checkmark$$

C menor
limita

NÃO
SE
APLICA

3 Casas
decimais

R:

$$T_{\text{total A} \rightarrow \text{D}} = 7,161 + 0,263 + 0,429 = 7,853 \text{ Segundos} \quad \checkmark$$

3. a)

$$C = 100 \text{ Mbps} \times 1000 \times 1000 = 100000000 \text{ bps}$$

$$B = 20 \text{ MHz} = 20 \times 1000 \times 1000 = 20000000 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow C = B \times \log_2(1 + S/N) \quad (\Rightarrow) \quad (1 + S/N) = 2^{\frac{C}{B}}$$

$$1 + S/N = 2^{\frac{100000000}{20000000}} = 2^5 = 32$$

$$(\Rightarrow) S/N = 32 - 1 = 31$$

$$\Rightarrow S/N(\text{dB}) = 10 \times \log_{10}(31) = 14,91 \text{ dB} \quad \checkmark$$

2 Casas
de Cima

$$3.b) d = 320 \text{ Km} \times 1000 = 320\ 000 \text{ m}$$

$$\text{RTT} = 2 \times T_p = \frac{320\ 000 \text{ m}}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} \times 2 = 0,002\ 133 \text{ segundos} = 2,133 \text{ milissegundos}$$

↑ ide
voltas

milissegundos
3 casas decimais

3.c)

$$\text{Pacote 1} = 100 \text{ KB} = 100 \times 1024 \times 8 = 819\ 200 \text{ bits}$$

$$\text{Pacote 2} = 25 \text{ MB} = 25 \times 1024 \times 1024 \times 8 = 209\ 715\ 200 \text{ bits}$$

$$\Rightarrow T_{x_1} = \frac{819\ 200 \text{ b}}{100\ 000\ 000 \text{ bits}} = 0,008 \text{ segundos}$$

$$\Rightarrow T_{x_2} = \frac{209\ 715\ 200 \text{ b}}{100\ 000\ 000 \text{ bits}} = 2,097 \text{ segundos}$$

$$\Rightarrow 2 \times T_p = \text{RTT} = 0,002 \text{ segundos}$$

$$T_{\text{total}} = T_{x_1} + T_{x_2} + 2 \times T_p = 0,008 + 2,097 + 0,002$$

$$= 2,107 \text{ segundos} \quad \checkmark$$

Segundos
3 casas decimais