

## PROTOCOLOS DE LIGAÇÃO DE DADOS

1. Duas estações comunicam usando uma ligação de dados baseada num protocolo do tipo *Go-Back-N ARQ*. A capacidade do canal (em cada sentido) é de **2048 kbit/s**, a distância entre estações é **300 km**, o atraso de propagação no meio é **5  $\mu$ s/km** e as tramas têm um tamanho típico de **256 octetos**. Admita que não ocorrem erros e que as tramas de dados são imediatamente confirmadas por meio de uma trama de supervisão (RR).
  - a) Considere o caso particular em que  $N=1$  (*Stop and Wait*). Calcule a eficiência máxima do protocolo e o débito máximo (bit/s) correspondente.
  - b) Determine o tamanho mínimo da janela de transmissão que permitiria teoricamente uma utilização máxima do canal de **100%**; nestas condições, qual o número mínimo de bits necessários para numerar as tramas?
  - c) Considere que as tramas são numeradas módulo **8**. Para a janela máxima possível neste caso, indique qual o número máximo de tramas de supervisão consecutivas que se poderiam perder e ainda assim se conseguir uma utilização máxima do canal de **100%**.
  - d) Nas mesmas condições da alínea anterior, considere que uma trama de Informação é recebida com erro (e descartada) e que, posteriormente, é enviada uma trama **REJ**. Indique qual o número de tramas que seria necessário retransmitir, nessas condições. Poderá apresentar a solução recorrendo a um diagrama temporal, devidamente comentado.

*Soluções: ver apontamentos da aula teórica*

2. Duas estações comunicam usando uma ligação de dados baseada num protocolo do tipo *Go-Back-N ARQ*. Admita que são transmitidas tramas de Informação apenas num sentido (e tramas de Supervisão em sentido oposto). A capacidade do canal (em cada sentido) é **256 kbit/s**, o tempo de propagação entre as estações (num sentido) é **270 ms** (transmissão por satélite) e as tramas de Informação têm um tamanho típico de **2048 bits**. Nos cálculos despreze o tamanho das tramas de Supervisão.
  - a) Calcule o máximo débito de informação (**bit/s**) possível na ligação, admitindo que são usados apenas **3 bits** para numerar as tramas de Informação. Calcule ainda o tamanho mínimo da janela de transmissão que permitiria a utilização plena do canal e indique quantos bits seriam necessários nesse caso para numerar as tramas.

*Sol.  $R_{max}=26,2 \text{ kbit/s}$ ;  $W_{min}=69$ ,  $k=7 \text{ bits}$*

- b) Justifique que neste caso seria recomendado usar a variante *Selective Reject*. Neste caso e admitindo que eram usados **7 bits** para numerar as tramas de Informação, calcule o débito máximo possível na ligação, na ausência de erros.

*Sol.  $R_{max}=239 \text{ kbit/s}$*

3. Pretende-se analisar as várias alternativas de um protocolo de ligação de dados (*Stop and Wait*, *Go-Back-N* e *Selective Reject*) nos seguintes casos:
  - Caso A - capacidade do canal (em cada sentido): **128 kbit/s**; distância entre estações: **75 km**
  - Caso B - capacidade do canal (em cada sentido): **640 kbit/s**; distância entre estações: **750 km**
  - Caso C - capacidade do canal (em cada sentido): **1920 kbit/s**; distância entre estações: **2500 km**O atraso de propagação no meio é **5  $\mu$ s/km**. Considere que apenas são enviadas tramas de Informação (com tamanho **960 bits**) num sentido e tramas de Supervisão em sentido oposto e despreze o tamanho das tramas de Supervisão.

- a) Discuta, justificando, se nalgum dos casos seria aceitável a opção pelo *Stop and Wait*.

*Sol. Apenas no caso A;  $S=91\%$*

- b) Discuta nos casos B e C qual das alternativas *Go-Back-N* e *Selective Reject* seria aconselhável. Determine, em cada caso, o tamanho mínimo da janela recomendado e o número de bits necessários para numerar as tramas.

*Sol. Com erros SR é mais eficiente ( $S_{SR}/S_{GBN}=1+2ap_e$ ) mas GBN é mais simples. Caso B: GBN; Caso C: SR*

*Caso B: GBN,  $W_{min}=6$ ,  $M=8$ ;  $k=3bit$*

*Caso C: SR,  $W_{min}=51$ ,  $M=128$ ,  $k=7bit$*

4. Duas estações comunicam usando um protocolo de ligação de dados do tipo ARQ. O tempo de propagação entre estações é 9 ms e a capacidade do canal é 10 Mbit/s (em cada sentido). Admita que as tramas de Informação usam 7 bits para numeração, têm um tamanho típico de 2000 bits e são imediatamente confirmadas por tramas de Supervisão em sentido oposto. Despreze o tamanho das tramas de Supervisão.

- a) Calcule a eficiência máxima do protocolo, considerando as variantes *Stop-and-Wait*, *Go-Back-N* e *Selective Reject* e calcule os débitos máximos (bit/s) correspondentes.

*Sol. SW:  $S_{max}=1,1\%$ ,  $R_{max}=110\text{ kbit/s}$ ; GBN:  $S_{max}=100\%$ ,  $R_{max}=10\text{ Mbit/s}$ ; SR:  $S_{max}=70,3\%$ ,  $R_{max}=7,0\text{ Mbit/s}$*

- b) Calcule, para cada uma das variantes, o limite para que tenderia o débito máximo possível na ligação, considerando uma capacidade do canal arbitrariamente elevada. Interprete os resultados obtidos, tendo em atenção as diferenças observadas em relação aos valores anteriormente calculados.

*Sol. SW:  $R_{max}=110\text{ kbit/s}$ ; GBN:  $R_{max}=14,0\text{ Mbit/s}$ ; SR:  $R_{max}=7,0\text{ Mbit/s}$*

- c) Calcule a eficiência máxima das variantes *Go-Back-N* e *Selective Reject*, considerando que a probabilidade de uma trama ser recebida com erro é 1%. Repita os cálculos admitindo tramas com comprimento 3000 bits, passando a probabilidade de erro a ser 1.5%. Que conclusões pode tirar relativamente à influência do tamanho das tramas e da probabilidade de erro na eficiência destas duas variantes do protocolo?

*Sol.  $p_e=1\%$  - GBN:  $S_{max}=52,1\%$ , SR:  $S_{max}=69,6\%$   
 $p_e=1,5\%$ ,  $L=3000\text{ bit}$  - GBN:  $S_{max}=51,8\%$ , SR:  $S_{max}=98,5\%$*

## FILAS DE ESPERA

5. Uma porta de saída de um *router* é servida por um canal com capacidade **256 kbit/s**, dimensionada prevendo-se uma intensidade de tráfego média de **75%**. Considere que o comportamento da porta pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1 e que os pacotes têm um tamanho médio de **4000 bits**.

- a) Calcule o tempo médio de atraso dos pacotes, para a intensidade de tráfego referida. Discuta a influência do tamanho dos pacotes no valor do atraso, admitindo que a intensidade de tráfego se mantinha - considere por exemplo que o tamanho médio dos pacotes era, respectivamente, o dobro e metade do indicado.
- b) Admita que a porta de saída é configurada com **24 buffers**. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego indicado e para um tráfego médio de **256** e **320 kbit/s**, respectivamente. Qual o impacto do tamanho dos pacotes nestas probabilidades e no dimensionamento dos *buffers*?

*Soluções: ver apontamentos da aula teórica*

6. Duas LANs remotas comunicam através duma ligação dedicada *full-duplex* estabelecida entre dois *routers*. A capacidade da ligação é **512 kbit/s** (em cada sentido). Pretende-se analisar o comportamento de um *router* para um tráfego médio de **384 kbit/s** submetido para transmissão na ligação, sendo o tamanho médio dos pacotes **256 octetos**. Considere que o comportamento do *router* pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1.

- a) Calcule a intensidade de tráfego na ligação (taxa de utilização), a ocupação média da fila de espera (em pacotes) e o tempo médio de atraso dos pacotes (indicando as componentes de espera e de serviço).

*Sol.  $\rho=0,75$ ;  $N_w=2,25$ ;  $T=16ms$*

- b) Admita que o *router* é configurado com **32 buffers** de transmissão. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego médio indicado (**384 kbit/s**) e para um tráfego médio de **512 kbit/s**.

*Sol. 384 kbit/s:  $P_B=25*10^{-6}$ ; 512 kbit/s:  $P_B=0,03$*

7. Uma porta de saída de um comutador de pacotes é servida por uma ligação com capacidade **512 kbit/s**. Admita que em média são transferidos para essa porta **50 pacotes/s**, sendo o tamanho médio dos pacotes **1024 octetos**. Considere que o comportamento da porta pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1.

- a) Verifique, calculando a intensidade de tráfego na ligação, que a fila de espera tem um comportamento estável. Calcule ainda a ocupação média da fila de espera e os tempos médios de atraso e de espera dos pacotes.

*Sol.  $\rho=0,8$  ( $\rho<1$ );  $N_w=3,2$ ;  $T=80$  ms,  $T_w=64$  ms*

- b) Admita que a porta de saída é configurada com **24 buffers**. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego indicado (**50 pacotes/s**) e para um tráfego médio de **75 pacotes/s**. Calcule ainda o número máximo de pacotes que seria possível transmitir num *burst* submetido com débito constante e igual a **75 pacotes/s**, sem que ocorressem perdas (assuma que o *buffer* está vazio no início do *burst*)?

*Sol. 50 pac/s:  $P_B=0,095\%$ ; 75 pac/s:  $P_B=16,7\%$  ;  
burst=144 pacotes*

- c) Admita que se pretende redimensionar o sistema para um tráfego médio duplo do indicado (**100 pacotes/s**), mantendo-se a mesma taxa nominal de utilização. Considere duas alternativas:

- estabelecer uma única ligação com capacidade dupla da inicial (**1024 kbit/s**);
- estabelecer uma segunda ligação com capacidade idêntica à inicial (**512 kbit/s**), distribuindo o tráfego pelos dois canais com idêntica probabilidade.

Qual das duas soluções seria preferível do ponto de vista do tempo médio de atraso dos pacotes? Justifique qualitativa e quantitativamente. Qual seria o impacto no tempo médio de atraso dos pacotes se o volume de tráfego (em bit/s) se mantivesse, mas o tamanho médio dos pacotes fosse metade do indicado (**512 octetos**)?

*Sol. 1º caso:  $T=40$  ms; 2º caso:  $T=80$  ms; primeira solução é preferível  
 $L=512$  octetos  $\rightarrow$  atraso médio passa a ser metade do inicial*

8. Através de uma porta de saída de um comutador de pacotes é encaminhado tráfego recebido em **15** portas de entrada, prevendo-se que cada fluxo de entrada contribua com um débito médio de **96 kbit/s**. Pretende-se nestas condições dimensionar a capacidade do canal que serve a porta de saída para uma utilização média (intensidade de tráfego) de **75%**. Admita que os pacotes têm um tamanho médio de **960 bits** e que pode modelizar o acesso ao canal por uma fila de espera M/M/1.

- a) Calcule, nas condições indicadas, a capacidade do canal referido (**kbit/s**), o tempo médio de atraso dos pacotes e a ocupação média da fila de espera.

*Sol.  $C=1920$  kbit/s;  $T=2$  ms;  $N_w=2,25$*

- b) Discuta como variaria o tempo médio de atraso dos pacotes nos dois casos seguintes:

- Duplicação do tráfego nas portas de entrada (**192 kbit/s**) e duplicação da capacidade do canal.
- Mesmo tráfego nas portas de entrada (**96 kbit/s**) e pacotes com metade do comprimento (**480 bits**).

Em face dos resultados, quais as conclusões que pode extrair e que caracterizam a partilha de recursos em comunicação de pacotes?

*Sol. 1º caso:  $T=1$  ms; 2º caso:  $T=1$  ms*

- c) Dimensione o número de *buffers* associados à porta de saída, para uma probabilidade de perda de pacotes inferior a **0.1%**, nas condições de tráfego indicadas. Qual a probabilidade de perda de pacotes se o tráfego médio em cada porta de entrada aumentasse para **128 kbit/s**? E qual o número de *buffers* necessário para garantir a probabilidade de perda de pacotes anteriormente especificada? Seria aceitável esta solução? Porquê?

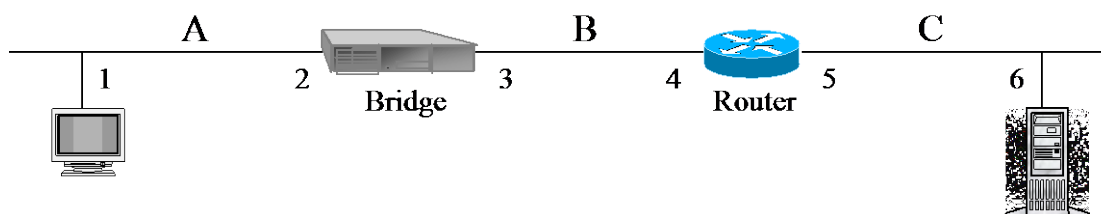
*Sol.  $M=20$ ;  $P_B=5\%$  ;  $M=999 \rightarrow$  não aceitável, fila cheia, atraso grande*

## LANs / Redes IP

9. Uma empresa tem uma rede IP com endereço **200.1.1.0** (classe C) e pretende formar subredes para quatro departamentos (A, B, C e D) com a seguinte distribuição de computadores: **72, 35, 20 e 18**, respectivamente.
- a) Indique uma combinação possível de endereços e máscaras de subrede que permita resolver esta situação.
- b) Indique uma solução que poderia ser adoptada pela empresa no caso de o departamento D crescer para **34** computadores.

*Soluções: ver apontamentos da aula teórica*

10. Considere três segmentos (A, B e C) de uma LAN IEEE 802.3, ligados por uma *bridge* e um *router*, conforme representado. São assinaladas seis interfaces, correspondendo um endereço MAC e um endereço IP a cada uma.



Considere um pacote IP enviado do computador no segmento A para o servidor no segmento C. O pacote é encapsulado em tramas MAC para transmissão em cada um dos segmentos. Identifique, através do número da interface respectiva, os endereços de origem e destino presentes na trama e no pacote, em cada segmento (admita que a resolução de endereços tinha sido previamente realizada). No caso de ser necessária resolução de endereços, para efectuar a transmissão da trama MAC em cada um dos segmentos, indique qual a estação que a invoca e qual o endereço IP fornecido para o efeito (de forma a obter o endereço MAC correspondente).

*Soluções: ver logs do 2º trabalho laboratorial*