

# PROBLEMAS

## 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 µs/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** de acordo com o especificado no protocolo **HDLC**. Indique qual o número de tramas que seria necessário retransmitir, nessas condições. Poderá apresentar a solução recorrendo a um diagrama temporal, devidamente comentado.
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.
  - 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.
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 µs/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*.
  - 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.
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.
- 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.
- 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?

## 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*?
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).
  - 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**. Qual o número máximo de pacotes que poderão ser transmitidos, sem ocorrência de perdas, se for submetido ao *router* um *burst* com débito médio **2048 kbit/s**?
  - c) Em alternativa a uma linha dedicada poderia ser utilizado um serviço *Frame Relay*, caracterizado por uma capacidade do canal de acesso de **2048 kbit/s** e por um débito médio negociado de **384 kbit/s**, não podendo este ser excedido em períodos de **1 s**. Compare este serviço com o inicial e discuta as suas vantagens; considere nomeadamente a possível ocorrência de *bursts*, tomando como referência a situação referida em b).
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.

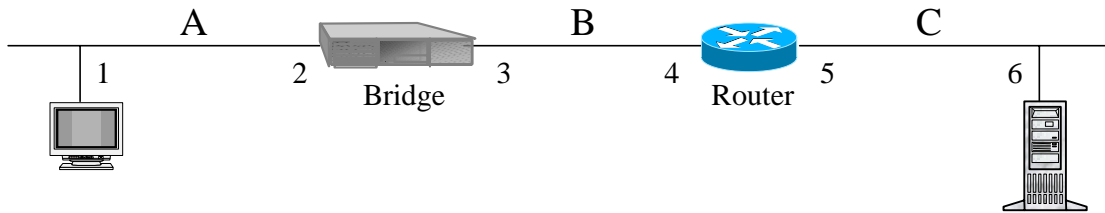
- b) Admita que a porta de saída é configurada com **24 buffers**. Calcule a probabilidade de perda de pacotes para o tráfego indicado (**50 pacotes/s**) e para um tráfego médio de **75 pacotes/s**. Calcule ainda o número máximo de pacotes que seria possível transmitir num *burst* submetido com débito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

## LANs

9. Considere uma LAN em anel que opera a **100 Mbit/s** segundo um protocolo de acesso do tipo *Control Token*. A rede é constituída por **32** estações, sendo a latência da rede **240 μs**. Depois de capturar o *token*, uma estação pode transmitir um único pacote com tamanho máximo **3000 bits**.
- a) Justifique a utilização da variante *Multiple Token* e calcule a eficiência máxima do protocolo de acesso. Explique como variaria a eficiência se as estações fossem autorizadas a transmitir dois ou mais pacotes por acesso e em que condições de carga na rede seria essa variação mais significativa.
- b) Considerando que uma determinada estação tem prontos a transmitir um número elevado de pacotes, calcule o débito máximo possível e o débito mínimo garantido, considerando as condições de tráfego correspondentes. Calcule ainda o tempo de rotação do *token* em cada uma dessas situações.
- c) Calcule o tempo de transferência de um ficheiro de **15 Mbits**, admitindo que a estação transmite um pacote em cada oportunidade de acesso (*token* livre) e que durante a transferência foi observado um débito médio na rede de **40 Mbit/s**.

10. Uma LAN é constituída por **25** estações que comunicam entre si através de um elemento central (repetidor) que difunde em todas as portas de saída o sinal recebido em qualquer porta de entrada. A distância de cada estação ao repetidor é **400 m** e o atraso de propagação no meio é **5  $\mu\text{s}/\text{km}$** . A rede opera a **10 Mbit/s**, sendo usado um protocolo de acesso do tipo *Control Token* distribuído. A estação que detém o *Token* pode transmitir um pacote com tamanho máximo **2000 bits**; o tamanho do *Token* é **40 bits**.
- Verifique que o *overhead* associado a uma rotação do *Token* (um ciclo de acessos) é **200  $\mu\text{s}$** . Explique como calculou este valor, identificando quais os componentes que contribuem para esse *overhead*. Discuta se é necessário algum mecanismo de detecção de colisões nas estações ou no repetidor.
  - Calcule a eficiência máxima do protocolo e calcule o débito de uma estação em dois casos - quando é a única estação a transmitir e quando todas as estações transmitem no mesmo ciclo; calcule ainda o tempo de rotação do *Token* em cada caso. Nota: pode utilizar o valor indicado na alínea anterior (mesmo que não o tenha calculado), tendo em atenção o seu significado.
  - O protocolo de acesso usado pode ser classificado como sendo do tipo *Polling* explícito distribuído. Justifique essa classificação e classifique, analogamente, o *Control Token* usado numa rede em anel (*Token Ring*) e o *Polling* convencional. Seria possível usar algum destes dois protocolos com a configuração física indicada?
11. Numa LAN em anel que opera a **100 Mbit/s** segundo um protocolo de acesso do tipo *Control Token* as estações ligam-se através dum concentrador de cabos (*Wiring Concentrator*). Admita que a rede é constituída por **16** estações, que a distância de cada estação ao concentrador é **1500 m** e que o atraso de propagação é **5  $\mu\text{s}/\text{km}$** . A estação que detém o *Token* pode transmitir um pacote com tamanho máximo **6000 bits**.
- Verifique que o *overhead* associado a uma rotação do *Token* é **240  $\mu\text{s}$** . Tendo em conta este resultado, calcule a eficiência máxima do protocolo de acesso, conforme forem usadas as variantes *Single Token* ou *Multiple Token*. Determine para que gamas de perímetros da rede (considerando pacotes com o tamanho referido) e de tamanhos de pacotes (considerando as distâncias indicadas) é aconselhada a utilização de *Multiple Token*.
  - Considere que uma estação tem de transmitir um grande volume de informação, o que obriga a acessos sucessivos ao meio em cada ciclo do *Token*. Calcule entre que valores (máximo e mínimo) pode variar o débito da estação, tendo em conta que as restantes estações podem ou não ter tráfego a transmitir durante esse período. Nota: considere a variante do protocolo mais adequada a este caso.
  - Considerando que durante um certo período de tempo cada estação transmite tráfego com um débito médio de **2.5 Mbit/s**, calcule o correspondente tempo médio de rotação do *Token*. Qual é, nesse caso, o número médio de ciclos do *Token* entre dois acessos consecutivos de cada estação?
12. Uma rede em anel opera a **4 Mbit/s**, segundo um protocolo de acesso do tipo *Control Token*. A rede é constituída por **16** estações e tem uma latência de **80  $\mu\text{s}$** . Em cada acesso uma estação pode transmitir um pacote com comprimento máximo **1280 bits**.
- Explique por que razão se justificaria a adopção da variante *Single Token* e calcule a eficiência máxima do protocolo. Determine para que gama de tamanhos de pacotes se deveria usar a variante *Multiple Token*.
  - Considerando uma estação que pretendesse transmitir em cada passagem do *token*, calcule entre que valores poderia variar o seu débito e os intervalos de tempo mínimo e máximo entre acessos consecutivos.
  - Admita que a rede foi redimensionada de modo a suportar **64** estações; a velocidade de operação passou a ser **16 Mbit/s** e a latência aumentou igualmente quatro vezes (**320  $\mu\text{s}$** ). Justifique neste caso a adopção da variante *Multiple Token* e compare o desempenho com o caso inicial; explique as diferenças observadas, tendo em atenção o aumento da capacidade da rede.

13. 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.
- Indique uma combinação possível de endereços e máscaras de subrede que permita resolver esta situação.
  - Indique uma solução que poderia ser adoptada pela empresa no caso de o departamento D crescer para **34** computadores.
14. 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).