

# Solução Redes

Caio César Carvalho Dias

7 de outubro de 2015

## Atraso

1. Considere um hospedeiro  $A$  enviando um único pacote de tamanho  $L$  bytes para o hospedeiro  $B$ .  $A$  e  $B$  encontram-se a uma distância de 25 km e estão conectados por meio de 5 enlaces de 5 km cada, nos quais a velocidade de propagação do sinal é de  $2.5 \times 10^8$  m/s, totalizando 4 roteadores no caminho. Todos os enlaces tem capacidade de transmissão de  $10^6$  B/s ( $\approx 8$  MB/s). Todos os roteadores, bem como hospedeiros, demoram  $10 \mu\text{s}$  para processar o pacote. Considere que  $A$  é o único hospedeiro enviando pacotes pela rede no momento e que a mesma não está congestionada, não havendo atraso de enfileiramento.
- a) Calcule o atraso, em função de  $L$ , para enviar o pacote de  $A$  a  $B$  usando **comutação de pacotes**, com todos os roteadores utilizando transmissão *store-and-forward* (ou seja, o pacote deve ser recebido por inteiro antes de começar a ser enviado).

**Solução:** A seguinte fórmula pode ser usada para o cálculo do atraso fim-a-fim numa comutação por pacotes com  $N$  roteadores, com atrasos homogêneos e sem congestionamento:

$$d_{fim-a-fim} = (N + 1)(d_{proc} + d_{prop} + d_{trans}).$$

Neste caso temos

$$\begin{aligned} N &= 4 \\ d_{proc} &= 10 \mu\text{s} = 10 \times 10^{-6} \text{ s} \\ d_{prop} &= \frac{5 \text{ km}}{2.5 \times 10^8 \text{ m/s}} = 20 \times 10^{-6} \text{ s} \\ d_{trans} &= \frac{L \text{ B}}{10^6 \text{ B/s}} = L \times 10^{-6} \text{ s}. \end{aligned} \tag{1}$$

Logo, o atraso em função de  $L$  dá-se por

$$\begin{aligned} d_{fim-a-fim}(L) &= (4 + 1)(10 \times 10^{-6} \text{ s} + 20 \times 10^{-6} \text{ s} + L \times 10^{-6} \text{ s}) \\ &= (30 + L)(5 \times 10^{-6}) \text{ s}. \end{aligned} \tag{2}$$

- b) Calcule o atraso, em função de  $L$ , para enviar o pacote de  $A$  a  $B$  usando **comutação de circuitos**, sem atraso devido ao store-and-forward ou processamento, mas com necessidade de 4.25 ms para estabelecer a conexão e imaginando que todos os recursos são dedicados para essa conexão.

**Solução:** A seguinte fórmula pode ser usada para o cálculo do atraso fim-a-fim numa comutação por circuitos com  $N$  roteadores, com atrasos homogêneos e sem congestionamento:

$$d_{fim-a-fim} = (N + 1)(d_{proc} + d_{prop}) + d_{trans} + d_{con}.$$

Neste caso temos

$$\begin{aligned} N &= 4 \\ d_{proc} &= 0 \text{ s} \\ d_{prop} &= \frac{5 \text{ km}}{2.5 \times 10^8 \text{ m/s}} = 20 \times 10^{-6} \text{ s} \\ d_{trans} &= \frac{L \text{ B}}{10^6 \text{ B/s}} = L \times 10^{-6} \text{ s} \\ d_{con} &= 4.25 \text{ ms} = 4250 \times 10^{-6} \text{ s}. \end{aligned} \tag{3}$$

Logo, o atraso em função de  $L$  dá-se por

$$\begin{aligned} d_{fim-a-fim}(L) &= (4 + 1)(0 \text{ s} + 20 \times 10^{-6} \text{ s}) + L \times 10^{-6} \text{ s} + 4250 \times 10^{-6} \text{ s} \\ &= (4350 + L)10^{-6} \text{ s}. \end{aligned} \tag{4}$$

- c) Analisando os resultados obtidos nos itens anteriores, é possível concluir que, nesse cenário, para pacotes com até um certo tamanho  $L1$ , o uso da comutação de pacotes é vantajosa, apesar do atraso de store-and-forward, devido ao tempo necessário para estabelecer a conexão, mas para pacotes maiores a comutação de circuitos acaba fornecendo um atraso menor. Calcule o valor de  $L1$ .

**Solução:**

$$\begin{aligned} (30 + L1)(5 \times 10^{-6}) \text{ s} &= (4350 + L1)10^{-6} \text{ s} \\ L1 &= 1050 \end{aligned} \tag{5}$$

## Extras

1. É possível que um protocolo  $X$ , da camada  $A$  da pilha de protocolos da Internet, realize transferência confiável de dados usando um protocolo não-confiável  $Y$  da camada  $B$  imediatamente inferior? Justifique.

**Solução:** Sim. Um protocolo pode usar inúmeras técnicas para garantir que uma mensagem seja enviada com sucesso de um ponto a outro. Tais técnicas são constituídas por identificação de erros, reenvio de mensagens, confirmações de recebimento, etc. O TCP, por exemplo, é um protocolo de transferência de dados confiável sobre uma camada de rede fim-a-fim não confiável (IP).

2. Quanto à comutação por circuitos ou por pacotes:

- a) Explique o funcionamento de ambas (não esqueça de falar dos recursos e do atraso de transmissão).

**Solução:** Em redes de comutação por circuitos, os recursos necessários ao longo de um caminho (buffers, taxa de transmissão de enlaces) para prover comunicação entre os sistemas finais são reservados pelo período da sessão de comunicação. Em redes de comutação de pacotes, esses recursos não são reservados; as mensagens de

uma sessão usam os recursos por demanda e, como consequência, poderão ter de esperar para conseguir acesso a um enlace de comunicação.

Devido ao fato da comutação por circuitos utilizar um circuito fechado, seus atrasos de transmissão são invariáveis e previsíveis. No entanto, a comutação por pacotes não precisa gastar tempo “fechando o circuito”.

- b) Contraste a maior vantagem de cada uma comparada com a outra.

**Solução:** A comutação por circuitos é mais adequada para serviços de tempo real, pois seus atrasos fim-a-fim são invariáveis e previsíveis. Já a comutação por pacotes oferece melhor compartilhamento de largura de banda que a comutação de circuitos e sua implementação é mais simples, mais eficiente e mais barata que a implementação de comutação de circuitos.

- c) Dê um exemplo de aplicação para a qual a comutação por circuitos é mais adequada e um para a qual a por pacotes é preferível.

**Solução:** A comutação por circuitos é mais adequada para chamadas telefônicas e a comutação por pacotes é mais adequada para comunicações com a internet.

3. Mostre um algoritmo (usando máquina de estados ou pseudo-código) para um remetente realizando entrega confiável sobre IP e utilizando Go-Back-N com uma janela de tamanho fixo de 5 pacotes, um único timer e retransmissão rápida (ou seja, ao receber o terceiro ACK com o mesmo número de sequência o remetente reenvia os pacotes necessários). [Podia ser repetição seletiva ao invés de GBN, e controle de fluxo ao invés de retransmissão rápida.]

**Solução:**

4. Considere dois hosts  $A$  e  $B$  que estabelecem uma conexão TCP para troca de dados com  $RTT = 100$  ms. O host  $A$  envia 8000 bytes para  $B$ , em pacotes de no máximo 2000 bytes a cada 50 ms (o primeiro desses pacotes têm número de sequência igual a 100 e número de ACK igual a 50).  $A$  e  $B$  tem buffers de recepção de 6000 bytes que inicialmente estão vazios ( $rwnd = 6000$ ). A camada de aplicação de  $B$  retira no máximo 1500 bytes desse buffer a cada 150 ms (os primeiros 1500 bytes são retirado imediatamente quando chegam, antes do envio do primeiro ACK, e os próximos 1500 bytes só 150 ms depois). Para eventos que acontecem no mesmo instante, considere que os primeiro os dados são entregues à aplicação, depois os hosts tratam as mensagens recebidas (dados e ACKs) e só depois enviam suas mensagens, os ACKs nem mesmo aparentam ocupar o buffer de recepção de  $A$ . Mostre as trocas de mensagem entre  $A$  e  $B$  para que  $A$  possa enviar todos os 8000 bytes, indicando claramente em cada mensagem os números de sequência e de ACK, o tamanho de  $rwnd$  e a quantidade de dados que está sendo transmitida. Recomendo indicar também quantos dados estão no buffer de recepção de  $B$ , quando são retirados e a quantidade de dados que  $A$  enviou e para os quais ainda não recebeu ACK.

**Solução:**