

1. [2,4 pontos] Dois computadores, A e B, se comunicam a uma distância de 600Km através de um enlace bi-direcional full duplex de 10 Mbits/seg. A propagação do sinal é de 200.000 Km/seg. O computador A envia pacotes de 1250 bytes para B à taxa máxima até receber um pacote de STOP. O computador A volta a transmitir pacotes somente quando receber um pacote GO. O tamanho dos pacotes STOP e GO é de 250 bytes. O computador B possui um buffer de 10.000 bytes e sua aplicação está configurada para ler o buffer inteiro a cada 20 msec e enviar um pacote GO para o computador A.

- 1.1. Qual o tempo de transmissão de um pacote de 1250 bytes pelo computador A?

R: $D_{trans-a-b} = L / R = 1250 * 8 \text{ bits} / 10 \text{ M bits} / \text{seg} = 1 \text{ msec}$

- 1.2. Quanto tempo leva para o último bit de um pacote ser propagado do computador A para o computador B?

R: $D_{prop} = D / S = 600\text{Km} / 200.000 \text{ Km} / \text{seg} = 3 \text{ msec}$

- 1.3. Qual o número máximo de pacotes de 1250 bytes que pode estar no enlace A-B?

R: $N = D_{prop} / D_{trans-a-b} = 3 \text{ pacotes}$

- 1.4. Quanto tempo leva para o buffer em B encher a partir do início da transmissão pelo computador A?

R: O Buffer enche quando B receber 8 pacotes de 1250 bytes. Portanto:

$$T1 = D_{prop} + 8 * D_{trans-a-b} = (3 + 8*1) \text{ msec} = 11 \text{ msec}$$

- 1.5. Após o início da transmissão pelo computador A, quanto tempo leva para o computador A receber o último bit de um pacote de STOP?

R: $T2 = T1 + D_{prop} + D_{trans-b-a} = 11 \text{ msec} + 3 \text{ msec} + 0,2 \text{ msec} = 14,2 \text{ msec}$

- 1.6. Qual a taxa média de utilização do enlace A-B em Mbit/seg?

R: No intervalo de tempo [0-T2], 15 pacotes são transmitidos em 15 msec.

$$U = 15 / 20 = 75\% = 7,5 \text{ Mbit/seg}$$

- 1.7. Qual a taxa média de perda de pacotes no enlace A-B?

R: Dos 15 pacotes transmitidos por ciclo, 7 são perdidos e 8 são armazenados no buffer.

$$P = 7/15 = 46,67\%$$

- 1.8. Qual a vazão percebida pela aplicação do computador B em Mbit/seg?

R: $V = 10000 \text{ bytes} / 20\text{msec} = 4 \text{ Mbit/seg}$

2. [2,0 pontos] Considere a transmissão de um arquivo de $F = M \cdot L$ bits num caminho com Q links. Cada link transmite a R bps. A rede está levemente carregada de modo que não há atrasos de enfileiramento. Quando é utilizada uma forma de comutação de pacotes, os $M \cdot L$ bits do arquivo são enviados em M pacotes cada um com L bits. O atraso de propagação é desprezível.

- a) Suponha que a rede seja uma rede de circuitos virtuais comutada por pacotes. Seja TS o tempo de estabelecimento do circuito virtual. Suponha que as camadas de transmissão adicionem um total de H bits ao cabeçalho de cada pacote. Quanto tempo leva para transmitir o arquivo da fonte até o destino?

R(a): $TS + M \cdot (L+H) / R + (Q - 1) \cdot (L+H)/R = TS + (M + Q - 1) \cdot (L+H)/R$

- b) Suponha que a rede seja uma rede comutada por pacotes tipo datagrama. Agora suponha que cada pacote possua $4H$ bits no cabeçalho. Qual o retardo para transmitir todo o arquivo?

R(b): $(M + Q - 1) \cdot (L+4H) / R$

- c) Repita o item (b) mas assuma que seja usada a comutação de mensagens (ou seja, são adicionados $4H$ bits à mensagem e esta não é fragmentada).

R(c): $Q \cdot (ML+4H) / R$

- d) Finalmente suponha que a rede seja comutada por circuitos. Assuma que a taxa de transmissão do circuito entre origem e destino seja de R bps. Assumindo que TS seja o tempo de estabelecimento da conexão e que H bits sejam adicionados a todo o arquivo, qual é o tempo necessário para transmitir o arquivo?

R(d): $TS + (ML+H) / R$

3. [1,6 pontos] Suponha que haja um enlace de microondas de 10Mbps e de comprimento 40000Km entre um satélite geoestacionário e sua estação-base na Terra. A cada minuto o satélite tira uma foto digital e envia à estação-base. Admita uma velocidade de propagação de $5\mu\text{seg/Km}$.

- a) Qual é o atraso de propagação do enlace?

R: $D_{\text{prop}} = D / S = 40000\text{Km} \cdot 5\mu\text{seg/Km} = 200 \text{ mseg}$

- b) Qual é o produto largura de banda – atraso?

R: $BDP = B \cdot D_{\text{prop}} = 10\text{Mbps} \cdot 200\text{mseg} = 2\text{Mbits}$

- c) Seja F o tamanho da foto. Qual o valor mínimo de F para que o enlace de microondas transmita continuamente?

R: $F = 2\text{Mbits}$

4. [1,0 ponto] Quais são os dois tipos de serviços de transporte que a Internet provê às suas aplicações? Cite algumas características de cada um desses serviços. Indique, exemplifique e justifique que tipo de aplicação usa que tipo de serviço de transporte.

R: TCP e UDP. O serviço de transporte TCP é orientado a conexão, com transferência confiável fim-a-fim, recuperação de erros através de retransmissões, controle de fluxo e controle de congestionamento. Aplicações que não toleram perdas de pacotes, como por exemplo aplicações de transferência de arquivos (FTP), utilizam o serviço TCP. Já o serviço de transporte UDP é um serviço não-orientado a conexão, com transferência não confiável, sem controle de fluxo e sem controle de congestionamento. Aplicações que toleram um certo nível de perdas de pacotes, porém que não toleram grandes variações no atraso fim-a-fim, utilizam tipicamente o serviço de transporte UDP, por exemplo aplicações multimídia como VoIP e streaming de áudio e vídeo.

5. [1,0 ponto] Qual é a vantagem de uma rede de comutação de circuitos em relação a uma de comutação de pacotes? E quais são as desvantagens? Comente sobre TDM e FDM em uma rede de comutação de circuitos.

R: Em redes de comutação de circuitos, através de pacotes de sinalização durante o estabelecimento da chamada, reserva-se um canal dedicado para a comunicação. A reserva de canal pode ser feita através de multiplexação por divisão no tempo (TDM) ou na frequência (FDM). No TDM um slot de tempo por ciclo é alocado para a transmissão periódica de cada usuário. Já no FDM, a faixa de frequência de transmissão é dividida para transmissão contínua em subcanais para cada usuário. As vantagens da comutação de circuitos estão no fato de que, após estabelecido o canal, a comunicação de dados é efetuada sem risco de congestionamento e com garantias de qualidade de serviço. Em redes de comutação de circuitos, a rota alocada funciona como um fio, não havendo a necessidade de armazenar e re-encaminhar pacotes a cada roteador intermediário na rota. Todos os pacotes da conexão seguem a mesma rota. No entanto, recursos alocados porém não utilizados não podem ser utilizados por nenhum outro usuário do sistema.

Já em comutação de pacotes, não é necessário se estabelecer uma rota. Não há reserva de recursos e cada pacote pode seguir uma rota diferente em direção ao destinatário. O endereço do destinatário é presente no cabeçalho de cada pacote e o roteamento e encaminhamento é feito de forma independente em cada roteador intermediário. Roteadores intermediários precisam armazenar e re-encaminhar pacotes em cada salto até o destino. Como não há reserva de recursos, todos os usuários do sistema compartilham os recursos, e uma melhor utilização da rede ocorre devido à multiplexação estatística. No entanto, redes de comutação de pacotes estão sujeitas a congestionamentos.

6. [1,0 ponto] Descreva a funcionalidade de cada camada da pilha de protocolos da Internet. Indique quais camadas estão tipicamente implementadas em roteadores e quais camadas estão implementadas nos sistemas finais.

R: Camada de Aplicação: Onde residem as aplicações. Inclui protocolos como HTTP, SMTP, FTP entre outros. Camada de Transporte: transporta mensagens fim a fim da origem ao destino. Camada de Rede: roteia e encaminha pacotes em direção ao destino. Camada de enlace: transmite quadros em enlaces conectando cada elemento de rede. Camada Física: Transmissão de bits individuais codificados de acordo com o meio de transmissão do enlace. Todas as camadas estão implementadas nos sistemas finais enquanto que nos roteadores apenas as camadas física, de enlace e de rede estão implementadas.

7. [1,0 ponto] Afirma-se que controle de fluxo e controle de congestionamento são equivalentes. Isso é válido para o serviço orientado a conexões da Internet? Os objetivos do controle de fluxo e do controle de congestionamento são os mesmos?

R: Não são equivalentes. O controle de fluxo visa impedir que um receptor fique sobrecarregado por estar recebendo pacotes a uma taxa superior à que este possa consumi-los. Já controle de congestionamento visa proteger a rede de uma carga de pacotes superior a sua capacidade.