

1. [2,0 pontos] Neste problema consideramos a transmissão de voz do Host A para o Host B através de uma rede comutada por pacotes (por exemplo, VoIP). O Host A converte ao vivo, voz analógica para um fluxo de bits digitais de 64-Kbps. O Host A então agrupa os bits em pacotes de 48 bytes. Há um enlace entre o host A e o host B; a sua taxa de transmissão é de 1 Mbps e o atraso de propagação de 2 mseg. Assim que o pacote é gerado no host A, ele o transmite para B. Assim que o host B recebe um pacote completo ele converte os bits do pacote para um sinal analógico. Qual o tempo decorrido desde o instante em que o bit é criado (a partir do sinal analógico em A) até que o bit seja decodificado (como sendo parte do sinal analógico em B)? Considere os atrasos para: empacotar os bits, transmiti-los e para que eles se propaguem até o host B.

$$D = D_{\text{codif}} + L / R + D_{\text{prop}} = (48 \cdot 8 \text{ bits} / 64 \text{ Kbps}) + (48 \cdot 8 \text{ bits} / 1 \text{ Mbps}) + 2 \text{ mseg}$$

$$D = 6 \text{ mseg} + 384 \mu\text{seg} + 2 \text{ mseg} = \mathbf{8,384 \text{ mseg}}$$

2. [2,0 pontos] Suponha que haja um enlace de microondas de **R=1Mbps** e de comprimento **M=10000Km** 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 **S = 5μseg/Km**.

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

$$R: D_{\text{prop}} = M \cdot S = 10000 \text{ Km} \cdot 5 \mu\text{seg/Km} = \mathbf{50 \text{ mseg}}$$

- b) Interprete o produto largura de banda – atraso?

$$R: BDP = R \cdot D_{\text{prop}} = 1 \text{ Mbps} \cdot 50 \text{ mseg} = \mathbf{50 \text{ Kbits.}}$$

Representa o número máximo de bits em trânsito no enlace.

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

$$R: F = \mathbf{50 \text{ Kbits}}$$

- d) Qual é o comprimento em metros de um bit no enlace?

$$R: L_B = 10000 \text{ Km} / 50 \text{ K} = \mathbf{200 \text{ m}}$$

- e) Derive a expressão geral para o comprimento de um bit.

$$R: L_B = M / BDP = 1 / (R \cdot S)$$

3. [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. Assuma que $F = 7,5\text{Mbits}$; $R=1,5\text{Mbps}$, $M=5000$ pacotes, $L=1500\text{bits}$ e $Q=3$ links.

- 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. Derive a expressão e calcule quanto tempo leva para transmitir o arquivo da fonte até o destino?

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

$$R(a): TS + 5002 \cdot (1500\text{bits}+H)/1,5\text{Mbps}$$

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

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

$$R(b): 5002 \cdot (1500\text{bits}+4H) / 1,5\text{Mbps}$$

- 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).

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

$$R(c): 3 \cdot (7,5\text{Mbits}+4H) / 1,5\text{Mbps}$$

- 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, Derive a expressão e calcule qual é o tempo necessário para transmitir o arquivo?

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

$$R(d): TS + (7,5\text{Mbits}+H) / 1,5\text{Mbps}$$

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.