

1. Descreva sucintamente o mecanismo de abertura de conexão usado pelo TCP. (1,0 ponto)

Resposta: O mecanismo de abertura de conexão do TCP é composto por 3 etapas, por isso a denominação de *three-way handshake* (0,1 ponto). Na primeira etapa, o cliente TCP envia para o servidor TCP um segmento de controle SYN, especificando o número de sequência inicial no sentido cliente-servidor, entre outros parâmetros de configuração. Não são enviados dados neste segmento (0,3 pontos). Na segunda etapa, após receber o SYN, o servidor envia para o cliente um segmento de controle SYN+ACK sinalizando que aceita abrir uma conexão e que alocou espaço em seu *buffer*. Nesse segmento, é especificado, por exemplo, o número de sequência inicial no sentido servidor-cliente (0,3 pontos). Na terceira etapa, após receber o SYN+ACK, o cliente envia um segmento de controle ACK, confirmando, assim, a abertura da conexão. Este último segmento pode conter dados (0,3 pontos).

2. Descreva o mecanismo de retransmissão rápida empregado pelo TCP. Por que esse mecanismo é necessário? (1,0 ponto)

Resposta: Durante uma conexão TCP, alguns segmentos podem ser recebidos no destino fora de ordem ou podem ser perdidos. Esta desordem pode ter sido ocasionada pelo roteamento no percurso entre o hospedeiro de origem e o hospedeiro de destino, ou pela perda de um segmento enviado. Os ACKs relativos aos segmentos recebidos fora de ordem, são enviados, informando ao transmissor o número de sequência esperado pelo receptor (ou em outras palavras, o número de sequência do segmento faltante). A decisão da necessidade de retransmissão, no caso do TCP, é obtida de duas formas: ou pela recepção do terceiro ACK em duplicata ou pelo timeout no transmissor (0,5 pontos). No caso da recepção de três ACKs em duplicata, o transmissor constata que um segmento não chegou ao receptor (já que ACKs em duplicata foram recebidos), e por essa razão o transmissor retransmite o segmento perdido, sem esperar pelo estouro do temporizador. Esta técnica é conhecida como “retransmissão rápida”. Este mecanismo é necessário para que o transmissor não precise esperar pelo estouro do temporizador para retransmitir um segmento (0,5 pontos).

3. Descreva o mecanismo de recuperação rápida usado pelo TCP. (1,0 ponto)

Resposta: Conforme descrito na questão 2, no caso da recepção de três ACKs em duplicata, o transmissor TCP assume que um segmento foi perdido pois não chegou ao receptor, mas outros segmentos foram recebidos, já que ACKs em duplicata foram

recebidos. Neste caso, além do transmissor retransmitir o segmento perdido, sem esperar pelo estouro do temporizador, ele reduz a janela de congestionamento pela metade e entra na fase de “Evitar Congestionamento”. Esta técnica é conhecida como “recuperação rápida”. Caso o transmissor TCP esperasse pelo estouro do temporizador, ele reduziria a janela de congestionamento para 1 MSS e entraria na fase “Partida Lenta”.

4. Como funciona o mecanismo de ACK retardado (*delayed ack*) usado pelo TCP? (1,0 ponto)

Resposta: Ao receber um segmento em ordem, ou seja, com número de sequência esperado, o receptor TCP aguarda até 500ms pela chegada de um segundo segmento, antes de enviar um ACK. Como o ACK é cumulativo, esta técnica tem o potencial de reduzir a quantidade de ACKs enviados em uma conexão TCP. (1,0 ponto)

5. Descreva e diferencie os mecanismos de controle de fluxo e de congestionamento do TCP. (2,0 pontos)

Resposta: O objetivo do controle de fluxo é não sobrecarregar o receptor com mais dados do que ele pode receber. Por outro lado, o controle de congestionamento tem como objetivo inferir um congestionamento e não sobrecarregar ainda mais a rede nessa situação. Essa é a principal diferença entre os dois mecanismos (0,4 pontos). O controle de fluxo funciona da seguinte forma. O receptor anuncia o espaço livre em seu buffer para o transmissor através do campo janela de recepção (*RcvWindow*) presente no cabeçalho de cada segmento enviado. Ao receber essa informação, o transmissor limita sua janela de transmissão, ou seja, a quantidade de dados ainda não reconhecidos, ao tamanho informado no campo. Dessa forma, o receptor não é afogado pelo transmissor (0,8 pontos). O controle de congestionamento também limita a quantidade de dados ainda não reconhecidos, porém, de acordo com o nível de congestionamento da rede. Para tanto, perdas são inferidas através da recepção de três ACKs duplicados e pelo estouro do temporizador de espera de um ACK. Nos dois casos, a medida tomada após o evento de perda é reduzir a janela de congestionamento pela metade ou para 1 segmento e redefinir o valor do limiar *ssthresh*. Também são definidas diferentes formas de crescimento da janela em função do valor atual da janela de congestionamento: partida lenta (crescimento exponencial) e prevenção de congestionamento (crescimento linear) (0,8 pontos).

6. O UDP (*User Datagram Protocol*) também é chamado de protocolo de transporte mínimo. Por quê? Ele é realmente necessário na Internet? Justifique suas respostas e cite dois protocolos da camada de aplicação que o utilizam. (1,0 ponto)

Resposta: O UDP é chamado de protocolo de transporte mínimo porque só oferece os serviços mínimos da camada de transporte que são: multiplexação, demultiplexação e verificação de integridade (0,4 pontos). O UDP é necessário por possuir menor latência se comparado ao TCP, não manter estados no transmissor e receptor e por permitir que um transmissor possa enviar dados tão rápido quanto desejado e possível. Isso porque o UDP não exige estabelecimento de conexão, não emprega mecanismos de controle de fluxo e congestionamento e seu cabeçalho tem tamanho reduzido (0,4 pontos). São exemplos de protocolos da camada de aplicação que o utilizam o DNS (*Domain Name System*), o NFS

(*Network File System*), o *SNMP (Simple Management Network Protocol)*, entre outros (0,1 pontos por cada protocolo citado corretamente – até 0,2 pontos).

7. Sobre os protocolos de transferência confiável responda:

a. Qual a principal deficiência de protocolos que operam no modo para-e-espera (*stop and wait*)? (0,3 pontos)

Resposta: A principal deficiência é a baixa utilização do meio de transmissão, ou seja, tais protocolos limitam o uso dos recursos físicos. Isso porque um segmento só pode ser enviado pelo transmissor após a recepção do reconhecimento positivo do segmento anterior enviado por esse transmissor. Enquanto isso não ocorre, o transmissor fica ocioso (0,3 pontos).

b. Qual a solução adotada por alguns protocolos para contornar esse problema? (0,2 pontos)

Resposta: A solução é permitir que um transmissor envie um conjunto de segmentos consecutivamente sem que antes seja necessário receber a confirmação de recepção dos segmentos anteriores dentro deste conjunto. Essa técnica é chamada de paralelismo (*pipelining*) (0,2 pontos).

c. Quais são as duas principais modificações que os protocolos que empregam a solução do Item b devem adotar? (0,5 pontos)

Resposta: As duas principais modificações são: (i) aumento da faixa dos números de sequência (0,3 pontos) e (ii) emprego de *buffers* no transmissor e/ou no receptor (0,2 pontos).

8. O protocolo TCP experimenta o comportamento mostrado no gráfico abaixo. Com base nesse gráfico, responda às seguintes perguntas e justifique resumidamente suas respostas. (0,4 pontos cada item)

a. Qual(is) o(s) intervalo(s) de tempo em que a partida lenta do TCP está em execução?

Resposta: A partida lenta é executada nos intervalos [1,6] e [11,15], pois nesses intervalos, a janela de congestionamento está abaixo do limiar e o crescimento da janela de congestionamento é exponencial.

b. Qual(is) o(s) intervalo(s) de tempo em que a prevenção de congestionamento do TCP está em execução?

Resposta: A prevenção de congestionamento é executada nos intervalos [6,10], [15,18] e [19,23], pois nesses intervalos a janela de congestionamento está acima do limiar e o crescimento da janela de congestionamento é linear.

c. Após a 10ª rodada de transmissão, a perda de segmento será detectada por três ACKs duplicados ou por um estouro do temporizador?

Resposta: Neste caso, a perda será detectada por estouro do temporizador, pois a janela de congestionamento foi reduzida para apenas 1 segmento.

d. Após a 18ª rodada de transmissão, a perda de segmento será detectada por três ACKs duplicados ou por um estouro do temporizador?

Resposta: Neste caso, a perda será detectada por três ACKs duplicados, pois a janela de congestionamento foi reduzida para metade do seu valor antes do evento de perda, ou seja, de 20 segmentos na 18ª rodada para 10 segmentos na 19ª rodada.

e. Qual o valor do limiar de partida lenta (*ssthresh*) na 13ª rodada e na 21ª rodada?

Resposta: Nos dois casos, o valor do limiar *ssthresh* é definido como metade do valor da janela de congestionamento antes do último evento de perda. Portanto, na 13ª rodada, o valor do *ssthresh* é 18 e na 21ª é 10.

