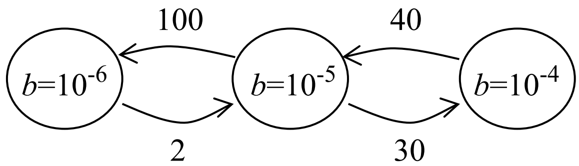
Universidade de Aveiro
Mestrado em Engenharia de Computadores e Telemática
Exame de Modelação e Desempenho de Redes e Serviços – 12 de janeiro de 2023

Duração: 2 horas. Sem consulta. ***Justifique cuidadosamente todas as respostas***.

1. Considere uma ligação sem fios entre um emissor e um recetor em que a probabilidade de erro de bit b é modelada pela cadeia de Markov seguinte (taxas em número de transições por segundo):



Esta ligação suporta um fluxo de pacotes cujo comprimento é 600 Bytes com probabilidade de 35% ou 1200 Bytes com probabilidade de 65%. Determine:

a) a probabilidade da ligação estar no estado $b = 10^{-4}$, (*1.0 valores*)

b) o tempo médio de permanência (em milissegundos) da ligação no estado $b = 10^{-5}$, (*1.0 valores*)

c) a percentagem de pacotes transmitidos que chegam ao recetor sem erros quando a ligação está no estado $b = 10^{-4}$, (*1.0 valores*)

d) a probabilidade da ligação estar no estado $b = 10^{-6}$ quando um pacote de 600 Bytes chega ao recetor com erros. (*1.0 valores*)

2. Considere uma ligação com uma fila de espera de um determinado tamanho a suportar 3 fluxos de pacotes cujas chegadas são processos de Poisson e com as características seguintes:

(i) o tamanho médio dos pacotes dos fluxos 2 e 3 é igual entre si e é menor que o tamanho médio dos pacotes do fluxo 1;
(ii) o fluxo 1 tem a maior prioridade e os fluxos 2 e 3 têm a segunda maior prioridade;
(iii) o débito binário (*throughput*) de cada fluxo é igual e a soma dos 3 débitos binários é menor que a capacidade da ligação.

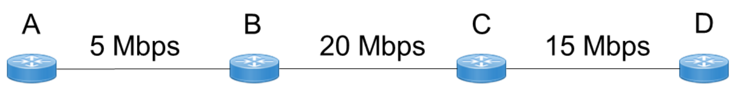
Em qualquer dos fluxos, os pacotes são descartados se não houver espaço na fila de espera. Indique e justifique se cada uma das afirmações seguintes está correta ou incorreta.

a) A taxa de perda de pacotes média dos fluxos 1 e 2 é igual. (*1.0 valores*)

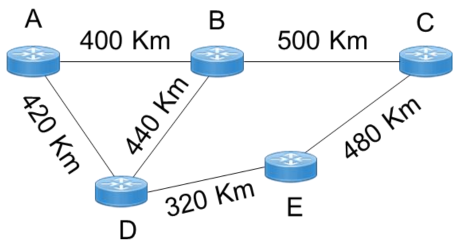
b) O fluxo 2 sofre menor atraso médio na ligação que o fluxo 3. (*1.0 valores*)

c) O débito binário obtido da ligação é menor para o fluxo 1 que para o fluxo 3. (*1.0 valores*)

3. Considere a rede com comutação de pacotes da figura em que todas as ligações têm uma fila de espera muito grande e cada ligação introduz um atraso de propagação de 50 µs. A rede suporta 2 fluxos de pacotes: fluxo 1 de 4 Mbps de A para C com pacotes de tamanho exponencialmente distribuído de 500 Bytes de tamanho médio e fluxo 2 de 12 Mbps de B para D com pacotes de tamanho exponencialmente distribuído de 1500 Bytes de tamanho médio. As chegadas de pacotes são um processo de Poisson nos dois fluxos. A rede suporta o fluxo 1 com maior prioridade que o fluxo 2. Determine o atraso médio por pacote do fluxo 2 (em milissegundos). (*2.5 valores*)



4. Considere a figura que indica o comprimento das ligações de uma rede de routers a correr o protocolo OSPF com os custos unitários em todas as interfaces. Todas as ligações são de 10 Gbps em cada sentido e têm filas de espera muito grandes. A rede suporta 2 fluxos de tráfego: o fluxo 1 entre o router A e o router C de 6 Gbps em cada sentido e o fluxo 2 entre o router C e o router D de 4 Gbps em cada sentido. Em ambos os fluxos, as chegadas de pacotes são processos de Poisson e o tamanho dos pacotes é exponencialmente distribuído com média de 1000 Bytes. Cada router tem uma capacidade de 50 Gbps e o seu consumo de energia é $E_n = 10 + 110 \times \sqrt{t}$ (em que t é a carga do router). Cada ligação tem um consumo de energia $E_l = 4 + 0.2 \times l$ (em que l é o comprimento em Km) quando suporta tráfego ou é nulo quando está em modo adormecido. Determine justificadamente:



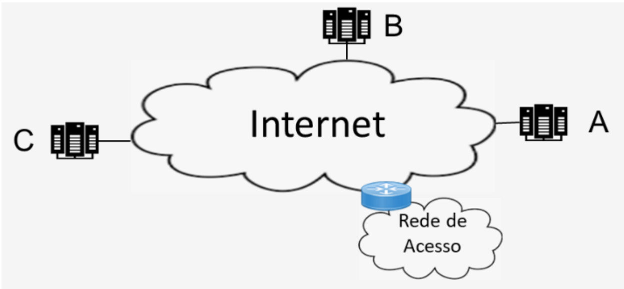
a) o débito binário médio (*throughput*), em Gbps, ocupado em cada ligação, (*1.5 valores*)

b) a latência (i.e., atraso médio de ida e volta) sofrida na rede pelo fluxo 2, (*1.5 valores*)

c) o consumo energético da rede. (*1.5 valores*)

5. Considere a rede com comutação de pacotes da figura em que cada ligação introduz um atraso de propagação de 2 milissegundos em cada sentido. Um fluxo da rede do nó A para o nó D gera pacotes de tamanho médio de 1250 Bytes e é controlado por janelas extremo-a-extremo com permissões de tamanho de 100 Bytes. Determine justificando o tamanho da janela adequado (em número de pacotes) para que o fluxo transmita ao débito máximo quando não há mais nenhum fluxo na rede. (*2.5 valores*)

6. Considere um serviço *anycast* disponibilizado na Internet nos 3 DCs (*Data Centers*) da figura (A, B e C) e considere os utilizadores do serviço que ligados à Rede de Acesso da figura. A disponibilidade de cada DC é 0.99, da Rede de Acesso é 0.9995 e do Router é 0.9999 (considere que a Internet nunca falha). A latência média (i.e., o atraso de ida-e-volta) de cada utilizador para cada DC é 5 milissegundos (DC A), 20 milissegundos (DC B) e 50 milissegundos (DC C). O serviço é encaminhado para o DC disponível para o qual a rede providencia menor latência. Determine:



a) a disponibilidade do serviço para os utilizadores ligados à Rede de Acesso, (*2.0 valores*)

b) a latência média da rede quando o serviço está disponível. (*1.5 valores*)

FORMULÁRIO

Teorema de Little: $L = \lambda W$ Atraso médio no sistema $M/M/1$: $W = \dfrac{1}{\mu - \lambda}$

Atraso médio na fila de espera do sistema $M/G/1$:

$$W_Q = \frac{\lambda E[S^2]}{2(1 - \lambda E[S])}$$

Atraso médio na fila de espera do sistema $M/G/1$ com prioridades do tipo não-preemptivo:

$$W_{Qk} = \begin{cases} \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i E[S_i^2])}{2(1-\rho_1)} & , k = 1 \\ \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i E[S_i^2])}{2(1-\rho_1-\cdots-\rho_{k-1})(1-\rho_1-\cdots-\rho_k)} & , k > 1 \end{cases} \qquad \rho_k = \lambda_k E[S_k]$$

Fórmula de ErlangB: $P_m = \dfrac{(\lambda/\mu)^m / m!}{\sum_{n=0}^{m}(\lambda/\mu)^n / n!}$

Probabilidades limite dos estados (processo de nascimento e morte):

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda_0 \lambda_1 \cdots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_n}}, \quad P_n = \frac{\lambda_0 \lambda_1 \cdots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_n \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\lambda_0 \lambda_1 \cdots \lambda_{n-1}}{\mu_1 \mu_2 \cdots \mu_n}\right)}, \; n \geq 1$$

WFQ: $RN(\tau_i + t) = RN(\tau_i) + \dfrac{1}{\sum_{j\ ativas} \phi_j} t$ $\qquad FN_{i,k} = \max\left(FN_{i,k-1}, RN\right) + \dfrac{L_k / C}{\phi_i}$

SCFQ: $FN_{i,k} = \max\left(FN_{i,k-1}, FN_s\right) + \dfrac{L_k}{\phi_i}$

Disponibilidade (elementos em série): $A = a_1 \times a_2 \times \ldots \times a_n$

Disponibilidade (elementos em paralelo): $A = 1 - [(1 - a_1) \times (1 - a_2) \times \ldots \times (1 - a_n)]$

Disponibilidade de uma ligação:

$$\frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \qquad MTBF = \frac{CC \times 365 \times 24}{\text{comprimento da ligação [Km]}}$$