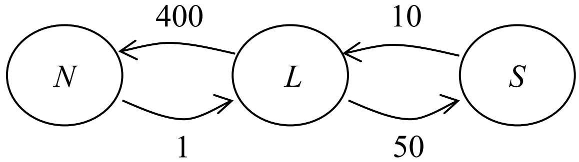
Universidade de Aveiro
Mestrado em Engenharia de Computadores e Telemática
Exame de Modelação e Desempenho de Redes e Serviços – 16 de janeiro de 2024

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

1. Considere que uma ligação sem fios para comunicação de pacotes pode estar num de 3 estados possíveis – Normal (N), Interferência Ligeira (L) ou Interferência Severa (S) – de acordo com a cadeia de Markov seguinte (taxas em número de transições por hora):



Considere que a probabilidade de cada pacote ser recebido com pelo menos um bit errado é de 0.001% no estado N, 0.2% no estado L e 5% no estado S. Determine:

a) a probabilidade, em percentagem, da ligação estar no estado L, (*1.0 valores*)

b) o tempo médio de permanência, em segundos, da ligação no estado S, (*1.0 valores*)

c) a probabilidade, em percentagem, da ligação transitar para o estado N quando está no estado L, (*1.0 valores*)

d) a probabilidade, em percentagem, da ligação estar no estado N quando um pacote chega ao recetor com pelo menos um bit errado. (*1.0 valores*)

2. Considere um sistema de transmissão de pacotes de 1 Gbps com uma fila de espera muito grande a suportar um fluxo de pacotes cujas chegadas são um processo de Poisson com taxa λ pacotes/segundo e o tamanho dos pacotes é exponencialmente distribuído com tamanho médio de 1000 Bytes. Sabendo que os pacotes sofrem um atraso médio global de 20 µsegundos, determine:

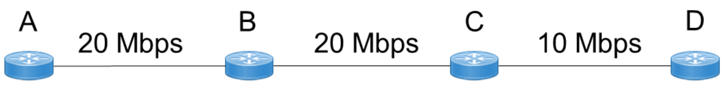
a) o tempo médio de transmissão de cada pacote, em µsegundos, (*1.0 valores*)

b) o valor de λ, (*1.0 valores*)

c) o atraso médio dos pacotes na fila de espera, em µsegundos. (*1.0 valores*)

3. Considere um sistema de transmissão de pacotes de 100 Mbps com uma fila de espera de 80000 Bytes de tamanho. O sistema suporta um fluxo de pacotes cujas chegadas são um processo de Poisson e o tamanho dos pacotes é 125 Bytes (com probabilidade 50%), 250 Bytes (com probabilidade 40%) ou 500 Bytes (com probabilidade 10%). Determine justificadamente os atrasos mínimo e máximo (em milissegundos) que os pacotes podem sofrer no sistema. (*2.0 valores*).

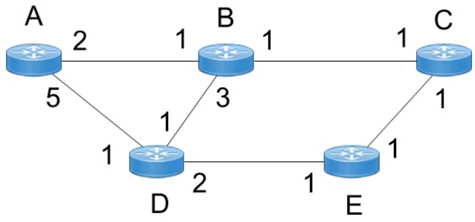
4. Considere a rede com comutação de pacotes da figura em que todas as ligações têm uma fila de espera muito grande e cada ligação introduz um atraso de propagação de 50 µs em cada sentido. A rede suporta 3 fluxos de pacotes: fluxo 1 de 10 Mbps de A para C, fluxo 2 de 8 Mbps de A para D e fluxo 3 de 1 Mbps de C para D. Em todos os fluxos, as chegadas de pacotes são um processo de Poisson e os pacotes são exponencialmente distribuídos com tamanho médio 800 Bytes. Determine o atraso médio por pacote do fluxo 1 (em milissegundos) quando:



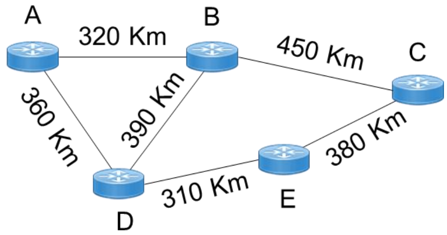
a) a rede suporta os três fluxos com a mesma prioridade, (*1.5 valores*)

b) a rede suporta o fluxo 1 com a maior prioridade e os fluxos 2 e 3 com a segunda maior prioridade. (*1.5 valores*)

5. Considere a rede da figura em que os routers estão configurados com o protocolo OSPF usando ECMP (*Equal Cost Multi-Path*). A figura indica os custos OSPF de cada porta dos routers. Se a rede estiver a suportar um fluxo entre o router A e o router D de 20 Mbps em cada sentido, determine justificadamente que débito binário (*throughput*), em Mbps, o fluxo ocupa em cada sentido de cada ligação. (*2.0 valores*)



6. Considere a rede da figura que indica o comprimento das ligações. A rede suporta 2 fluxos de pacotes: o fluxo 1 entre o router A e o router B de 15 Gbps em cada sentido e o fluxo 2 entre o router D e o router C de 10 Gbps em cada sentido. O fluxo 1 é encaminhado pelos percursos de serviço A↔B e de proteção A↔D↔B. O fluxo 2 é encaminhado pelos percursos de serviço D↔E↔C e de proteção D↔B↔C. Os dois fluxos são protegidos por um mecanismo de proteção 1:1. A disponibilidade de cada router é 0.9999 e a disponibilidade das ligações caracteriza-se por um *Cable Cut* de 250 Km e um tempo médio de reparação de 18 horas. Determine justificadamente:



a) a disponibilidade da rede (com 6 casas decimais) para o fluxo 1, (*2.0 valores*)

b) a capacidade mínima necessária em cada ligação para garantir a proteção dos dois fluxos. (*2.0 valores*)

7. Considere uma ligação com capacidade de 10 Mbps. Numa situação de congestão, chegam à ligação 4 fluxos de pacotes (A, B, C e D) em que o fluxo A gera 1 Mbps, o fluxo B gera 4 Mbps, o fluxo C gera 6 Mbps e o fluxo D gera 5 Mbps. Determine a que débito binário (*throughput*) cada fluxo é servido pela ligação com uma disciplina de escalonamento ideal (i.e., segundo o princípio de equidade max-min) assumindo que os fluxos A e B têm peso 4 e os fluxos C e D têm peso 1. (*2.0 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):

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

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

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

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:

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