Universidade de Aveiro
Mestrado Integrado em Eng. de Computadores e Telemática
Exame de Desempenho e Dimensionamento de Redes – 19 de junho de 2020
RESOLUÇÃO

1. Considere um sistema de deteção de mensagens spam de um servidor de correio eletrónico que tem uma probabilidade de 1% de falsos positivos (i.e., mensagens legítimas classificadas como spam) e uma probabilidade 5% de falsos negativos (i.e., mensagens spam classificadas como legítimas). Num determinado dia, um utilizador recebe 50 mensagens de correio eletrónico das quais 2 são spam e as restantes 48 são legítimas. Determine justificadamente a probabilidade de:

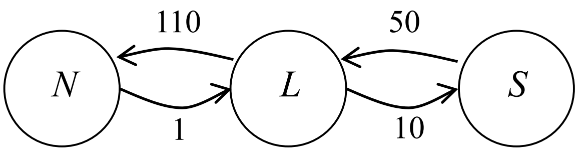
   a) as 50 mensagens de correio eletrónico serem classificadas corretamente, (*1.0 valores*)

   b) as 50 mensagens de correio eletrónico serem todas classificadas como legítimas. (*1.0 valores*)

a) $(1-0.05)^2 \times (1-0.01)^{48} = 0.557 = 55.7\%$

b) $0.05^2 \times (1-0.01)^{48} = 0.00154 = 0.154\%$

2. 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):



   a) Determine a probabilidade do estado *N*, em percentagem. (*1.0 valores*)

   b) Determine o tempo médio de permanência no estado *L*, em minutos. (*1.0 valores*)

a) $$P_N = \frac{1}{1 + \frac{1}{110} + \frac{1}{110} \times \frac{10}{50}} = 0.9892 = 98.92\%$$

b) $$T_L = \frac{60}{10 + 110} = 0.5 \text{ minutos}$$

3. Considere uma ligação ponto-a-ponto de 10 Mbps com uma fila de espera infinita a suportar um fluxo de pacotes de tamanho constante em que a chegada de pacotes é um processo de Poisson. Sabendo que o tempo de transmissão de cada pacote é de 0.4 milissegundos e que o tempo médio entre chegadas de pacotes é de 0.5 milissegundos, determine justificadamente:

   a) a taxa de chegada de pacotes, em pacotes por segundo, (*1.0 valores*)

   b) o atraso médio que os pacotes sofrem na fila de espera. (*1.5 valores*)

a) $$\lambda = \frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2000 \text{ pacotes/segundo}$$

b) $E[S] = 0.4 \times 10^{-3}$ $\quad E[S^2] = E[S]^2 = (0.4 \times 10^{-3})^2$

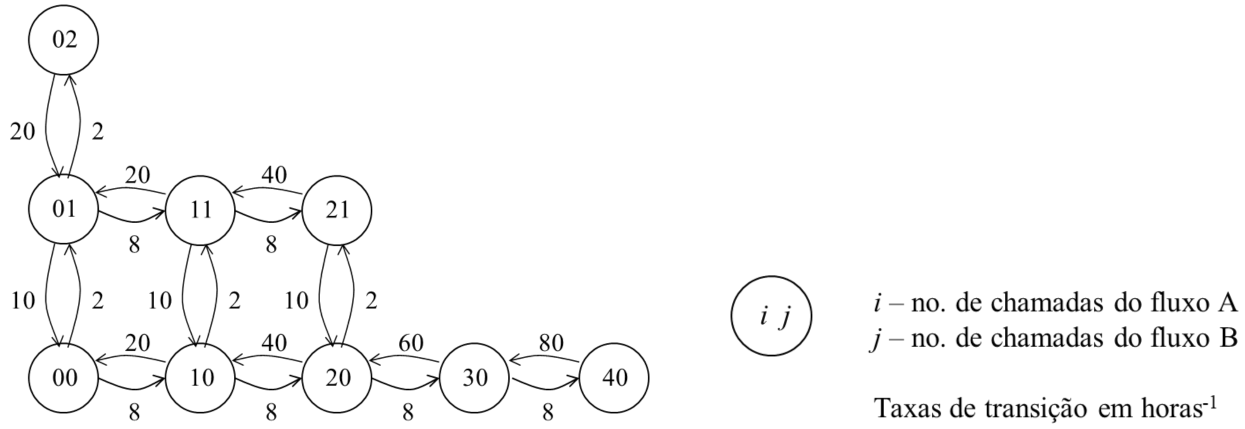
$$W_Q = \frac{\lambda E[S^2]}{2(1-\lambda E[S])} = \frac{2000 \times (0.4 \times 10^{-3})^2}{2(1 - 2000 \times 0.4 \times 10^{-3})} = 0.0008 = 0.8 \text{ milissegundos}$$

4. Considere uma ligação ponto-a-ponto com 4 circuitos de capacidade e que suporta dois fluxos de chamadas de Poisson. No fluxo A, as chamadas chegam a uma taxa de 8 chamadas/hora e ocupam um circuito cada. No fluxo B, as chamadas chegam a uma taxa de 2 chamadas/hora e ocupam dois circuitos cada. As chamadas têm duração exponencialmente distribuída com média de 3 minutos no fluxo A e 6 minutos no fluxo B.

   a) Determine a cadeia de Markov que representa o estado da ligação. (*1.5 valores*)

   b) Indique justificadamente qual dos 2 fluxos tem maior probabilidade de bloqueio. (*1.5 valores*)

a)



b) A probabilidade de bloqueio P_B é maior do que a probabilidade de bloqueio P_A porque:

P_B = P(40) + P(30) + P(21) + P(11) + P(02) > P(40) + P(21) + P(02) = P_A

5. Considere um sistema de transmissão de pacotes ponto-a-ponto de 5 Mbps com uma fila de espera infinita e que suporta um fluxo de pacotes de 4 Mbps cujas chegadas são um processo de Poisson. O tamanho dos pacotes é de 100 Bytes, 400 Bytes, 600 Bytes ou 900 Bytes e todos os tamanhos são igualmente prováveis. O sistema serve os pacotes com tamanho maior que 500 Bytes com maior prioridade que os pacotes com tamanho menor que 500 Bytes. Determine o atraso médio que os pacotes de 100 Bytes sofrem no sistema. (*3.0 valores*)

Tamanho médio de pacotes: $B = 0.25 \times 100 + 0.25 \times 400 + 0.25 \times 600 + 0.25 \times 900 = 500$ Bytes

$\lambda = \frac{4000000}{8\times 500} = 1000$ pps $\qquad \lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \lambda_D = \frac{1000}{4} = 250$ pps

$\lambda_1 = \lambda_C + \lambda_D = 500$ pps $\qquad \lambda_2 = \lambda_A + \lambda_B = 500$ pps

$\lambda_1 = 500$ pps $\qquad \mu_1 = \frac{5000000}{0.5\times 8\times 600 + 0.5\times 8\times 900} = 833.(3)$ pps $\qquad \rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} = \frac{500}{833.(3)} = 0.6$

$\lambda_2 = 500$ pps $\qquad \mu_2 = \frac{5000000}{0.5\times 8\times 100 + 0.5\times 8\times 400} = 2500$ pps $\qquad \rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = \frac{500}{2500} = 0.2$

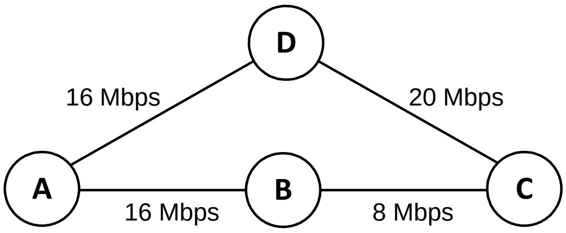
$$E(S_1^2) = 0.5 \times \left(\frac{8\times 600}{5000000}\right)^2 + 0.5 \times \left(\frac{8\times 900}{5000000}\right)^2 = 14.98 \times 10^{-7}$$

$$E(S_2^2) = 0.5 \times \left(\frac{8\times 100}{5000000}\right)^2 + 0.5 \times \left(\frac{8\times 400}{5000000}\right)^2 = 2.17 \times 10^{-7}$$

$$W_{Q2} = \frac{\lambda_1 \times E(S_1^2) + \lambda_2 \times E(S_2^2)}{2(1-\rho_1)(1-\rho_1-\rho_2)} = \frac{500 \times 14.98 \times 10^{-7} + 500 \times 2.17 \times 10^{-7}}{2(1-0.6)(1-0.6-0.2)}$$

$$W_{100} = W_{Q2} + \frac{8\times 100}{5000000} = 0.00536 + 0.00016 = 0.00552 = 5.52 \text{ milissegundos}$$

6. Considere a rede com comutação de pacotes da figura ao lado. A rede suporta 3 fluxos de pacotes: Fluxo 1 de A para B de 8 Mbps no percurso direto, Fluxo 2 de 4 Mbps de B para C no percurso direto e Fluxo 3 de 10 Mbps de A para C bifurcado em 30% pelo percurso via B e 70% pelo percurso via D. Os pacotes de todos os fluxos são exponencialmente distribuídos com média de 400 Bytes. Determine o atraso médio por pacote introduzido pela rede usando a aproximação de Kleinrock. (*3.0 valores*)



$$\lambda_1 = \frac{8000000}{8\times400} = 2500 \text{ pps} \qquad \lambda_2 = \frac{4000000}{8\times400} = 1250 \text{ pps} \qquad \lambda_3 = \frac{10000000}{8\times400} = 3125 \text{ pps}$$

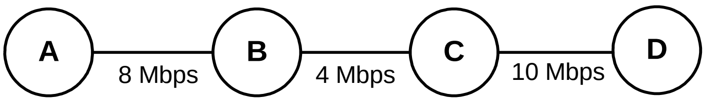
$$\mu_{AB} = \mu_{AD} = \frac{16000000}{8\times400} = 5000 \text{ pps} \qquad \mu_{BC} = \frac{8000000}{8\times400} = 2500 \text{ pps} \qquad \mu_{DC} = \frac{20000000}{8\times400} = 6250 \text{ pps}$$

$$L = \frac{\lambda_{AB}}{\mu_{AB}-\lambda_{AB}} + \frac{\lambda_{BC}}{\mu_{BC}-\lambda_{BC}} + \frac{\lambda_{AD}}{\mu_{AD}-\lambda_{AD}} + \frac{\lambda_{DC}}{\mu_{DC}-\lambda_{DC}}$$

$$L = \frac{2500+0.3\times3125}{5000-(2500+0.3\times3125)} + \frac{1250+0.3\times3125}{2500-(1250+0.3\times3125)} + \\ + \frac{0.7\times3125}{5000-0.7\times3125} + \frac{0.7\times3125}{6250-0.7\times3125} = 10.516 \text{ pacotes}$$

$$W = \frac{L}{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3} = \frac{10.516}{2500+1250+3125} = 0.00153 = 1.53 \text{ milissegundos}$$

7. Considere a rede seguinte com comutação de pacotes que suporta os fluxos A→B, A→C, A→D e C→D. A rede permite controlar a taxa de transmissão máxima de cada fluxo através de um qualquer mecanismo adequado. Calcule que taxas de transmissão máximas se devem atribuir a cada fluxo segundo o princípio de equidade do tipo *max-min*. (*2.5 valores*)



1ª iteração:
- a ligação AB atribui 8/3 = 2.66 Mbps por fluxo
- a ligação BC atribui 4/2 = 2 Mbps por fluxo
- a ligação CD atribui 10/2 = 5 Mbps por fluxo

O menor valor é o da ligação BC e é atribuído 2 Mbps aos fluxos A→C e A→D.

2ª iteração:
- a ligação AB atribui (8–4)/(3–2) = 4 Mbps por fluxo
- a ligação CD atribui (10–2)/(2–1) = 8 Mbps por fluxo

O menor valor é o da ligação AB e é atribuído 4 Mbps ao fluxo A→B.

3ª iteração:
- a ligação CD atribui (10–2)/(2–1) = 8 Mbps por fluxo

É atribuído 8 Mbps ao fluxo C→D.

8. Nas redes de comutação de pacotes, descreva a função dos algoritmos de escalonamento e dos métodos de descarte e, para cada um dos casos, indique justificadamente que parâmetros de desempenho eles controlam. (*2.0 valores*)

FORMULÁRIO

Teorema de Little: $L = \lambda W$

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

Atraso médio no sistema M/G/1: $W = \dfrac{\lambda E[S^2]}{2(1-\lambda E[S])} + E[S]$

Atraso médio na fila de espera no sistema M/G/1 com prioridades do tipo não-preemptivo:

$$W_{Qk} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i E(S_i^2)}{2(1-\rho_1 - \cdots - \rho_{k-1})(1-\rho_1 - \cdots - \rho_k)}$$ onde $\rho_k = \lambda_k / \mu_k$.

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):

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

Probabilidades limite dos estados (comutação de circuitos):

$$P(\mathbf{n}) = \frac{1}{G} \prod_{k=1}^{K} \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!} \qquad \mathbf{n} \in S \qquad \text{em que: } G = \sum_{\mathbf{n} \in S} \prod_{k=1}^{K} \frac{\rho_k^{n_k}}{n_k!}$$

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

WFQ com *Leaky Bucket*: $D_i = \dfrac{\sigma_i + (n-1)L_i}{r_i} + \sum_{j=1}^{n} \dfrac{L_{\max}}{C_j} + \Gamma$