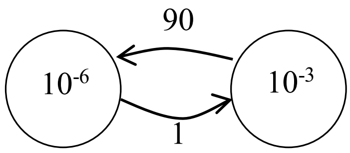
Universidade de Aveiro
Mestrado Integrado em Eng. de Computadores e Telemática
Exame de Desempenho e Dimensionamento de Redes – 21 de junho de 2019

RESOLUÇÃO

1. Considere uma ligação sem fios em que a probabilidade de erro de bit é modelada pela cadeia de Markov seguinte:



Esta ligação suporta um fluxo de pacotes cujo comprimento é 250 Bytes com probabilidade de 40% e 1000 Bytes com probabilidade de 60%. No recetor, os pacotes recebidos com erros são descartados. Determine a percentagem de pacotes descartados do fluxo. (*2.5 valores*)

$$ber = \frac{10^{-6} + \frac{1}{90} \times 10^{-3}}{1 + \frac{1}{90}} = 11.98 \times 10^{-6}$$

$$P = 0.4 \times (1 - (1 - ber)^{8\times250}) + 0.6 \times (1 - (1 - ber)^{8\times1000}) = 0.0643 = 6.43\%$$

2. Considere uma ligação ponto-a-ponto de 10 Mbps a suportar um fluxo de pacotes de 6 Mbps em que os pacotes têm um tamanho exponencialmente distribuído com média de 1200 Bytes e a chegada de pacotes é um processo de Poisson. Calcule o atraso médio por pacote se:

   a) a fila de espera for de tamanho infinito, (*1.0 valores*)

   b) a fila de espera tiver capacidade para 4 pacotes. (*1.5 valores*)

$$\lambda = \frac{6000000}{8\times1200} = 625 \text{ pps} \qquad \mu = \frac{10000000}{8\times1200} = 1041.(6) \text{ pps} \qquad \frac{\lambda}{\mu} = 0.6$$

a)

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = 0.0024 = 2.4 \text{ ms}$$

b)

$$p_5 = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^5}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^5} = 0.0326$$

$$L = \frac{0\times1 + 1\times\frac{\lambda}{\mu} + 2\times\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + 3\times\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 + 4\times\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4 + 5\times\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^5}{1 + \frac{\lambda}{\mu} + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4 + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^5} = 1.206$$

$$W = \frac{L}{\lambda(1 - p_5)} = 0.001995 = 1.995 \text{ ms}$$

3. Considere uma ligação ponto-a-ponto com 3 circuitos. Esta ligação suporta um fluxo de chamadas com 2 Erlangs de intensidade de tráfego e cada chamada ocupa um circuito. Determine:

   a) a probabilidade de bloqueio da ligação, (*1.0 valores*)

   b) a ocupação média da ligação, em número de circuitos. (*1.5 valores*)

$\rho = 2$ Erlangs

a) Probabilidade de bloqueio $(p_B) = \dfrac{\frac{\rho^3}{3!}}{1+\rho+\frac{\rho^2}{2!}+\frac{\rho^3}{3!}} = 0.211 = 21.1\%$

b) Ocupação média $= \dfrac{0\times 1 + 1\times\rho + 2\times\frac{\rho^2}{2!} + 3\times\frac{\rho^3}{3!}}{1+\rho+\frac{\rho^2}{2!}+\frac{\rho^3}{3!}} = 1.58$ circuitos

ou

Ocupação média $= \rho(1-p_B) = 1.58$ circuitos

4. Considere um sistema de transmissão de pacotes ponto-a-ponto de 2 Mbps com uma fila de espera infinita e que suporta 2 fluxos de pacotes cujas chegadas são processos de Poisson: fluxo A com taxa de 50 pps e fluxo B com taxa de 300 pps. Em ambos os fluxos, o tamanho dos pacotes é exponencialmente distribuído de média 625 Bytes. O sistema serve os pacotes do fluxo A com maior prioridade do que os pacotes do fluxo B. Determine:
   a) o atraso médio que os pacotes do fluxo A sofrem no sistema, (*1.5 valores*)
   b) a ocupação média da ligação, em percentagem. (*1.0 valores*)

$\lambda_A = 50$ pps $\quad \mu_A = \frac{2000000}{8\times 625} = 400$ pps $\quad \rho_A = \frac{\lambda_A}{\mu_A} = \frac{50}{400} = 0.125$

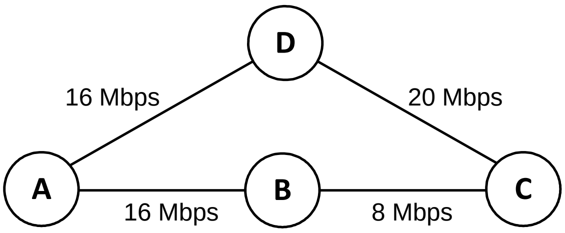
$\lambda_B = 300$ pps $\quad \mu_B = \frac{2000000}{8\times 625} = 400$ pps $\quad \rho_B = \frac{\lambda_B}{\mu_B} = \frac{300}{400} = 0.75$

$E[S_A^2] = \frac{2}{(\mu_A)^2} = 12.5\times 10^{-6} \qquad E[S_B^2] = \frac{2}{(\mu_B)^2} = 12.5\times 10^{-6}$

$$\text{a) } W = \frac{\lambda_A \times E[S_A^2] + \lambda_B \times E[S_B^2]}{2(1-\rho_A)} + \frac{1}{\mu_A}$$
$$= \frac{50\times 12.5\times 10^{-6} + 300\times 12.5\times 10^{-6}}{2\times(1-0.125)} + \frac{1}{400} = 0.005 = 5\text{ ms}$$

b) Ocupação média $= \rho_A + \rho_B = 0.875 = 87.5\%$

5. Considere a rede com comutação de pacotes da figura ao lado. A rede suporta 3 fluxos de pacotes: Fluxo 1 de A para B com uma taxa $\lambda_1 =$ 500 pps, Fluxo 2 de B para D com uma taxa $\lambda_2 =$ 3000 pps e Fluxo 3 de C para D com uma taxa $\lambda_3 = 2000$ pps. Em todos os fluxos os pacotes são exponencialmente distribuídos com média de 500 Bytes. Usando a aproximação de Kleinrock, determine o atraso médio por pacote do Fluxo 2 assumindo que o Fluxo 2 é bifurcado em igual percentagem pelos dois percursos possíveis e os outros dois fluxos (1 e 3) são encaminhados pelo percurso direto. (*2.5 valores*)



$$W = 0.5 \times \left(\frac{1}{\mu_{BA} - \lambda_{BA}} + \frac{1}{\mu_{AD} - \lambda_{AD}}\right) + 0.5 \times \left(\frac{1}{\mu_{BC} - \lambda_{BC}} + \frac{1}{\mu_{CD} - \lambda_{CD}}\right)$$

$$= 0.5 \times \left(\frac{1}{\frac{16000000}{8 \times 500} - \frac{3000}{2}} + \frac{1}{\frac{16000000}{8 \times 500} - \frac{3000}{2}}\right) +$$

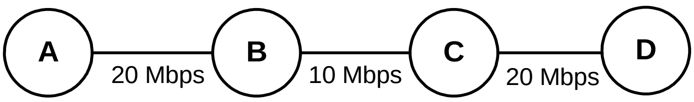
$$0.5 \times \left(\frac{1}{\frac{8000000}{8 \times 500} - \frac{3000}{2}} + \frac{1}{\frac{20000000}{8 \times 500} - \left(\frac{3000}{2} + 2000\right)}\right)$$

$$= 0.5 \times \left(\frac{1}{4000 - 1500} + \frac{1}{4000 - 1500}\right) + 0.5 \times \left(\frac{1}{2000 - 1500} + \frac{1}{5000 - 3500}\right)$$

$$= 0.00173 = 1.73 \text{ ms}$$

6. O encaminhamento aleatório retardado (método do DAR) e o encaminhamento de menor carga (método do RTNR) são 2 métodos de encaminhamento dinâmico de redes com comutação de circuitos. Descreva os 2 métodos e explique as vantagens e desvantagens de um relativamente ao outro. (*2.5 valores*)

7. Considere a rede seguinte com comutação de pacotes em que a ligação B-C tem 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 200 Bytes e é controlado por janelas extremo-a-extremo. Assumindo que a janela é de 100 pacotes e as permissões são de 25 Bytes, determine o débito (em Mbps) a que este fluxo consegue transmitir se não existir mais nenhum fluxo ativo na rede. (*2.5 valores*)



$$W = 100 \text{ pacotes}$$

$$d = \frac{8 \times 200}{20000000} + \frac{8 \times 200}{100000000} + 0.002 + \frac{8 \times 200}{20000000} +$$

$$+ \frac{8 \times 25}{20000000} + \frac{8 \times 25}{100000000} + 0.002 + \frac{8 \times 25}{20000000} = 0.00436$$

$$\frac{W}{d} = \frac{100 \times (200 \times 8)}{0.00436} = 36697247.7 \text{ bps} = 36.7 \text{ Mbps} > 10 \text{ Mbps}$$

O fluxo consegue transmitir a 10 Mbps.

8. Considere uma ligação de 10 Mbps que serve três fluxos de pacotes (A, B e C) com o algoritmo de escalonamento *Deficit Round Robin* e um limiar de 1500 bytes para cada fluxo.
   - No fluxo A, chegam 2 pacotes: pacote 1 de 1000 Bytes no instante 0 ms e pacote 2 de 700 Bytes no instante 3 ms.
   - No fluxo B, chegam 2 pacotes: pacote 1 de 1600 Bytes no instante 2 ms e pacote 2 de 600 Bytes no instante 3 ms.
   - No fluxo C, chegam 2 pacotes: pacote 1 de 1200 Bytes no instante 0 ms e pacote 2 de 1700 Bytes no instante 1 ms.

O ciclo segue a sequência A $\rightarrow$ B $\rightarrow$ C e o algoritmo decide no início de cada ciclo os pacotes a enviar e respetiva ordem. Determine justificadamente que pacotes e por que ordem são enviados em cada ciclo. (*2.5 valores*)

1º ciclo:	Início: 0 ms		
Pacotes:	A.1 $\rightarrow$ C.1	Créditos:	Fluxo A = 1500 – 1000 = 500 Bytes
			Fluxo B = 0 Bytes
			Fluxo C = 1500 – 1200 = 300 Bytes
2º ciclo:	Início: $0 + 8\times(1000+1200)/10000000 = 1.76\times10^{-3}$ = 1.76 ms		
Pacotes:	C.2	Créditos:	Fluxo A = 0 Bytes
			Fluxo B = 0 Bytes
			Fluxo C = (1500 + 300) – 1700 = 100 Bytes
3º ciclo:	Início: $1.76\times10^{-3} + 8\times1700/10000000 = 3.12\times10^{-3}$ = 3.12 ms		
Pacotes:	A.2	Créditos:	Fluxo A = 1500 – 700 = 800 Bytes
			Fluxo B = 1500 Bytes
			Fluxo C = 0 Bytes
4º ciclo:	Início: $3.12\times10^{-3} + 8\times700/10000000 = 3.68\times10^{-3}$ = 3.68 ms		
Pacotes:	B.1 $\rightarrow$ B.1	Créditos:	Fluxo A = 0 Bytes
			Fluxo B = 2×1500– (1600 + 600) = 800 Bytes
			Fluxo C = 0 Bytes

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):

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

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