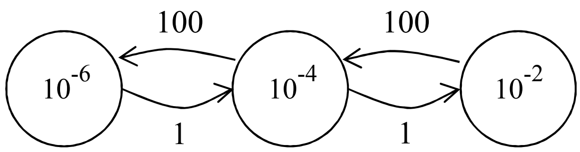
Universidade de Aveiro
Mestrado Integrado em Eng. de Computadores e Telemática
Exame de Desempenho e Dimensionamento de Redes – 23 de junho de 2017 (A)
RESOLUÇÃO

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

1. Considere uma ligação sem fios em que a probabilidade de erro de bit é dada pela cadeia de Markov seguinte (taxas em número de transições por hora):



   a) Qual a probabilidade média de erro de bit da ligação? (*1.0 valores*)

   b) Qual a probabilidade de um pacote de 500 Bytes chegar ao destino sem erros? (*1.5 valores*)

a)

$$ber = \frac{10^{-6} \times 1 + 10^{-4} \times \frac{1}{100} + 10^{-2} \times \left(\frac{1}{100}\right)^2}{1 + \frac{1}{100} + \left(\frac{1}{100}\right)^2} = \frac{10^{-6} + 10^{-6} + 10^{-6}}{1.0101} = 2.97 \times 10^{-6}$$

b)

$$P = (1 - 2.97 \times 10^{-6})^{8 \times 500} = 0.9882 = 98.82\%$$

2. Considere uma ligação de 10 Mbps com uma fila de espera com capacidade para 2 pacotes. Este sistema suporta um fluxo de pacotes exponencialmente distribuídos com média de 250 Bytes. A chegada dos pacotes é um processo de Poisson com taxa 2500 pps. Determine:

   a) a taxa de perda de pacote, (*1.0 valores*)

   b) a percentagem de ocupação da ligação, (*1.0 valores*)

   c) o atraso médio de cada pacote no sistema. (*1.0 valores*)

a) $\lambda = 2500$ pps $\qquad \mu = 10000000/(8 \times 250) = 5000$ pps $\qquad \lambda/\mu = 0.5$

$$P_3 = \frac{(0.5)^3}{1 + 0.5 + (0.5)^2 + (0.5)^3} = 0.0(6) = 6.67\%$$

b)

$$U = \frac{\lambda \times (1 - P_3)}{\mu} = \frac{2500 \times (1 - 0.0(6))}{5000} = 0.4(6) = 46.67\%$$

c)

$$W = \frac{L}{\lambda \times (1 - P_3)} = \frac{\frac{0 \times 1 + 1 \times 0.5 + 2 \times (0.5)^2 + 3 \times (0.5)^3}{1 + 0.5 + (0.5)^2 + (0.5)^3}}{2500 \times (1 - 0.0(6))} = 3.143 \times 10^{-4} \text{ segundos}$$

3. Considere uma ligação ponto-a-ponto com 4 circuitos. Esta ligação suporta um fluxo de chamadas com 0.5 Erlangs de intensidade de tráfego. Cada chamada tem uma duração exponencialmente distribuída com média de 5 minutos e ocupa um circuito. Determine:

   a) a taxa de chegada de chamadas, em chamadas por hora, (*1.0 valores*)

   b) a probabilidade de bloqueio da ligação. (*1.5 valores*)

a)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \Leftrightarrow 0.5 \text{ Erlangs} = \frac{\lambda}{\left(\frac{60}{5}\right)} \Leftrightarrow \lambda = 6 \text{ chamadas/hora}$$

b)

$$P_4 = \frac{\frac{(0.5)^4}{4!}}{\frac{(0.5)^0}{0!} + \frac{(0.5)^1}{1!} + \frac{(0.5)^2}{2!} + \frac{(0.5)^3}{3!} + \frac{(0.5)^4}{4!}} = \frac{\frac{1}{384}}{1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{48} + \frac{1}{384}} = 0.00158 = 0.158\%$$

4. Considere um sistema de transmissão de pacotes ponto-a-ponto de 10 Mbps que atribui maior prioridade aos pacotes de tamanho inferior ou igual a 500 bytes. O sistema suporta um fluxo de pacotes cujas chegadas são um processo de Poisson com taxa de 120 pps. O tamanho dos pacotes é uma variável aleatória discreta com 3 valores igualmente prováveis: 250 Bytes, 500 Bytes e 1500 Bytes. Determine o atraso médio que os pacotes de 1500 Bytes sofrem neste sistema de transmissão. (*2.5 valores*)

Prioridade 1 (pacotes de 250 Bytes e 500 Bytes):

$\lambda_1 = \frac{2}{3} \times 120 = 80$ pps

$\mu_1 = 10000000/(0.5 \times 8 \times 250 + 0.5 \times 8 \times 500) = 3333.(3)$ pps $\qquad \rho_1 = \lambda_1/\mu_1 = 0.024$

$$E(S_1^2) = 0.5 \times \left(\frac{8 \times 250}{10000000}\right)^2 + 0.5 \times \left(\frac{8 \times 500}{10000000}\right)^2 = 10^{-7}$$

Prioridade 2 (pacotes de 1500 Bytes):

$\lambda_2 = \frac{1}{3} \times 120 = 40$ pps

$\mu_2 = 10000000/(8 \times 1500) = 833.(3)$ pps $\qquad \rho_2 = \lambda_2/\mu_2 = 0.048$

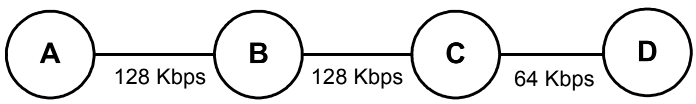
$$E(S_2^2) = \left(\frac{8 \times 1500}{10000000}\right)^2 = 14.4 \times 10^{-7}$$

Atraso médio dos pacotes de 1500 Bytes:

$$W_{1500} = W_{Q2} + \frac{1}{\mu_2} = \frac{\sum_{i=1}^{2} \lambda_i E(S_i^2)}{2(1-\rho_1)(1-\rho_1-\rho_2)} + \frac{1}{\mu_2}$$

$$W_{1500} = \frac{80 \times 10^{-7} + 40 \times 14.4 \times 10^{-7}}{2(1-0.024)(1-0.024-0.048)} + \frac{1}{833.(3)} = 0.00124 = 1{,}24 \text{ ms}$$

5. Considere a rede com comutação de circuitos da figura seguinte. Esta rede suporta 3 fluxos de chamadas: AC, BC e BD. Os pedidos de chamadas dos fluxos são processos de Poisson com taxas λ_{AC} = 2 chamadas/hora, λ_{BC} = 4 chamadas/hora e λ_{BD} = 5 chamadas/hora. Em todos os casos, as chamadas requerem uma capacidade de 64 Kbps e a duração das chamadas é exponencialmente distribuída com média de 3 minutos. Determine a probabilidade de bloqueio do fluxo BD dado pelo teorema do limite do produto. (*2.5 valores*)

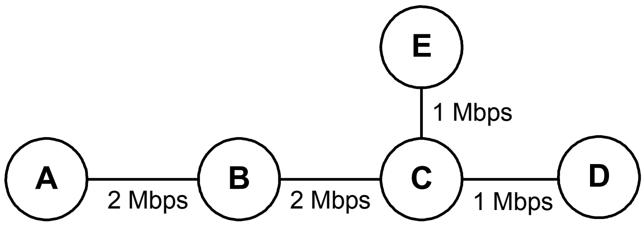


$\rho_{AC} = 2 \times 3/60 = 0.1$ Erl. $\qquad \rho_{BC} = 4 \times 3/60 = 0.2$ Erl. $\qquad \rho_{BD} = 5 \times 3/60 = 0.25$ Erl.

$$B_{BD} = 1 - (1 - ER[\rho_{AC} + \rho_{BC} + \rho_{BD}, 2])(1 - ER[\rho_{BD}, 1])$$

$$B_{BD} = 1 - \left(1 - \frac{\frac{(0.55)^2}{2!}}{\frac{(0.55)^0}{0!} + \frac{(0.55)^1}{1!} + \frac{(0.55)^2}{2!}}\right)\left(1 - \frac{\frac{(0.25)^1}{1!}}{\frac{(0.25)^0}{0!} + \frac{(0.25)^1}{1!}}\right) = 0.271 = 27.1\%$$

6. Considere a rede com comutação de pacotes da figura seguinte. A rede suporta 4 fluxos: (i) de A para D com uma taxa de Poisson de 140 pps, (ii) de B para E com uma taxa de Poisson de 120 pps, (iii) de E para D com uma taxa de Poisson de 60 pps e (iv) de B para D com uma taxa de Poisson de 40 pps. Os links C-D e C-E têm um atraso de propagação de 5 milissegundos em cada sentido. Em todos os fluxos, os pacotes são exponencialmente distribuídos com média de 250 bytes. Determine o atraso médio por pacote introduzido pela rede usando a aproximação de Kleinrock. (*2.5 valores*)

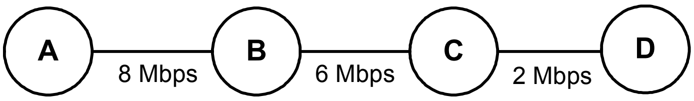


$\lambda_{AB} = 140$ pps $\quad \mu_{AB} = 2000000/(8 \times 250) = 1000$ pps
$\lambda_{BC} = 140 + 120 + 40 = 300$ pps $\quad \mu_{BC} = 2000000/(8 \times 250) = 1000$ pps
$\lambda_{CE} = 120$ pps $\quad \mu_{CE} = 1000000/(8 \times 250) = 500$ pps
$\lambda_{EC} = 60$ pps $\quad \mu_{EC} = 1000000/(8 \times 250) = 500$ pps
$\lambda_{CD} = 140 + 60 + 40 = 240$ pps $\quad \mu_{CD} = 1000000/(8 \times 250) = 500$ pps

$$W = \frac{\frac{\lambda_{AB}}{\mu_{AB}-\lambda_{AB}} + \frac{\lambda_{BC}}{\mu_{BC}-\lambda_{BC}} + \frac{\lambda_{CE}}{\mu_{CE}-\lambda_{CE}} + d_{CE}\lambda_{CE} + \frac{\lambda_{EC}}{\mu_{EC}-\lambda_{EC}} + d_{EC}\lambda_{EC} + \frac{\lambda_{CD}}{\mu_{CD}-\lambda_{CD}} + d_{CD}\lambda_{CD}}{\lambda_{AD} + \lambda_{BE} + \lambda_{ED} + \lambda_{BD}}$$

$$W = \frac{\frac{140}{860} + \frac{300}{700} + \frac{120}{380} + 0.005 \times 120 + \frac{60}{440} + 0.005 \times 60 + \frac{240}{260} + 0.005 \times 240}{140 + 120 + 60 + 40} = 11.3 \text{ ms}$$

7. Considere a rede seguinte com comutação de pacotes que suporta fluxos entre os pares de nós AC, AD, BC e BD. 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 8/2 = 4 Mbps por fluxo
- a ligação BC atribui 6/4 = 1.5 Mbps por fluxo
- a ligação CD atribui 2/2 = 1 Mbps por fluxo

O menor valor é o da ligação CD e é atribuído 1 Mbps aos fluxos de A para D e de B para D.

2ª iteração:
- a ligação AB atribui (8–1)/(2–1) = 7 Mbps por fluxo
- a ligação BC atribui (6–2)/(4–2) = 2 Mbps por fluxo

O menor valor é o da ligação BC e é atribuído 2 Mbps aos fluxos de A para C e de B para C.

8. Descreva como funcionam os algoritmos de escalonamento RR (*Round Robin*), WRR (*Weighted Round Robin*) e DRR (*Deficit Round Robin*) e explique as vantagens e desvantagens de uns relativamente aos outros. (*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:

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

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

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

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

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

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

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