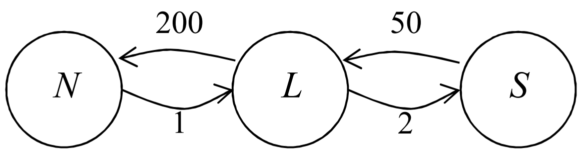
Universidade de Aveiro
Mestrado Integrado em Eng. de Computadores e Telemática
Exame de Desempenho e Dimensionamento de Redes – 14 de junho de 2018
RESOLUÇÃO

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):



   a) Determine a probabilidade de cada um dos estados. (*1.5 valores*)

   b) Sabendo que a probabilidade de cada pacote ser recebido com erros é de 0.01% no estado *N*, 0.1% no estado *L* e 1% no estado *S*, qual a probabilidade da ligação estar no estado *N* quando um pacote é recebido com erros? (*1.5 valores*)

a)

$$P_N = \frac{1}{1+\frac{1}{200}+\frac{1}{200}\times\frac{2}{50}} = 0.99483 = 99.483\%$$

$$P_L = \frac{\frac{1}{200}}{1+\frac{1}{200}+\frac{1}{200}\times\frac{2}{50}} = 0.00497 = 0.497\%$$

$$P_S = \frac{\frac{1}{100}\times\frac{2}{50}}{1+\frac{1}{100}+\frac{1}{100}\times\frac{2}{50}} = 0.0002 = 0.02\%$$

b)

$$P(N|E) = \frac{P(E|N)\times P(N)}{P(E|N)\times P(N)+P(E|L)\times P(L)+P(E|S)\times P(S)}$$

$$= \frac{0.01\%\times 0.99483}{0.01\%\times 0.99483+0.1\%\times 0.00497+1\%\times 0.00020} = 0.9346 = 93.46\%$$

2. Considere uma ligação de 10 Mbps com uma fila de espera finita. A ligação suporta um fluxo de pacotes exponencialmente distribuídos com média de 250 Bytes e cuja chegada de pacotes é um processo de Poisson. Um sistema de monitorização mostra que a ligação tem uma ocupação média de aproximadamente 47.5% e que existe uma taxa de perda de pacotes de cerca de 3%.

   a) Estime aproximadamente a taxa de chegada de pacotes. (*1.5 valores*)

   b) Determine a capacidade da fila de espera, em número de pacotes. (*1.5 valores*)

a) $\mu = \frac{10000000}{8\times 250} = 5000 \text{ pacotes/segundo}$

$$0.475 = \frac{\lambda\times(1-P_e)}{\mu} = \frac{\lambda\times(1-0.03)}{5000} \Leftrightarrow \lambda = \frac{0.475\times 5000}{(1-0.03)} = 2448.5 \text{ pacotes/segundo}$$

b)

$$\frac{\frac{\lambda}{\mu}}{1+\frac{\lambda}{\mu}} = 0.33 > 0.03 \qquad \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2}{1+\frac{\lambda}{\mu}+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2} = 0.14 > 0.03$$

$$\frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3}{1+\frac{\lambda}{\mu}+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3}=0.064>0.03 \qquad \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4}{1+\frac{\lambda}{\mu}+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^3+\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^4}=0.0302\approx 0.03$$

O sistema tem capacidade para 4 pacotes pelo que a fila de espera tem capacidade para 3 pacotes.

3. Considere uma ligação ponto-a-ponto com 3 circuitos. Esta ligação suporta um fluxo de chamadas com 0.4 Erlangs de intensidade de tráfego. Determine:
   a) a probabilidade de bloqueio da ligação, (*1.5 valores*)
   b) a probabilidade da ligação não ter nenhuma chamada estabelecida. (*1.0 valores*)

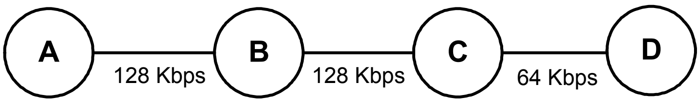
a)

$$P=\frac{\frac{\rho^3}{3!}}{\frac{\rho^0}{0!}+\frac{\rho^1}{1!}+\frac{\rho^2}{2!}+\frac{\rho^3}{3!}}=\frac{\frac{0.4^3}{6}}{1+0.4+\frac{0.4^2}{2}+\frac{0.4^3}{6}}=0.0072=0.72\%$$

b)

$$P=\frac{1}{\frac{\rho^0}{0!}+\frac{\rho^1}{1!}+\frac{\rho^2}{2!}+\frac{\rho^3}{3!}}=\frac{1}{1+0.4+\frac{0.4^2}{2}+\frac{0.4^3}{6}}=0.671=67.1\%$$

4. Considere a rede com comutação de circuitos da figura seguinte. Esta rede suporta 3 fluxos de chamadas: AC, BC e BD. Em todos os fluxos, os pedidos de chamadas são processos de Poisson e as chamadas requerem uma capacidade de 64 Kbps. Pelo teorema do limite do produto, a probabilidade de bloqueio do fluxo BC é 4%. Determine também pelo teorema do limite do produto a probabilidade de bloqueio do fluxo AC sabendo que a sua intensidade de tráfego é 0.1 Erlangs. (*2.5 valores*)

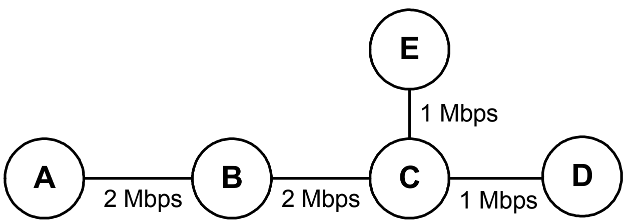


$$B_{BC}=1-(1-ER[\rho_{AC}+\rho_{BC}+\rho_{BD},2])=0.04 \quad\Leftrightarrow\quad ER[\rho_{AC}+\rho_{BC}+\rho_{BD},2]=0.04$$

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

$$B_{AC}=1-\left(1-\frac{\frac{0.1^2}{2!}}{\frac{0.1^0}{0!}+\frac{0.1^1}{1!}+\frac{0.1^2}{2!}}\right)\times(1-0.04)=0.0443=4.43\%$$

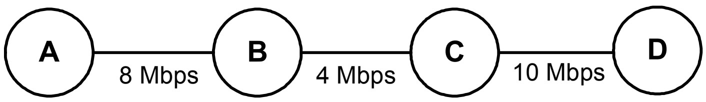
5. Considere a rede com comutação de pacotes (figura seguinte) que suporta 3 fluxos: fluxo 1 de A para D de 400 Kbps, fluxo 2 de B para C de 600 Kbps e fluxo 3 de E para D de 200 Kbps. Em todos os fluxos, os pacotes são exponencialmente distribuídos com média de 250 bytes. Determine pela aproximação de Kleinrock o atraso médio por pacote da rede. (*2.5 valores*)



$$W = \frac{\frac{\lambda_{AB}}{\mu_{AB} - \lambda_{AB}} + \frac{\lambda_{BC}}{\mu_{BC} - \lambda_{BC}} + \frac{\lambda_{CD}}{\mu_{CD} - \lambda_{CD}} + \frac{\lambda_{EC}}{\mu_{EC} - \lambda_{EC}}}{\lambda_{total}}$$

$$W = \frac{\frac{400}{2000 - 400} + \frac{400 + 600}{2000 - (400 + 600)} + \frac{400 + 200}{1000 - (400 + 200)} + \frac{200}{1000 - 200}}{\frac{400000 + 600000 + 200000}{2 \times 250}} = 0.005 = 5 \text{ ms}$$

6. Considere a rede com comutação de pacotes da figura. Em todas as ligações, o atraso de propagação é de 10 milissegundos em cada sentido. A rede suporta fluxos entre todos os nós com pacotes de tamanho médio 1000 bytes. O fluxo de A para C é controlado por janelas extremo-a-extremo em que as permissões têm um tamanho fixo de 40 Bytes. Determine o tamanho mínimo (em número de pacotes) da janela de emissão garantindo que este fluxo pode emitir ao ritmo máximo quando nenhum outro fluxo está ativo. (*2.5 valores*)



$$W_{AC} \geq \left\lceil \frac{d}{X} \right\rceil = \left\lceil \frac{\frac{8 \times 1000}{8000000} + 0.01 + \frac{8 \times 1000}{4000000} + 0.01 + \frac{8 \times 40}{4000000} + 0.01 + \frac{8 \times 40}{8000000} + 0.01}{\frac{8 \times 1000}{4000000}} \right\rceil$$

$$= \lceil 21.56 \rceil = 22$$

O tamanho mínimo da janela de emissão é 22 pacotes.

7. Considere uma ligação com capacidade de 54 Mbps. Numa situação de congestão em que existem 5 fluxos de tráfego (A, B, C, D e E) em que o fluxo A gera 8 Mbps, o fluxo B gera 9 Mbps, o fluxo C gera 10 Mbps, o fluxo D gera 12 Mbps e o fluxo E gera 22 Mbps, determine que valores de largura de banda cada fluxo deve ser servido por uma disciplina de escalonamento ideal assumindo que os 3 primeiros fluxos (A, B e C) têm peso 1 e os 2 últimos fluxos (D e E) têm peso 3. (*2.0 valores*)

1ª iteração:

Os fluxos A, B e C têm direito a $\frac{1}{1+1+1+3+3} \times 54 = 6$ Mbps cada um e os fluxos D e E têm direito a $\frac{3}{1+1+1+3+3} \times 54 = 18$ Mbps cada um.

O fluxo D é servido a 12 Mbps (<18 Mbps). Sobram 18 – 12 = 6 Mbps.

2ª iteração:

Os fluxos A, B e C têm direito a $6 + \frac{1}{1+1+1+3} \times 6 = 7$ Mbps cada um e o fluxo E tem direito a $18 + \frac{3}{1+1+1+3} \times 6 = 21$ Mbps.

Como nenhum fluxo quer menos do que tem direito, os fluxos A, B e C são servidos a 7 Mbps cada um e o fluxo E é servido a 21 Mbps.

8. No escalonamento em redes de comutação de pacotes, descreva a função dos algoritmos de escalonamento e dos métodos de descarte e, para cada um dos casos, indique que parâmetros de desempenho eles influenciam. (*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:

$W_{Qk} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i E(S_i^2)}{2(1 - \rho_1 - \cdots - \rho_{k-1})(1 - \rho_1 - \cdots - \rho_k)}$ 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*: $D_i = \dfrac{\sigma_i + (n-1)L_i}{r_i} + \sum_{j=1}^{n} \dfrac{L_{\max}}{C_j} + \Gamma$