

30 SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES (30 SBRC)

MODELAGEM DE MÚLTIPLAS CONEXÕES DE
TRANSPORTE COM CONTROLE DE FLUXO DE JANELA

Maria Izabel Cavalcanti Cabral e Jacques Philippe Sauvé

Departamento de Sistemas e Computação

e

Grupo de Redes de Computadores
Universidade Federal da Paraíba
Caixa Postal 10032
58.100 - Campina Grande, Pb.

RESUMO

Propõe-se uma solução numérica aproximada para a obtenção de medidas de desempenho de um modelo de múltiplas conexões de transporte gerenciadas pelo protocolo de janela deslizante, adotando o sistema de espera. Esse modelo considera uma rede de computadores de forma global, envolvendo a subrede de comunicação e a rede de recursos de usuários.

Investiga-se a participação do atraso de admissão de mensagens médio na medida de desempenho atraso médio fim a fim, em função do tráfego de chegada de mensagens, para as conexões de transporte do modelo proposto.

MODELAGEM DE MULTIPLAS CONEXÕES DE TRANSPORTE COM CONTROLE DE FLUXO DE JANELA

1 - INTRODUÇÃO

Uma rede de computadores possui dois componentes distintos: a subrede de comunicação e a rede de recursos de usuários. A subrede de comunicação consiste de processadores e de canais de comunicação. A rede de recursos de usuários é formada pelo conjunto de terminais e de recursos computacionais que se comunicam entre si através da subrede de comunicação.

Os protocolos que governam uma rede de computadores podem ser vistos como aqueles que controlam a subrede de comunicação, e aqueles que controlam a rede de recursos de usuários.

Até há pouco tempo, estudos em modelagem de protocolos de comunicação direcionavam-se quase que exclusivamente para aqueles que atendem a subrede de comunicação. Contudo, nesses últimos anos, começaram a surgir trabalhos em modelagem de redes de recursos de usuários, particularmente na função controle de fluxo de protocolos fim a fim [1-5].

O OSI da ISO [6] apresenta 7 níveis de protocolos de comunicação. Conforme sua hierarquia, temos a subrede de comunicação governada pelos protocolos de níveis 1, 2 e 3 (níveis físico, do enlace e da rede, respectivamente), e a rede de recursos de usuários governada por protocolos dos níveis 4, 5, 6 e 7 (níveis do transporte, sessão, apresentação e aplicação, respectivamente).

O serviço oferecido pelo Nível do Transporte (NT) para a transferência de dados e para a execução dos serviços de transporte é chamado Conexão de Transporte (CT). A transferência de dados sobre a CT é sujeita a um controle de fluxo, que permite a entidade de transporte destino controlar a taxa de transferência de dados relacionada com a taxa de aceitação dos mesmos. Um dos controle de fluxo mais utilizados é o protocolo de janela deslizante [1].

Modelos mais simples de protocolos de janela deslizante uti

lizam a suposição de sistemas de perdas [2], isto é, quando a Janela fecha, mensagens são perdidas (a fonte é desativada). Entretanto, modelos mais reais requerem a adoção de um sistema de espera, isto é, quando a janela fecha, mensagens ficam bloqueadas na Estação de Transporte (ET) até que a janela abra novamente.

Medidas de desempenho para modelos com sistema de espera são difíceis de obter, uma vez que não há solução exata para esses modelos, isto induz naturalmente, a utilização de técnicas de análise aproximada tais como: Solução Numérica Aproximada e Simulação [7].

O presente trabalho propõe uma solução numérica aproximada para a obtenção de medidas de desempenho de um modelo de múltiplas CT's gerenciadas pelo protocolo de janela deslizante, adotando o sistema de espera. O modelo proposto considera uma rede de computadores de forma global, isto é, modela a subrede de comunicação e a rede de recursos de usuários. As medidas de desempenho consideradas são: vazão média e atraso médio fim a fim, em função da taxa de chegada de mensagens média, para cada CT. Obtém-se o atraso médio fim a fim, considerando-se o atraso de admissão (tempo de espera médio que as mensagens ficam bloqueadas até que a janela abra) e o atraso de transmissão da subrede de comunicação.

Esse trabalho é organizado da seguinte forma: a seção 2 descreve o modelo proposto e apresenta uma solução numérica aproximada para este modelo, baseada na Técnica da Decomposição [7] e Análise do Valor Médio Aproximada (AVM) [1]; a seção 3 apresenta um exemplo numérico para o modelo citado; a seção 4 apresenta a validação do modelo, e a seção 5 apresenta a conclusão do trabalho apresentado.

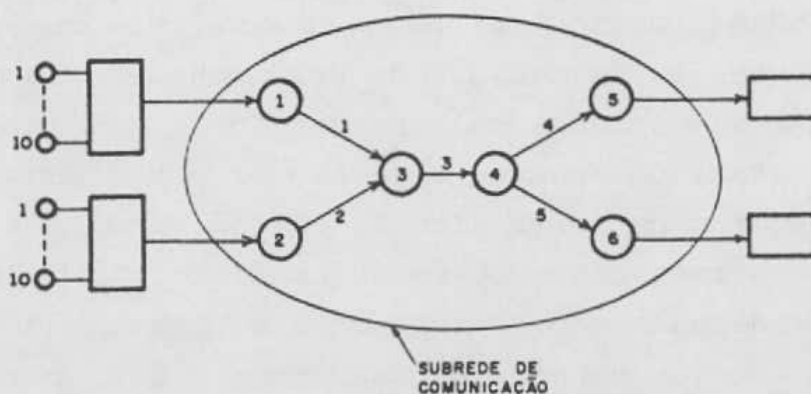
2 - DESCRIÇÃO DO MODELO

Esta seção apresenta o modelo proposto e uma solução numérica aproximada para este modelo, baseada nas técnicas da decomposição e AVM aproximada.

O modelo consiste de uma rede de recursos de usuários com

múltiplas CT's com controle de fluxo utilizando o protocolo de janela deslizante, adotando o sistema de espera.

O tráfego se origina em fontes que são acoplados a Unidades Controladoras de Redes (UCR's), que enviam mensagens através da rede de computadores para acessarem computadores hospedeiros remotos. Uma UCR pode representar um computador hospedeiro ou um montador/desmontador de pacotes. A figura 1 apresenta um exemplo de uma rede de computadores com 2 UCR's que acessam computadores hospedeiros, através da subrede de comunicação.



Convenção:

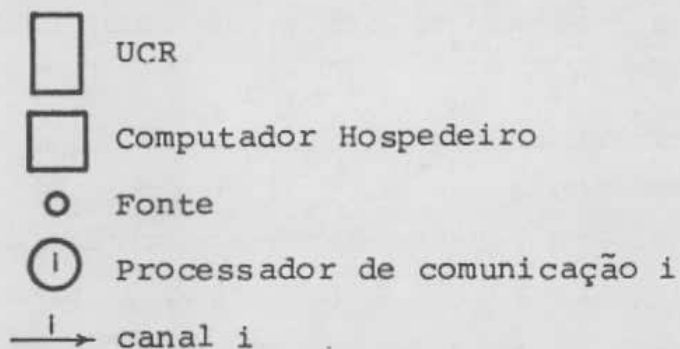


Figura 1: Exemplo de uma rede de comunicação de dados.

Mensagens oriundas de uma UCR acessam uma CT a ela associada conforme processo de chegada Poisson. O NT mantém um armazenador de mensagens para cada CT correspondendo ao número de fontes acoplados a UCR correspondente. Dessa forma, mensagens podem permanecer bloqueadas na ET, a espera de sua transmissão pela CT em questão. Supõe-se que o armazenador somente guarda uma mensagem por fonte, e que quando este está completo, a UCR pára de receber mensagens das fontes por ela controladas.

O escalonamento de mensagens a uma CT é controlado pelo protocolo de janela deslizante, empregado para o controle de fluxo

dessa CT. Esse protocolo funciona da seguinte forma:

a) A CT dispõe de um contador de permissões, que corresponde inicialmente ao comprimento de janela desejado;

b) uma mensagem é enviada pela CT se há permissão disponível (janela aberta), neste caso, o número de permissões é decrementado de 1 (um);

c) se não há permissão disponível (janela fechada), a mensagem fica armazenada na ET até que a janela abra. Nesse caso, o número de mensagens esperando por permissão é adicionado de 1 (um);

d) para cada mensagem recebida na entidade de transporte de destino, um reconhecimento é enviado a entidade de transporte de origem, e o número de permissões é adicionado de 1 (um).

A notação utilizada para o modelo proposto, é a seguinte:

L : Número de CT's

$tc(l)$: taxa de chegada de mensagens média a CT(l),

$l = 1, 2, \dots, L$

$K(l)$: comprimento de janela para a CT(l)

$nm(l)$: número de mensagens média esperando por permissões na CT(l)

$np(l)$: número de permissões da CT(l)

$p(l)$: reconhecimento da CT(l)

$ea(l)$: escalonador de admissão da CT(l)

$k(l)$: número de mensagens em transito na subrede de comunicação

$val(l, k(l))$: vazão da subrede de comunicação para a CT(l) com $k(l)$ mensagens em transito

$nf(l)$: número total de fontes que acessam a CT(l)

M : número total de canais da subrede de comunicação

$ts(i)$: tempo de serviço médio do canal de comunicação i
($i = 1, \dots, M$)

$rota(l)$: canais usados pela subrede de comunicação para servir a CT(l)

$va(l)$: vazão média da CT(l)

$at(l)$: atraso médio fim a fim

$ad(l)$: atraso de admissão médio da CT(l)

$pt(\ell)$: potência da $CT(\ell)$

A figura 2 apresenta um modelo conceitual das CT 's do modelo proposto, onde $ea(\ell)$ representa o escalonamento de admissão de mensagens da $CT(\ell)$, $\ell=1, \dots, L$.

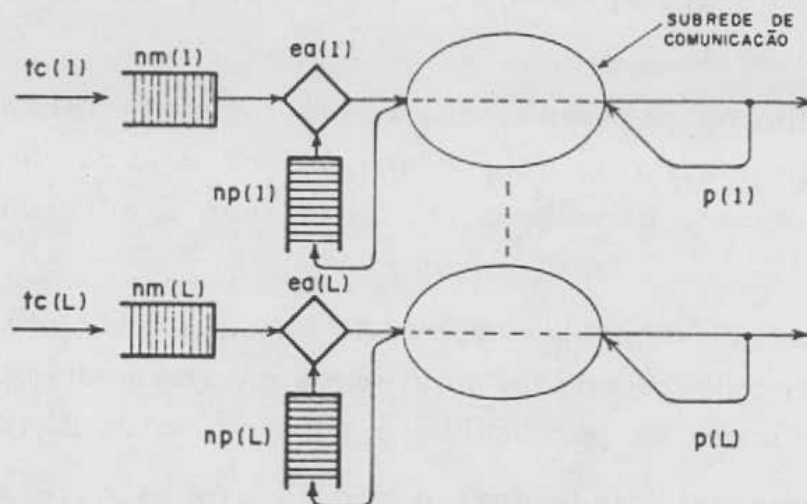


Figura 2: Modelo conceitual de CT 's

As suposições consideradas são: canais livres de erros, independência de mensagens [11], capacidade de armazenamento nos processadores de comunicação da subrede infinita, tempo de transmissão de uma mensagem de reconhecimento desprezível, e taxa de chegada de mensagens média igual para todas as fontes que acessam uma UCR. Com essa última suposição, encontramos $tc(\ell)$, $\ell=1, \dots, L$, como o produto do número de fontes que acessam a $CT(\ell)$, pela taxa de chegada de mensagens média das fontes que acessam esta $CT(\ell)$.

Considerando que a vazão da $CT(\ell)$, $\ell=1, \dots, L$, é a mesma da subrede de comunicação que atende a $CT(\ell)$, representamos explicitamente esta subrede no nosso modelo. A figura 3 apresenta o modelo de redes de filas com as suposições acima citadas, para o exemplo da rede de computadores mostrada na figura 1.

Para solucionar o nosso modelo, utilizamos o método da decomposição e obtemos para a $CT(\ell)$, $\ell=1, \dots, L$, um modelo simplificado. Esse modelo representa a subrede de comunicação que serve a $CT(\ell)$ pelo Equivalente de Norton [8] com taxa de serviço dependente de estado $val(\ell, k(\ell))$, que é a vazão da subrede de comunicação para a $CT(\ell)$, com $k(\ell)$ mensagens em trânsito.

A solução para o modelo simplificado proposto para cada CT

é conforme [2]. Encontramos $val(\ell, k(\ell))$ utilizando o heurístico baseado na AVM aproximada [1] que se aplica ao modelo de uma subrede de comunicação com L CT's com $k(\ell)$, mensagens em trânsito.

A Figura 4 apresenta os modelos simplificados para as CT's da rede de filas mostrada na figura 3, e a figura 5 apresenta o modelo de redes de filas da subrede de comunicação para os cálculos de $val(\ell, k(\ell))$, $\ell = 1, 2$.

O Anexo I mostra o procedimento para a implementação do nosso modelo, para a obtenção das seguintes medidas de desempenho: vazão média e atraso médio fim a fim, em função da taxa de chegada de mensagens média, para $CT(\ell)$, $\ell = 1, \dots, L$. O atraso médio fim a fim considera o atraso de admissão e o atraso de transmissão na subrede de comunicação. Essas medidas permitem obter a potência de cada CT, isto é, a relação vazão/atraso fim a fim para cada CT do modelo considerado.

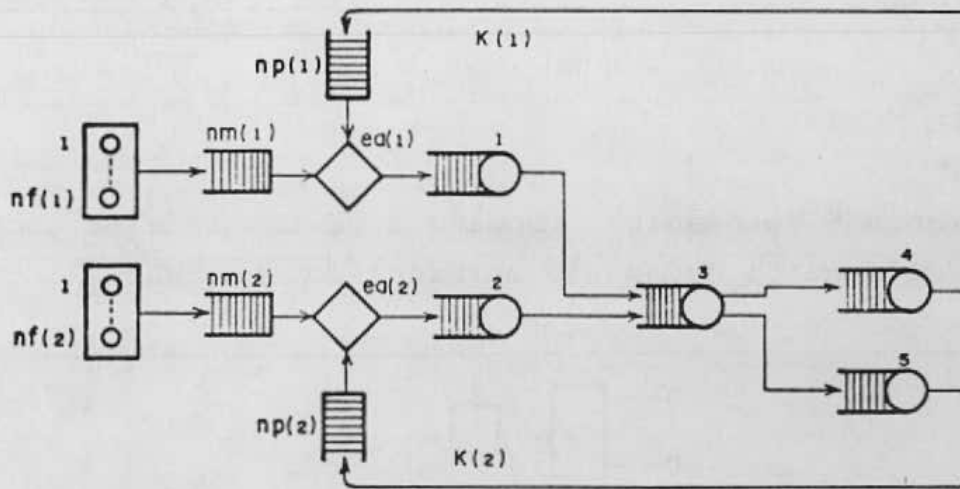


Figura 3: Modelo de redes de filas com 2 CT's

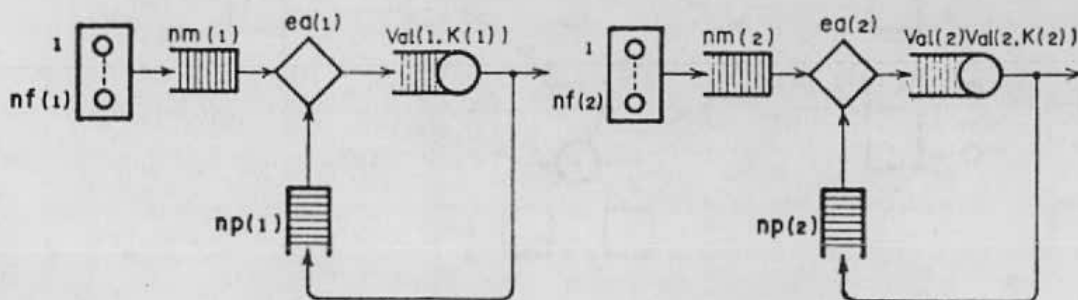


Figura 4: Modelo simplificado para $CT(\ell)$, $\ell=1, 2$

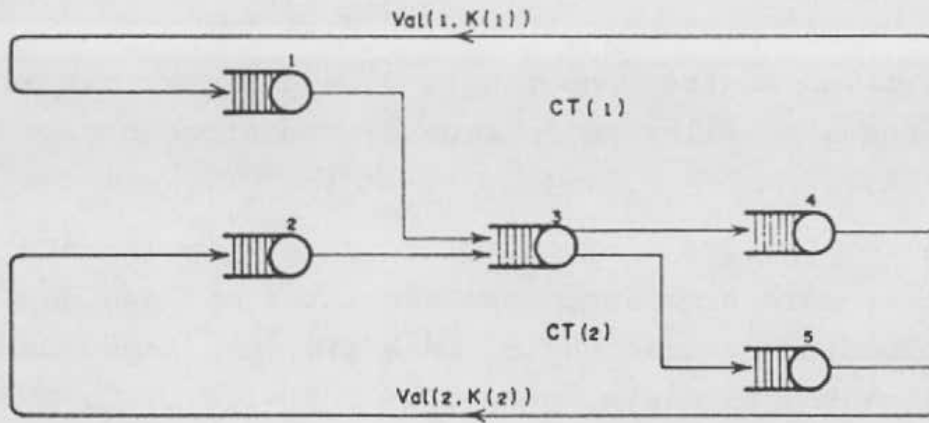


Figura 5: Modelo para a obtenção de $val(l, k(l))$, $l = 1, 2$.

3 - EXEMPLO NUMÉRICO

A Figura 6 apresenta a topologia de uma rede de computadores com 4 CT's cujos dados são apresentados na tabela 1.

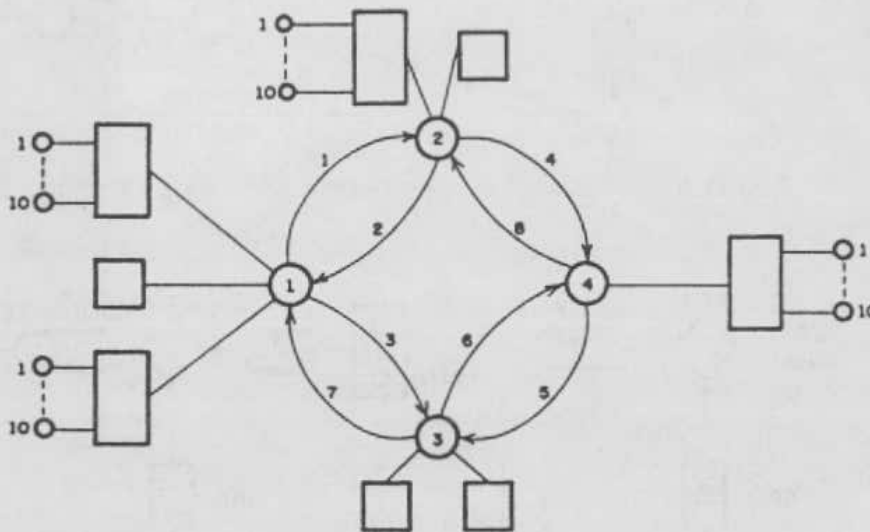


Figura 6: Exemplo de uma rede de computadores.

CT	Janela	nf	rota	canais
1	5	10	1-2-4-3	1-4-5
2	5	10	1-3-4-2	3-6-8
3	5	10	2-1-3	2-3
4	5	10	4-3-1	5-7

Tabela 1: Dados das CT's para o exemplo dado

Os tempos de serviço médio (segundos) considerados para os canais da subrede são iguais a 1.0.

A figura 7 apresenta vazão média, a figura 8 apresenta atraso médio fim a fim, juntamente com o atraso de admissão médio, a figura 9 apresenta potência, em função da taxa de chegada de mensagens média, para as 4 CT's do modelo considerado. A figura 10 apresenta atraso de admissão médio em função do comprimento de janela para a CT(ℓ).

Conforme o gráfico da figura 8, podemos analisar a participação do atraso de admissão médio no atraso médio fim a fim para o nosso exemplo. Observamos que o atraso de admissão médio tem peso significativo, contribuindo nos valores da medida de desempenho atraso fim a fim, em 52,2% para as CT's 1 e 2, e 48,8% para as CT's 3 e 4, considerando $tc(\ell)$, $\ell=1, \dots, 4$, igual a 1.0 mensagem por segundo.

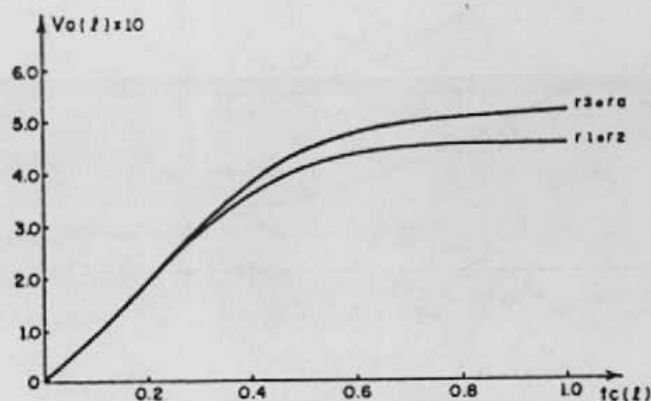


Figura 7: $va(\ell) \times tc(\ell)$, $\ell=1,2,3$ e 4

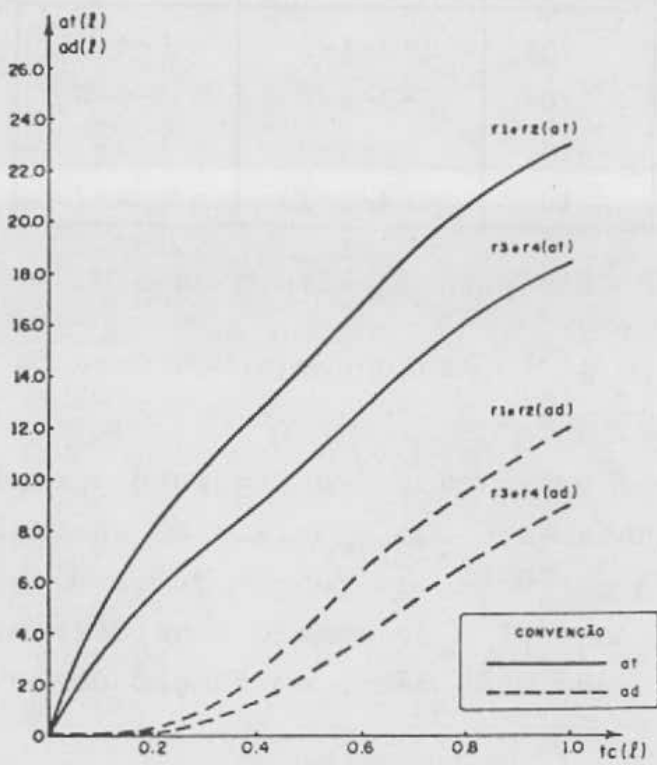


Figura 8: $at(l) \times tc(l)$ e $ad(l) \times tc(l)$, $l = 1, 2, 3$ e 4 .

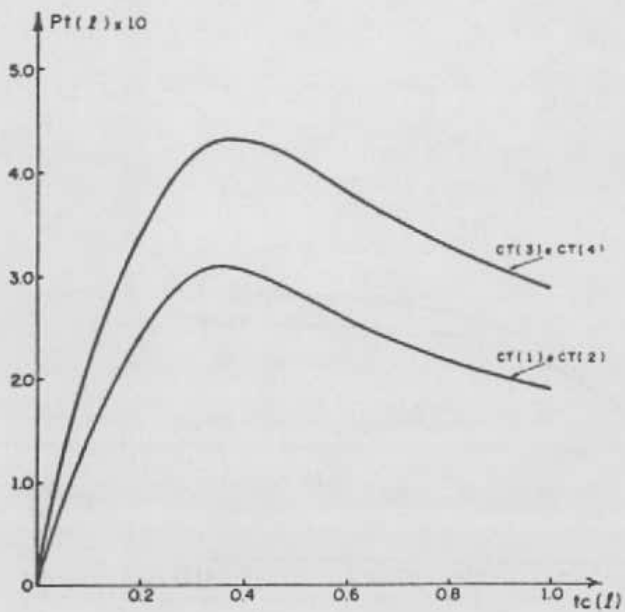


Figura 9: $pt(l) \times tc(l)$, $l = 1, 2, 3$ e 4 .

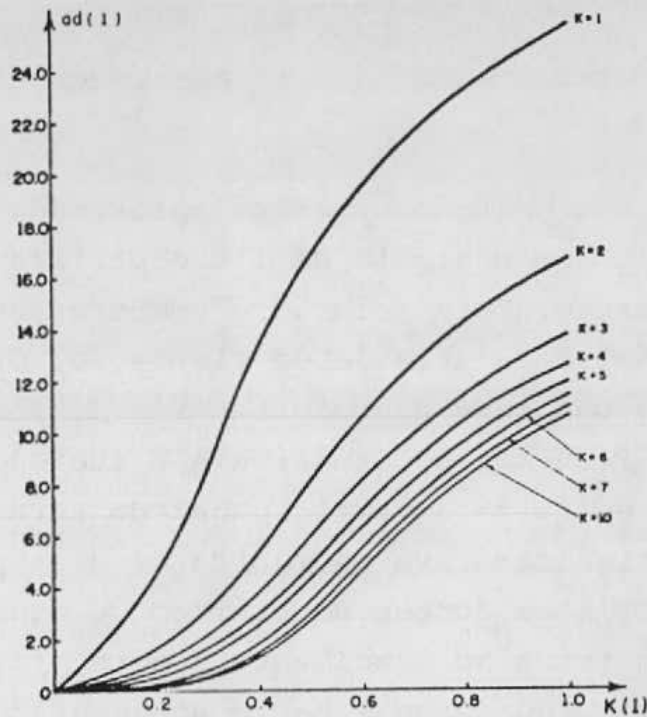


Figura 10: $ad(l) \times K(l)$

4 - VALIDAÇÃO

Para validar o modelo proposto, utilizamos o Simulador de Redes de Filas desenvolvido pelo GRC/UFPb [10]. A solução numérica aproximada (sna) proposta implementada foi processada com entradas de até 10 CT's, apresentando um erro (er) de até 7.9%, quando confrontados com os resultados obtidos na simulação (sim).

A tabela 2 apresenta os resultados do exemplo da seção 4 usando o modelo proposto e usando simulação, para uma taxa de chegada de mensagens média igual a 1.0 mensagem por segundo para cada CT.

CT	ad (seg)		%er	at(seg)		%er	va (men/seg)		%er
	sna	sim		sna	sim		sna	sim	
1	11,9779	11,4694	4,4	22,9327	22,2433	3,1	0,4550	0,4622	1,5
2	11,9779	12,4542	3,8	22,9397	23,4317	2,0	0,4550	0,4536	0,3
3	8,9885	8,8686	0,7	18,4122	18,2757	0,7	0,5266	0,5258	0,1
4	8,9885	8,8164	1,5	18,4122	18,1304	1,5	0,5260	0,5329	1,1

Tabela 2: Resultados usando a solução numérica proposta e simulação para o exemplo da seção 4.

5 - CONCLUSÃO

Apresentamos uma solução numérica aproximada para um modelo de múltiplas CT's com controle de fluxo utilizando o protocolo de janela deslizante. Esta solução é computacionalmente eficiente tendo sido validada através de simulação. O modelo ora apresentado abrange uma rede de computadores de forma global, envolvendo a rede de recursos de usuários e a subrede de comunicação. Este trabalho enfatiza a participação do atraso de admissão médio como fração significativa na medida de desempenho atraso fim a fim para as CT's em função do tráfego de mensagens, para o modelo proposto. Um trabalho semelhante a este, foi desenvolvido independentemente por Thomasian e Bay e apresentado em [4].

ANEXO I

Notação complementar:

- j : número de mensagens numa dada CT.
- $tce(\ell, j)$: taxa de chegada de mensagens dependente de estado para a CT(ℓ)
- $vae(\ell, j)$: taxa de serviço dependente de estado para a CT(ℓ)
- $g(\ell)$: constante de normalização para a CT(ℓ)
- $km(\ell)$: número médio de mensagens na subrede de comunicação para a CT(ℓ).
- $ar(\ell)$: atraso médio de mensagens na subrede para a CT(ℓ)

Algoritmo:

Inicializa: $L, M, tc(\ell), K(\ell), rota(\ell)$, para $\ell = 1, \dots, L$
 $ts(i)$, para $i = 1, \dots, M$

Para $\ell = 1, \dots, L$ e $k(\ell) = 1, \dots, K(\ell)$, calcular:
. $val(\ell, k(\ell))$ (usar heurístico proposto em [1])

Para $\ell = 1, \dots, L$, calcular:

$$\cdot tce(\ell, j) = tc(\ell), \text{ se } j \leq K(\ell) \\ (nf(\ell) + K(\ell) - j) \cdot tc(\ell) / nf(\ell), \text{ se } j > K(\ell)$$

$$\cdot vae(\ell, j) = val(\ell, j), \text{ se } j \leq K(\ell) \\ val(\ell, K(\ell)), \text{ se } j > K(\ell)$$

$$\cdot pi(\ell, jj) = \frac{\prod_{j=0}^{jj-1} tce(\ell, j)}{\prod_{j=1}^{jj} vae(\ell, j)}, \text{ } jj = 1, 2, \dots, K(\ell) + nf(\ell)$$

$$\cdot g(\ell) = \sum_{j=0}^{K(\ell) + nf(\ell)} pi(\ell, j)$$

$$\cdot km(\ell) = \sum_{j=1}^{K(\ell)} \frac{j \cdot pi(\ell, j)}{g(\ell)} + \sum_{j=K(\ell) + 1}^{K(\ell) + nf(\ell)} \frac{K(\ell) \cdot pi(\ell, j)}{g(\ell)}$$

$$\cdot nm(\ell) = \sum_{j=1}^{nf(\ell)} \frac{j \cdot pi(K(\ell) + j)}{g(\ell)}$$

$$\cdot va(\ell) = tc(\ell) / nf(\ell) \cdot (nf(\ell) - nm(\ell))$$

$$\cdot ad(\ell) = nm(\ell) / va(\ell)$$

$$\cdot ar(\ell) = km(\ell) / va(\ell)$$

$$\cdot at(\ell) = ad(\ell) + ar(\ell)$$

$$\cdot pt(\ell) = (va(\ell) \cdot va(\ell)) / (nm(\ell) + K(\ell))$$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Reiser, M., "A Queueing Network Analysis of Computer Communications Networks with Window Flow Control", IEEE Trans. Comm. COM-27,8, ago. 1979, 1199-1209.
- [2] Reiser, M. "Admission Delays on Virtual Routes with Window Flow Control", Performance of Data Communication Systems

and their Applications, G. Pujolle, Ed. North-Holland, Amsterdam, 1981, 67-76.

- [3] Schwartz, M., "Performance Analysis of the SNA Virtual Route Pacing Control", IEEE Trans. Comm. COM-30,1, jan, 1982, 172-184.
- [4] Thomasian A. e Bay P., "Model of a Computer Communication Network with Window Flow Control", ACM 0-89791-136-9/84/006/0225, 1984, 225-232.
- [5] Wong, J. W. "Queueing Network Models of a Computer Communication Network", ACM Computing Surveys, Vol. 10, No. 3, Set. 1978.
- [6] Internation Organization for Standartization - ISO, Data Processing - Open Systems Interconnection, Basic Reference Manual, ISO/TC 97/SC16/537, Mar. 1981.
- [7] Chandy, K. M. e Sauer, C. H., "Aproximate Mothods for Analy sing Network Models", Computing Surveys, 10, 3, Set. 1978, 225-261.
- [8] Chandy, K. M., "Aproximate Analysis of Queueing Networks", IBM J. Res. Dev. 19, jan. 1975, 36-42.
- [9] Chandy, K. M. e Sauer C. H., "Aproximate Solution of Queueing Models ", Computer, Abr. 1980.
- [10] GRC/UFPb, "Simulador de Redes de Filas", (a ser publicado).
- [11] Kleinrock L., Queueing Systems, Vol. I: Theory, wiley - Interscience, N.Y., 1975.