

Melhorando a Identificação do Período Transiente em Simulações de Eventos Discretos

João P. J. V. da Silva e Renato M. de Moraes

Resumo—Determinar o final do período de transiente é um problema recorrente em simulações de eventos discretos. O método MSER-5 de detecção de transiente é consolidado e um dos mais citados na literatura por sua simplicidade e resultados interessantes. Este trabalho sugere adaptações neste método para melhorar sua taxa de falha e tempo de execução. Essas sugestões também são aplicadas a uma variante, o MSER-5Y, e considerado um avanço sobre o método original. Os resultados do presente trabalho mostram que é possível melhorar o desempenho do MSER-5 e ao menos igualar o do MSER-5Y para tempos de execução muito menores com adaptações simples.

Palavras-Chave—Simulação de eventos discretos, período transiente, fila M/M/1, RWP.

Abstract—Establishing the warm-up period is a recurrent problem in discrete event simulation. The MSER-5 method for transient detection is consolidated and one of most cited work in the literature due to its simplicity and interesting results. This work suggests adaptations in the method to achieve better error rates and execution times. These suggestions are also applied to a variant of this method, the MSER-5Y, which is considered an advancement over the original method. The results of present work show that it is possible to achieve better results compared to MSER-5 and at least match MSER-5Y's performance using far less execution times with minor adaptations.

Keywords—Discrete event simulation, M/M/1 queue, RWP, warm-up period.

I. INTRODUÇÃO

O problema da determinação do período transiente aparece frequentemente em simulações de eventos discretos, especialmente em processos que converjam lentamente para o estado estacionário, pois é possível que a inclusão do transiente distorça o valor das variáveis de interesse uma vez que geralmente é o comportamento do sistema no estado estacionário que se deseja estudar. Nesse caso, este efeito demandaria tempos de simulação muito longos e inconvenientes para amenizar a distorção.

Uma das abordagens mais comuns para enfrentar o problema é o truncamento das séries temporais, excluindo o período de aquecimento. Dentre os vários métodos propostos na literatura com este objetivo, o MSER-5 vem sendo considerado um dos mais promissores em vários trabalhos, como [1], [2] e [3]. O MSER define o seguinte ponto de truncamento [4]

$$d^* = \underset{n > d \geq 0}{\operatorname{argmin}} \left[\frac{1}{|n-d|^N} \sum_{i=d+1}^n |Y_i - \bar{Y}_{n,d}|^N \right], \quad (1)$$

onde n é número de pontos da série, d é o atual candidato a ponto de truncamento, Y_i é o i -ésimo termo da série, $N = 2$ e $\bar{Y}_{n,d}$ é a média a partir de Y_{d+1} .

João P. J. V. da Silva e Renato M. de Moraes, Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, Emails: {jpv, renatomdm}@cin.ufpe.br. Este trabalho foi financiado em parte pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e pelo CNPq.

O MSER-5 aplica a Eq. (1) na série de dados sequenciais Y_i dividindo-a em cinco partes (os *batches*) [1]. Aqui se explora os impactos de se utilizar a Eq. (1) com expoentes N maiores que 2 e de substituir o termo $\bar{Y}_{n,d}$ pela média do último quarto de simulação (LQ), introduzindo no método uma informação já representativa do estado estacionário do sistema, com o objetivo de diminuir a quantidade de falhas, definida como qualquer estimativa de ponto de corte que esteja na segunda metade do tempo total de simulação [1].

Em contraste, em [5], o MSER-5Y pressupõe que a série temporal considerada já possui dados representativos do estado estacionário suficientes, e atua somente sobre a primeira metade dos dados. O método também define o comprimento do intervalo de confiança sobre a média truncada dos dados e verifica se este comprimento está dentro de uma precisão relativa em torno da média, recomendada como 10% [5]. Se esta condição não for respeitada, faz-se um teste de Von Neumann conforme descrito em [5] para determinar quantos dados mais seriam necessários para obter a precisão especificada.

O restante deste trabalho está dividido da seguinte forma. A Seção II descreve como os experimentos foram realizados e a Seção III traz os resultados e sua discussão. Finalmente, a Seção IV conclui o artigo.

II. EXPERIMENTOS

Para avaliar o MSER-5 e as modificações propostas neste trabalho foram realizados dois experimentos. O primeiro consiste em estudar o comportamento dos métodos para o tempo de espera de cada processo numa fila M/M/1, reproduzindo [6], [7] e [3], considerando a média das estimativas de ponto de corte, seu desvio-padrão e quantidade de falhas. O segundo experimento avalia o desempenho dos métodos de truncamento para a velocidade instantânea média dos nós (IANS) no modelo de mobilidade *Random Waypoint* (RWP) o qual é bastante empregado para simulação de redes sem fio. Em ambos os experimentos foram tomadas 1000 replicações de cada sistema, onde cada uma das réplicas era por si a média de 10 rodadas com 10000 segundos de simulação cada. O *software* utilizado foi o MATLAB. Como o MSER-5Y não define falha como o MSER-5 original, no seu caso estudou-se se a média das séries truncadas está em conformidade com valores teóricos conhecidos usando os mesmos experimentos, comparando o MSER-5Y com o MSER-5Y LQ proposto neste trabalho. Verificou-se também a frequência com que cada um não obtém a precisão relativa recomendada de 10% sobre a média truncada.

III. RESULTADOS

Para a fila M/M/1, o MSER-5Y não atingiu a precisão relativa em 362 dentre as 1000 replicações, contra 351 do

MSER-5Y LQ. Além disso, em 74 destas replicações o MSER-5Y estimou precisar de menos dados que o MSER-5Y LQ para obter a precisão relativa requerida, contra 71 no caso contrário. No modelo RWP nenhum dos métodos falhou em obter a precisão relativa. As tabelas mostram os resultados dos parâmetros estudados para o MSER-5 e suas variantes propostas ($N > 2$), enquanto as figuras mostram a concordância da média truncada com o valor teórico esperado para MSER-5Y e MSER-5Y LQ apresentados para 20 replicações tomadas como exemplo dentre as 1000.

TABELA I

FILA M/M/1 INICIALMENTE VAZIA, COM SERVIDOR OCIOSO, TAXA DE CHEGADA $\lambda = 0.9$ E TAXA DE SERVIÇO $\mu = 1$

Método	Média	Desvio-Padrão	Falhas (%)
MSER-5 ($N = 2$)	361.6096	774.4805	21.1
MSER-5 ($N = 3$)	248.5501	641.4064	6.2
MSER-5 ($N = 4$)	210.3340	606.6105	4.2
MSER-5 ($N = 5$)	215.7851	628.2620	3.2
MSER-5 ($N = 2$) LQ	354.2316	748.5939	2.4
MSER-5 ($N = 3$) LQ	260.3320	687.4986	0.6
MSER-5 ($N = 4$) LQ	247.9477	692.0057	0.6
MSER-5 ($N = 5$) LQ	265.2708	733.7244	0.3

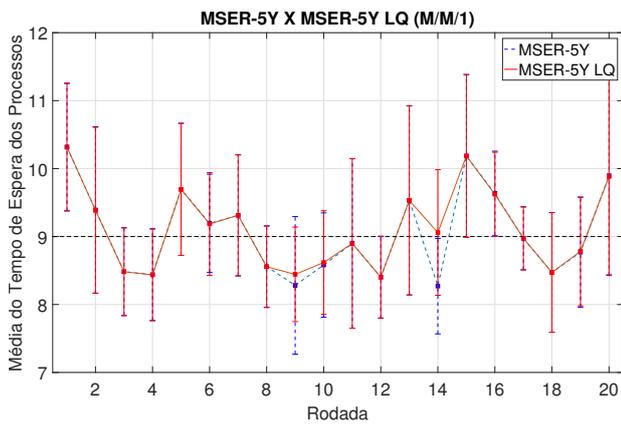


Fig. 1. Fila M/M/1 com valor teórico de convergência igual a 9.

TABELA II

RANDOM WAYPOINT COM 50 NÓS, ÁREA DA REDE SIMULADA 1500M X 300M, $V_{min} = 1M/S$ E $V_{max} = 19M/S$

Método	Média	Desvio-Padrão	Falhas (%)
MSER-5 ($N = 2$)	357.3937	268.5806	17.7
MSER-5 ($N = 3$)	300.6390	188.3783	6.1
MSER-5 ($N = 4$)	283.6169	182.2972	4.2
MSER-5 ($N = 5$)	272.2755	182.9132	3.1
MSER-5 ($N = 2$) LQ	373.6094	286.8131	0.4
MSER-5 ($N = 3$) LQ	315.6100	223.6885	0
MSER-5 ($N = 4$) LQ	292.9150	209.7633	0
MSER-5 ($N = 5$) LQ	288.2450	229.4542	0

De maneira geral, as alterações propostas diminuíram consideravelmente a taxa de falha quando comparadas ao MSER-5. Em especial a introdução da média do último quarto de simulação mostrou-se uma maneira eficiente de tornar o método mais robusto, já que permitiu otimizações de código que aceleraram o cálculo do ponto de truncamento em aproximadamente 40 vezes considerando a implementação em MATLAB deste trabalho. A taxa de falha tende a cair com o uso de expoentes maiores, porém notou-se que essa modificação também subestima cada vez mais o ponto de truncamento das séries

temporais em comparação com o MSER-5. Outra característica pouco desejável em aumentar demais os expoentes é que desvio-padrão das estimativas torna-se crescente a partir de geralmente $N = 6$ (estes casos foram omitidos das tabelas). Considerando estes dados, $N = 3$ parece atingir o melhor equilíbrio. Os gráficos e os dados relativos à precisão do intervalo de confiança mostram um comportamento muito parecido entre MSER-5Y e MSER-5Y LQ em ambos os casos. Contudo, o MSER-5Y LQ obtém estes resultados com um tempo de execução de uma ordem de grandeza menor.

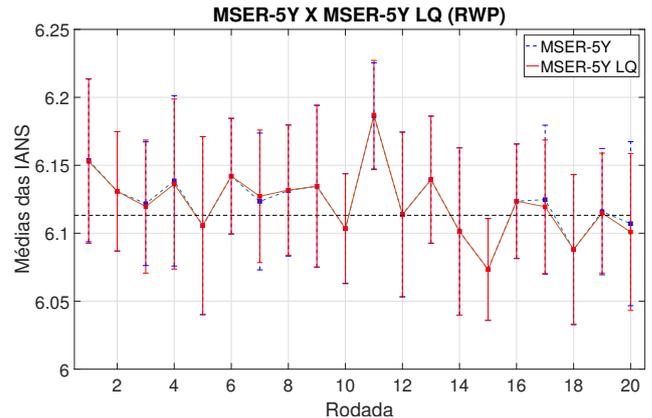


Fig. 2. Modelo de mobilidade RWP com valor teórico de convergência 6.1132.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho propôs melhorias ao método consolidado MSER-5 de detecção de transiente inicial em simulações de eventos discretos melhorando a taxa de falhas e o tempo de execução. Trabalhos futuros podem considerar a sensibilidade a dados com forte autocorrelação.

REFERÊNCIAS

- [1] K. P. White, M. J. Cobb e S. C. Spratt, "A comparison of five steady-state truncation heuristics for simulation", em *Proc. of Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, Dec. 2000.
- [2] K. Hoad e S. Robinson, "Automating warm-up length estimation", em *Proc. of Winter Simulation Conference*, Miami, FL, USA, Dec. 2008.
- [3] S. Nagaraj e A. Zimmermann, "fDRIT-An Evaluation Tool for Transient Removal Methods in Discrete Event Stochastic Simulations", em *Proc. of VALUETOOLS*, Taormina, Italy, Oct. 2016.
- [4] K. P. White, "An effective truncation heuristic for bias reduction in simulation output", *Simulation*, vol. 69, n° 6, pp. 323–334, 1997.
- [5] S. Yousefi, "MSER-5Y: An Improved Version of MSER-5 with Automatic Confidence Interval Estimation", *Master Thesis, NCSU*, 2011.
- [6] K. P. White Jr e S. Robinson, "The problem of the initial transient (again), or why MSER works", *Journal of Simulation*, vol. 4, n° 4, pp. 268–272, 2010.
- [7] K. P. White e S. N. Hwang, "Delay times in an M/M/1 queue: Estimating the sampling distributions for the steady-state mean and MSER truncation point", em *Proc. of Winter Simulation Conference*, Huntington Beach, CA, USA, Dec. 2015.