SHARPE Software Package: Modelos Markovianos para Simulação de Sistemas

Kádna Camboim[1], Anderson Nascimento[2], Rafael Roque[2], Jean Araujo[1]

[1] Unidade Acadêmica de Garanhuns, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
Av. Bom Pastor, s/n, Boa Vista – 55.292-270 – Garanhuns – PE – Brasil

[2]Centro de Informática – Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Av. Jornalista Anibal Fernandes, s/n, Cidade Universitária, 50.740-560, Recife – PE – Brasil

kadna@uag.ufrpe.br,{anderson.elias.nascimento,rafaelmarlin}@gmail.com, jean@uag.ufrpe.br

***Resumo**. A necessidade por sistemas complexos e seguros é fator de relevância para as empresas e sociedade, que cada vez mais dependem da tecnologia em larga escala para promover o crescimento da capacidade computacional e garantir avanços relacionados ao desempenho e confiabilidade das novas aplicações. Dessa forma, é importante garantir que determinadas medidas de dependabilidade sejam delimitadas para evitar, por exemplo, a ocorrência de eventos de falhas. Assim, podemos usar modelos Markovianos para representar o comportamento de sistemas e facilitar a avaliação de dependabilidade.*

***Abstract**. The need for complex and reliable systems is relevance factor for business and society, which increasingly rely on technology on a large scale to promote the growth of computing power and ensure progress related to the performance and reliability of new applications factor. Thus, it is important to ensure that certain measures of dependability are delimited to avoid, for example, the occurrence of fault events. So we can use Markov models to represent the behavior of systems and facilitate the evaluation of dependability.*

1. Introdução

Os sistemas de informação aparecem em diversas áreas que fazem parte do nosso dia-a-dia, podemos citar educação, saúde, transporte, entretenimento, entre outros. Com os avanços constantes na tecnologia da informação surge a necessidade de suporte em determinados ambientes, além das preocupações relacionadas aos fatores como desempenho, disponibilidade, confiabilidade, etc.

A avaliação de dependabilidade denota a capacidade que um sistema tem de oferecer um serviço de forma confiável. As medidas de dependabilidade são confiabilidade, disponibilidade, manutenabilidade, performabilidade, segurança, testabilidade, confidencialidade e integridade [Laprie et al 1992]. A representação de sistemas por meio de técnicas de modelagem, permite a obtenção de informações úteis

ISSN: 2317-5346

sobre a estrutura e o comportamento dinâmico do sistema, fornecendo assim, suporte para análise de dependabilidade. As técnicas baseadas em modelagem podem ser classificadas como técnicas analíticas e técnicas baseadas em simulação [Lilja 2000].

Algumas ferramentas acadêmicas e comerciais permitem a modelagem de sistemas e a descrição de seu comportamento, seja através de Diagramas de Bloco de Confiabilidade (*Reliability Block Diagram* - RBD), Grafo de Alcançabilidade (*Reliability Graph* - RG), Cadeias de Markov (*Markov Chain* - MC), Redes de Petri Estocásticas (*Stochastic Petri Net* - SPN) ou outras. Dentre as várias ferramentas existentes para modelagem de sistemas, destacam-se: SHARPE Software Package [Sanher at al. 1996], Block-Sim [Relia Soft 2010], TimeNet [Zimmerman 2012] e Asto Tool [Silva at al. 2010]. Os modelos criados para realização deste trabalho compreendem as Cadeias de Markov para simular a ocorrência de determinados eventos utilizando o SHARPE Software Package [Sanher at al. 1996].

O presente artigo está organizado como segue: a seção 2 apresenta os conceitos sobre Cadeias de Markov, a seção 3 descreve o SHARPE Software Package, a seção 4 apresenta o estudo de caso utilizando modelos markovianos. Finalmente, a seção 5 apresenta as conclusões deste trabalho.

2. Cadeias de Markov

Um processo estocástico X(t), t ∈ T é um conjunto de variáveis aleatórias definidas sobre o mesmo espaço de probabilidades, indexadas pelo parâmetro de tempo (t ∈ T) e assumindo valores no espaço de estados (si ∈ S).

A cadeia de Markov constitui um tipo particular de processo estocástico com estados discretos e com o parâmetro de tempo podendo assumir valores contínuos ou discretos. As Cadeias de Markov de tempo contínuo são chamadas CTMC (*continuous-time Markov chains*) e as cadeias de Markov de tempo discreto são chamadas DTMC (*discrete-time Markov chains*). A propriedade markoviana (ausência de memória) destaca que eventos futuros não estão condicionados a eventos passados, ou seja, são dependentes apenas do estado presente [Jain 1991].

A Cadeia de Markov possibilita a descrição do funcionamento de um sistema utilizando um conjunto de estados e transições entre esses estados. As transições entre os estados são modeladas por um processo estocástico de tempo contínuo ou discreto definidos por distribuições exponenciais ou geométricas.

Uma Cadeia de Markov do tipo Irredutível significa que todos os estados são comunicantes, ou seja, qualquer estado pode ser alcançado a partir de outro estado, assim, todos pertencem a uma mesma classe.

3. SHARPE Software Package

SHARPE é uma ferramenta de modelagem que serve para descrever comportamentos de um sistema em relação ao tempo, apresentando estruturalmente sua representação, a sigla é proveniente de *Simbolic Hierarchial Automated Reliabilit and Performance Evalutor*. Possui sua própria sintaxe para operar por linha de comando, através de dois modos de operação: 1) *Batch mode*: que pode ler entradas de um ou mais arquivos; 2) *Interactive mode*: que pode ler entradas de um terminal. A linguagem usada no modo interativo é um subconjunto da linguagem *batch mode*, onde algumas palavras chave não são usadas porque o contexto de uma sessão interativa as faz desnecessárias.

A ferramenta oferece também especificação para sua própria linguagem de programação e ainda pode ser usada por meio de sua interface gráfica. Para resolução do problema do estudo de caso será usada sua interface gráfica. A estrutura de um sistema pode ser especificada, por exemplo, na forma de uma árvore, gráfico de alcançabilidade, Cadeia de Markov, etc. A seguir são listados os oito tipos diferentes de modelos que podem ser criados em casos específicos: *Fault tree; Reliability block diagram; Reliability graph; Markov chain; Product-form queuing network; Multi-chain Product-form queuing network; Series-Parallel graph; Generalized stochastic Petri net (GSPN).* Ao iniciar um projeto, um destes modelos deve ser escolhido.

A barra de Menu do SHARPE é composta pelas opções mostradas na Tabela 1, onde são mostradas suas funcionalidades. Para realizar a análise dos modelos são oferecidas diferentes opções para cada tipo de modelo. A Figura 1 apresenta as opções para cadeias de Markov. Por exemplo, você pode realizar a análise transiente, análise do estado estacionário, análise do tempo médio para falha do sistema e do tempo médio para restauração do sistema, entre outras.

Tabela 1 – Opções de Menu do SHARPE e suas funcionalidades

Menu	**Funcionalidades**
• *File*	Contém funções para manipulação dos projetos. criar, abrir, salvar, imprimir, etc.
• *Model Editor*	É possível salvar a tela de modelagem em formato jpg, editar as configurações dos modelos pertencentes ao projeto atual, definir constantes, variáveis e funções, bem como opções para adicionar ao projeto um dos tipos de modelagem suportadas pelo SHARPE, por exemplo *GSPN*, *Reliability Graph*.
• *Analysis Editor*	Análise do modelo selecionado.
• *Plot*	*Plotar* o resultado de um modelo graficamente.
• *Browse Examples*	Contém exemplos de modelos e suas respectivas análises. Também uma opção para dar entrada em arquivos para processamento.
• *Help*	Para obter informações sobre como utilizar a ferramenta SHARPE.

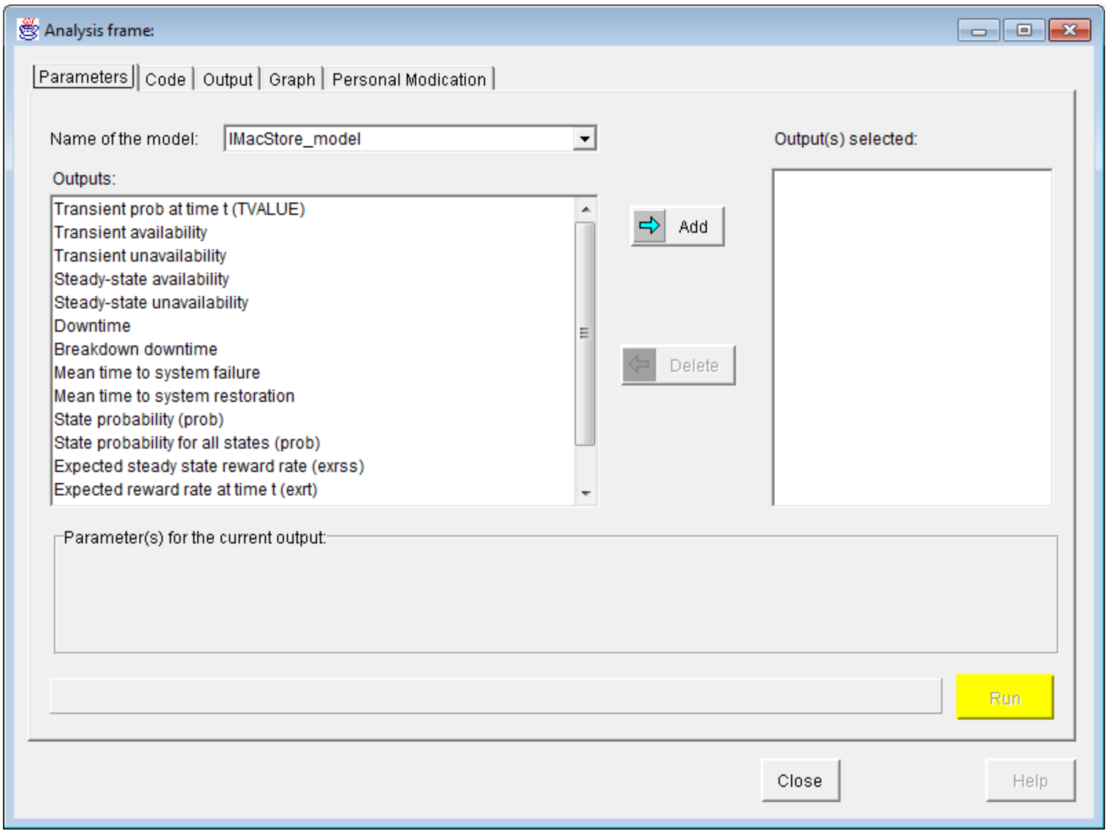

Figura 1. Opções de análises para modelos markovianos

A seguir será apresentado o estudo de caso e a utilização do SHARPE para modelagem com cadeias de Markov.

4. Estudo de Caso

Para realização do estudo de caso o seguinte problema foi considerado: Uma loja armazena computadores que podem ser comprados semanalmente. D1, D2,..., representa a demanda para os computadores (o número de unidades que deveriam ser vendidos se o estoque não é esgotado) durante a semana 1, semana 2, ..., respectivamente. Dado que X0 representa o número de computadores inicialmente, X1 o número de computadores no final da semana 1, X2 o número de computadores no final da semana 2 e assim por diante. Assume-se que X0 = 3. No sábado à noite a loja faz o pedido de computadores para o fornecedor, o qual realizará a entrega apenas na próxima segunda-feira. A loja utiliza a seguinte política de compra: se não há computadores no estoque, a loja compra 3 computadores. Entretanto, se há algum computador no estoque, nenhum computador é comprado. Vendas são perdidas quando a demanda excede o estoque. Assim, {Xt} para t = 0, 1, 2,... é um Processo Estocástico. Os Estados possíveis do processo são os inteiros 0, 1, 2, 3, representando o número de computadores no final da semana t. As variáveis randômicas Xt são dependentes e podem ser avaliadas pela expressão:

$$X(t+1) = \begin{cases} \max\{3 - D(t+1),\ 0\} & \text{if } X(t) = 0 \\ \max\{X(t) - D(t+1),\ 0\} & \text{if } X(t) > 0 \end{cases}$$

A partir da expressão dada foi definida a matriz de transição P, seguindo a distribuição de Poisson. Então, a ferramenta SHARPE foi utilizada para modelar a Cadeia de Markov referente ao problema apresentado; calcular a matriz de probabilidade de n-passo; calcular a matriz de probabilidade de estado estacionário e analisar propriedades da Cadeia de Markov.

Inicialmente foram criados os estados utilizando o botão *Node*. No caso do problema proposto 'Estoque da loja de computadores', o modelo apresentará quatro estados que representam o número de computadores no final da semana t, iniciando com a marcação 0 até 3. Observe a Figura 2.

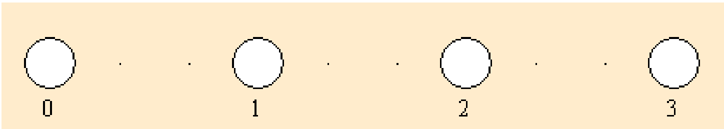

Figura 2. Estados do problema Estoque da loja de computadores

Após a criação dos estados foi acionado o botão *Rate Matrix* para adicionar as probabilidades de se chegar em um determinado estado a partir de um estado inicial. Por exemplo, pode-se perguntar: Qual é a probabilidade de chegar no estado 2, dado que o estado atual é 3? Resposta: 0.368. Assim, os arcos de saída de um estado com sua respectiva probabilidade de se chegar ao seu destino foram criados. Como são quatro estados, a matriz é uma 4x4. Os estados apresentados na vertical esquerda são considerados como Estado Inicial, e os estados na horizontal superior são os estados de destino, conforme ilustrado na Figura 3.

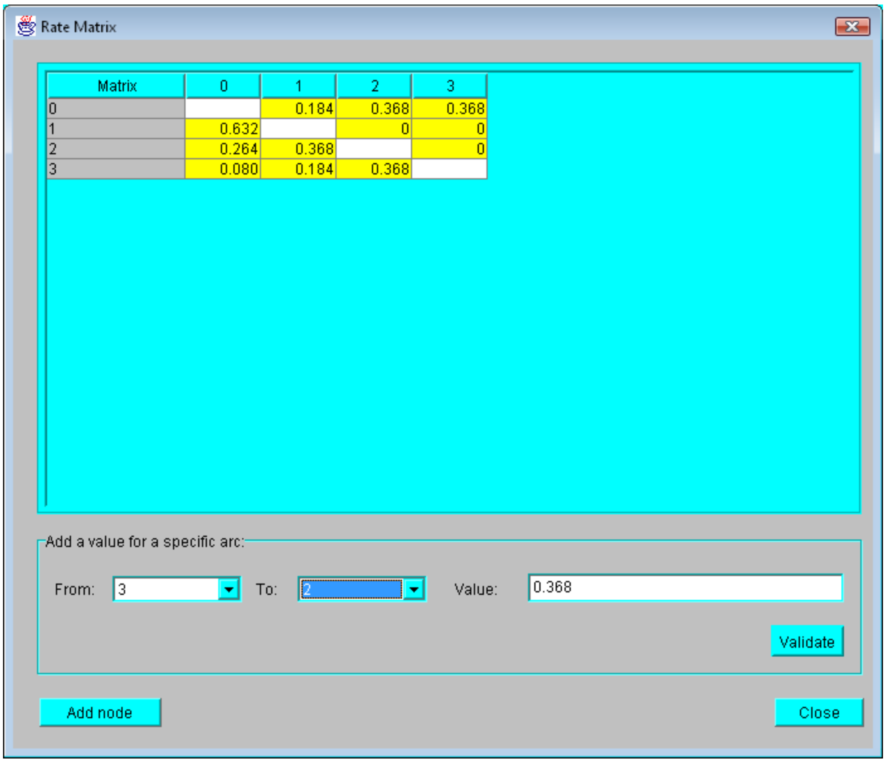

Figura 3. Matriz de Probabilidades de Estados

A matriz deve ser preenchida utilizando as opções ***From***, ***To*** e ***Value***. ***From*** **-** indica qual é o estado inicial. ***To*** **-** indica qual é o estado destino. ***Value*** **-** deve ser informado o valor da probabilidade. ***Validate*** **-** valida o valor especificado em *Value* dado o estado inicial e o estado destino e adicionando o valor na matriz. Quando este botão é acionado, o arco que interliga os estados é criado no modelo.

A Figura 3, apresentada anteriormente, contém a matriz devidamente preenchida. Os espaços em branco representam a saída de um estado para ele mesmo, como no caso de 0x0, 1x1, 2x2 e 3x3. Nestes casos a ferramenta SHARPE não aceita inserção de valores. Os espaços preenchidos com valor zero (0) indicam que não há possibilidade de sair do estado de origem para o estado de destino. Representando o exemplo do estoque da loja de computadores, a matriz apresentada indica que 1) Se a loja tem 1 computador no estoque (estado inicial) é impossível vender 2 computadores (estado final). 2) Se a loja tem 1 computador no estoque (estado inicial) é impossível vender 3 computadores (estado final). 3) Se a loja tem 2 computadores no estoque (estado inicial) é impossível vender 3 computadores (estado final). As situações citadas representam uma demanda maior que o número de computadores no estoque da loja, ou seja, a loja está deixando de vender.

Ao final do preenchimento da matriz e sua validação, temos uma Cadeia de Markov representando o problema proposto. A Figura 4 apresenta o modelo obtido com as probabilidades de transição de um estado para outro.

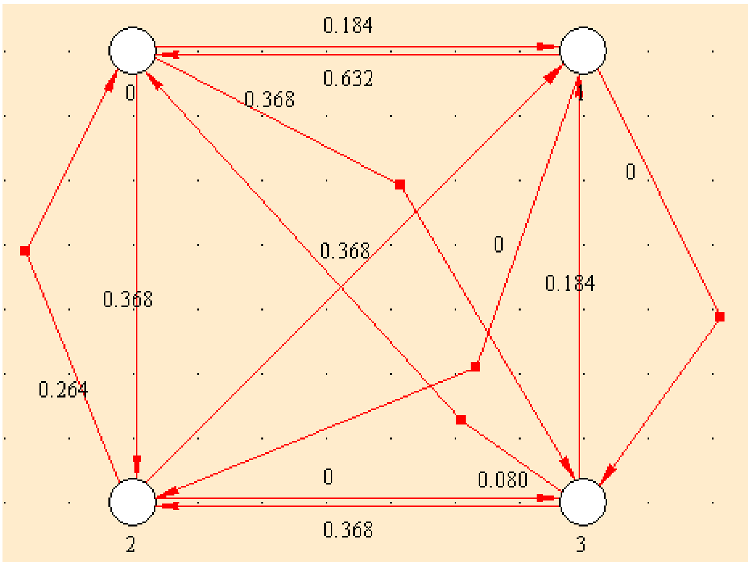

Figura 4. Cadeia de Morkov com diagrama de transição de estados

O cálculo da matriz de probabilidade em N passos é importante, pois esta análise se faz necessária para conhecermos as probabilidades da matriz após N unidades de tempo, isto é, N passos que representam as semanas que se passaram. Após a modelagem será possível determinar a matriz de probabilidade do estoque e como ela ficará após 3 semanas. Pois na modelagem, foi criada a matriz de transição de probabilidades de estado para um passo no tempo.

O SHARPE software em sua opção de análise para Cadeias de Markov, tem uma função chamada TVALUE que pode ser aplicada às cadeias de Markov irredutívies (que é o caso), pois fornece resultados transitórios para um único valor de t. Para construir a matriz de probabilidade em 3 unidades de tempo (3 semanas), será necessário definir o Vetor de Probabilidade de Estado em Função do Tempo, para cada um dos estados. Isso porque, antes de realizar o cálculo, o vetor tem que estar definido previamente, para cada estado que estiver sendo calculado.

Colocando 1 no valor do vetor, significa que estamos definindo exatamente aquele estado como estado inicial e que queremos ir para o Estado de destino. Na tabela 2 são apresentados os valores definidos no Vetor de Probabilidade de Estado em Função do Tempo. Os resultados obtidos após as análises podem ser vistos na Tabela 3, que mostra a Matriz de Probabilidade no tempo 3.

Tabela 2 - Vetor de Probabilidade de Estado (π)

Estado	Vetor
0	1 0 0 0
1	0 1 0 0
2	0 0 1 0
3	0 0 0 1

Tabela 3 - Matriz de Probabilidade para 3 semanas

Estado Inicial / Estado Destino	0	1	2	3
0	**0,285**	**0,257**	**0,273**	**0,184**
1	**0,317**	**0,323**	**0,207**	**0,153**
2	**0,285**	**0,291**	**0,306**	**0,118**
3	**0,235**	**0,257**	**0,273**	**0,234**

5. Conclusões

Este artigo apresentou um modelo Markoviano gerado com a ferramenta SHARPE Software para resolução do problema de estoque de uma loja de computadores que, não deve acumular computadores no estoque e nem deve perder venda por falta de estoque. Foram definidas a matriz de probabilidade dos estados, bem como, o vertor de probabilidade e a matiz de probabilidades para 3 semanas.

References

Jain, R. (1991) “The Art of Computer Systems Performance Analysis”, John Wiley & Sons, New York.

Laprie, J.C.C., Avizienis, A. and Kopetz, H. (1992) “Dependability: Basic Concepts and Terminology.” Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA.

Lilja, D. J. (2000) “Measuring Computer Performance: A Practitioner's Guide,” Cambridge University Press © 2000.

Sahner, R., Trivedi, K. and Puliafito, A. (1996) "Performance and reliability analysis of computer systems: an example-based approach using the SHARPE software package." Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, USA.

Silva, B., Maciel, P., Tavares, E., Araujo, C., Callou, G., Sousa, E., Rosa, N., Marwah, M., Sharma, R., Shah, A., Christian, T. and Pires, J.P. (2010) "Astro: A tool for dependability evaluation of data center infrastructures." In Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010 IEEE International Conference on, pages 783–790, oct. 2010.

Zimmermann, A. (2012) "Modeling and evaluation of stochastic petri nets with timenet 4.1." Ilmenau, Germany. http://valuetools.org/2012/show/program-final.