

Modelagem e Análise de Redes com o Conjunto de Ferramentas TANGRAM-II *

**Edmundo de Souza e Silva¹ , Rosa M.M. Leão¹ ,
Flávio P. Duarte¹ , Fernando J. Silveira Filho¹ , Bruno F.M. Ribeiro¹ ,
Ana Paula Couto Silva¹ , Kelvin de Freitas Reinhardt¹ , Jorge A. Azevedo¹ ,
Guilherme G. Jaime¹ , Daniel S. Menasché¹ , Antonio A. Rocha¹**

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE/Sistemas e Depto. de Ciência da Computação do IM
Caixa Postal 68511, CEP: 21941-972–Rio de Janeiro, RJ
edmundo,rosam@land.ufrj.br

1. Introdução

TANGRAM-II é um ambiente integrado de ferramentas cujo objetivo principal é a modelagem e análise de redes de computadores, desenvolvido para dar suporte à pesquisa e ao ensino de redes. A ferramenta possui uma interface geral baseada em um paradigma orientado a objetos e uma variedade de métodos de solução e diferentes técnicas de simulação para obter as medidas de interesse. O ambiente também inclui: (a) módulos para a realização de medições em redes de forma a re-alimentar o processo de modelagem e; (b) ferramentas multimídia para ajudar no trabalho cooperativo e em paralelo possibilitar a implementação e testes de novos algoritmos fazendo ainda a coleta de estatísticas sobre o comportamento desses novos algoritmos.

O paradigma de modelagem do TANGRAM foi proposto em [3]. A primeira versão de TANGRAM foi desenvolvida em Prolog e uma interface gráfica chamada de TGIF [5] foi também implementada e tornou-se mais tarde uma sofisticada e independente ferramenta de desenho. De 1993 a 1994 vários métodos de solução analítica foram implementados, incluindo alguns métodos de análise transiente. O desenvolvimento do TANGRAM fase II (TANGRAM-II) começou em 1997 [4]. A ferramenta foi completamente re-desenhada, de forma a incluir: um módulo de geração automática de modelo matemático acoplado a um simulador, escritos em C++; novos atributos e facilidades de modelagem; novos métodos analíticos de solução; uma nova interface de usuário implementada em Java; novos mecanismos de modelagem para facilitar a interação com a nova ferramenta; um simulador interativo baseado no mesmo paradigma de descrição de um modelo matemático.

De 1999 a 2001, foi implementado um ambiente para dar suporte à engenharia de tráfego. Esse ambiente inclui novos algoritmos para cálculo de descritores de tráfego [15] tais como a autocovariância e o índice de dispersão de modelos Markovianos e *traces*

*Este trabalho é parcialmente apoiado por projetos do CNPq e FAPERJ. Os alunos de Mestrado, IC e Doutorado são apoiados por bolsas do CNPq, CAPES e Faperj. Apenas os alunos que participaram do desenvolvimento mais recente estão como co-autores do artigo.

reais. Recentemente (até 2003), foram acrescentados ao TANGRAM-II: (a) um ambiente de geração de tráfego acoplado aos métodos de solução analítica e simulação; (b) novos métodos matemáticos de solução de modelos; (c) a técnica de simulação RESTART de eventos raros; (d) um simulador de fluido utilizando novos objetos baseados no conceito de “taxas de recompensas” associadas a estados de um modelo. Finalmente uma ferramenta de transmissão de voz sobre IP (VivaVoz) e um Whiteboard distribuído foram incorporados ao ambiente. Os dois aplicativos tem características únicas em relação a outras ferramentas semelhantes. O VivaVoz inclui um algoritmo de recuperação de pacotes elaborado em [14] assim como um coletor de estatísticas úteis para o desenvolvimento de modelos do processo de descarte de pacotes na Internet. O Whiteboard inclui uma biblioteca multicast confiável e um algoritmo de recuperação de descarte e ordenação de pacotes [2, 1].

A Figura 1 ilustra os principais componentes do ambiente TANGRAM-II. A parte esquerda da figura indica os principais módulos da ferramenta. À direita é mostrada a interface de mais alto nível.

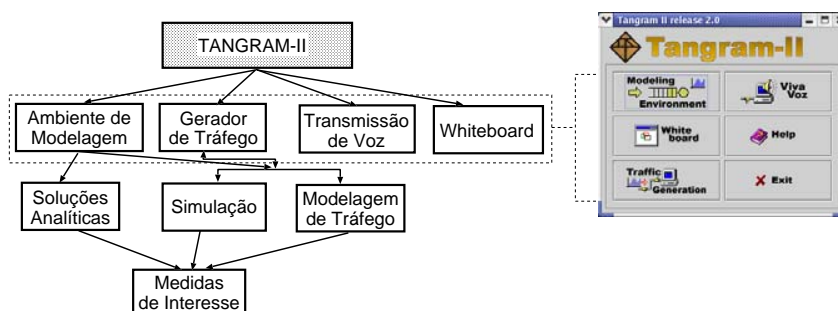


Figura 1: O Ambiente TANGRAM-II

TANGRAM-II tem sido usado por vários grupos de pesquisa no Brasil e no exterior, notadamente nos EUA. Tem sido útil não só em pesquisa como ferramenta de ensino para cursos de redes. Um curso entre a Universidade de Massachussetts (Amherst) e a COPPE/UFRJ foi recentemente transmitido ao vivo usando a ferramenta VivaVoz e outra de transmissão de vídeo. Em paralelo várias estatísticas foram coletadas em tempo real com as ferramentas multimídia e pelo ambiente de engenharia de tráfego. A versão 1.9 foi disponibilizada em 2001 e a nova versão 2.0 com várias características novas foi colocada no nosso site www.land.ufrj.br em janeiro de 2003.

Na seção 2., descreveremos brevemente o ambiente de modelagem. A seção 3. apresenta os principais métodos de solução analítica incluídos na ferramenta, assim como as técnicas de simulação existentes e como os resultados podem ser mostrados. O ambiente de engenharia de tráfego é descrito em 4.. Na seção 5. os aplicativos VivaVoz e Whiteboard são descritos e a seção 6. resume a nossa contribuição.

2. O Ambiente de Modelagem

A Figura 2 mostra a interface gráfica do ambiente de modelagem da ferramenta TANGRAM-II. O ambiente conduz o usuário através das etapas de desenvolvimento de

um modelo, desde a representação até a obtenção de medidas de interesse passando pelos métodos analíticos e/ou de simulação.

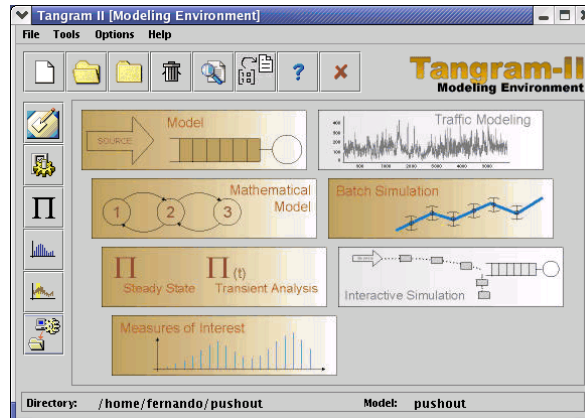


Figura 2: Interface gráfica do ambiente de modelagem.

O TANGRAM-II dispõe de uma rica biblioteca de objetos com funcionalidades diversas que podem facilmente ser importados para um novo modelo e acoplados entre si, permitindo que novos usuários comecem rapidamente a criar seus modelos. O usuário tem ainda a opção de desenvolver um objeto completamente novo, definindo as suas propriedades e seu comportamento de uma forma quase tão flexível quanto a de uma linguagem de programação convencional.

Cada objeto possui variáveis que definem o seu estado atual e eventos que ocorrem sob determinadas condições. O tempo entre as ocorrências de um evento é especificado na forma de variáveis aleatórias que possuem uma dentre várias distribuições disponíveis. Uma vez disparado, um evento gera a execução de ações que são especificadas em uma linguagem similar à linguagem C de programação. Tais ações podem provocar a mudança do estado atual do objeto, ou ainda enviar mensagens para outros objetos, que por sua vez, respondem a essas executando novas ações, e assim por diante.

Objetos enviam mensagens através de portas. Duas ou mais portas são associadas a um canal de comunicação virtual, permitindo aos objetos possuidores destas portas enviarem e receberem mensagens entre si. O transmissor de uma mensagem pode ainda anexar a ela dados que possam ter algum significado especial para o receptor.

A Figura 3 ilustra um exemplo de modelo desenvolvido com 3 objetos. Dois desses objetos são fontes de pacotes geradas por processos de Poisson. O terceiro objeto é uma fila com serviço exponencial de taxas diferenciadas para os clientes das duas fontes. Clientes da primeira fonte possuem prioridade de atendimento e no caso de um destes encontrar a fila cheia, o servidor pode realizar uma ação de *push-out*, i.e. expulsar um cliente do tipo 2 em espera com probabilidade definida por um parâmetro *alpha* do objeto servidor.

3. Métodos de Soluções

Um modelo pode ser resolvido analiticamente, se este for Markoviano ou pertencer a uma classe de modelos não Markovianos, ou resolvido via simulação. Existem vários métodos

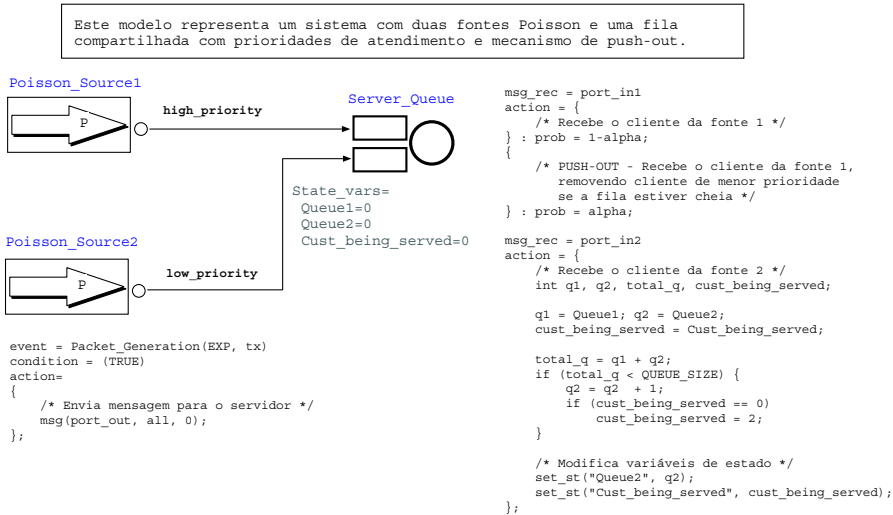


Figura 3: Modelo de duas fontes e um servidor com mecanismo de *push-out*

de solução analítica e diferentes técnicas de simulação disponíveis ao usuário.

A Figura 4 mostra diversos dos métodos analíticos que podem ser usados. Métodos de solução em estado estacionário são divididos em métodos iterativos e não

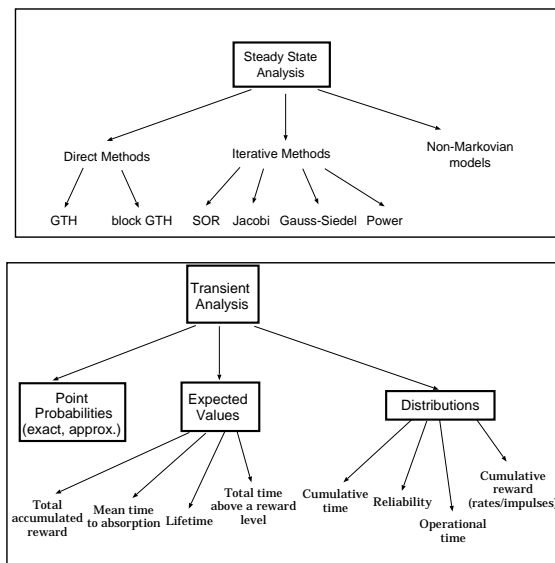


Figura 4: Métodos de Solução

iterativos. Além disso uma classe de modelos não Markovianos implementando o algoritmo descrito em [8] está disponível. Esta classe permite a solução de modelos onde eventos podem ter distribuição determinística além de exponencial, com a restrição de que apenas um evento determinístico pode estar habilitado em um dado momento.

A ferramenta TANGRAM-II é particularmente rica em métodos de solução transiente [7]. Existem vários métodos de solução que permitem o cálculo de medidas simples como as probabilidades de estados em um determinado instante de tempo, até métodos

complexos como o cálculo da distribuição da recompensa acumulada em um dado intervalo de tempo [9]. O conceito de recompensa de taxa é importante para a obtenção de medidas de interesse. Aos estados de um modelo (analítico ou de simulação) podem ser associadas taxas de recompensa, representando um valor que é ganho por unidade de tempo de permanência no estado. De forma semelhante recompensas de impulso podem ser associadas às transições. Modelos de recompensa são extremamente úteis, por exemplo em análise de *performability* [12] e/ou em análise de fluido [6].

Como alguns dos métodos de solução analítica tem a sua complexidade computacional dependente da estrutura da matriz de transição de estados, a ferramenta permite que o usuário visualize a matriz de transição, de forma a que o método mais adequado para uma determinada estrutura possa ser escolhido. Além disso é permitido ao usuário re-arranjar as variáveis de estados e visualizar as estruturas obtidas com o novo arranjo. Por exemplo, a Figura 5 mostra a matriz de transição de estados gerada pelo exemplo da fila push-out descrita na seção 2. anterior. No lado esquerdo uma determinada ordenação produz uma matriz banda com faixa muito larga. Uma reordenação das variáveis muda

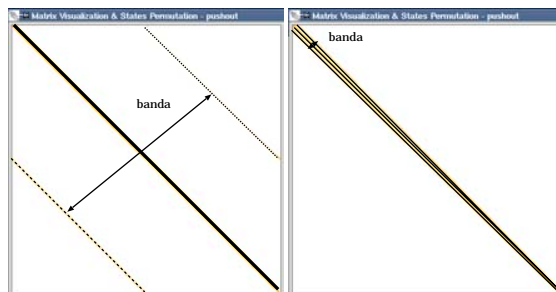


Figura 5: Visualização da estrutura de uma matriz de transição de estados.

completamente a banda da matriz como indicado no lado direito da figura. Métodos como o GTH são muito sensíveis à largura de banda e portanto a matriz da direita é resolvida com muito mais eficiência do que a matriz do lado esquerdo.

Caso o modelo não satisfaça as condições necessárias para ser resolvido analiticamente ele poderá ser simulado. O simulador é *multi-threaded*, implementado em C++ e suporta diferentes técnicas. Várias facilidades não disponíveis para um modelo analítico podem ser usados em um modelo de simulação, como um amplo conjunto de distribuições incluindo as chamadas de cauda longa e a “clonagem” de eventos para a geração de várias amostras de um mesmo evento.

Além da técnica tradicional de simulação por eventos, existem duas outras técnicas disponíveis: simulação de eventos raros [13] e simulação de fluido [11]. Ambas as técnicas são úteis para modelagem de redes. A primeira é apropriada para modelos onde existem eventos raros, como eventos de descarte de pacotes. A segunda é útil em modelos onde alguns dos eventos possuem taxas muito distintas, como taxas de transmissão de pacotes em canais de alta velocidade em comparação a taxas de mudanças do comportamento de uma fonte de pacotes.

Duas opções de simulação estão disponíveis: batch e interativa. Na primeira é usado o método de *batch means* e é possível observar dinamicamente a evolução de recompensas de taxa definidas no modelo enquanto a simulação evolui. A segunda é uma

facilidade poderosa que mostra, na interface gráfica, as mudanças das variáveis de estado depois da execução de um ou mais eventos. A interface gráfica também fornece os meios necessários para que o usuário possa criar animações usando a linguagem do TGIF.

TANGRAM-II possui um módulo para o cálculo de medidas de interesse, por exemplo a PMF de funções de variáveis de estado, distribuições condicionais e marginais. Além desses cálculos, vários outros são baseados no conceito de recompensas tais como a média da recompensa acumulada em um dado intervalo de tempo, seja de taxa ou de impulso.

4. Modelagem de Tráfego

Um dos objetivos principais da engenharia de tráfego é o de desenvolver modelos precisos para prever o impacto do tráfego gerado pelas aplicações sobre os recursos da rede, de forma a evitar a diminuição da qualidade de serviço fornecida aos usuários finais. Um estudo de caracterização de tráfego e modelagem é constituído de diversas etapas, como: a coleta de medidas estatísticas do tráfego da rede, ou diretamente da aplicação em questão; desenvolvimento de um modelo de tráfego e a criação de um modelo dos recursos de rede e/ou da aplicação (modelo de desempenho); cálculo de medidas de interesse, seja por intermédio de soluções analíticas, seja por simulação. As soluções do modelo de desempenho servem para avaliar as técnicas em estudo, incluindo por exemplo a qualidade de serviço obtida pela aplicação.

O ambiente de engenharia de tráfego do TANGRAM-II implementa uma variedade de ferramentas para realizar experimentos, medir tráfego, obter descritores de tráfego, coletar estatísticas e trabalhar com diferentes modelos. É dado ao analista a facilidade de: usar estatísticas obtidas de *traces* reais; usar diferentes modelos de tráfego (incluindo Markovianos, FBM, FARIMA); calcular descritores de primeira e segunda ordem de modelos e *traces*; criar um modelo completo de desempenho e resolvê-lo analiticamente (quando possível) ou via simulação. Caso o modelo seja Markoviano, é possível calcular vários descritores analiticamente, obtidos através da solução de um modelo de recompensa [15, 10]. Estão também implementadas técnicas de cálculo de capacidade efetiva, a partir de um modelo de tráfego.

Um gerador de tráfego está disponível para testes de laboratório. Este módulo é capaz de gerar pacotes a partir de modelos previamente definidos pelo usuário ou ainda a partir de um arquivo *trace*. O objetivo é fornecer ao usuário flexibilidade suficiente para escolher o tipo de tráfego a ser gerado e realizar experimentos injetando tráfego com diferentes características. O gerador de tráfego suporta UDP/IP e ATM nativo. Para tráfego UDP, o usuário pode especificar o tamanho dos pacotes, o tempo total de geração, transmissão unicast ou multicast.

A partir do tráfego gerado uma série de medidas podem ser coletadas. Exemplos incluem o *jitter*, round-trip-time, estatísticas de descarte de pacotes, etc. O manual do TANGRAM-II inclui detalhes sobre todas as possibilidades disponíveis neste módulo.

5. Aplicações

Dois aplicativos estão incluídos no conjunto de ferramentas TANGRAM-II: um de transmissão de voz sobre IP (VivaVoz) e um whiteboard distribuído (TGWB). Ambas as ferramentas possuem características que as diferenciam em relação a outras disponíveis na literatura. Elas são utilizadas também para experimentos. Durante o uso do VivaVoz em classes realizadas entre a UFRJ e UMass, uma série de estatísticas foram coletadas para permitir a caracterização do processo de perda e desenvolvimento de um novo algoritmo de recuperação de pacotes.

O VivaVoz é uma ferramenta de comunicação de voz para a Internet com recursos diversos, como algoritmos de redundância, detecção de silêncio e redução dos efeitos do *jitter* na rede, além de *codecs* para compressão dos dados transmitidos. O VivaVoz é também capaz de coletar *traces* dos seus próprios pacotes no mesmo formato do aplicativo de geração de tráfego incluído no TANGRAM-II, o que permite a fácil análise destes dados através das mesmas ferramentas para geração de medidas. Em conjunto com o VivaVoz é disponibilizado um programa *daemon* para recepção de chamadas para usuários que não estejam executando o VivaVoz, de maneira semelhante ao programa *talk* dos sistemas *Unix*.

O TGWB foi implementado no topo do TGIF que é uma ferramenta poderosa de desenho, baseada em vetor e de código fonte aberto. (O TGIF é a interface gráfica usada pelo TANGRAM-II.) TGWB tem uma arquitetura completamente distribuída e qualquer usuário pode modificar *simultaneamente* o desenho em qualquer ponto da tela. O TGWB implementa um mecanismo de consistência de dados, multicast confiável e supõe apenas uma arquitetura de rede do tipo IP-multicast *best effort*. Além disso suporta uma biblioteca de multicast confiável desenvolvida recentemente (RML). A transmissão multicast dos comandos entre as instâncias do TGWB, de forma confiável, é garantida pelo uso da RML.

6. Resumo

A ferramenta TANGRAM-II possui hoje um sofisticado conjunto de algoritmos para dar suporte ao analista no desenvolvimento de modelos e realização de experimentos na Internet. O conjunto é abrangente dando ao usuário uma flexibilidade única não disponível em outras ferramentas. Um extenso manual da ferramenta que inclui uma variedade de exemplos está disponível¹.

O desenvolvimento do TANGRAM-II continua e outros módulos estão em desenvolvimento. Novas técnicas de modelagem de tráfego, modelagem do processo de perda entre dois pontos, algoritmos de cálculo de retardo fim-a-fim são algumas das facilidades a serem incluídas nas próximas versões.

Referências

- [1] Milena Scanferla Araujo. Transmissão Multicast Confiável: a Implementação no TANGRAM II Whiteboard e a Análise de Desempenho. Master's thesis, UFF, 2002.

¹Tanto as interfaces da ferramenta como o manual estão escritos em inglês de forma a que pudesse ser usado tanto no Brasil como no exterior.

- [2] Jorge Allyson Azevedo. Transmissão Multicast Confiável: Aplicação na Ferramenta Tangram Whiteboard e Experimentos na Internet. Master's thesis, COPPE/UFRJ, 2002.
- [3] S. Berson, E. de Souza e Silva, and R.R. Muntz. An object oriented methodology for the specification of Markov models. In *Numerical Solution of Markov Chains*, pages 11–36. Marcel Dekker, Inc., 1991.
- [4] R.M.L.R. Carmo, L.R. de Carvalho, E. de Souza e Silva, M.C. Diniz, and R.R. Muntz. Performance/Availability Modeling with the TANGRAM-II Modeling Environment. *Performance Evaluation*, 33:45–65, 1998.
- [5] W. Chia-Whei Cheng. *The TANGRAM graphical interface facility (TGIF) manual*. TGIF WWW at <http://bourbon.cs.ucla.edu:8801/tgif/>.
- [6] A.P.C. da Silva, R.M.M. Leão, and E. de Souza e Silva. Cálculo Eficiente da Distribuição do Tamanho de Filas baseado em Modelos de Fluido. In *Proc. do 20^o Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, pages 327–341, 2002.
- [7] E. de Souza e Silva and H.R. Gail. Transient Solutions for Markov Chains. In W. Grassmann, editor, *Computational Probability*, pages 44–79. Kluwer, 2000.
- [8] E. de Souza e Silva, H.R. Gail, and R.R. Muntz. Efficient solutions for a class of non-Markovian models. In *Computations with Markov Chains*, pages 483–506. Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [9] E. de Souza e Silva and H.Richard Gail. An Algorithm to Calculate Transient Distributions of Cumulative Rate and Impulse based Reward. *Communications in Statistics - Stochastic Models*, 14:509–536, 1998.
- [10] E. de Souza e Silva, R.M.M. Leão, and M.C. Diniz. Transient Analysis Applied to Traffic Modeling. *Performance Evaluation Review*, 28(4):14–16, 2001.
- [11] E. de Souza e Silva, K. Reinhardt, and R.M.M. Leão. Um Ambiente de Simulação de Fluido para Redes Multimídia. In *SBRC2003*, Maio 2003.
- [12] R. M.M.Leão E. de Souza e Silva and R. Marie. Efficient Solutions for an Approximation Technique for the Transient Analysis of Markovian Models. Technical report, INRIA, 1996.
- [13] D.R. Figueiredo. O Módulo de Simulação da Ferramenta TANGRAM-II: Suporte para Medidas com Recompensas, Recursos de Eventos Raros e Aplicações a Modelos de Redes Multimídia , June 1999. Tese de Mestrado - UFRJ - COPPE/Sistemas.
- [14] D.R. Figueiredo and E. de Souza e Silva. Efficient Mechanisms for Recovering Voice Packets in the Internet. In *Proceedings of IEEE/Globecom'99, Global Internet: Application and Technology Symposium*, pages 1830–1837, Dezembro 1999.
- [15] R.M.M. Leão, E. de Souza e Silva, and Sidney C. de Lucena. A Set of Tools for Traffic Modeling, Analysis and Experimentation. In *TOOLS2000*, volume LNCC 1786, pages 40–55. Springer, 2000.