Uma ferramenta para estimar características fim-a-fim na Internet *

Antonio A. de A. Rocha[1], **Edmundo de Souza e Silva**[1], **Rosa M. M. Leão**[1]

[1]Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/Prog. de Engenharia de Sistemas e Computação
Caixa Postal 68511, CEP: 21941-972–Rio de Janeiro, RJ
arocha, edmundo, rosa@land.ufrj.br
Engenharia de Redes: Medições

Com a crescente demanda por aplicações multimídia, o conhecimento das características internas da rede passa a ser de grande importância para a implantação e o funcionamento dessas aplicações. O estudo de características como perda, vazão, variação do atraso (*Jitter*), caminho(*Path*), retardo fim-a-fim, retardo de ida e volta (*Round Trip Time*), dentre outras, torna-se cada vez mais necessário, principalmente pelo fato de que muitas dessas aplicações são sensíveis a alguns desses parâmetros. Para isso, duas técnicas de medição podem ser aplicadas: medição ativa e passiva. A diferença básica entre elas é que na forma ativa um conjunto de pacotes, conhecidos como *Probes*, são injetados na rede, passando por todo o caminho que está sendo estudado até chegarem ao seu destino. Já na medição passiva, o estudo se restringe em coletar informações, de forma promíscua, apenas dos pacotes que passam na rede injetados por outras aplicações.

Com o estímulo de experimentos entre o LAND[1]/UFRJ e a UMASS (University of Massachusetts), onde aulas e seminários são transmitidos usando aplicações multimídia de tempo real entre as duas instituições, surgiu a necessidade de estudar as características do caminho por onde passam os pacotes destas aplicações. Todo o tráfego é transmitido pela Internet, atravessando diferentes tipos de enlaces e topologias, tais como: redes locais das universidades, *Backbones* RNP(Rede Nacional de Pesquisa) e *Abilene*, além do *link* internacional.

Algumas características como perda, vazão, variação do atraso e retardo de ida e volta podem ser facilmente obtidas com ferramentas disponíveis na Internet (Ping, Traceroute, Traffic Generator[5]). Porém, alguns outros parâmetros de grande importância não são tão simples de serem obtidos. No entanto, o conhecimento desses parâmetros pode ser fundamental para o bom funcionamento das aplicações.

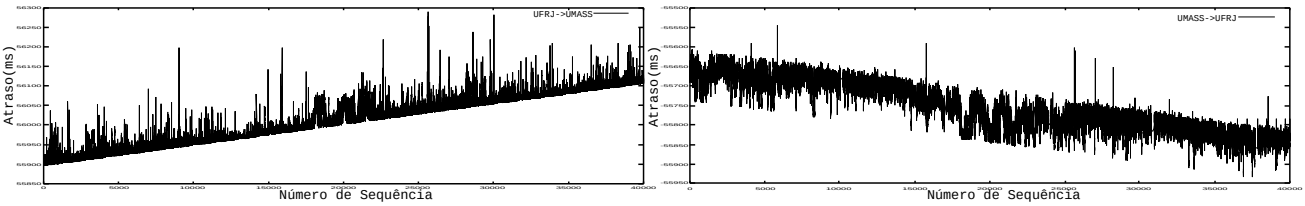

Figura 1: Atraso de pacotes entre máquinas com relógios diferentes.

Uma das métricas que possui um certo grau de complexidade para sua obtenção é o retardo fim-a-fim sem uso de equipamentos para sincronização dos relógios. Quando existe a disponibilidade de equipamentos, baseados em sinais de satélites para sincronizar os relógios, ou quando a origem e o destino do pacote são os mesmos (retardo de ida e volta), calcular o atraso sofrido por um pacote na rede pode ser feito de forma simples, ou seja, $D = T_r - T_s$, onde T_s é o instante de envio do pacote e T_r o instante de chegada. O problema só se caracteriza quando os equipamentos de origem e destino desses pacotes possuem relógios que não estão sincronizados, o que pode ser considerado a maioria dos casos. Isso pelo fato de que em uma medição, raramente os relógios das máquinas encontram-se

*Este trabalho é parcialmente financiado pelo CNPq e FAPERJ.
[1]Laboratory for modeling, analysis and development of networks and computer systems

precisamente sincronizados, e mais, as taxas de crescimento desses relógios possuem grandes chances de serem diferentes, gerando assim uma tendência de crescimento e possibilitando valores negativos para o cálculo do retardo. Para ilustrar o problema, foi executada uma medição entre duas máquinas, a seqüência $\Omega := [v_i = (i, d_i) : i = 1, \ldots, N]$ coletada é mostrada na Figura 1, onde i e d_i equivalem ao número de seqüência do pacote e o retardo calculado respectivamente.

Uma série de algoritmos foram propostos para solucionar esses problemas [12, 14, 8, 10, 6, 11]. Com o objetivo de coletar esse tipo de estatística, foi feita uma avaliação dentre todas as propostas, e alguns desses algoritmos vêm sendo implementados no módulo de medição ativa (*Traffic Generator*) do TANGRAM-II [1, 13, 5] para que a ferramenta, além das métricas anteriores (*Jitter*, Perda e Vazão), possa ainda estimar os valores do atraso fim-a-fim experimentados pelos *Probes* injetados em suas medições.

Um dos algoritmos implementado no Traffic Generator foi proposto por [8, 10]. Ele tem como objetivo estimar a diferença inicial entre os relógios das máquinas (*Offset*) encontrado no período de medição. O algoritmo propõe que sejam enviados pacotes de diferentes tamanhos, nos dois sentidos, e selecionados os que obtiverem os menores valores de atraso para cada tamanho. Esses valores menores são supostos como sendo os pacotes que não encontraram fila em todo o caminho percorrido. Com base nesses resultados, é perceptível um crescimento linear entre alguns desses menores valores. A Figura 2A ilustra um exemplo desta variação, que pode ser explicada pela diferença do tempo de transmissão dos pacotes, causada pela diferança do tamanho do pacote. O autor em [8] prova que o *Offset* inicial dos relógios pode ser estimado com a suposição de que o atraso de um pacote de tamanho zero é equivalente ao ponto em que a reta obtida com os valores mínimos cruza o eixo das ordenadas. A diferença entre os valores obtidos nos dois sentidos equivale ao dobro do *Offset* inicial.

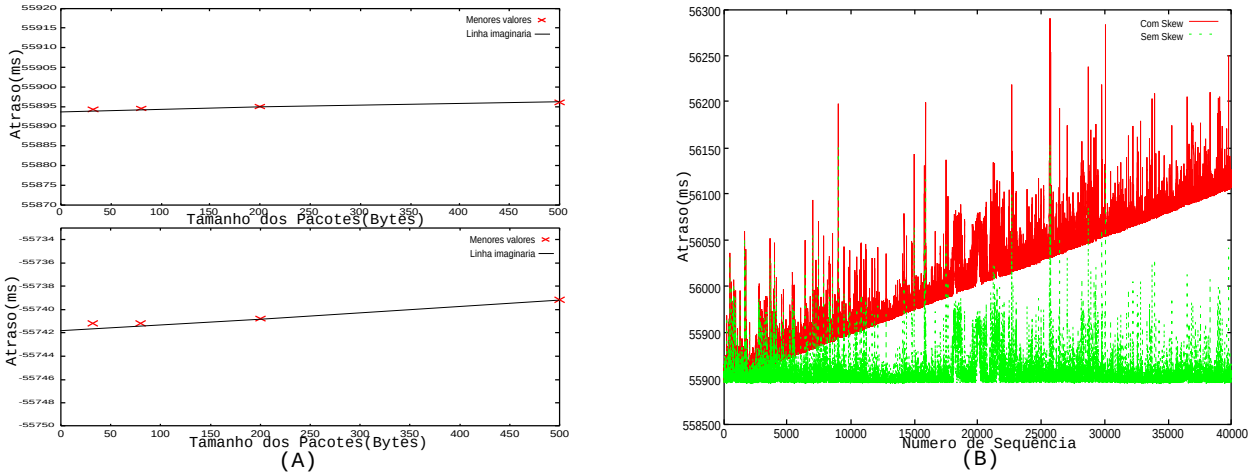

Figura 2: Funcionamento dos algoritmos para remoção do Offset(A) e Skew(B).

Para solucionar o problema da diferença entre as taxas de crescimento dos relógios (*Skew*), um outro algoritmo foi implementado na ferramenta. Várias são as propostas de algoritmos para a remoção desses valores [12, 6, 14]. No entanto, o Traffic Generator usa a proposta de [6] por entender que possui uma menor complexidade computacional. O método usado baseia-se na tendência de crescimento linear encontrado nos atrasos calculados inicialmente, como foi visto na Figura 1. São identificados dois pontos em todo o *trace* coletado (que significam valores de atraso para determinado tamanho de pacote) e é traçada uma linha reta a partir destes dois pontos. Os dois pontos devem ser escolhidos de forma que todos os outros valores de atraso coletados fiquem acima da reta obtida a partir destes dois pontos. Encontrados os pontos, e a reta, estima-se sua função f(x). A derivada f'(x) equivale à taxa de crescimento de um relógio em função do outro. Com isso, pode-se estimar o crescimento dos relógios e assim remover os valores falsos dos dados. O resultado da aplicação deste algoritmo é ilustrado na Figura 2B. Após a aplicação dos algoritmos, um novo *trace* é gerado já com os valores referentes ao *Offset* e *Skew* removidos.

A Figura 3A ilustra o histograma de uma medição feita entre duas máquinas, uma na UFRJ e outra em UMASS, usando o Traffic Generator. Para validar os algoritmos, durante as medições do atraso fim-a-fim, foi executada uma medição de atraso de ida e volta. Considerando que os dois testes foram gerados entre as mesmas máquinas e no mesmo período, a média da medição do *RTT* deve ser bem próxima à soma das médias obtidas para o atraso fim-a-fim.

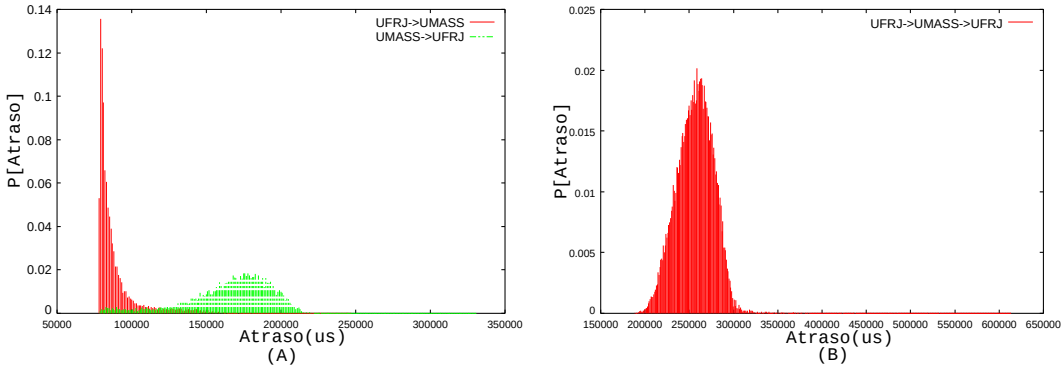

Figura 3: Distribuição do atraso nos experimentos: (A)fim-a-fim (B) ida-e-volta.

Esse tipo de medição vem sendo executada em média uma vez por semana entre a UMASS e a UFRJ. A Figura 4 mostra uma série de resultados obtidos durante alguns desses experimentos. Um dos objetivos desses experimentos é caracterizar o retardo coletado durante a realização das sessões de videoconferência através da obtenção da sua função de distribuição. Pretendemos também definir a distribuição que melhor caracteriza o retardo obtido nestes experimentos. Essa informação pode ser útil em pelo menos duas situações. A primeira é a criação de modelos de simulação usando parâmetros estimados pela ferramenta. A segunda é a possibilidade de ajustar determinados parâmetros em aplicações, como por exemplo, nas utilizadas para videoconferência.

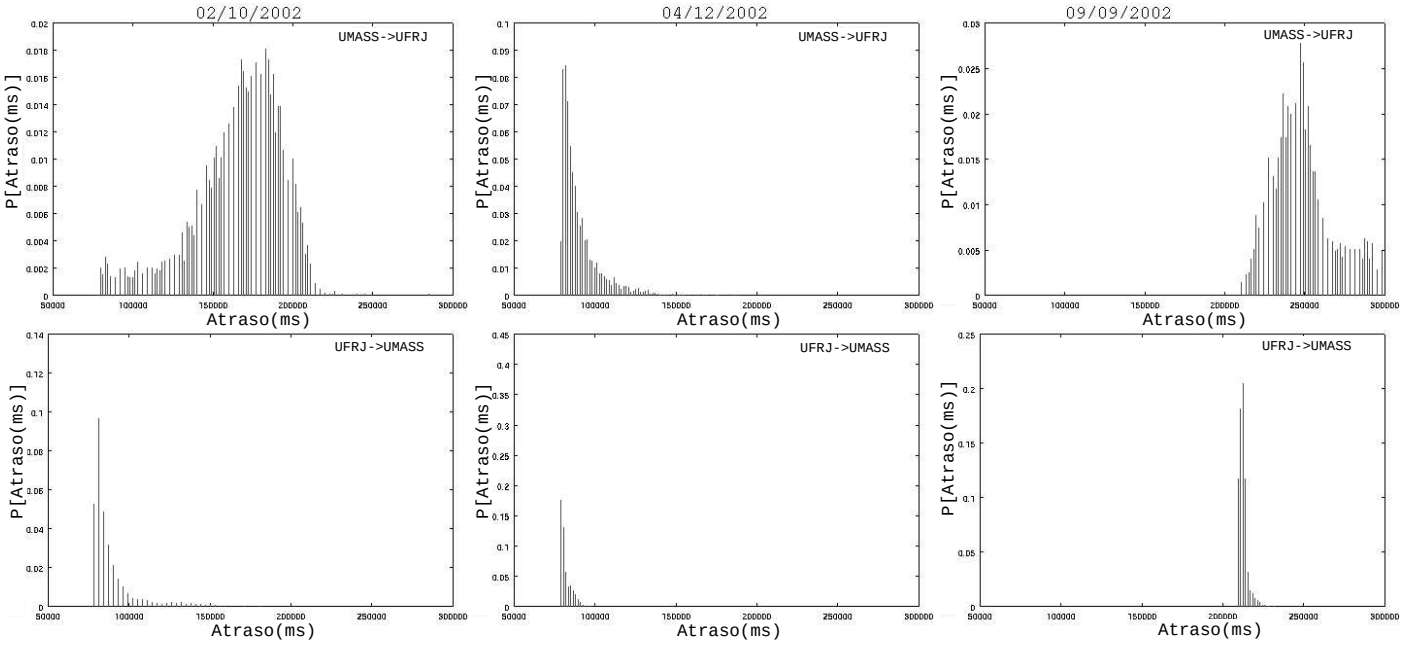

Figura 4: Resultados de experimentos executados entre UFRJ/UMASS

Em paralelo às medições de retardo fim-a-fim, estamos iniciando a coleta de dados que permitirão obter outras informações importantes sobre a rede. Atualmente estão sendo implementados no Traffic Generator os métodos *Packet Pair* e *Loss Pair* que são técnicas usadas para prever o valor de outras métricas. Com a técnica *Packet Pair* é possível estimar parâmetros como, por exemplo, a largura de banda do gargalo. Este tipo de medida já foi amplamente estudado em [4, 2] e implementado em ferramentas como Pathchar[3] e Pchar[9]. Nesse método de envio de pares de pacotes, cada

par possui um espaço mínimo entre eles. A diferença entre a chegada dos pacotes enviados é inversamente proporcional à largura da banda do gargalo. Já o método *Loss Pair* propõe uma técnica para se estimar o tamanho do *Buffer* e as características do esquema de descarte de pacotes no roteador gargalo [7]. Ele é baseado no método *Packet Pair*, no entanto, a diferença é que apenas os pacotes que chegam isolados do seu par serão considerado. Esse pacote que teve o par perdido pode conter informações importantes a respeito de uma situação próxima à de descarte no *Buffer* do gargalo da rede, e ainda do método aplicado por ele para descartes de pacotes.

A ferramenta TANGRAM-II - Traffic Generator é um ambiente que permite a obtenção de diversas medidas como retardo fim-a-fim, jitter, RTT, perdas, entre outras, que permitem caracterizar a Internet. Este ambiente permite ao usuário a realização de experimentos através de uma interface amigável e a obtenção de gráficos e estatisticas dos dados coletados.

Referências

[1] 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.

[2] Van Jacobson. Congestion avoidance and control. In *ACM SIGCOMM*.

[3] Van Jacobson. Pathchar, 1997. ftp://ftp.ee.lbl.gov/pathchar/.

[4] Srinivasan Keshav. A control-theoretic approach to flow control. In *ACM SIGCOMM*.

[5] LAND. http://www.land.ufrj.br/tools/tangram2/tangram2.html. Tangram-IIv2.0.

[6] Zhen Liu Li Zhang and Cathy Honghui Xia. Clock synchronization algorithms for network measurements. In *IEEE/Infocom*.

[7] Jun Liu and Mark Crovella. Using loss pairs to discover network. In *ACM SIGCOMM*.

[8] Dung Dinh Loung and Josef Biro. Needed services for network performance evaluation. In *IFIP Workshop on performance Modeling and Evaluationof ATM Networks*.

[9] Bruce Mah. Pchar, 1999. http://www.employees.org/Übmah/Software/pchar.

[10] Tetsuya Takine Masato Tsuru and Yuji Oie. Estimation of clock offset from one-way delay measurement on asymmetric paths. In *SAINT International Symposium on Applications and the Internet*.

[11] Attila Pasztor and Darryl Veitch. Pc based precision timing without gps. In *ACM Sigmetrics 2002*.

[12] Vern Paxson. On calibrating measurements of packet transit times. In *ACM/Sigmetrics*.

[13] Edmundo de Souza e Silva Rosa M.M. Leão and Sidney C. de Lucena. A Set of tools for Traffic Modelling, Analysis and Experimentation. In *Proceedings of TOOLS'2000*, 2000.

[14] Paul Skelly Sue B. Moon and Don Towsley. Estimation and removal of clock skew for network delay measurements. In *IEEE/Infocom*.