

Identificação de Características Multifractais em Redes Multimídia

P. H. P. de Carvalho, P. Solis Barreto, M. A. de Deus, V. G. J. Paiva, T. A. Fraga

Resumo— Este trabalho desenvolve um estudo em tráfegos de redes multimídia com níveis elevados de agregação e várias aplicações simultâneas, na tentativa de identificar padrões de comportamento por protocolo levando-se em consideração características de regularidade local e análise multiescalar, por meio de uma abordagem multifractal. São realizados estudos do comportamento multiescalar de amostras reais, de forma a demonstrar que o modelo multifractal caracteriza eficientemente tráfegos reais nas escalas menores, porém este tende assintoticamente à auto-similaridade com o aumento da escala.

Palavras chave— Multifractalidade (*Multifractality*), Auto-Similaridade (*Self-Similarity*), Rajadas (*Burstness*), Singularidades (*Singularity*).

I. INTRODUÇÃO

A tendência de crescimento das redes de comunicações se mostra cada vez mais fortalecida e abrangente, ocorrendo por meio de várias frentes, das quais coloca-se especial destaque na comunicação por meio da internet.

Neste sentido, fatores que nos primórdios da grande rede não representavam problemas passaram a ser focos de discussão, como, por exemplo, a ausência de padrões definidos para discriminação de pacotes, reserva de recursos, etc. Serviços antes não cogitáveis em redes de pacotes do tipo IP (Internet Protocol), como aplicações de tempo real, VOIP (Voice over IP), vídeo conferências, dentre outros, demandaram uma atenção à qualidade da comunicação, o que levou a necessidade de novos estudos e soluções de engenharia para a modelagem de tráfego.

Segundo Ferreira (2005), a modelagem de tráfego tem uma importância cada vez maior na gestão e dimensionamento de redes de telecomunicação. Os modelos de tráfego são utilizados, por exemplo, na estimativa de capacidade de enlaces e tamanho filas de pacotes tendo em conta os efeitos de multiplexação estatística e em análise de desempenho de rede.

A modelagem do tráfego busca dar alguma informação das características estatísticas do processo como, por exemplo, informações referentes à chegada e/ou saída de pacotes em determinado enlace, a distribuição de eventos, a distribuição do tamanho de pacotes, etc. Todos estes dados podem auxiliar na escolha de equipamentos, na

determinação de buffers para armazenar a fila de pacotes, na taxa de perda aceitável no enlace, na razão sinal-ruído tolerável para a comunicação eficiente e na necessidade de rotas reservas a fim de evitar perda excessiva de pacotes, stress de enlaces ou até mesmo o esgotamento físico do mesmo. Essas métricas são fundamentais para o projeto de uma rede e erros nestas previsões podem acarretar em sérios impactos a qualidade de serviço e prejuízos financeiros.

Muitas foram as abordagens aplicadas com o objetivo de se caracterizar tráfegos de rede, como os tradicionais métodos poissonianos. No entanto, estudos sugerem que tráfegos reais apresentam características que estes modelos não atendem, Leland (1994), e propõem novas abordagens como a auto-similaridade e a dependência de longa duração. O tráfego fBm (fractal Brownian Motion) monofractal é um modelo popularmente conhecido para simular redes de dados, principalmente considerando os trabalhos de Taqqu, Willinger e Sherman (1997) que apresentam evidências de características auto-similares em tráfegos de rede.

Estudos recentes indicam, no entanto, que o tráfego da internet pode apresentar características mais complexas do que as auto-similares, principalmente quando se estuda escalas de tempo menores, Erramilli, Prutti e Willinger (1995). Segundo Abry, Baraniuk Flandrin et al. (2002), o tráfego apresenta comportamento multifractal, caracterizado pela aleatoriedade dos expoentes de Hölder.

Neste sentido, o presente trabalho procura identificar características multifractais em tráfegos reais. Inicialmente, a análise será realizada com toda a coleta de dados, sem nenhum tipo de separação por aplicação. Posteriormente, esta se dará individualmente, por protocolo de transporte, de forma a mensurar o grau de multifractalidade e estimar se os pacotes do referido protocolo podem ser melhor modelados seguindo uma distribuição multifractal ou auto-similar.

Em seguida, será desenvolvido uma análise multiresolucional de um tráfego real, observando se este se comporta coerentemente com a teoria multifractal nas escalas menores, e se este assume de fato tendência assintoticamente auto-similar, conforme proposto em Carvalho (2007).

O artigo se organiza da seguinte forma:

- Capítulo II: conceitos teóricos relacionados como auto-similaridade, regularidade local e multifractalidade serão abordados de forma a

auxiliar na interpretação dos resultados.

- Capítulo III: os resultados referentes à coleta de dados, separação por protocolo e análise comportamental multiresolucional serão abordados.
- Capítulo IV: conclusões do trabalho.

II. CONCEITOS TEÓRICOS

Neste capítulo considerações teóricas serão abordadas de forma a auxiliar no entendimento dos resultados e das análises realizadas no capítulo 3. Este se subdivide em três subseções: auto-similaridade, regularidade local e multifractalidade.

A. Auto-similaridade em tráfegos reais

Em Mandelbrot (1977), o autor descreve a respeito dos fractais, como sendo uma entidade caracterizada por irregularidades que governam sua forma e complexidade, possuindo uma estrutura fina e detalhes em todos os níveis de resolução. Um processo estocástico $X(t)$ é dito auto-similar com parâmetro de Hurst H ($0 < H < 1$) se para qualquer fator de escala positivo a , o processo $a^{-H} X(at)$, com escala de tempo at , possui uma distribuição igual à do processo original X , conforme 1.

$$X(t) = a^{-H} X(at), a > 0 \quad (1)$$

Além da auto-similaridade, um processo dito monofractal possui a característica da dependência de longa duração, Ling e Perlingeiro (2005), que é definida em termos de sua função de autocorrelação, ou densidade espectral de potência. Um processo possui longa duração quando sua função de autocorrelação decai tão devagar que sua soma diverge, ou seja, para qualquer $A > 0$:

$$\int_A^\infty r_X(\tau) d\tau = +\infty \quad (2)$$

Estudos demonstram que modelos auto-similares são uma boa alternativa para modelar redes de pacotes reais, como Leland (1994) e Park (2002). Este tipo de modelagem se mostra bastante eficiente quando utilizado em tráfegos com altos índices de agregação. No entanto, Abry, Baraniuk, Flandrin et al. (2002), juntamente com Vieira (2006), apresentam resultados que demonstram que, de fato, o comportamento de tráfegos de redes de pacotes apresenta-se assintoticamente auto-similar, ou seja, ele tende à auto-similaridade conforme a escala de resolução aumenta. Nas escalas menores, ou nas mais altas frequências, uma modelação seguindo distribuições multifractais se mostra mais condizente para caracterizar redes de pacotes.

B. Regularidade Local de Processos

Um tráfego de redes de pacotes que possua características de múltiplo comportamento escalar necessita de parâmetros que expressem e quantifiquem esta característica. No caso dos monofractais, o parâmetro de Hurst é uma propriedade global que quantifica as alterações do processo com mudanças de escala, e serve com eficiência para refletir estas características.

Para tráfegos que não apresentem regularidade escalar, formas de se identificar as singularidades existentes ao longo do processo são necessárias para melhor caracterizá-lo. Neste sentido, os expoentes de Holder são uma interessante ferramenta.

Segundo Vieira, Ling (2005), o expoente pontual de Hölder consegue quantificar o grau de variação instantânea de um sinal de tráfego de redes, indicando o grau de rajadas de dados presentes neste sinal. Um valor de expoente maior que 1 corresponde a pequenas variações, enquanto valores de expoente pontual de Hölder menores que 1 implicam em altas rajadas.

C. Características Multifractais em tráfegos de Redes

A análise multifractal procura descrever o comportamento das singularidades de uma amostra ou de uma função de forma geométrica e estatística. Considerando que as propriedades escalares de um tráfego de rede de pacotes são governadas por uma dinâmica caótica e por processos aleatórios, é até intuitivo a existência de vários comportamentos para escalas diferentes e para instantes do tempo distintos. Devido ao comportamento extremamente irregular assumido pelos expoentes de Holder em processos multifractais, uma abordagem geométrica e estatística destes mostra-se mais eficiente, conforme Vieira (2006).

O espectro de Legendre representa uma forma de exibir geometricamente a distribuição estatística dos Expoentes de Holder. Este apresenta perfil côncavo, para baixo, com valores nas ordenadas variantes de 0 até 1, onde o eixo das abscissas representa os expoentes de Hölder (τ), e o eixo das ordenadas representa, de certa forma, a probabilidade de determinado valor de expoente de Hölder ocorrer; onde um valor unitário de $f(\tau)$ (eixo das ordenadas no espectro) indica que aquele valor apresenta grande chance de ocorrer ao longo do tráfego, e valores pequenos de $f(\tau)$ representam pontos de menor ocorrência.

Conforme Vieira (2006), um processo é dito multifractal se satisfaz:

$$E(|X(t)|^q) = c(q)t^{\tau(q)+1} \quad (3)$$

Onde $t \in T$ e $q \in Q$, T e Q são intervalos da reta real, $\tau(q)$ e $c(q)$ são funções com domínio Q . Assume-se que T e Q têm comprimentos positivos, e que $0 \in T$, $[0,1] \subseteq Q$.

A função $\tau(q)$ é chamada função de escala, ou função de partição (Bianchi (2005)), enquanto $c(q)$ é o fator de momento de um processo. Se $\tau(q)$ é linear em q , o processo é dito monofractal, caso contrário, multifractal. O Espectro Multifractal de Legendre define-se como:

$$f_L(\alpha) = \tau^*(\alpha) \quad (4)$$

Onde $\tau^*(\alpha)$ é a transformada de Legendre da função de partição.

III. RESULTADOS OBTIDOS

Esta sessão é destinada ao estudo comportamental das características multifractais presentes em amostras coletadas na rede real de uma empresa de Telecomunicações. Inicialmente, considera-se todo o tráfego, sem qualquer forma de discriminação por aplicação, para se analisar as características deste totalmente agregado em pequenas escalas de tempo. Em seguida, será realizada uma análise individualizada, separando-se o tráfego por protocolo e identificando as características deste. O nível de resolução é de 1.

Em um terceiro momento, um tráfego de redes de pacotes real será analisado e suas características multifractais serão verificadas para alterações de escala de resolução, de forma a indicar se este tráfego de fato mostra comportamento assintoticamente auto-similar.

A. Comportamento do tráfego total

O tráfego original foi truncado em 8192 amostras, para efeitos de análise. Este apresenta-se com alto grau de agregação, pois fora coletado em um local de convergência de redes, onde a quantidade e variedade de usuários e aplicações é notória. Nota-se a presença de variados protocolos de aplicação, o que é compreensível, dada à heterogeneidade de usuários.

Utilizou-se como métrica para estudo o intervalo de chegada entre os pacotes, *delta time*.

Uma ilustração do traço deste tráfego está visualizável em

Fig. 1.

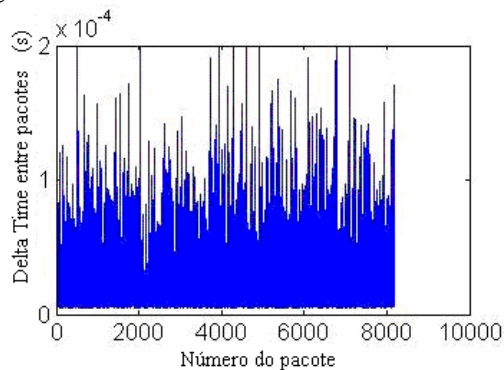


Fig. 1 - Traço do tráfego real coletado

Para se realizar uma análise multifractal, a função expoente pontual de Holder e o espectro multifractal de Legendre foram detectados por meio da ferramenta fraclab (Vehel (2001)), e são apresentadas em Fig. 2.

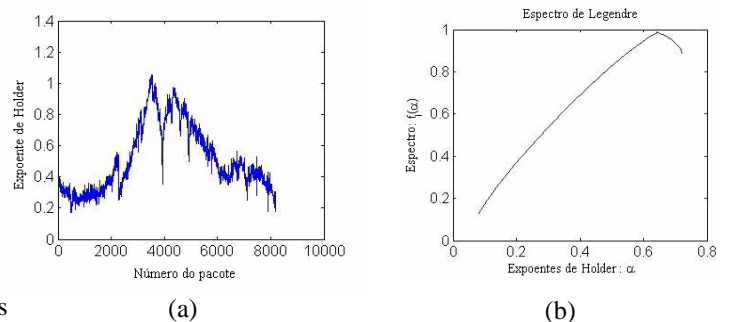


Fig. 2 (a) Esopoente de Holder do tráfego e (b) Espectro de Legendre da amostra

Percebe-se em Fig. 2 (a) que a oscilação dos expoentes de Holder ao longo do processo existe, no entanto varia relativamente pouco, por volta de 0,2 e 0,4. A exceção para este comportamento é percebida durante o intervalo de aproximadamente 3000 até 5000, no eixo das abscissas, onde a variação se torna mais considerável, implicando em maior nível de singularidades neste intervalo, o que caracteriza comportamentos mais multifractais.

Tais considerações são refletidas no aspecto do espectro de Legendre. Este apresenta um comportamento bastante retilíneo e linear, ao contrário do formato côncavo observado em processos multifractais, no entanto, percebe-se uma leve concavidade no extremo deste, o que implica a presença de características de maior oscilação local, ou seja, presença de singularidades mais fortalecida.

Este tráfego, como pode ser percebido, apresenta alguns comportamentos tidos como de multifractais (oscilação dos expoentes de Holder), porém existe uma tendência de que este irá assintoticamente para um processo auto-similar. De acordo com Carvalho (2007), este resultado se apresenta bastante corente.

B. Comportamento do tráfego separado por protocolo de transporte

Será realizada uma separação do tráfego por protocolo de transporte, e a mesma metodologia de análise será aplicada a título de comparação.

As ilustrações Fig. 3 (a) e (b) representam, respectivamente, o tráfego TCP (*Transport Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*) deste tráfego.

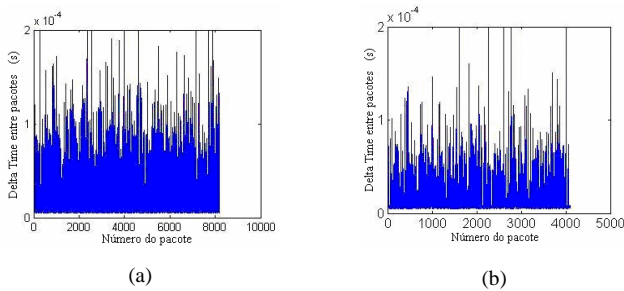


Fig. 3 - Traço do tráfego real coletado

A seguir uma comparação do expoente de Holder para as duas amostras, em :

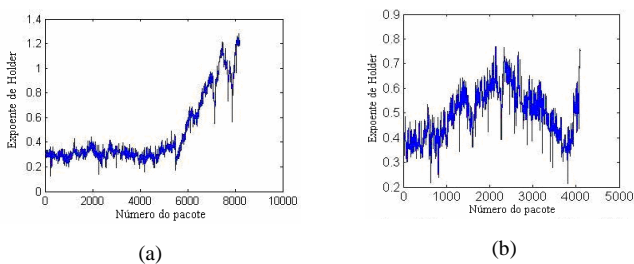


Fig. 4 - (a) expoente de Holder para o tráfego TCP e (b) expoente de Holder para o tráfego UDP

Percebe-se que o tráfego TCP apresenta menor variação do expoente de Hölder quando comparado ao tráfego UDP, cujo expoente de Hölder mostrou-se bem mais oscilante, apesar da menor amostra de dados. Com este resultado, pode-se intuir que os pacotes UDP apresentam maior número de singularidades e comportamento escalar mais rico do que os pacotes TCP para este caso em estudo.

A ilustração Fig. 5 representa o espectro de Legendre para o tráfego TCP (a) e UDP (b).

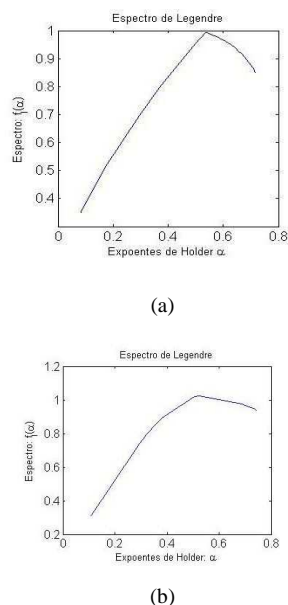


Fig. 5 - (a) espectro de Legendre para o tráfego TCP e (b) espectro de Legendre para o tráfego UDP

Novamente, é identificado uma maior tendência multifractal por parte do protocolo UDP, conforme já intuído anteriormente pela análise da função Hölder. Este resultado é bastante interessante, já que aplicações diversas como VoIP, conferências e outras aplicações em tempo real utilizam predominantemente este tipo de protocolo, e uma forma mais realista de se modelar este tipo de rede poderia ser por modelos multifractais. O perfil côncavo é mais acentuado para o caso UDP, apesar de ser visível alguma característica multifractal no caso TCP, principalmente por volta de $\alpha = 0.5$. Este resultado condiz com o estudo de Ostrowsky (2005), que atinge resultados inferindo que o tráfego UDP possui características bem modeladas por processos multifractais.

Nota-se alguma correlação com o próprio mecanismo de funcionamento e implementação dos protocolos, já que o TCP é dotado de ferramentas de controle, ele é orientado a conexão, estabelece-se o *three way handshake* previamente à transmissão de informações, o janelamento, e a garantia de entrega de pacotes, enquanto o UDP não detém nenhuma destas ferramentas de controle, não oferece garantia de entrega e não possui nenhum controle de fluxos de pacotes.

C. Comportamento multiescalar de um tráfego real

Para averiguar o comportamento multiescalar de tráfegos reais, foi realizado o seguinte teste: por meio da amostra real de tráfego extraído do Lawrence Berkeley Laboratory, disponibilizada no endereço eletrônico <http://ita.ee.lbl.gov/html/contrib/LBL-TCP-3.html> acessado em 23 de novembro de 2007 às 15:00, extraiu-se a função Hölder e o Espectro Multifractal de tal geração, novamente para escala de 10^4 . Feito isto, começou-se um processo de alteração da escala de medida, aumentando-a gradativamente e verificando o comportamento da amostra a partir da original. Este procedimento seria o equivalente a fazer coletas em redes reais em instantes do tempo diferentes, dado o mesmo tráfego, sendo que o amostrador do tráfego possuiria frequências distintas. Quanto maior a frequência, maior será a influência do comportamento de tráfegos nas menores escalas; para menores frequências, seria como se o amostrador passasse a coletar amostras mais espaçadas no tempo, em uma janela de resolução mais ampla.

O tráfego real possui uma resolução original na ordem de 1 s, e este foi então assumindo a resolução de 5ms, 50ms, e 500ms. O processo para aumento de escala foi o seguinte: inicialmente utilizou-se o intervalo entre os pacotes de forma a encontrar o timestamp (instante de envio) de cada pacote; considerou-se o tamanho de pacote constante e equivalente a 50 bytes; para se aumentar a escala, dada a escala determinada previamente, detectou-se o montante de pacotes recebidos entre cada intervalo da janela de tempo, de forma a utilizar este resultado como sendo a distribuição do envio de pacotes por janela naquela resolução.

Em Fig. 6, mostra-se a variação dos expoentes de Holder para o tráfego original.

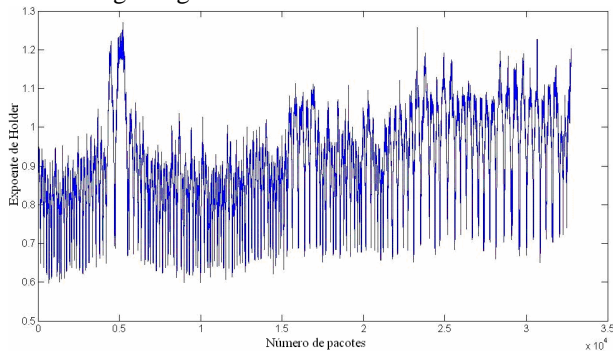


Fig. 6 - Exponente de Holder para o tráfego real na resolução $1 \mu s$

Percebe-se a intensa variação do expoente de Hölder, o que sugere um comportamento multifractal. A ilustração Fig. 7 representa a distribuição geométrica do espectro de Legendre.

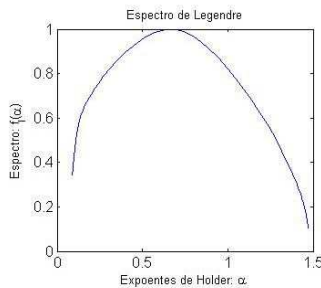


Fig. 7 - Espectro de Legendre para o tráfego real na resolução $1 \mu s$

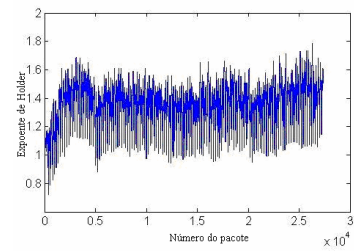
Novamente, é possível se obter uma forte intuição de que de fato trata-se de um tráfego multifractal.

O procedimento irá abordar a alteração de escalas para se observar o comportamento da amostra. Inicia-se com uma escala de 5ms, cujo expoente de Hölder e Espectro de Legendre são ilustrados em Fig. 8.

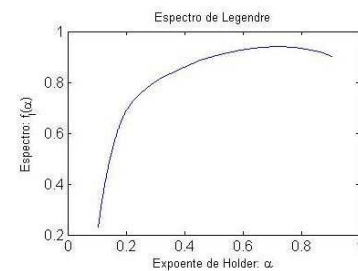
O comportamento espectral se mostra pouco alterado, salvo pelo nível de inclinação, que é mais íngreme em 3.9, indicando que ocorre uma linearização do traço, e pela redução no intervalo da curva, que passou de 0,2 até 0,8 (aproximadamente) em Fig. 8, para 0,2 a 0,7 (aproximadamente), em Fig. 9, o que possibilita sugerir que este está assumindo uma tendência menos multifractal.

Outro teste será aplicado a este tráfego: uma escala de medida de 500ms, ilustrada a partir dos seus Expoentes de Hölder e Espectro de Legendre em Fig. 10.

É possível identificar comportamentos multifractais pela oscilação do expoente de Hölder, no entanto, o aspecto do Espectro denuncia que esta característica parece estar diminuindo de intensidade, conforme a escala de tempo aumentou, apesar do perfil relativamente côncavo ter mantido.



(a)

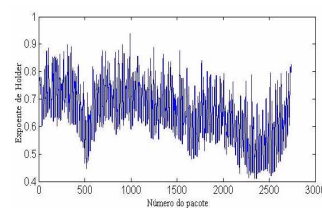


(b)

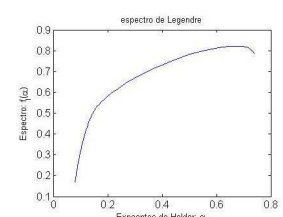
Fig. 8 - (a) Exponente de Holder e (b) espectro de Legendre para o tráfego na resolução 5ms

A escala será aumentada para 50ms e observados os resultados do comportamento do Hölder e do Espectro na ilustração 3.9.

Uma análise deste resultado possibilita afirmar que o expoente de Hölder mostrou-se bem menos oscilante do que em todos os casos anteriores, apresentando variações máximas de aproximadamente 0,3 unidades, enquanto o espectro multifractal se mostra consideravelmente mais linearizado e menos côncavo, demonstrando visualmente que o tráfego está assumindo uma característica mais monofractal com o incremento das escalas de tempo do tráfego. Identifica-se a existência de um comportamento mais multifractal nas proximidades de $\alpha = 0,3$, no entanto, este comportamento é relativamente discreto.



(a)



(b)

Fig. 9 - (a) Exponente de Holder e (b) espectro de Legendre para o tráfego na resolução 50ms

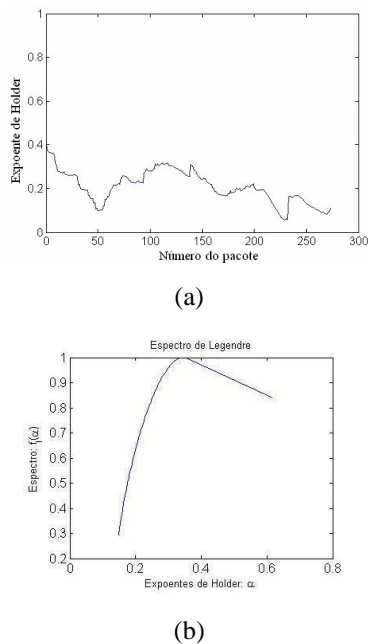


Fig. 10 – (a) Expoente de Holder e (b) espectro de Legendre para o tráfego na resolução 500ms

IV. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos mostraram que o tráfego real estudado, coletado em um local da rede de grande convergência e com alto grau de agregação, possui características multifractalas, como instantes de grande oscilação no expoente de Holder, no entanto, percebe-se que este grau de multifractalidade não predomina por todo o tráfego, e que este apresenta um comportamento assintoticamente auto-similar, o que está de acordo com Leland (1994) e Carvalho (2007). O alto nível de agregação provavelmente contribui neste processo assintótico.

É possível se concluir, devido ao comportamento do espectro de Legendre para o tráfego TCP e UDP, que o protocolo UDP mostrou características e comportamento geométrico condizentes com a teoria multifractal, o que está de acordo com Ostrowsky (2005). O tráfego TCP apresentou-se mais monofractal que o UDP, apesar de também possuir comportamento escalar, o que confere com a teoria de fractais.

Ao se estudar a outra amostra de tráfegos reais, retirada do Lawrence Berkley Laboratory, percebe-se que está possui características multifractalas bastante coerentes em alto grau de resolução (escala de 1 s); conforme a resolução diminui, no entanto, este comportamento passa a tornar-se mais regular e previsível, fazendo com que a amostra total passasse a ser bem modelada como sendo monofractal, ou seja, o tráfego de redes de pacotes tende assintoticamente à auto-similaridade.

Este estudo obteve os mesmos resultados que o trabalho de Riedi (2002) e reforça a idéia de que a análise multifractal de um sinal de tráfego de rede pode levar a boas aproximações das características reais. Através dessa

análise espera-se que, em trabalhos futuros, possa-se usar as ferramentas estudadas para predição de comportamento da rede a fim de automação de controle e configuração de uma rede, caso julgado necessário de acordo com parâmetros especificados pelo administrador, em um tempo consideravelmente curto e de forma precisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Ferreira, P.J. (2005) “Modelação de tráfego em redes de telecomunicações: modelos Markovianos e baseados em sistemas de Lindenmayer”, Tese de Doutorado, Departamento de Electrónica e Telecomunicações, Universidade de Aveiro. Figueiredo, Daniel R. et al. On the Efficiency of Fluid Simulation of Networks, Dept. Of Computer Science, University of Massachusetts, 2004.
- [2] Leland, W. (1994) “On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version)”, In IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 2, n.º. 1, p. 1-15.
- [3] Taqu, M. S., Willinger, W. e Sherman, B. (1997) “Proof of a fundamental result in self-similar traffic modeling”, In Computer Communication Review, vol. 27, p. 5-23.
- [4] Erramilli, A., Pruthi, P. e Willinger, W. (1995) “Self-Similarity in High-Speed Network Traffic Measurements: Fact or Artifact?”, VVT Symposium, vol. 154, p. 299-310. Sierra, Kathy e Bates, Bert. Head First Java, Editora Alta Books Ltda, 2005.
- [5] Abry, P., Baraniuk, R.G., Flandrin, P. Riedi, R.H. e Veitch, D. (2002) “The Multiscale Nature of Network Traffic: Discovery, Analysis, and Modelling”, In IEEE Signal Processing Magazine, vol. 19, n.º. 3, p. 28-46.
- [6] Mandelbrot, B. (1997) “The Fractal Geometry of Nature”, 1ª Edição, Ed. W. H. Freeman.
- [7] Ling, L. e Perlingeiro, F.R. (2005) “Uma nova abordagem para estimação da banda efetiva em processos fractais”, In Revista IEEE América Latina, vol. 3, n.º. 5, p. 60-70.
- [8] Park, K. (2002) “Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation”, Ed. Wiley-Interscience, 1ª Edição, 558p.
- [9] Vieira, F.H. (2006), “Contribuições ao Cálculo de Banda e de Probabilidade de Perda para Tráfego Multifractal de Redes”, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- [10] Jorge, C., Vieira, F.H. e Ling, L (2005) “Predição Adaptativa do Expoente de Hölder para Tráfego Multifractal de Redes”, In XXVIII Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional.
- [11] Bianchi, G. R. (2005) “Um Modelo Multifractal Aplicado à Predição de Tráfego de Redes – Proposta e Avaliação”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- [12] Vehel, J. L. et al. (2001) “Fraclab: A fractal analysis toolbox for signal and image processing, version 2.0. INRIA.
- [13] Carvalho, Paulo, Solis, Priscila, Queiroz, Bruno, Carneiro, Breno, Deus, Marcio (2007) “ A Traffic Analysis per Application in real IP/MPLS Service Provider Network”, In Broadband Convergence Networks . BcN '07. 2nd IEEE/IFIP International Workshop on.
- [14] Ostrowsky, L. O. (2005) “Modelos de Tráfego para Fluxos Gerados pelo Protocolo UDP”, Dissertação de Mestrado, Instituto de Computação, Universidade de Campinas, São Paulo.