

Estimativa de Banda Efetiva para Tráfego de Rede Multifractal

Jeferson Wilian de Godoy Stênico e Lee Luan Ling

Resumo—Na literatura vários estudos demonstraram a presença da natureza fractal em uma ampla variedade de tráfego e o impacto desses fenômenos no desempenho da rede. Neste trabalho, será derivada uma nova expressão para a estimativa de banda efetiva, a fim de oferecer melhor alocação de recursos no planejamento e projetos de rede, especialmente para o tráfego de rede com características multifractais. Com base em uma nova abordagem de construção de cascata multiplicativa conservativa, proposta na literatura e os correspondentes parâmetros de tráfego multifractais, um parâmetro de escala global será determinado e usado em conjunto com os parâmetros do modelo de tráfego multifractal para o cálculo de banda efetiva. A abordagem proposta foi validada em termos de larguras de banda alocadas dinamicamente.

Palavras-Chave – Tráfego Multifractal, Parâmetro de Escala Global, Banda Efetiva.

Abstract—In literature several studies have shown the presence of fractal nature in a wide variety of traffic and the impact of these phenomena on network performance. In this paper we derive a new expression for effective bandwidth estimation in order to offer better resource allocation in network planning and design, especially for network traffic with multifractal characteristics. Based on a new construction approach for conservative multiplicative cascades proposed in literature and the corresponding multifractal traffic parameters, a global scaling parameter is determined and used together with the multifractal traffic model parameters for the effective bandwidth computation. The proposed approach was validated in terms of dynamically allocated bandwidths.

Keywords - Multifractal Traffic, Global Scaling Parameter, Effective Bandwidth.

I. INTRODUÇÃO

O conceito de banda efetiva fornece uma maneira de caracterizar as necessidades de recursos de uma conexão, sendo uma ferramenta útil para a análise e descrição de tráfego em redes. Considera-se que a banda efetiva é a taxa de transmissão de informação geralmente com limites inferior a taxa média e o limite superior a taxa de pico do tráfego, dados os requisitos de QoS, definido a priori para um dado fluxo de tráfego. Uma boa revisão e perspectiva sobre a banda efetiva podem ser encontradas em [1].

A banda efetiva de uma fonte é altamente sensível às propriedades estatísticas dessa fonte, que frequentemente não são conhecidas a priori. Estimativas exatas de banda efetiva dependem do quão fiel é o modelo de tráfego escolhido. Tecnicamente, o conceito de banda efetiva é muito mais amplo do que uma simples medida, dependendo dos modelos de tráfego, disciplinas de filas e critérios de desempenho.

A banda efetiva necessária para atender os requisitos de QoS também depende das características de tráfego. As características dos fluxos de tráfego nas redes atuais fazem

suas estimativas serem não triviais dificultando a utilização de modelos de tráfego muito simplificados, tais como os modelos de Markov. Vários métodos de estimativa de banda efetiva foram desenvolvidos para o fluxo de tráfego de banda larga da rede, principalmente com base em diferentes abordagens de modelagem de tráfego. Entre eles, os mais representativos são os seguintes: A estimativa de banda efetiva com base na modelagem autossimilar do tráfego, proposto por Norros [2]; A chamada banda efetiva empírica proposta por Tartarelli, et al. [3], que não assume qualquer modelo de tráfego estatístico específico; Banda efetiva para tráfego ATM, com base em um modelo de Markov de fluido multi-classe proposto por Kesidis, et al. em [4], e finalmente, a banda efetiva com base no modelo de tráfego multifractal VVGM (*Variable Variance Gaussian Multiplier*), proposto por Krishna, et al. em [5].

Há muitos estudos mostrando a alta variabilidade e rápida evolução do tráfego da internet atual, devido a novas aplicações e protocolos de controle de tráfego, ou seja, os fluxos de tráfego das redes modernas apresentam rajadas em uma ampla gama de escalas de tempo, em contraste com os velhos pressupostos que rajadas de tráfego só existem em escalas de tempo curtas [6] [7]. Foi demonstrado que essas incidências de rajadas multi-escalas afetam significativamente o desempenho da rede [6] [7].

Tentativas de uma modelagem mais realista, surgiram inicialmente para a caracterização da autossimilaridade de tráfego internet e ethernet [8]. Embora a autossimilaridade forneceu uma explicação plausível, não conseguiu justificar alguns comportamentos essenciais locais e medidas estatísticas de fluxos de tráfego reais. O termo autossimilaridade se refere normalmente a processos assintoticamente autossimilares de segunda ordem ou monofractais [9]. Nesses casos, o parâmetro de Hurst tem sido amplamente utilizado para fornecer uma medida do grau de autossimilaridade de processos de tráfego.

A fim de alcançar uma modelagem de tráfego ainda mais realista, levando em conta propriedades multi-escalas, bem como fornecer uma descrição robusta do comportamento local de tráfego das redes modernas, a teoria multifractal foi adaptada e utilizada para a construção de novos modelos de tráfego de rede. Modelagem de tráfego multifractal tem obtido um sucesso considerável, devido à sua robustez teórica, versatilidade e capacidade de generalização. Alguns modelos multifractais bem conhecidos e utilizados para modelagem moderna rede de tráfego são: VVGM [5], VSCM [10], MWM [11], AWMM [12], e mbm [13]. Sem dúvida, esses modelos fornece uma descrição mais precisa dos fluxos de tráfego e contribuem para a melhoria de projetos de ferramentas em simulação de redes.

O objetivo principal deste trabalho é obter e avaliar a banda efetiva para fonte de dados em um modelo multifractal proposto em nossos trabalhos anteriores [14][15]. A construção desse modelo está baseada em uma nova cascata

multiplicativa conservativa binomial, cujos multiplicadores são determinados por uma equação do Binômio de Newton. A principal vantagem desse modelo é a sua elevada capacidade de captura as principais propriedades multifractais representadas pelas correspondentes, função de escala e fator de momento. Portanto, esse trabalho, também pretende validar esse novo modelo de tráfego multifractal, comparando a eficiência da expressão da banda efetiva derivada, com os outros bem estabelecidos na literatura.

O trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção II é apresentada uma breve descrição do modelo multifractal proposto em [14][15]. Na Seção III será mostrado em detalhes a derivação da expressão da banda efetiva. Na seção IV é fornecido um breve resumo de outros métodos de estimação de banda efetiva utilizados para a investigação experimental. A Seção V é dedicada para a apresentação e comparação dos resultados experimentais obtidos. Finalmente na Seção VI as conclusões são apresentadas.

II. MODELO DE TRÁFEGO MULTIFRACTAL

O modelo de tráfego multifractal utilizado nesse trabalho foi proposto em nossos trabalhos anteriores [14][15], porém nessa seção o modelo será apresentado de forma resumida, mas com detalhes suficientes para entender as sessões seguintes.

Definição 1: Um processo estocástico $X(t)$ é chamado multifractal se possui incremento estacionário e satisfaz a seguinte equação:

$$E(|X(t)|^q) = c(q)t^{\tau(q)+1} = c(q)t^{\tau_0(q)} \quad (1)$$

para valores positivos $q \in \mathbb{Q}$, $[0,1] \subseteq \mathbb{Q}$, onde $\tau(q)$ e $c(q)$ são chamados respectivamente de função escala e fator de momento, independentes de t . A função $\tau(q)$ também é chamada de função de escalonamento de processo multifractal ou função de partição. Trata-se de uma função côncava com $\tau(0) = -1$ [16].

A. Cascata Multiplicativa

Definição 2: Cascata Multiplicativa é um processo em que um dado conjunto é dividido em porções sucessivamente menores obedecendo a uma regra geométrica, a distribuição dos pontos é produzida através de um processo aleatório iterativo e multiplicativo.

A.1. Cascata Multiplicativa Binomial Proposta

Baseado na Definição 2, a cascata multiplicativa Binomial proposta distribui massa de acordo com a expressão do Binomial de Newton $\binom{2^N}{k}(x)^{2^N-k}(1-x)^k$, onde N é um inteiro positivo que representa o número de estágios da cascata e $k = 0, 1, \dots, 2^N - 1$. Sem perda de generalidade, considera-se um intervalo inicial $I = [0,1]$, e x uma variável aleatória real com distribuição uniforme no intervalo $[0,1]$. No N -ésimo estágio da cascata, aplica-se o fator de ponderação a seguir para o primeiro subintervalo:

$$W_{\substack{00\dots0 \\ N \text{ dígitos}}} = (x)^{2^N} + (1-x)^{2^N} \quad (2)$$

Enquanto que para os demais subintervalos os fatores de ponderação são os seguintes:

$$W_{\eta_1 \dots \eta_N} = \binom{2^N}{i} (x)^{2^N-i} (1-x)^i \Big|_{i=1, \dots, 2^N-1} \quad (3)$$

onde $\eta_1 \dots \eta_N$ são a representação binária do número decimal i , também utilizado para designar o correspondente

subintervalo no N -ésimo estágio da cascata. Como consequência, é fácil de ver que a cascata proposta conserva massa na média.

Para obter o k -ésimo estágio da cascata, cada subintervalo do estágio $k-1$ é dividido em dois intervalos de comprimentos iguais. Assim, no k -ésimo estágio da cascata, a medida da massa para o primeiro intervalo $I_k = [0, 2^{-k}]$ é igual a:

$$\mu[I_k] = \mu[0, 2^{-k}] = \mu[I_{k-1}] W_{\substack{00\dots0 \\ k \text{ dígitos}}} = \mu[0, 2^{-k+1}] W_{\substack{00\dots0 \\ k \text{ dígitos}}} = \mu[0, 2^{-k+1}] \left[(x_{k-1})^{2^k} + (1-x_{k-1})^{2^k} \right] \quad (4)$$

E para os demais intervalos tem-se:

$$\mu[I_k] = \mu[I_{k-1}] W_{b_1 b_2 \dots b_k} = \mu[I_{k-1}] \binom{2^k}{i} (x_{k-1})^{2^k-i} (1-x_{k-1})^i \Big|_{i=1, \dots, 2^k-1} \quad (5)$$

Nota-se que as variáveis aleatórias x_0, x_1, x_2, \dots , são independentemente e identicamente distribuídas (i.i.d.) distribuídas uniformemente em $[0,1]$.

Seja Δt_k , denotando o comprimento de cada subintervalo do k -ésimo estágio da cascata. Assim, o processo multifractal obtido $\{\mu(\Delta t_k)\}_{k=1}^{2^N}$ terá no estágio i da cascata e no intervalo diádico de comprimento $\Delta t_k = 2^{-k}$ que começa em $t = 0$. $\eta_1 \eta_2 \dots \eta_k = \sum_{i=1}^k \eta_i 2^{-i}$, a medida μ :

$$\mu(\Delta t_k) = R(\eta_1)R(\eta_1 \eta_2) \dots R(\eta_1 \dots \eta_k) \quad (6)$$

onde $0 < R(\eta_1 \dots \eta_i) < 1$ e i indica o nível da cascata.

Considerando que os multiplicadores são independentes e identicamente distribuídos (i.i.d.), pode-se demonstrar que a medida μ satisfaz a relação de escala [16].

$$E(X(\Delta t_k)^q) = (E(R^q))^k = \Delta t_k^{-\log_2 E(R^q)} \quad (7)$$

que define um processo multifractal com função de escala $\tau(q) = -\log_2 E(R^q)$.

A.2. Capturando as Características Multifractais

A partir da Definição 1, a modelagem de tráfego multifractal consiste na determinação da função escala $\tau(q)$ e do fator momento $c(q)$. Isso pode ser obtido pelo produto de uma cascata e uma variável aleatória i.i.d. positiva Y (fatores de baixa e alta frequência [17]). Mais especificamente, o modelo multifractal resultante pode ser interpretado como o produto da taxa de pico do fluxo Y , pela medida de rajada $\mu(\Delta t_N)$ na escala de tempo aplicada Δt_N . A variável Y é independente da medida da cascata $\mu(\Delta t_k)$, então a série obtida denotada por $X(\Delta t_N)$ satisfaz a seguinte equação:

$$E((X\Delta t_N)^q) = E(Y^q)E(\mu(\Delta t_N)^q) = E(Y^q)\Delta t_N^{\tau_0(q)} \quad (8)$$

Analisando a Equação (8) junto à definição de processos multifractais, Equação (1) pode observar que as variáveis R e Y devem ser relacionadas com $\tau(q)$ e $c(q)$ respectivamente como:

$$\begin{cases} -\log_2(E(R^q)) = \tau_0(q) \\ E(Y^q) = c(q) \end{cases} \quad (9)$$

A função de escala $\tau(q)$ pode ser precisamente modelada assumindo que R é uma variável aleatória em $[0,1]$ com distribuição beta, Beta (α, β) . A distribuição beta é uma distribuição de probabilidade contínua definida no intervalo $[0,1]$ parametrizado por dois valores positivos, geralmente denotados por α e β . A densidade da distribuição beta é adequada na modelagem de proporções, devido ao seu domínio (o intervalo $[0,1]$) e também pela variedade de forma que a densidade pode assumir, de acordo com os valores

especificados de α e β . Assim, a função $\tau_0(q) := \tau(q)+1$ relacionada à função de escala $\tau(q)$, pode ser explicitamente escrita como [14][15]:

$$\tau_0(q) = \log_2 \frac{\Gamma(\alpha+\beta)\Gamma(\alpha+q)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\alpha+\beta+q)} \quad (10)$$

onde $\Gamma(\cdot)$ corresponde à função Gamma.

Em [17] conjecturou, no entanto, [18] provou que a variável aleatória Y , (fator de alta frequência) tem distribuição lognormal definida por dois parâmetros m e v , (média e variância do tráfego respectivamente), portanto, possuindo momento $E(Y^q) = e^{mq+v^2q^2/2}$. Consequentemente o fator de momento $c(q)$ para o processo é dado por [14] e [15]:

$$c(q) = e^{mq+v^2q^2/2} 2^N (\log_2 \frac{\Gamma(\alpha+\beta)\Gamma(\alpha+q)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\alpha+\beta+q)}) \quad (11)$$

Dessa forma, analisando-se as equações (10) e (11), verifica-se que o modelo multifractal proposto é caracterizado por apenas quatro parâmetros (α, β, m, v) e a média e a variância desse processo de tráfego estão relacionados com os parâmetros do modelo, respectivamente, da seguinte forma:

$$E[X(t)] = e^{m+v^2/2} \quad (12)$$

$$\text{var}[X(t)] = e^{2m+2v^2} 2^{2N} \left(\frac{(\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)}{(\alpha+1)\alpha} \right)^N e^{2m+v^2} \quad (13)$$

III. PROPOSTA PARA ESTIMAÇÃO DE BANDA EFETIVA

Outra forma para caracterizar um processo multifractal é através da sua função local, conhecida como, expoente de Hölder [19]. O expoente Hölder também pode ser interpretado como uma generalização de um parâmetro de escalonamento global de um processo fractal, conhecido como parâmetro de Hurst. Frequentemente se assumia que os fluxos de tráfego possuíam apenas características monofractal, a fim de tornar a análise de filas mais simples, ou seja, adotando um parâmetro de modelo simplificado de tráfego para as chegadas de tráfego multifractais.

Seja $X(t)$ um processo autossimilar com parâmetro de Hurst H , com média zero e variância σ^2 de forma que a seguinte relação é válida:

$$\log\{\text{var}[X^m]\} = (2H - 2)\log\{m\} + \log\{\sigma^2\} \quad (14)$$

onde m é o parâmetro de agregação [20]. Em particular, isso foi mostrado em [15], de forma que para o processo de cascata proposto, pode-se obter a seguinte expressão:

$$\log_2\{\text{var}[X^m]\} = \log_2\{e^{2m+2v^2}\} + \left\{ \log_2 \left(\frac{\alpha(\alpha+1)}{(\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)} \right)^N \right\} + \left\{ \log_2 \left(\frac{\alpha(\alpha+1)}{(\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)} \right)^{-\log_2 m} \right\} \quad (15)$$

em termo dos parâmetros do modelo multifractal proposto α, β, m, v .

Comparando a Equação (15) com (14), pode-se estabelecer a seguinte igualdade:

$$\log\{m\}(2H - 2) = -\log\{m\} \log_2 \left(\frac{\alpha(\alpha+1)}{(\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)} \right) \quad (16)$$

Portanto,

$$H_{EG} \triangleq H = 1 - \frac{1}{2} \log_2 \left(\frac{\alpha(\alpha+1)}{(\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)} \right) \quad (17)$$

Na Equação (17) foi definido o parâmetro global H_{EG} para o processo multifractal de tráfego, similar ao parâmetro de Hurst H no caso monofractal. Para maiores detalhes ver [15]. Assim, considerando que existe um parâmetro de escala global para o processo multifractal, dado pela Equação (17), em seguida será derivado uma expressão analítica para a

estimação de banda efetiva em termos dos parâmetros do modelo multifractal proposto.

Seja $X(t)$ o processo de chegada do modelo multifractal proposto, com escala global dada por H_{EG} . Assumindo o número de estágio N na geração da cascata proposta grande, utilizando as estatísticas do modelo fBm (*fractional Brownian motion*), pode-se expressar a média como $E[X(\delta)] = \mu\delta$ e a variância como $\text{var}[X(\delta)] = \sigma^2\delta^{2H_{EG}}$. A função geradora de momento de $X(t)$ em termos dos parâmetros θ e δ é [21]:

$$G(\theta, \delta) = \left(e^{\mu\delta\theta + \frac{\sigma^2\delta^{2H_{EG}}\theta^2}{2}} \right) \quad (18)$$

Com isso a banda efetiva pode ser expressa como:

$$e_{b_x}(\theta, \delta) = \frac{1}{\theta\delta} \log G(\theta, \delta) \quad (19)$$

Substituindo a relação (18) em (19), tem-se:

$$e_{b_x}(\theta, \delta) = \frac{1}{\theta\delta} \log \left(e^{\mu\delta\theta + \frac{\sigma^2\delta^{2H_{EG}}\theta^2}{2}} \right) \quad (20)$$

Com isso,

$$e_{b_x}(\theta, \delta) = \frac{1}{\theta\delta} \mu\delta\theta + \frac{\sigma^2\delta^{2H_{EG}}\theta^2}{2} = \mu + \frac{\theta\sigma^2}{2} \delta^{2H_{EG}-1} \quad (21)$$

Portanto

$$e_{b_x}(\theta, \delta) = \mu + \frac{\theta\sigma^2}{2} \delta^{2 - \log_b \left(\frac{\alpha(\alpha+1)}{(\alpha+\beta)(\alpha+\beta+1)} \right) - 1} \quad (22)$$

onde θ representa a taxa de decaimento exponencial assintótica da distribuição do tamanho da fila e δ e a escala de tempo.

IV. OUTROS MÉTODOS PARA ESTIMAÇÃO DE BANDA EFETIVA

A. Banda Efetiva de Norros

Em [2], Norros propõe uma expressão para o cálculo de banda efetivas considerando as características autossimilar do tráfego caracterizados como processos fBm, de forma que a banda efetiva (BE) é dada por:

$$\alpha = m + K(H) \sqrt{-2\ln(P_{loss})}^{1/H} \frac{1}{a^{2H} b^{-(1-H)/H} m^{2H}} \quad (23)$$

onde m representa a taxa média do tráfego (*bit/s*), $K(H) = H^H(1-H)^{1-H}$, a é o coeficiente de variância, P_{loss} é a probabilidade de transbordo do *buffer*, H é o parâmetro de Hurst e b é o tamanho do *buffer*.

Como se pode observar na Equação (23) a banda efetiva proposta por Norros leva em consideração a autossimilaridade através do parâmetro de Hurst, dessa forma é uma alternativa apropriada para tráfego com longa dependência (LRD), produzindo melhores estimativas de banda para o caso de *buffer* grande. Para maiores detalhes ver [2].

B. Banda Efetiva Empírica

A banda efetiva estimada pela Equação (24) proposta em [3] conhecida como banda efetiva Empírica não assume um modelo de fluxo de tráfego específico.

$$\alpha(s, t, N) = \frac{1}{st} \log \hat{E}_{N_t} [e^{sX(0,t)}] \quad 0 < s; 0 < t < N_t \quad (24)$$

onde $X(0, t)$ indica o número agregado de chegadas de dados dentro de um intervalo de tempo t e $\hat{E}_{N_t} [e^{sX(0,t)}]$ é a função geradora de momento medida para a série de tráfego com N_t amostras. Para processos de Poisson e On - Off, as bandas efetivas empíricas são muito próximas de suas respectivas bandas efetivas analíticas. Para maiores detalhes ver [3].

C. Banda Efetiva de Kesidis

Em [4] Kesidis et.al. mostra a existência de banda efetiva para fluidos de markov Multi-classe e outros tipos de fontes que são usados por modelos de tráfego ATM. Para ser mais preciso, os autores mostraram que, quando tais fontes compartilham um *buffer* com taxa de serviço determinística, uma compressão na distribuição da ocupação do *buffer* é linear em relação ao número de fontes, isto é, para uma probabilidade de perda pequena pode-se supor que cada fonte transmite a uma taxa fixa chamada banda efetiva.

Dessa forma, considerando m a taxa média de chegada do tráfego, $s = \ln(P_{loss}/B)$, P_{loss} é a probabilidade de estouro do *buffer* e B é o tamanho do *buffer*. A banda efetiva é dada por:

$$BE = m \frac{e^s - 1}{s} \tag{25}$$

Para maiores detalhes ver [4].

D. Banda Efetiva de Krishna

Em [5] Krishna et. al. propuseram uma expressão para o cálculo de banda efetiva baseado no modelo multifractal VVGM [5]. Eles também consideram que o tráfego pode ser caracterizado como processos fBm, de forma que a banda efetiva (BE) é dada em função dos parâmetros θ e δ por:

$$BE = m + \frac{\theta\sigma^2}{2} \delta^{(2H_{eff}-1)} \tag{26}$$

onde m é a taxa média de chegada do tráfego σ^2 é a variância do tráfego, e H_{eff} é o parâmetro de escala global do modelo VVGM. Para maiores detalhes ver [5].

V. TESTES EXPERIMENTAIS

Nesta seção, será avaliada a eficiência do método proposto na estimativa banda efetiva. Em vez de se obter uma estimativa de largura de banda única e estática para uma série de tráfego, foi gerado um mecanismo de atribuição de banda efetiva dinâmica. Em outras palavras, a estimativa ocorre de forma instantânea usando amostras de tráfego apenas no interior de uma janela deslizante de tempo e aplicando como a atual taxa de transmissão do servidor.

Três séries de tráfego reais foram utilizadas nas simulações: Uma série de tráfego TCP/IP denominada “lbl_tcp_3” [22], um fluxo de tráfego de vídeo denominado “The Simpsons” [23] (vídeo em alta qualidade), e uma série de tráfego de uma rede sem fio, coletada durante a conferência do ACM SIGCOMM08 [24] e que será denominada por “Sigcomm08”. Foram consideradas amostras de tráfego em escalas temporais de agregação, onde os traços de tráfego apresentam características multifractais [25].

A Tabela I apresenta algumas informações estatísticas (média, variância e número de amostras) das três séries de tráfegos utilizadas nos experimentos.

TABLE I MÉDIA, VARIÂNCIA, Nº AMOSTRAS

Série de Tráfego	Média	Variância	Nº amostras
lbl_tcp_3	136.3555	5.7062x10 ⁴	1.789.995
The Simpsons	6.5137x10 ³	7.2420x10 ⁶	30.334
Sigcomm08	451.9165	2.3723x10 ⁵	1.358.782

Para fins de comparação de desempenho, também será avaliado o sistema de fila usando as quatro estimativas de banda efetiva descritas na seção anterior: a banda efetiva proposta por Norros [2], a banda efetiva empírica proposta por [3], a banda efetiva proposta por Kesidis [4], e a banda efetiva proposta por Krishna [5].

A Tabela II apresenta os valores do parâmetro de escala global obtidos pelo método de modelagem proposto e compara com os parâmetros de Hurst estimado através do estimador Whittle [26] para os três traços de tráfego citados (lbl_tcp_3, The Simpsons e Sigcomm08). Pode ser visto que numericamente os dois parâmetros de escala global estão muito próximos. Como um resultado, o parâmetro de escala global H_{EG} pode ser visto como uma medida alternativa para a autossimilaridade.

TABLE II HURST E PARÂMETRO GLOBAL

Série de Tráfego	Parâmetro de Hurst - H Estimador de Whittle	Parâmetro de Escala Global H_{EG}
lbl_tcp_3	0.8420	0.8691
The Simpsons	0.7130	0.7262
Sigcomm08	0.7650	0.7567

A Figura 1 mostra valores da banda efetiva necessária utilizando a Equação (22) e também os outros métodos citados para a série de tráfego lbl_tcp_3, considerando uma probabilidade de perda 10⁻⁶ no desempenho do sistema, tamanho de *buffer* igual a 64Kbytes e uma janela de tempo de deslizante de 500 amostras de tráfego. Observa-se que o método proposto supera as outras abordagens requerendo a menor taxa de serviço.

Vale ressaltar que o método proposto por Kesidis et.al. [4] está baseado na modelagem de tráfego markoviana, e é um fato bem conhecido que a modelagem markoviana não pode representar completamente o tráfego com características multifractais [9]. Como resultado, a banda efetiva baseadas em processos Markovianos pode ser demasiadamente conservadora.

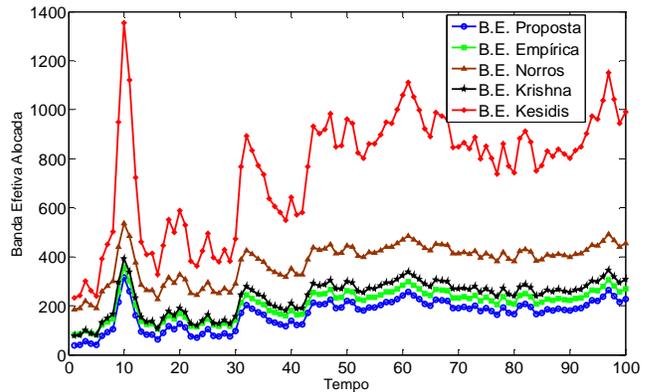


Fig. 1: Banda Efetiva Alocada para a Série de Tráfego lbl_tcp_3.

A Figura 2 mostra as curvas de desempenho para a série de tráfego de vídeo (“The Simpsons”), considerando-se uma probabilidade de perda 10⁻⁶ no desempenho do sistema, tamanho do *buffer* igual a 32Kbytes e uma janela de tempo deslizante de 100 amostras de tráfego. E resultados similares também são observados.

A Figura 3 mostra as curvas de desempenho para a série de tráfego sem fios (Sigcomm08), foi considerada uma probabilidade de perda 10⁻⁶ no desempenho do sistema, o tamanho do *buffer* igual a 64Kbytes e uma janela de tempo de deslizante de 500 amostras de tráfego. Resultados semelhantes são também observados e, mais uma vez, o método proposto apresenta resultados melhores.

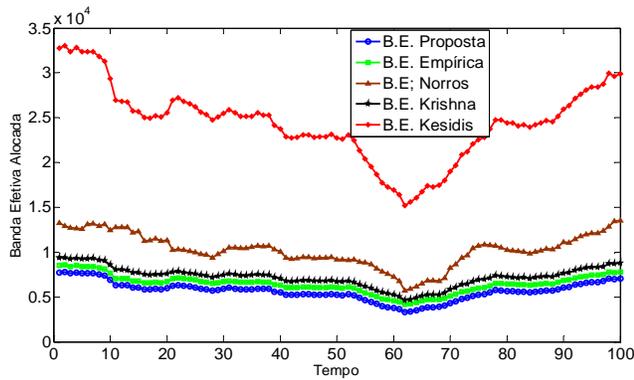


Fig. 2. Banda Efetiva Alocada para a Série de Tráfego de Vídeo.

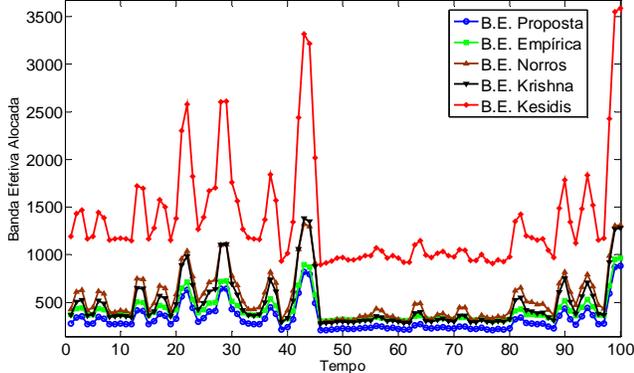


Fig. 3. Banda Efetiva Alocada para a Série de Tráfego de Sigcomm08.

VI. CONCLUSÃO

Nesse artigo, através da derivação de um parâmetro de escala global, baseado no modelo de tráfego multifractal apresentado em nossos recentes trabalhos anteriores, foi possível deduzir uma expressão analítica para a estimação de banda efetiva, que levam em conta as características e comportamentos fractais do tráfego. Testes experimentais validaram a abordagem proposta mostrando seu excelente desempenho em termos de utilização de recursos de rede. Nós também acreditamos que o parâmetro de escala global pode ser usado como uma medida alternativa de tráfego da autossimilaridade.

Para trabalhos futuros, pretende-se investigar o quão eficiente esse parâmetro de escala global é, em comparação com o parâmetro de Hurst. Os resultados dos testes nos encorajam a prosseguir em uma investigação mais aprofundada sobre a expressão da banda efetiva proposta em termos de sensibilidade e robustez com relação à variação de modelagem de tráfego e parâmetros do sistema de filas. Com base nesse novo modelo de tráfego multifractal, bem como as experiências na investigação de banda efetivas adquiridas a partir deste trabalho, novos esquemas de alocação de recursos de rede e controle de admissão, possivelmente em tempo real, será também questões de nossas futuras investigações.

REFERÊNCIAS

- [1] Kelly, F.P. Notes on Effective Bandwidths. In Stochastic Networks. Royal Statistical Society Lecture Notes Series, 4. 141-168 Oxford University Press, 1996.
- [2] Norros, I. On The Use of Fractional Brownian Motion in The Theory of Connectionless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 13(6), 953-962, 1995.

- [3] Tartarelli, S.; Falkner, M.; Devetsikiotis, M.; Lambadaris, I. and Giordano, S. Empirical Effective Bandwidths. In Proc. Of IEEE Globecom'00. San Francisco. 2000.
- [4] Kesidis G., Walrand J. Chang S. Effective Bandwidths for Multiclass Markov Fluids and Other ATM Sources. In: IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 1, No.4, pp.424-428, 1993.
- [5] Krishna, P. M. Gadre, V. M. and Desai, U. B. Multifractal Based Network Traffic Modeling. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, 2003.
- [6] Jin, X. and Min, G. Modelling and Analysis of Priority Queueing Systems with Multi-Class Self-Similar Network Traffic: A Novel and Efficient Queue-Decomposition Approach. In IEEE Transactions on Communications. V.57, pp 1444-1452, 2009.
- [7] Parka, C.; Hernández, F.C.; Le L.; Marron, J.S. Park J.; Pipiras, V. Smith, F.D.; Smith R.L.; Trovero, M. and Zhu, Z. Dependence Analysis of Internet Traffic. Journal of Applied Statistics. Vol 38(7), 2011.
- [8] Shunfu, J. and Wuyi, Y. Performance Evaluation of Self-Similar Traffic in Multimedia Wireless Communication Networks with Power Saving Class Type III in IEEE 802.16e. in IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS), pages 436 - 440, 2010.
- [9] Park, K. and Willinger, W. Self-Similar Network Traffic and Performance Evaluation, John Wiley and Sons, New York, 2000.
- [10] Xu, Z.; Wang, L. and Wang, K. A New Multifractal Model Based on Multiplicative Cascade. Information Technology Journal, 10: 452-456, 2011.
- [11] Riedi, R. H. Crouse, M. S. Ribeiro, V.J. and Baraniuk, R.G. A Multifractal Wavelet Model with Application to Network Traffic. IEEE Transactions on Information Theory. (Special Issue on Multiscale Signal Analysis and Modeling), vol. 45, pp. 992-1018, April 1999.
- [12] Vieira, F.H.T. and Lee L.L. Adaptive Wavelet Based Multifractal Model Applied to the Effective Bandwidth Estimation of Network Traffic Flows. IET Communications. pp. 906 - 919 June 2009.
- [13] Peltier, R. and Véhel, J. L. Multifractal Brownian motion: Definition and Preliminary Results. Technical Report 2695, INRIA, 1995.
- [14] Stenico, J. W. G. and Lee, L.L. Modelagem de Processos Multifractais Baseada em uma Nova Cascata Conservativa Multiplicativa, 10/2011, XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBRT 11, Vol. 1, pp.1-6, Curitiba, PR, Brasil, 2011.
- [15] Stenico, J.W.G. and Lee, L.L. A New Binomial Conservative Multiplicative Cascade Approach for Network Traffic Modeling. In 27th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications - IEEE AINA 2013, Vol. 1 pp. 794-801, March 2013 Barcelona, Spain.
- [16] Fisher, A.; Calvet, L. and Mandelbrot, B.B. Multifractality of Deutschmark/US Dollar Exchange Rates. Yale University, 1997.
- [17] Mandelbrot, B. B. Intermittant Turbulence in Self-Similar Cascades: Divergence of High Moments and Dimension of The Carrier, J. Fluid Mech., vol. 62, no. 331-358, 1974.
- [18] Guivarc'h, Y. (1987), Remarques sur les Solutions d' une Equation Fonctionnelle Non Linéaire de Benoît Mandelbrot, Comptes Rendus (Paris) 305I, 139, 1987.
- [19] Seuret, S. and Lévy-Véhel, J. The Local Holder Function of a Continuous Function, Appl. Comput. Harmon. Anal., 13(3) 263-276, 2000.
- [20] Beran J. Long-Range Dependence Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, Vol 2(1), Pages: 26-35, 2010.
- [21] Duffield, N.G. Application of Large Deviation to Performance Analysis with Long-Range Dependent Traffic. Workshop on Stochastic Modeling and Analysis of Communication Networks, page Slides of Presentation, 1998.
- [22] <http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html>.
- [23] <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/traces.html>
- [24] Schulman, A.; Levin D. and Spring, N. CRAWDDAD Data Set UMD/Sigcomm2008 (v. 2009-03-02), Downloaded from <http://crawdad.cs.dartmouth.edu/umd/sigcomm2008>.
- [25] Riedi, R.H.; Crouse, M.S.; Ribeiro V.J. and Baraniuk, R.G. A Multifractal Wavelet Model with Application to Network Traffic. IEEE Transactions on Information Theory, 1999.
- [26] Karagiannis, T and Faloutsos, M. SELFIS: A Tool For Self-Similarity and Long-Range Dependence Analysis. 1st Workshop on Fractals and Self-Similarity in Data Mining: Issues and Approaches (in KDD) Edmonton, Canada, 2002.