

Alocação Dinâmica de Banda Baseada em Probabilidade de Perda para Tráfego Multifractal

Jeferson Wilian de Godoy Stênio

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC
Avenida Albert Einstein nº 400, CEP 13.083-852, Campinas, SP – Brasil.
Email: jeferson@decom.fee.unicamp.br

Lee Luan Ling

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC
Avenida Albert Einstein nº 400, CEP 13.083-852, Campinas, SP – Brasil.
Email: lee@decom.fee.unicamp.br

Resumo

Neste trabalho, avaliamos uma nova abordagem para alocação dinâmica de banda para a chegada de tráfego multifractal em conexão. Para este fim, inicialmente derivamos uma expressão analítica para estimar probabilidade de perda de *bytes* ocorrendo no servidor baseado em momentos da segunda ordem estatísticas para processos de tráfego multifractal. A fim de tornar o processo de estimação realizável, sem perder a precisão e rapidez, assumimos e demonstramos que um modelo exponencial é adequado para representar a variação do tráfego no âmbito de diferentes processos de escala temporal de agregação. Diversos testes experimentais validam a eficiência e a precisão da estimativa obtida, juntamente com seu superior desempenho para o controle de admissão e a capacidade de alocação de recursos em relação a algumas aproximações já conhecidas e sugeridas na literatura.

PALAVRAS CHAVE. Probabilidade de Perda, Controle de Admissão, Alocação Dinâmica de Banda.

ABSTRACT

In this paper, we evaluate a new dynamic bandwidth allocation approach for multifractal traffic arrivals. For this end, first of all we derive an analytical expression for estimating byte loss probability at a single server queue based on the second order statistics for multifractal traffic processes. In order to make the estimation procedure numerically tractable without losing the accuracy, we assume and demonstrate that an exponential model is adequate for representing the variance of traffic processes under different time scale aggregation. Extensive experimental tests validate the efficiency and accuracy of the proposed loss probability estimation approach, its superior performance for admission control and link resource allocation applications with respect to some well-known approaches suggested in the literature.

KEYWORDS. Loss Probability, Admission Control, Dynamic Bandwidth Allocation.

1. Introdução

As redes de comunicação de dados vêm experimentando um crescimento fenomenal, em termos de volume de tráfego, largura de banda, topologias, protocolos, meios de comunicação e aplicações. Esse crescimento leva a constantes mudanças na natureza do tráfego de rede, requerendo novos modelos matemáticos de tráfego que sejam flexíveis e eficientes para descrevê-los, Vieira, F.H.T. and Lee L.L. (2009), Stênio, J. W. G. and Lee, L.L (2011).

Historicamente, os modelos de tráfego de redes de comunicação de dados baseavam-se quase exclusivamente em modelos Poissonianos ou, mais genericamente, modelos Markovianos. Porém, Leland et al. (1994), e estudos subsequentes demonstraram que o tráfego de diversos tipos de redes de dados exibe propriedades fractais tais como, auto-similaridade, surtos e dependência de longo prazo (LRD), Beran, J. (2010).

Essas novas características detectadas no tráfego exercem forte influência no desempenho das redes, porém continuam sendo inadequadamente modeladas pelos modelos clássicos de Markov ou Poisson.

Em contraste ao bem documentado comportamento auto-similar ou monofractal, estudos sugeriram que o tráfego medido TCP/IP e WAN ATM exibe um comportamento em escala mais complexo, consistente com multifractais, Feldman et al. (1998). Modelos multifractais são uma classe de modelos mais abrangentes que modelos monofractais, e dá uma descrição mais apurada das séries representativas do tráfego de redes. Vieira, F.H.T. and Lee L.L. (2009), Stênio, J. W. G. and Lee, L.L (2011).

A análise multifractal objetiva especialmente o estudo de características diferentes das encontradas quando se assume o comportamento monofractal do tráfego. De forma simplificada, enquanto estudos anteriores investigam o conteúdo de baixas frequências do sinal, a análise multifractal trata estatisticamente do seu conteúdo de altas frequências. Uma das motivações para o estudo de componentes de altas frequências é que em aplicações tais como controle de tráfego, tentar entender grandes e rápidas variações pode ser provar mais crítico do que a busca por correlações de longa duração Duffield, N. G. and O'Connell, N. (1995).

Mesmo quando se levam dependência de longo prazo em consideração, o comportamento de fila esperado pode ser pouco otimista caso não se considere a natureza multifractal do tráfego, Vinay et al.(2000). A eficiência dos mecanismos de controle de admissão de conexão depende de uma caracterização precisa do comportamento da fila, justificando-se assim a utilização de modelos multifractais de tráfego na implementação desses mecanismos.

Neste trabalho, apresentamos uma nova abordagem para estimação de probabilidade de perda em um servidor. Mais precisamente, mostramos como a estimativa é obtida analiticamente assumindo tráfego de entrada multifractal. Com base nesse método analítico, avaliamos as suas potenciais aplicações para controle admissão e alocação dinâmica de banda, especialmente quando tráfego detém características multifractais.

O artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2, apresentamos alguns dos principais conceitos de processos multifractais. Na Seção 3, analisamos os momentos de segunda ordem para os traços de tráfego. Na Seção 4, apresentamos nossa proposta para estimação de probabilidade de perda baseada em teoria de fila. Na Seção 5, realizamos nossa investigação com os seguintes objetivos: (a) avaliação das estimativas de probabilidade de perda obtida, (b) aplicação do método em controle de admissão e (c) descrição de uma nova abordagem de alocação dinâmica de banda. Finalmente na Seção 6, apresentamos nossas conclusões.

2. Conceitos Básicos de Processos Monofractais e Multifractais

A. Processo Monofractal e Multifractal

Processos multifractais caracterizam-se por possuírem momentos cujos comportamentos são não lineares em relação à escala de tempo considerada. Além disso, processos multifractais possuem regularidades locais α_t que dependem de t de forma aleatória.

Inicialmente definiremos um processo monofractal, para em seguida conseguir uma generalização de processos multifractais.

Definição 2.1: Um processo $Z(t)$ é dito monofractal se sua característica multi-escala é descrita pela seguinte relação:

$$Z(ct) \stackrel{d}{=} c^H Z(t) \quad (2.1)$$

onde $0 < H < 1$ e o símbolo $\stackrel{d}{=}$ representa igualdade em distribuição. Por outro lado, a teoria de multifractais generaliza a definição anterior e examina relações multi-escalas mais gerais dadas por:

$$Z(ct) \stackrel{d}{=} M(c)Z(t) \quad (2.2)$$

onde $Z(t)$ e $M(c)$ são processo estocásticos independentes. O fator de escalonamento $M(c)$ é uma variável aleatória cuja distribuição não depende de t . Percebe-se que para processos monofractais, tem-se $M(c) = c^H$. Por analogia, defini-se o índice generalizado $H(c) = \log M(c)$, reescrevendo a equação (2.2) como:

$$Z(ct) \stackrel{d}{=} c^{H(c)} Z(t) \quad (2.3)$$

Em contraste a processos monofractais, o índice $H(c)$ é agora uma função de c , e não mais uma constante. Portanto, se comparados com processos monofractais, processos multifractais permitem uma maior variedade de comportamentos em escala.

Processos multifractais possuem singularidades não isoladas, ou seja, apresentam comportamento singular em quase todos os pontos. Para caracterizar estruturas singulares, é necessário quantificar precisamente a regularidade do processo em cada instante de tempo. O expoente Hölder pontual é a medida mais amplamente utilizada para quantificar a regularidade pontual de sinais. Dessa forma, defini-se o expoente de Hölder pontual da seguinte forma:

Definição 2.2 (Expoente de Hölder Pontual): Seja uma função Z . A função Z é dita pertencer ao conjunto C_x^a caso exista um polinômio P de grau menor que a e uma constante C tal que:

$$|Z(y) - P(y)| < C|y - x|^a \quad (2.4)$$

Então, o expoente Hölder pontual $\alpha(x)$ de Z em x é dado por:

$$\alpha(x) = \text{Sup} \{a : Z \text{ pertença a } C_x^a\} \quad (2.5)$$

O expoente Hölder caracteriza o comportamento local da função Z na vizinhança do ponto x . A partir da Definição 2.2 pode-se deduzir que caso a função $Z(t)$ seja limitada, mas descontínua em x , então, esta função possui $\alpha(x)$ igual a 0 em x . Se o expoente Hölder $\alpha(x) < 1$, então Z é não diferenciável em x , e $\alpha(x)$ caracteriza o tipo de singularidade.

B. O Expoente Hölder e o Tráfego de Redes

Apresentado na Definição 2.2, o expoente de Hölder de um processo em um ponto particular no tempo t_0 está relacionado à regularidade do sinal neste ponto. No contexto de tráfego de redes, tais variações locais são quantificadas a partir do processo de taxa de tráfego, dado pelo número de *bytes* ou de pacotes em um intervalo $[t_0; t_0 + \Delta t]$ de tamanho Δt em t_0 .

O expoente de Hölder α pode ser interpretado como um número real que controla o comportamento multi-escala local de um processo. O tráfego de rede possui comportamento multi-escala local com expoente Hölder $\alpha(t_0)$ no tempo t_0 , se o processo taxa de tráfego comporta-se como $(\Delta t)^{\alpha(t_0)}$ quando $\Delta t \rightarrow 0$. Considerando-se o comportamento do tráfego, percebe-se que quanto mais próximos de zero são os valores de $\alpha(t_0)$, maior é a intensidade dos surtos na região de t_0 . Por outro lado, valores de $\alpha(t_0)$ próximos ou superiores a 1, correspondem a instantes de baixa intensidade de tráfego ou pequenas variações locais.

3. Momentos de Segunda Ordem para Processos Multifractais

Processos com comportamento multi-escala dependem fortemente dos momentos de primeira e segunda ordem. Os momentos de primeira e segunda ordem para um processo multi-escala (multifractal) são dados respectivamente por Riedi et al.(1999).

$$\mu = \lambda T \tag{3.1}$$

$$\sigma^2 \sim \tau^{2\alpha(T)} \tag{3.2}$$

Nota-se pela equação (3.2) que a variância (momento de segunda ordem) de processos multifractais se relaciona com o expoente de Hölder $\alpha(T)$. Para simplificar os cálculos geralmente se assume que os expoentes de Hölder de um processo apresentam uma distribuição normal $N(\tilde{\alpha}, \tilde{\sigma}^2)$ em uma escala de tempo T , onde $\tilde{\alpha}$ e $\tilde{\sigma}^2$ são respectivamente a média e a variância dos expoentes de Hölder Seuret, S. and Lévy-Véhel, J. (2000). Assim, obtemos a seguinte equação para a variância em relação à escala de tempo:

$$\sigma^2 \sim \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\tilde{\sigma}} \exp\left[-\frac{(\alpha-\tilde{\alpha})^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right] T^{2\alpha} d\alpha \tag{3.3}$$

Considerando $z = T^{2\alpha}$, temos que $\alpha = \ln(z)/(2\ln(T))$ e $d\alpha/dz = dz/(2\ln(T)z)$. Então a Equação (8) pode ser reescrita como:

$$\sigma^2 \sim \int_0^{\infty} z \frac{1}{\sqrt{2\pi}(2\ln(T)\tilde{\sigma})z} \exp\left[-\frac{(\ln(z)-(2\ln(T)\tilde{\alpha}))^2}{2(2\ln(T)\tilde{\sigma})^2}\right] dz \tag{3.4}$$

O lado direito da expressão (3.4) nada mais é do que a distribuição log-normal com parâmetros $\omega = 2\ln(T)\tilde{\alpha}$ e $\theta = (2\ln(T)\tilde{\sigma})^2$. Para a distribuição lognormal dada por (3.4), as seguintes equações para a média μ e variância σ^2 de um processo multifractal são válidas:

$$\mu = \exp(\omega + \theta^2/2) \tag{3.5}$$

e

$$\sigma^2 = \exp(2\omega + \theta^2)[\exp(\theta^2) + 1] \tag{3.6}$$

Portanto

$$\omega = \ln(\mu) - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right) \tag{3.7}$$

e

$$\theta = \sqrt{\ln\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)} \tag{3.8}$$

Considerando que os expoentes de Hölder possui distribuição normal, pode ser mostrado que a variância σ^2 é proporcional a $T^{2\tilde{\alpha}}T^{2\tilde{\sigma}^2 \ln(T)}$ Liu N. X. and Baras J. S. (2003). Neste trabalho, utilizaremos uma função exponencial do tipo $f(T) = a \exp(bT)$ para descrever o comportamento da variância σ^2 com a escala de tempo T . Esse tipo de comportamento é constatado para os traços de tráfego analisados, conforme pode ser visto na Figura 1. A Figura 1 mostra a variância versus a escala de tempo T para uma série de tráfego de internet, denominada dec-pkt-3 (<http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html>), assim como a função exponencial obtida utilizando métodos de regressão. Para esta série de tráfego, em termos de erro de modelagem (ao se considerar uma função exponencial), foi obtido um valor pequeno para a raiz do erro quadrático médio (igual a 0.002928). Este fato nos impulsionou a adotar a função exponencial para descrever a variância de um processo multifractal.

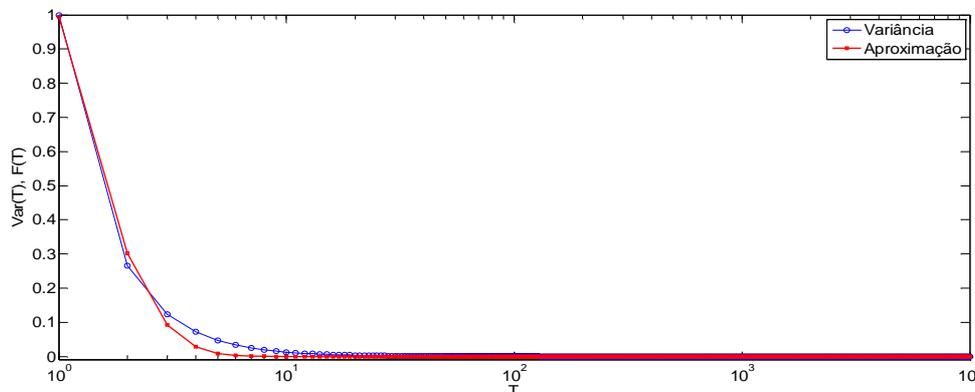


Figura 1- Variância versus Tempo e Função Exponencial Utilizada

Utilizando a função exponencial $f(T) = aexp(bT)$ para a variância σ^2 e substituindo (3.1) em (3.7) e (3.8) temos:

$$\omega = \ln \left[\frac{\lambda T}{(k/\lambda^2)aexp(bT)+1} \right] \quad (3.9)$$

e

$$\theta = \sqrt{\ln((k/\lambda^2)aexp(bT) + 1)} \quad (3.10)$$

onde $k = e^2 [e^{(2 \ln(T)\bar{\sigma})^2} - 1]$.

4. Aproximação para a Probabilidade de Perda Envolvendo Processos Multifractais

Seja $X(t)$ um processo multifractal com distribuição log-normal dada por:

$$f_{X(t)}(x) = \frac{1}{x\theta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\omega)^2}{2\theta^2}} \quad (3.11)$$

onde os parâmetros ω e θ são encontrados através da média e da variância do processo $X(t)$.

Seja $Q(t)$ o comprimento da fila em servidor em um tempo t ; $V(t-t_0) = w(t)-w(t_0)$ a carga de tráfego acumulado no período (t_0, t) e $O(t-t_0)$, a carga deixada em (t_0, t) .

Em uma fila em equilíbrio temos:

$$Q(t_0) + V(t-t_0) = q(t) + O(t+t_0) \quad (3.12)$$

Fazendo $V(t) = 0$ e $Q(t) = 0$ em $t = 0$ e $t_0 = 0$, podemos escrever o comprimento da fila $Q(t)$ como:

$$Q(t) = \max(V(t) - O(t), 0) \quad (3.13)$$

Seja C a taxa de serviço da fila e $I(t)$ o total de servidores inativos até o tempo t .

Com isso temos que:

$$O(t) = C(t - I(t)) \quad (3.14)$$

Sendo $Y(t) = V(t) - Ct$ e substituído (3.14) em (3.13) temos:

$$Q(t) = \max(Y(t) + \Delta(t), 0) \quad (3.15)$$

onde $\Delta(t) = CI(t)$. Esse resultado em conjunto com a lei de probabilidade nos permite escrever a probabilidade de perda na fila como:

$$P_{loss}(t) = P(Q(t) > q) = P(Y(t) + \Delta(t) > q, Y(t) > q) + P(Y(t) + \Delta(t) > q, Y(t) \leq q) \\ P_{loss}(t) = P(Y(t) > q) + P(Y(t) \leq q < Y(t) + \Delta(t)) \quad (3.16)$$

O primeiro termo $P(Y(t) > q)$ é chamado de probabilidade de perda absoluta (P_{abs}) e o segundo termo $P(Y(t) \leq q < Y(t) + \Delta(t))$ a probabilidade oportuna (P_{opp}). Assumindo $Q(t)$ estacionário, e seja $\rho = I - \eta = I - \lambda/C$, usando o resultado de Benes, V. (1963), o segundo termo (P_{opp}) pode ser escrito como:

$$P_{opp}(t) = P(Y(t) \leq q < Y(t) + \Delta(t)) = \rho \int_0^t f_{V(u)}(v) |_{v=Cu+q} du \quad (3.17)$$

A probabilidade de perda absoluta P_{abs} é equivalente a:

$$P_{abs}(t) = P(Y(t) > q) = P(V(t) > Ct + q) = \int_{Ct+q}^{\infty} f_{V(t)}(v) dv \quad (3.18)$$

Então, o comportamento exato da fila em qualquer tipo de tráfego é dado por:

$$P_{loss}(t) = \int_{Ct+q}^{\infty} f_{V(t)}(v) dv + \rho \int_0^t f_{V(u)}(v) |_{v=Cu+q} du \quad (3.19)$$

A primeira integral da expressão acima pode ser escrita como:

$$P_{abs}(t) = \int_{Ct+q}^{\infty} f_{V(t)}(v) dv = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(Ct+q) - \omega(t)}{\sqrt{2\theta(t)}} \right] \quad (3.20)$$

Dessa forma, mostramos que a probabilidade de perda em regime permanente pode ser dada por:

$$P_{steady} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{loss}(t) = \rho \sup_{t > 0} \left\{ \rho \int_0^t f_{V(u)}(v) |_{v=Cu+q} du \right\} \quad (3.21)$$

Como um processo multifractal apresenta distribuição lognormal, a probabilidade de perda para processos multifractais em uma fila pode ser dada por:

$$P_{steady} = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{1}{x \theta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x) - \omega)^2}{2\theta^2}} |_{x=Cu+q} du \quad (3.22)$$

Note que as variáveis ω e θ podem ser dadas pelas equações (3.9) e (3.10) para séries de tráfego multifractais. Assim, substituindo as equações (3.9) e (3.10) em (3.22), obtemos a equação procurada para a probabilidade de perda, ou seja:

$$P_{steady} = \left(1 - \frac{\lambda}{C}\right) \int_0^{\infty} \frac{\exp\left[\frac{-[\ln((Cx+q)\sqrt{(k/\lambda^2)a \exp(bx)+1}) - \ln(\lambda x)]^2}{2 \ln((k/\lambda^2)a \exp(bx)+1)}\right]}{\sqrt{2\pi \ln((k/\lambda^2)a \exp(bx)+1)}(Cx+q)} dx \quad (3.23)$$

5. Investigações Experimentais

Nesta seção analisamos a estimativa para a probabilidade de perda proposta, apresentamos um método de controle de admissão de tráfego e alocação dinâmica dos recursos.

A. Estimativa para Probabilidade de Perda:

A Tabela I resume as configurações do sistema (capacidade do servidor e tamanho do *buffer*) de um único servidor de utilizado na simulação.

Tabela I: Configuração do Sistema

Traço de Tráfego	Capacidade do Servidor (<i>Bytes/s</i>)	Tamanho de <i>Buffer</i> (<i>Bytes</i>)
lbl_pkt_5	1.4 x 10 ⁴	3 x 10 ⁴
dec_pkt_1_40	12 x 10 ⁵	3 x 10 ⁵

A Tabela II compara a probabilidade de perda estimada (em *bytes*) para os traços de tráfegos da tabela I. Calculamos a probabilidade de perda de *bytes* em um simples servidor alimentado por essas séries de tráfego através dos seguintes métodos: (Duffield) Duffield N.G. and O'Connell, N. (1995), *Multiscale Queue* (MSQ) e *Critical Dyadic Time-Scale Queue* (CDTSQ) Vinay et al.(2000).

É evidente que o método analítico proposto fornece uma estimativa mais fiel entre elas, como ilustrado na Tabela II.

Tabela II: Probabilidade de Perda

Traço de Tráfego	lbl_pkt_5	dec_pkt_1_40
Simulação	2.45x10 ⁻⁴	4.08x10 ⁻⁵
Duffield	1.92x10 ⁻²³	8.09x10 ⁻¹⁵
Proposto	1.52x10 ⁻⁴	4.32x10 ⁻⁵
MSQ	2.18x10 ⁻⁷	1.20x10 ⁻⁷
CDTSQ	1.04x10 ⁻⁷	7.20x10 ⁻⁸

A Figura 2 compara como as estimativas de probabilidade de perda variam em função do tamanho do *Buffer* (para o tráfego traço *lbl_pkt_5*). Novamente, a abordagem proposta revela consideravelmente melhores desempenhos.

Apresentamos na Figura 3, a probabilidade de perda em regime permanente em função da capacidade do servidor. Como pode ser visto nestas figuras, obtemos novamente resultados mais precisos do que as abordagens de Duffield, MSQ e CDTSQ.

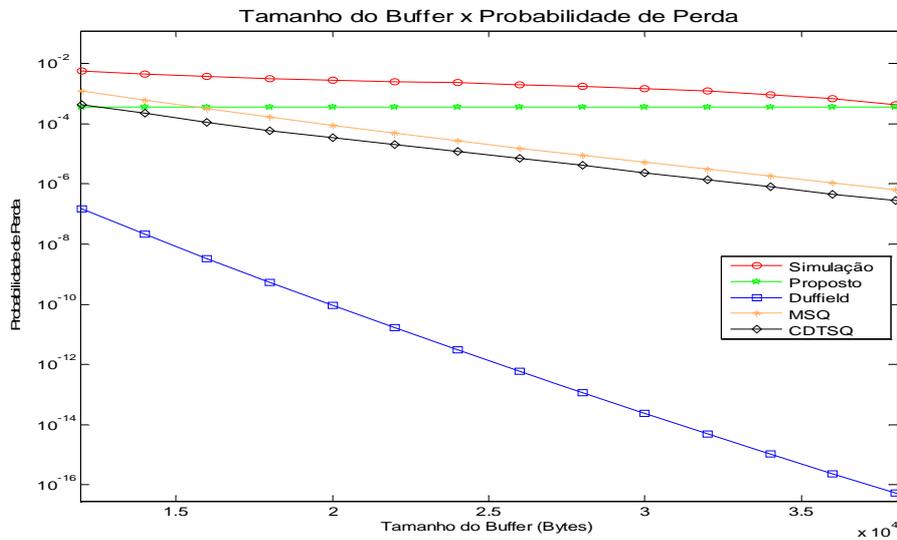


Figura. 2. Tamanho do Buffer versus Probabilidade de Perda para a Série de Tráfego lbl_pkt_5

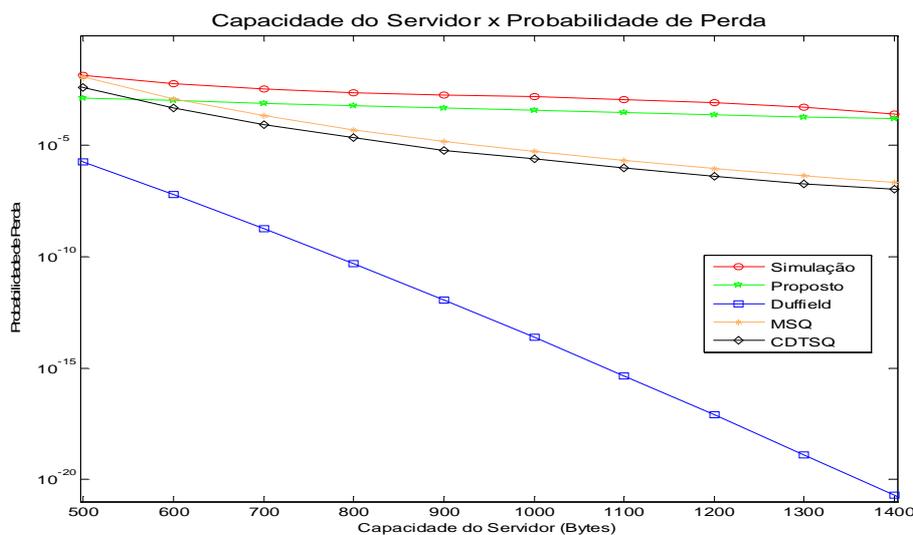


Figura. 3. Capacidade do Servidor versus Probabilidade de Perda para a Série de Tráfego lbl_pkt_5

B. Controle de Admissão para Tráfegos de Rede Multifractal

Nesta seção, avaliamos o potencial de aplicação da proposta de probabilidade de perda, comparar seu desempenho com alguns algoritmos de controle de admissão existentes na literatura, tendo em conta as características multifractal do tráfego.

O nosso método de avaliação consiste em calcular a probabilidade de perda de entrada de dados de tráfego estimado em conexões através da Equação (3.23) e, em seguida, tomar a decisão de aceitação ou rejeição das conexões, baseado na análise da probabilidade de perda. Para isso alguns parâmetros de tráfego devem ser estimados antecipadamente, incluindo a taxa média de tráfego (λ), os coeficientes a e b da função exponencial utilizada na aproximação da variância do tráfego. Para a finalidade de avaliar a potencialidade da proposta de controle de

admissão, assumimos os valores de parâmetro são conhecidos a priori. Assim, como a capacidade do servidor (C) e o tamanho do *buffer* (q), um fluxo de tráfego será aceito se a probabilidade de perda estimada P_{steady} não ultrapasse um determinado limiar.

Nas nossas simulações, diferentes tipos de séries de tráfego foram utilizados, incluindo tráfego TCP/IP, vídeo e tráfego sintético multifractal. Um conjunto de três simulações foram realizados. Para o primeiro experimento, dez traços de tráfego TCP/IP foram envolvidos (nomeadamente, *dec_pkt_2_100*, *dec_pkt_3_100*, *dec_pkt_3_512*, *lbl_tcp_3*, *lbl_pkt_4_100*, *lbl_pkt_5_100*, *lbl_pkt_4_512*, *lbl_pkt_5_512*, *BC_pAug89_200*, *BC_pAug400*). Cada um desses traços de tráfego contém 7.000 amostras com tamanho variado de pacotes. No experimento 2, alguns traços de tráfego sintéticos foram gerados usando FRACLAB, (<http://complex.futurs.inria.fr/FracLab/>), uma toolbox do Matlab. Cada traço de tráfego sintético detém 16.384 amostras. Por último, a terceira experiência de um conjunto de traços de vídeo foi empregada, cada uma com 89,998 amostras, (<http://www.cd.columbia.edu/~hgs/internet/traces.html>).

A Tabela III apresenta as configurações adotadas para cada experimento realizado. Em cada experimento, variou a entrada de fluxo de tráfego através da agregação de certo número de traços de tráfego. O principal objetivo desta manipulação é a de determinar o grau de qualidade de serviço, em termos de probabilidade de perda, uma conexão pode ser concedida a um fluxo de tráfego obtido a partir da agregação de diferentes traços individuais de tráfego. O número de série tráfego envolvidos na agregação varia de 1 a 11.

Tabela III Configuração do Sistema

Traços de Tráfego	Capacidade do Servidor (<i>Bytes/s</i>)	Tamanho do <i>Buffer</i> (<i>Bytes</i>)
TCP/IP(Várias Séries)	5×10^4	7×10^5
Sintético Multifractal	1×10^4	4×10^4
Vídeo	3×10^4	4×10^4

As Figuras 4, 5 e 6 resumem os resultados da nossa investigação experimental, comparando a proposta de controle de admissão (designa por "Proposta") por alguns métodos bem conhecidos na literatura ("MVA" e "Perda Virtual"), bem como as três diferentes conexões usada nas simulações para definir os dados de tráfego indicados na Tabela III (TCP/IP (várias séries), sintéticas Multifractal, e vídeo, respectivamente). O modelo MVA de controle de admissão baseado na máxima variância, assumindo que o tráfego tem característica gaussiana Knightly, E. and Shroff, N. (1999). Perda Virtual descrito em Tutomu et al. (1997) o controle de admissão está baseado na razão do excesso de tráfego pela utilização do tráfego, vide Tutomu et al. (1997) para mais detalhes.

Cada figura mostra a probabilidade de perda em função do número de série agregada de tráfego, ou seja, número de série do tráfego (i) indica que o fluxo de tráfego de entrada na fila foi obtido a partir da agregação de (i) traços de tráfego que, em todos os casos, são distintos. Notavelmente a probabilidade de perda estimada a partir do cálculo proposto é fielmente aos obtidos a partir da simulação, consideravelmente muito mais precisas do que aquelas obtidas a partir de aplicação dos métodos MVA e da Perda Virtual. Este resultado é observado para todos os experimentos que envolviam diferentes tipos de dados de tráfego.

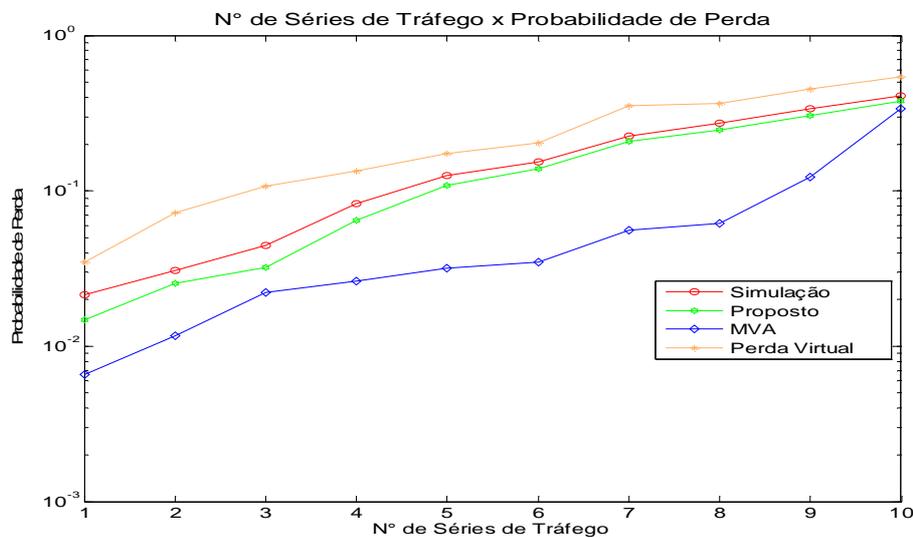


Figura 4. Comparação do Desempenho dos Traços Agregados TCP/IP Com Várias Características Estatísticas

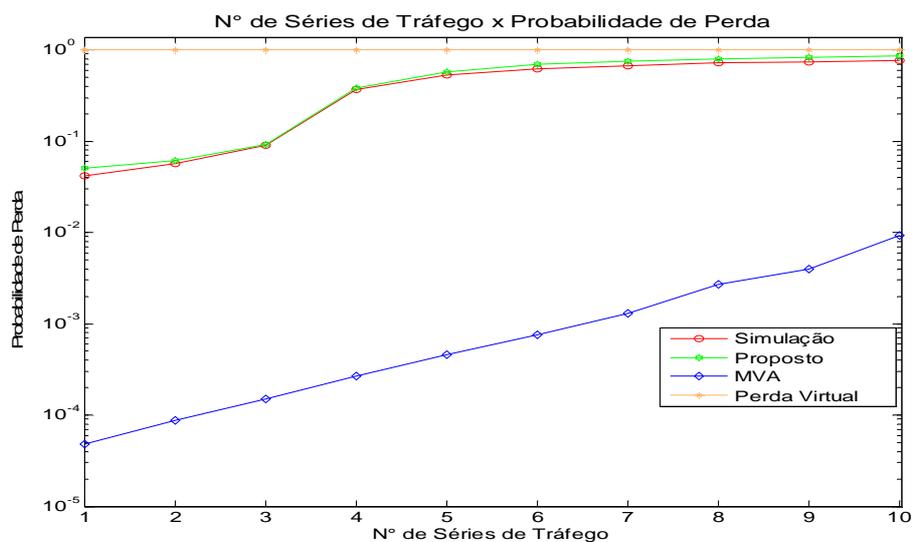


Figura 5. Comparação do Desempenho dos Traços Agregados Sintéticos Multifractais Com Várias Características Estatísticas

C. Alocação Dinâmica de Banda

O mecanismo de atribuição dinâmica de banda aqui proposto consiste em determinar a necessidade de banda através da expressão (3.23), que relaciona a *QoS* em termos da probabilidade de perda em função da taxa de transmissão. Em outras palavras, para a transmissão dos dados de tráfego no momento da janela (w_{n+1}) faz uso de informação sobre o tráfego proveniente do tráfego de dados da janela do tempo anterior (w_n), tal que a conexão predefinida de *QoS* possam ser satisfeitas. Repare que pode acontecer que duas janelas adjacentes sobreponham-se.

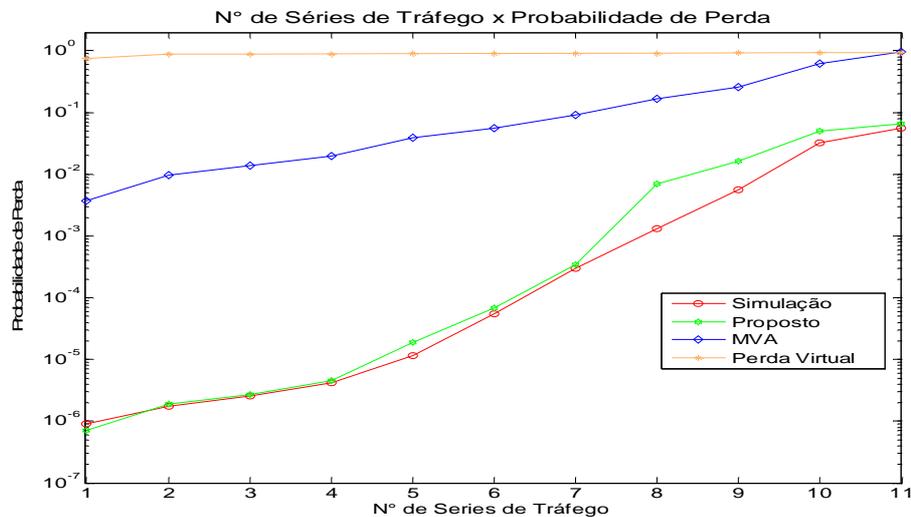


Figura 6. Comparação do Desempenho dos Traços Agregados de Vídeos Com Varias Características Estatísticas

Para efeito de comparação, nós também implementamos: (a) um algoritmo dinâmico baseado na perda virtual Tutomu et al. (1997), (b) um algoritmo numérico que determina com precisão o mínimo de largura de banda para transmitir os dados de tráfego para cada janela e (c) a proposta de recursos dinâmicos de mecanismo de atribuição.

A Figura 7 mostra a taxa de transmissão necessária para transmitir um vídeo tráfego (Jurassic), com tamanho de 500 amostras em cada janela de tempo. Também incluídos na Figura 7 as seguintes informações adicionais: (d) a taxa média do tráfego (para cada janela), (e) a taxa de pico do tráfego (para cada janela), (f) a taxa global necessária para a alocação da abordagem da Perda Virtual; (g) a taxa global necessária para a alocação do método proposto; (h) a taxa global mínima necessária. Observe que nos casos (f), (g) e (h) a taxa estimativa é realizada através de todo traço de tráfego. Do mesmo modo, a Figura 8 comparamos as diferentes dinâmicas de alocação dos recursos para o traço de tráfego Internet BC_pAug89.

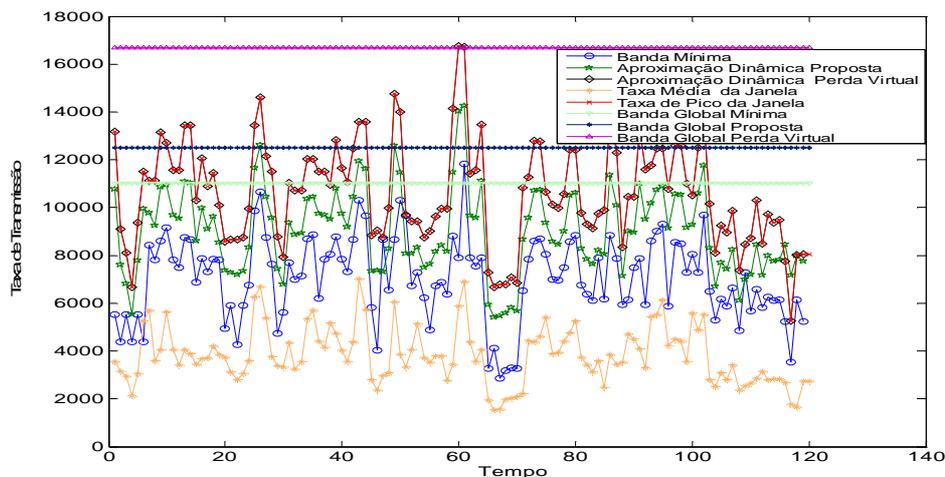


Figura 7. Comparação Entre as Taxas de Transmissão Estimadas a Partir de Diferentes Estratégias de Alocação Dinâmica em um Traço de vídeo (Jurassic).

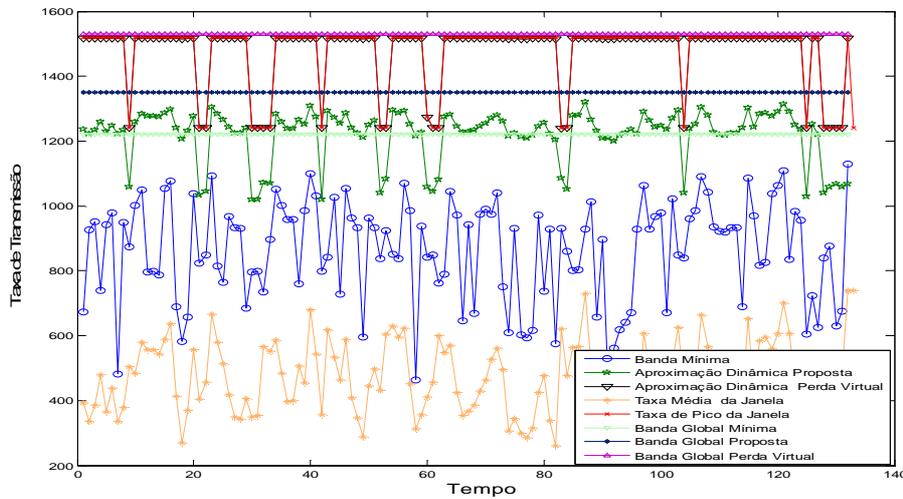


Figura. 8. Comparação Entre as Taxas de Transmissão Estimadas a Partir de Diferentes Estratégias de Alocação Dinâmica em um Traço TCP/IP (BC_pAug89).

A Tabela IV mostra o valor da economia, em termos de banda necessária obtidos na aplicação do mecanismo de atribuição dos recursos propostos dinamicamente no que diz respeito às taxas obtidas a partir de outras abordagens usadas.

Tabela IV Economia obtida

Traço de Tráfego	Estimacão Global da Banda	Aproximao Dinâmica Perda Virtual	Aproximao Global Perda Virtual
Vídeo	27,98%	15,55%	46,09%
BC_pAug89	9,68%	17,23%	20,30%

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho, apresentamos uma expressão analítica para estimar a probabilidade perda em *bytes* de um único servidor fila com chegada de tráfego com características multifractais. Inicialmente, analisamos a teoria relativa a processos multifractais, especialmente o expoente Hlder dos traços de tráfego com características multifractais. Em seguida, focalizamos nossa ateno no momento de segunda ordem para processos multifractais. Mais especificamente, assumimos que um modelo exponencial  adequado para representar a variância do processo de tráfego sob diferentes escala temporal de agregao. Em seguida, compramos o desempenho da abordagem proposta com algumas outras abordagens (por exemplo, métodos monofractal, MSQ (*Multiscale Queue*) e CDTSQ (*Critical Dyadic Time-Scale Queue*), usando os traços de tráfego reais). Em seguida, avaliamos a potencialidade da aplicao do método proposto em relao a controle de admissão, comparando com alguns outros métodos amplamente utilizados no controle de admissão (por exemplo, MVA e Perda Virtual). Por último, apresentamos um mecanismo de alocao dinâmica de banda com base em nossa estimativa de probabilidade de perda. Os resultados da simulao mostram que a proposta de estimativa de perda probabilidade  simples, preciso, com base teórica e a estratégia de controle de admissão, bem como o mecanismo de alocao dinâmica de banda,  robusto e eficiente.

Referências

- Benes, V.** (1963), General Stochastic Processes in Theory of Queues, Reading, MA: Addison Wesley.
- Beran, J.** (2010), Long-Range Dependence Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, Vol 2(1), Pages: 26-35.
- Duffield, N.G. and O'Connell, N.** (1995), Large Deviations and Overflow Probabilities for the General Singles - Server Queue with Applications. N.G. Duffield & Neil O'Connell. Math. Proc. Cam. Phil. Soc., 118, 363-374.
- Feldman, A., Gilbert, A. C. and Willinger, W.** (1998), Data Network as Cascades: Investigating the Multifractal Nature of Internet WAN Traffic. In: Proceeding of the ACM SIGCOMM'98 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communication.
- <http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html> (último acesso 01/03/2012)
- <http://complex.futurs.inria.fr/FracLab/> (último acesso 01/03/2012)
- <http://www.cs.columbia.edu/~hgs/internet/traces.html> (último acesso 01/03/2012)
- Knightly, E. and Shroff, N.** (1999), Admission Control for Statistical QoS: Theory and Practice. IEEE Network, vol.13(2), pp. 20–29.
- Leland, W., Taqqu, M., Willinger, W. and Wilson, D.** (1994), On the self-similar nature of Ethernet traffic (extended version), IEEE/ACM Transactions on Networking, v.2,n.1, pp 1-15,
- Liu, N. X. and Baras, J. S.** (2003), Statistical Modeling and Performance Analysis of Multi-Scale Traffic, Proceedings of Twenty – Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM 2003, pp.1837-1847, San Francisco, CA, USA.
- Riedi, R.H., Crouse, M.S., Ribeiro, V.J. and Baraniuk, R.G.** (1999), A Multifractal Wavelet Model with Application to Network Traffic. IEEE Transactions on Information Theory, v.45(3), p.992-1018.
- Seuret, S. and Lévy-Véhel, J.** (2000), The Local Holder Function of a Continuous Function, Appl. Comput. Harmon. Anal., 13(3) 263-276, 2000.
- Stenico, J. W. G. and Lee, L.L.** (2011), 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.
- Murase, T., Suzuki, H., Sato, S. and Takeuchi, T.** (1997), A Call Admission Control Scheme for ATM Networks Using a Simple Quality Estimate. IEEE Journal on Communications, Vol. 9(9) pp.1461-1470.
- Vieira, F.H.T. and Lee L.L.** (2009), Adaptive Wavelet Based Multifractal Model Applied to the Effective Bandwidth Estimation of Network Traffic Flows. IET Communications, pp. 906 – 919.
- Vinay J. R., Riedi R. H., Crouse M. S., and Baraniuk R. G.** (2000), Multiscale Queuing Analysis of Long-Range-Dependent Network Traffic. Proceeding of IEEE INFOCOM, Tel Aviv, Israel, pp 1026-1035.