

Aplicação de Cálculo de Rede para Estimação de Parâmetros de Qualidade de Serviço em Redes OFDM/TDMA com Policiamento de Tráfego

Josemar Alves dos Santos Junior, Flávio Henrique Teles Vieira e Flávio Geraldo Coelho Rocha

Resumo— Neste artigo, inicialmente propõe-se um algoritmo de policiamento baseado em modelagem multifractal de tráfego, avaliando o seu desempenho em comparação a outros algoritmos. Em seguida, apresenta-se uma abordagem baseada em Cálculo de Rede (*Network Calculus*) para estimação de parâmetros de qualidade de serviço, tais como o tamanho médio da fila (*backlog*) e o retardo (*delay*). Analisa-se esses dois parâmetros em um sistema Wimax simplificado baseado em OFDM/TDMA antes e após a aplicação de algoritmos de policiamento de rede baseados em modelagem de tráfego.

Palavras-Chave— Cálculo de rede, Algoritmos de policiamento, Tráfego de rede.

Abstract— In this paper, we firstly propose a policing algorithm based on multifractal traffic modeling, evaluating their performance in comparison to other algorithms. Then, we present an approach based on Network Calculus, for estimating quality of service parameters, such as mean queue length (*backlog*) and delay. We analyze these two parameters for an OFDM/TDMA based Wimax system before and after the application of the policing algorithms based on network traffic shaping.

Keywords— Network Calculus, Policing algorithms, Network traffic.

I. INTRODUÇÃO

Uma conexão (fluxo de pacotes entrantes na rede) que é admitida deve ser policiada a fim de obrigar que a série de pacotes gerados esteja em conformidade com o perfil de tráfego requerido. Um algoritmo de policiamento destina-se a permitir a entrada de um certo número de pacotes na rede somente se a conexão de fluxo do tráfego estiver bem comportada, ou seja, de acordo com as características estipuladas no contrato de serviço ou desejadas. Caso contrário, pacotes entrantes devem ser descartados ou marcados como baixa prioridade. Neste contexto, mecanismos de policiamento são ferramentas importantes em arquitetura de redes.

Um algoritmo de policiamento obriga o fluxo de entrada $x(t)$ a ter uma saída $y(t)$ que se conforma a um determinado conjunto de taxas de acordo com um processo envelope de tráfego $x(t)$ (série de tráfego), à custa de possivelmente, atrasar bits no *buffer*. A entrada e saída de fluxos acumulados são definidas por Le Boudec [1] como o número de bits visto no fluxo de dados no intervalo de tempo $[0, t]$.

O Cálculo de Rede pode ser visto como a teoria de sistemas que se aplica às redes de computadores, mas a principal diferença desta teoria está ao se considerar outra álgebra, onde

as operações são alteradas da seguinte forma: adição torna-se o cálculo do mínimo e a multiplicação torna-se adição. O Cálculo de Rede pode ser utilizado para estimar recursos a fim de prover qualidade de serviço (QoS-*Quality of Service*) em redes e tem fornecido ferramentas poderosas para estimação do *backlog* e do retardo em uma rede [2].

Neste artigo, propõe-se um algoritmo de policiamento baseado em modelagem de tráfego. Várias simulações foram realizadas para comparar o desempenho dos algoritmos de policiamento. Utilizou-se o Cálculo de Rede para estimar o *backlog* e o retardo em uma rede produzido por estes algoritmos de policiamento de tráfego.

II. ALGORITMOS DE POLICIAMENTO

O policiamento de tráfego de rede é a parte do sistema de transmissão responsável por garantir que as aplicações que não estejam em conformidade com o contrato de serviço (SLA – *Service Level Agreement*) não ultrapassem os limites previamente estabelecidos pelas operadoras dos serviços contratados.

Este policiamento pode considerar o processo envelope (PE) para o tráfego de chegada de pacotes, onde este representa o limitante superior para o processo real de tráfego de pacotes acumulados. Para um processo envelope determinístico, a função limitante $\hat{L}(t)$ é definida pela equação [3], [4]:

$$\hat{L}(t) = \sup_{s \geq 0} X[s, s+t] \quad (01)$$

onde s e t representam intervalos de tempo e X o fluxo de tráfego de entrada.

A. Balde Furado (Leaky Bucket - LB)

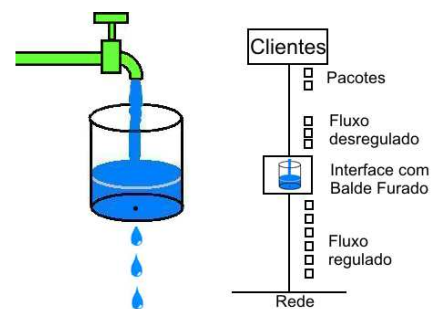


Fig. 1. Balde Furado [5].

O algoritmo de Balde Furado (LB) é comparado a um balde comum com um pequeno furo no fundo (Fig. 1.). Independentemente da velocidade com que a água entra no balde, o fluxo de saída apresenta taxa constante quando estiver

com água ou zero se o balde estiver vazio. Além disso, quando o balde estiver cheio, a água que entrar ultrapassará o volume máximo (tamanho do balde) e escorrerá pelas bordas sendo perdida.

A mesma ideia pode ser aplicada a pacotes. Conceitualmente, cada estação (*host*) está conectada à rede por uma interface que contém um balde furado, ou seja, uma fila interna finita. Este regulador de tráfego é simplesmente um sistema de enfileiramento de um único servidor com um tempo de serviço constante [6].

O processo envelope do Balde Furado é dado pela equação [7]:

$$\hat{L}_{LB}(t) = \bar{a}t + S \quad (02)$$

onde t é o instante de tempo, \bar{a} é a média do tráfego de entrada e S o tamanho do balde (*buffer*).

O algoritmo de Balde Furado também pode ser visto como um teste sequencial e descrito pelo seguinte conjunto de equações:

$$E_n = \max\{0, E_{n-1} + X_n - \bar{a}\Delta\} \quad (03)$$

$$K_n = \begin{cases} S, & E_n = 0 \\ K_{n-1} & \end{cases} \quad (04)$$

$$J_n = \begin{cases} 0, & E_n \leq K_n \\ X_n - \bar{a}\Delta & \end{cases} \quad (05)$$

A sequência J_n representa o número de pacotes marcados com prioridade baixa ou que serão descartados. Nota-se que E_n é uma sequência de teste, K_n o limiar de decisão para E_n e J_n é o controle que o algoritmo exerce na sequência X_n . S é uma constante que representa o tamanho do balde, Δ o intervalo de tempo e \bar{a} a média do tráfego de entrada X_n .

B. Balde Furado Fractal (Fractal Leaky Bucket - FLB) e Multifractal Gaussiano (Gaussian Multifractal Leaky Bucket - GMLB)

O Balde Furado Fractal (FLB) é um mecanismo de policiamento introduzido por [3]. O FLB é baseado no modelo fBm (*fractional Brownian motion*) de processo de tráfego de pacotes e foi demonstrado que o fBm descreve com precisão fluxos de tráfego dada sua média (\bar{a}), desvio padrão (σ) e parâmetro de Hurst (H) [8]

A quantidade máxima de pacotes policiados, ou seja, o seu processo envelope do algoritmo FLB apresentado é dado pela equação [8]:

$$\hat{L}_{FLB}(t) = \bar{a}t + k\sigma t^H + S \quad (06)$$

O algoritmo chamado Balde Furado Multifractal Gaussiano (GMLB) é baseado no processo envelope mBm (*multifractional Brownian motion*) e a quantia máxima de pacotes de tráfego aceita pelo algoritmo GMLB é dada por [8]:

$$\hat{L}_{GMLB}(t) = \bar{a}t + k\sigma \int_0^t H(x)x^{H(x)-1} dx + S \quad (07)$$

C. Mecanismo de Policiamento de Chegada Multifractal (Multifractal Arrival Policing Mechanism - MAPM)

Apresenta-se aqui a proposta de algoritmo de policiamento denominado Mecanismo de Policiamento de Chegada Multifractal (MAPM - *Multifractal Arrival Policing Mechanism*). O MAPM tem seu processo envelope baseado no Processo de Chegada com Limitante Multifractal (*Multifractal Bounded Arrival Process - MFBAP*) descrito por [7] [10]. O processo envelope do algoritmo proposto é dado por:

$$\hat{L}_{MAPM}(t) = \bar{a}t + k\sigma t^{H(t)} + S \quad (08)$$

onde $H(t)$ é o expoente de Hölder, t o instante de tempo, \bar{a} e σ são respectivamente, a média e o desvio padrão do tráfego de entrada, k é a constante relacionada à probabilidade de violação do processo envelope.

$$E_n = \max\{0, E_{n-1} + X_n - \bar{a}\Delta\} \quad (09)$$

$$K_n = \begin{cases} S, & E_n = 0 \\ k\sigma \int_{\Delta(n-1)}^{\Delta n} H(t)x^{H(t)-1} dx + K_{n-1} & \end{cases} \quad (10)$$

$$J_n = \begin{cases} 0, & E_n \leq K_n \\ X_n - \bar{a}\Delta - k\sigma \int_{\Delta(n-1)}^{\Delta n} H(t)x^{H(t)-1} dx & \end{cases} \quad (11)$$

onde K_n , E_n e J_n possuem as mesmas atribuições citadas no LB e $H(t)$ representa o expoente de Hölder, que apresenta valores característicos para cada amostra do tráfego. E k é a constante relacionada à probabilidade de violação do processo envelope ε (no valor de 6×10^{-6}) dada pela equação [9]:

$$k = \sqrt{-2 \ln \varepsilon} \quad (12)$$

D. Comparações Entre os Processos Envelopes dos Algoritmos de Policiamento

Nas simulações, utilizou-se as mesmas séries de tráfego para os algoritmos LB, FLB, GMLB e MAPM, onde Δ foi fixado em 512 ms, S (igual ao valor da média das séries de tráfego em *bytes*) em 13.300 *bytes* para o trace lbl-pkt-5 [11] e 800 *bytes* para USC_06spring [12], e ε igual a 10^{-6} para todos os algoritmos de policiamento analisados.

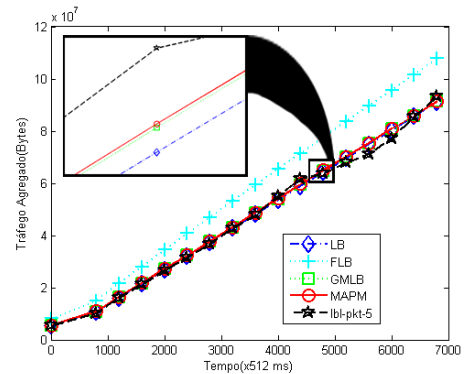


Fig. 2. Processo envelope para série de tráfego de rede lbl-pkt-5

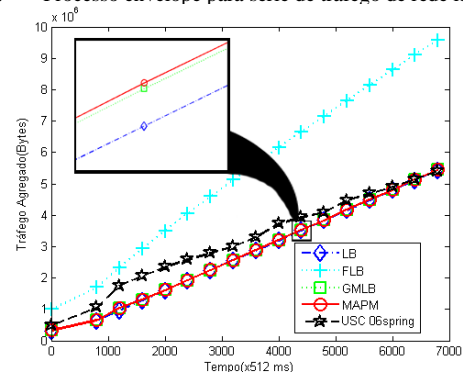


Fig. 3. Processo envelope para série de tráfego de rede USC_06spring

Observa-se que o algoritmo de policiamento MAPM foi o que apresentou o processo envelope mais próximo do tráfego sem policiamento, comparado aos outros algoritmos analisados, tanto para o tráfego lbl-pkt-5 (Fig. 2), quanto para o USC_06spring (Fig. 3).

Para observar a vantagem do algoritmo de policiamento proposto em relação aos outros analisados tem-se a Tabela I com o erro quadrático médio entre o processo envelope da série Real (sem policiamento) e os processos envelopes dos algoritmos analisado dado pela equação [13]:

$$EQM = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_m(i) - Z_a(i))^2}{n} \quad (13)$$

onde n representa a quantidade de amostras, Z_m o processo envelope real e Z_a o processo envelope de cada algoritmo de policiamento analisado.

TABELA I. ERRO QUADRÁTICO MÉDIO PARA OS ALGORITMOS DE POLICIAMENTO ANALISADOS E O TRÁFEGO REAL (BYTES²)

Algoritmo	lbl-pkt-5	USC_06spring
LB	25,93x10 ¹¹	21,29x10 ¹⁰
FLB	14,27x10 ¹³	10,36x10 ¹¹
GMLB	29,71x10 ¹¹	20,45x10 ¹⁰
MAPM	29,31x10 ¹¹	20,26x10 ¹⁰

O algoritmo MAPM apresentou um erro quadrático médio menor do que todos os algoritmos para a série USC_06spring. Para as séries lbl-pkt-5 e dec-pkt-3, o algoritmo MAPM foi superado somente pelo algoritmo LB, que em termos de erro quadrático médio, apresentou menor valor que o algoritmo MAPM.

E. Taxa de Perda dos Algoritmos de Policiamento

A Fig. 4 apresenta a comparação das taxas de perda (P_b) de todos os algoritmos de policiamento considerados para a série de tráfego lbl-pkt-5, enquanto a Fig. 5 compara os valores de P_b para a série de tráfego USC_06spring.

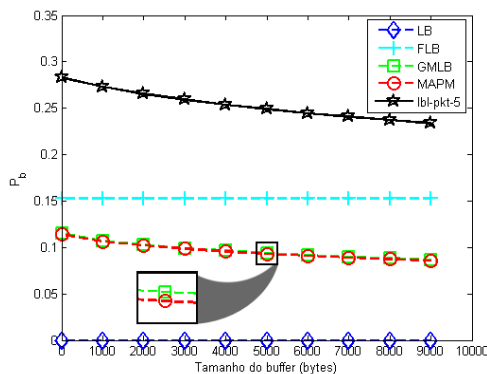


Fig. 4. P_b para os algoritmos MAPM, GMLB, FLB e LB para a série de tráfego lbl-pkt-5

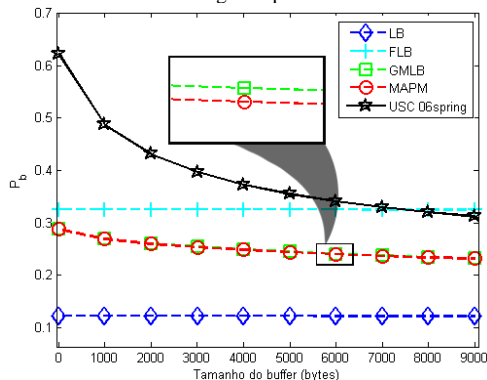


Fig. 5. P_b para os algoritmos MAPM, GMLB, FLB e LB para a série de tráfego USC_06spring

Observa-se pela Fig. 4, que o algoritmo LB apresentou a menor taxa de perda (P_b) de todos os algoritmos, mas o LB não leva em consideração as rajadas do tráfego, por isso o

algoritmo proposto é mais vantajoso, pois apesar de apresentar P_b maior que LB, o algoritmo MAPM considera essas características em rajadas. Resultado semelhante se observa na Fig. 5.

Segundo Sohraby e Sidi [14] e Silvester [15], o algoritmo de policiamento Balde Furado (LB) não apresenta uma resposta muito eficiente quando policia fluxos de tráfego com pacotes em rajadas, devido a esse tipo de tráfego encher o balde (*buffer*) rapidamente. Por realizar uma moldagem (*shapping*) do tráfego mais rígida, marcando (como mal comportado/baixa prioridade) ou descartando os *bytes* em rajadas, os valores de perda são menores para o algoritmo de balde furado simples. No entanto, o tráfego perde suas características e uma vazão menor para o fluxo é obtida.

As Figuras 4 e 5 também revelam que o algoritmo FLB produz taxas de perda de dados maiores que os algoritmos baseados em modelagem multifractal. Isso ocorre porque a modelagem multifractal está descrevendo melhor as séries de tráfego consideradas e as penalizando menos.

III. SISTEMA DE TRANSMISSÃO OFDM/TDMA BASEADO EM REDES WiMAX

O modelo considerado para o sistema WiMAX baseado em OFDM/TDMA é apresentado na Fig. 6. Considera-se um sistema de transmissão OFDM semelhante ao cenário apresentado em [17], com n usuários e o número total de m canais de tráfego [18].

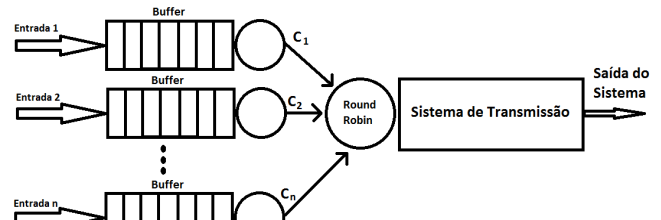


Fig. 6. Modelo OFDM/TDMA com escalonamento Round Robin [18]

No sistema WiMAX simplificado considerado, o tráfego de dados para cada usuário é protegido em uma fila separada e o tamanho do *buffer* é fixo. Considerou-se um cenário baseado em características TDMA de múltiplos acessos e escalonamento *round-robin* [19]. A ideia central do algoritmo *round-robin* é que todos os processos são armazenados em uma fila circular, conforme Fig. 6 [18] [19].

O escalonador inspeciona fila por fila alocando os recursos necessários para cada processo de um *quantum* (pequena unidade de tempo). Se o processo não terminar após um *quantum*, a fila entra em modo de espera (*vacation*), até chegar outra oportunidade para ser servido. Se o processo terminar antes de um *quantum*, o servidor é liberado da fila e o próximo é servido. Em ambos os casos, após a liberação da fila atual, um novo (ou próximo) processo é escolhido na fila seguinte. Devido as suas características, o escalonamento *round-robin* é amplamente utilizado, especialmente para sistemas de tempo compartilhado (*time-sharing*) [18].

Usando modulação e codificação adaptativa (AMC - *Adaptive Modulation and Coding*, Codificação e modulação adaptativa), o número máximo de bits por símbolo (por Hz) denominado por $c_{m,n}(t)$, com subportadora m e usuário n , que pode ser transmitido por unidade de tempo t , pode ser expresso como uma função da SNR (*Signal-to-Noise Ratio*, Relação sinal-ruído) e da taxa de erro de bit (BER) requerida. Embora existam algumas aproximações para essa função, por exemplo, a dada em [20], todas elas podem ser aproximadas pela expressão de capacidade [19]:

$$c_{m,n}(t) = \left\lceil \log_2 \left(1 + \frac{-1,5}{\ln(5P_{ber})} \gamma_{m,n}(t) \right) \right\rceil \quad (14)$$

onde $\gamma_{m,n}(t)$ é a SNR instantânea no intervalo de tempo t para um subcanal m correspondente a um usuário n e P_{ber} é a taxa de erro de bit (BER).

IV. LIMITANTES PARA BACKLOG E RETARDO

O tráfego de rede pode ser descrito utilizando-se de funções de taxa de entrada $R(t)$ e saída $R^*(t)$, obtendo as seguintes quantidades de interesse [4]:

- O tamanho médio da fila (*backlog*) no tempo t é dado por $R(t) - R^*(t)$.

- O retardo (*delay*) no instante t é dado por:

$$d(t) = \inf \{ \tau \geq 0 : R(t) \leq R^*(t + \tau) \} \quad (15)$$

O *backlog* é a quantidade de bits que são mantidos dentro do sistema. Se o sistema possui *buffer* único, o *backlog* representa o comprimento da fila e para um sistema é mais complexo, o número de bits em trânsito, assumindo que se observa a entrada e saída simultaneamente.

O retardo no instante t é o retardo experimentado por um bit chegando no tempo t se todos os bits recebidos antes dele forem servidos antes também.

A. Definição de Curvas de Chegada e de Serviço

A curva de chegada é dada pela função α definida para $t \geq 0$. Um fluxo R é limitado por α se todo $t \leq s$, onde [4]:

$$R(t) - R(s) \leq \alpha(t - s) \quad (16)$$

As chegadas de *bytes* de um fluxo de tráfego de rede em um nó de rede no intervalo de tempo $[0, t)$ são dadas em termos da função $A(t)$. As saídas de um fluxo a partir do nó, no intervalo de tempo $[0, t)$ são denotadas por $D(t)$ com $D(t) \leq A(t)$.

A curva de serviço pode ser dada pelo *backlog* ou retardo de um tráfego de rede. O *backlog* no tempo t é denotado por $B(t)$ e definido por:

$$B(t) = A(t) - D(t) \quad (17)$$

O retardo experimentado por um processo de chegada que se afasta no tempo t é denotado por $W(t)$ e dado por:

$$W(t) = \inf \{ s \geq 0 \mid A(t - s) \leq D(t) \} \quad (18)$$

Dado um envelope de chegada de um fluxo com curva mínima de serviço S , tem-se [16]:

- **Processo Envelope:** A função $D^* = A^* \otimes S$ é um processo envelope para as séries de tráfego, no sentido de que, para todo $t, \tau \geq 0$,

$$D^*(t) \geq D(t + \tau) - D(\tau) \quad (19)$$

- **Limitante para o Tamanho Médio da Fila (Backlog Bound):** O limitante superior para o *backlog*, denotado por b_{\max} , é dado pela convolução:

$$b_{\max} = A^* \otimes S(0) \quad (20)$$

- **Limitante para Retardo (Delay Bound):** O limitante superior para o retardo, denotado por d_{\max} , é dada por:

$$d_{\max} = \inf \{ d \geq 0 \mid \forall t \geq 0 : A^*(t - d) \leq S(t) \} \quad (21)$$

B. Limitantes de backlog e retardo no sistema WiMAX

Nesta seção, apresenta-se os resultados de estimação de backlog e retardo considerando algumas séries reais de tráfego como Entradas no sistema OFDM/TDMA da Figura 6.

As Figuras 7 e 8 apresentam os limitantes para *backlog* (b_{\max}) calculados utilizando-se a equação (20) para as séries de tráfego dec-pkt-3 [11] e USC_06spring, respectivamente. Observa-se que o limitante para *backlog* do algoritmo de policiamento MAPM está próximo do Real (tráfego sem policiamento), assim como dos limitantes para os algoritmos GMLB e LB. O limitante dado pelo algoritmo FLB apresentou a maior discrepância em relação aos outros algoritmos. Ampliando-se a Figura 7, nota-se que algoritmo MAPM proposto produziu um limitante de *backlog* ligeiramente superior ao do algoritmo LB.

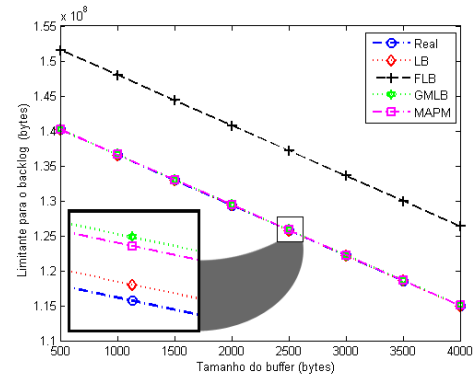


Fig. 7. Limitante para *backlog* para a série de tráfego dec-pkt-3 no sistema WiMAX

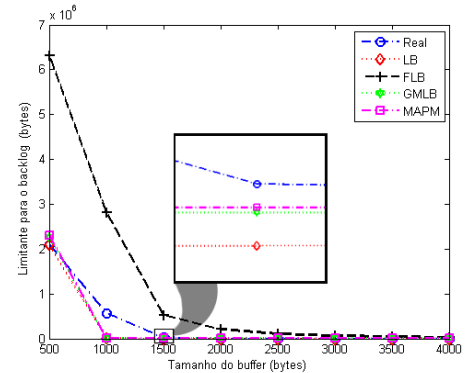


Fig. 8. Limitante para *backlog* para a série de tráfego USC_06spring no sistema WiMAX

Para o tráfego USC_06spring (Fig. 8), o limitante de *backlog* do MAPM se mostrou abaixo do Real. Ao ampliar a Fig. 8, verifica-se que o limitante para *backlog* do algoritmo MAPM é o mais próximo do Real e o LB apresenta o menor limitante para *backlog*.

O limitante para retardo máximo (d_{\max}) dos fluxos de entrada do sistema WiMAX simplificado também foi analisado utilizando-se diferentes séries de tráfego. Os limitantes de retardo foram obtidos utilizando-se a equação (21).

A Figura 9 mostra que o algoritmo MAPM apresentou menores valores de limitante de retardo utilizando-se a série de tráfego dec-pkt-3 como dados de entrada para o sistema WiMAX simplificado do que os algoritmos LB, FLB e GMLB. O tráfego sem policiamento apresentou menor valor de retardo máximo comparado a todos os algoritmos de policiamento. Observa-se também que os valores de retardo máximo para MAPM e GMLB são próximos e por isso apresentaram curvas sobrepostas.

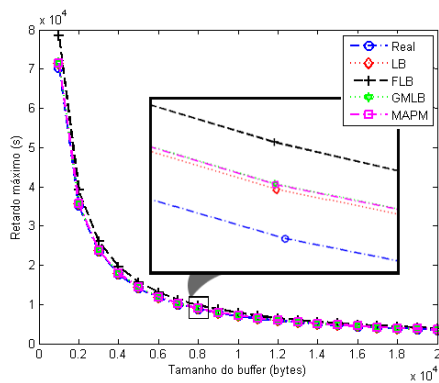


Fig. 9. Limitante para retardo para a série de tráfego dec-pkt-3 para um sistema WiMAX simplificado

Pela Figura 10, observa-se que com o tamanho do *buffer* até a metade do valor analisado (2.000 bytes), o algoritmo MAPM apresentou maior valor de retardo máximo e após esse ponto, o algoritmo FLB apresentou maior valor (de retardo máximo), entre os algoritmos considerados para a série de tráfego USC_06spring.

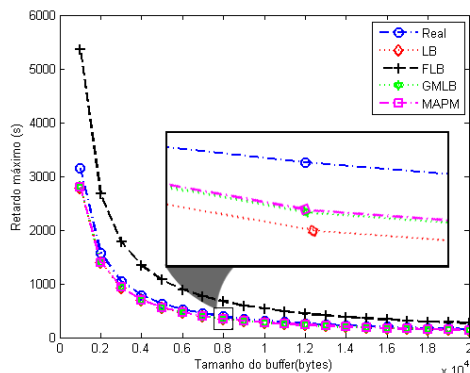


Fig. 10. Limitante para retardo para a série de tráfego USC_06spring para um sistema WiMAX simplificado

Observa-se que o algoritmo proposto MAPM provê limitantes de backlog e retardo ligeiramente superiores aos do algoritmo LB, mas bem próximos. O que mostra que podemos aplicar o algoritmo de policiamento proposto baseado em modelagem multifractal de forma a atender os requisitos de QoS, assim como o LB, mas provendo uma maior vazão para a rede.

V. CONCLUSÕES

Devido a irregularidade e alto fluxo de pacotes existentes nos tráfegos de rede atuais os algoritmos de policiamento se tornam necessários.

O algoritmo proposto MAPM, apresentou desempenho superior aos outros analisados em relação ao processo envelope, que é mais próximo do tráfego sem policiamento. Em relação à taxa de perdas P_b para um enlace simples, o algoritmo MAPM apresentou melhores resultados entre os algoritmos que levam em consideração o tráfego em rajadas (fractais e multifractais).

Observou-se também que a aplicação dos algoritmos de policiamento reduz a quantidade de *bytes* descartados, mas em contra partida o Cálculo de Rede mostrou que isso representa um aumento do retardo (*delay*) e do tamanho máximo da fila necessária (limitante para *backlog*). De fato, para a rede OFDM/TDMA considerada obteve-se com o algoritmo MAPM maiores valores de *backlog* e retardo (comparado ao GMLB e LB), pois o mesmo utiliza mais a fila (limitante para *backlog*)

para regular os *bytes* em rajadas com o intuito de obter um policiamento com menor taxa de perda P_b . No entanto, o algoritmo MAPM apresenta menor complexidade do que o GMLB para policiar o tráfego, exigindo menor tempo de processamento que o GMLB, que utiliza o resultado de uma integral no policiamento.

O algoritmo de policiamento MAPM apresentou um policiamento mais eficiente do que a abordagem FLB baseada em modelagem monofractal para o sistema OFDM/TDMA considerado e uma descrição melhor do processo envelope das séries de tráfego do que os outros algoritmos.

REFERÊNCIAS

- [1] LE BOUDEC, J. Y., Application of network calculus to guaranteed service networks. *IEEE/ACM Transactions on Information Theory*, 44(3):1087–1097, May 1998.
- [2] CRUZ, R. L., Quality of service guarantees in virtual circuit switched networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 13(6):1048–1056, August 1995.
- [3] MELO, C. A. V.; FONSECA, N. L. S. An envelope process for multifractal traffic modeling. v. 4, pp. 2168-2173. *Communications, 2004 IEEE International Conference on*, June, 2004.
- [4] LE BOUDEC, J. Y. e THIRAN, P.; *Network Calculus: A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet*. Springer Verlag, Lecture Notes in Computer Science, LNCS 2050, 2004.
- [5] TANENBAUM, A. S. *Redes de Computadores*. 4.ed. São Paulo: Campus, 2003.
- [6] BREGNI, S.; GIACOMAZZI, P.; SADDEMI, G. "Characterization of Long-Range Dependent Traffic Regulated by Leaky-Bucket Policers and Shapers", *Elsevier Computer Communications*, Vol. 33, No. 6, April 2010, pp. 714-720.
- [7] PEREIRA, F. M., FONSECA, N. L. S., ARANTES, D. S., *Fractal Traffic Modeling and Policing Using Envelope Process*. Technical Report – IC-06-03, fevereiro de 2006.
- [8] TAKADA, H. H.; *Design of High-Speed Networks Considering Monofractal and Multifractal Traffic Models*. Tese doutorado ITA/CTA, São José dos Campos, 2007
- [9] PEREIRA, F. M., *Policiamento e escalonamento de tráfego em redes Ethernet PON*. – Campinas, SP: [s.n.], 2006.
- [10] TAKADA, H. H.; ANZALONI, A.; *A Multifractal Traffic Policing Mechanism*. *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, pp. 120-122, vol. 10, n. 2, fevereiro de 2006.
- [11] ITA – Traces available in the Internet Traffic Archive. 2008. Último acesso em 08/01/2011 – 13:15h. Disponível em <http://ita.ee.lbl.gov/html/traces.html>.
- [12] USC - The University of Southern California Wireless LAN Traces (2006). Disponível em : http://nile.cise.ufl.edu/MobiLib/USC_trace/ (último acesso em 08/01/2011 – 15:00h).
- [13] MELLO, M.; *Métodos de Previsão*. Faculdades Ibmecc-RJ. Fev/Maio de 2009. Disponível em: <http://professores.ibmecrj.br/mmello/metprev23.pdf> (último acesso em 27/08/11 - 9:01).
- [14] SOHRABY, K., SIDI, M. On the performance of bursty modulated sources subject to leaky bucket rate-based access control schemes. *IEEE Transactions on Communications*, v.42, n. 234, p. 477-487, feb./apr., 1994.
- [15] SILVESTER, J. A. The effectiveness of multi-level policing mechanisms in ATM traffic control. In: *IEEE INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS SYMPOSIUM*, Acapulco, 1996.
- [16] AGRAWAL, R.; CRUZ, R. L.; OKINO, C. E.; RAJAN, R.; Performance bounds for flow control protocols. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 7(3):310–323, Junho de 1999.
- [17] NIYATO, D., HOSSAIN, E., "Queuing Analysis of OFDM/TDMA Systems". *IEEE Globecom 2005 Proceedings*. 2005.
- [18] ROCHA, F. G. C., VIEIRA, F. H. T., SANTOS Jr, J.A., "A Multifractal Based Approach for Loss Probability Estimation for OFDM/TDMA Based Systems" In: *The 13th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications*, Recife-PE / Brasil, 2010.
- [19] BURNS, A., HARBOUR, M. G., WELLINGS, A. J.; *A Round Robin Scheduling Policy for Ada*. *Proceedings of the International Conference on Reliable Software Technologies*, Ada-Europe, 2003.
- [20] CROVELLA, M. E.; BESTAVROS, A. Self-similarity in world wide web traffic – evidence and possible causes. *Proceedings of ACM Sigmetrics*, p.160-169, 1996.