

Modelagem e Controle da Taxa de Vídeo MPEG-4 Utilizando Cascata Multifractal com Multiplicadores Autorregressivos

Flávio Geraldo Coelho Rocha e Flávio Henrique Teles Vieira

Abstract – In this paper, we propose a multifractal model for MPEG-4 video traffic based on a multiplicative cascade. In this proposed model we model the multipliers distribution for each scale by autoregressive processes. We also verify the model performance in capturing the real traffic traces characteristics compared to other multifractal models. The model is used as input for a video traffic rate control scheme which adaptively updates the video encoder parameters. We evaluate the efficiency of the proposed scheme by comparing it with a VBR (Variable Bit Rate) scheme without rate control.

Resumo – Neste artigo, propomos um modelo multifractal para tráfego de vídeo MPEG-4 baseado em uma cascata multiplicativa. Nesta proposta modelamos a distribuição dos multiplicadores através de processos autorregressivos a cada escala. Verificamos também o desempenho do modelo em capturar as características dos traços reais de tráfego em comparação a outros modelos multifractais. O modelo é utilizado como entrada para um esquema de controle de taxa de tráfego de vídeo que atualiza parâmetros de um codificador de vídeo de forma adaptativa. Avaliamos a eficiência do esquema proposto comparando-o com um esquema VBR (Variable Bit Rate) tradicional sem controle de taxa.

I. INTRODUÇÃO

Aplicações que envolvem tráfego de vídeo são amplamente utilizadas em redes de telecomunicações. O crescente número de aplicações multimídia com requisitos de qualidade de serviço (QoS) sugere que grande parte do tráfego da rede mundial de computadores será composta por tráfego de vídeo [Fei e Zhimei 2003]. Mesmo utilizando-se de técnicas de compressão como o MPEG-4, o tráfego de vídeo demanda uma grande largura de banda, principalmente em aplicações de tempo real, cada vez mais requeridas pelos usuários [Wang e Qiu 2005].

A modelagem de vídeo não é um tópico recente. Para um melhor dimensionamento, utilização dos recursos e compreensão dos dados que trafegarão na rede, a modelagem de dados de vídeo tem sido um tópico de pesquisas constante. Neste sentido, modelos multifractais proporcionam melhores resultados em termos de desempenho de modelagem de tráfego [Riedi et al. 1999],[Krishna et al. 2003],[Vieira e Ling 2008].

Uma vez modelado o tráfego de rede, um projetista poderá valer-se do entendimento do comportamento do tráfego para, posteriormente, tomar decisões com base nas características encontradas. Dentre estas decisões está a alocação eficiente de recursos e o controle do tráfego feito em tempo real [Ouyang et al. 2006],[Aquino e Barria 2006]. Este trabalho tem dois objetivos principais, o primeiro deles é apresentar um modelo

baseado em cascata multifractal para modelagem do tráfego de vídeo de taxa variável (VBR- *Variable Bit Rate*) que utiliza MPEG-4 como técnica de compressão. O segundo objetivo (uma aplicação do primeiro) é o de propor um esquema de controle de taxa da fonte de tráfego de vídeo MPEG-4 que contemple os benefícios das fontes de tráfego de vídeo VBR e CBR (*Constant Bit Rate*), e que se adapte, em tempo real, às condições de tráfego.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2, discursamos sobre princípios de modelos multifractais baseados em cascata multiplicativa. Na seção 3, apresentamos o modelo multifractal CMAM (Cascata com Modelagem Autorregressiva para os Multiplicadores) proposto. Na seção 4, revemos alguns conceitos e características da modelagem de vídeo MPEG-4 e são mostrados alguns dos testes realizados para validar o modelo multifractal CMAM. Na seção 5, esclarecemos características do tráfego de vídeo MPEG-4 que nos leva a apresentar um modelo exponencial de ajuste de curva que posteriormente é utilizado em um esquema de controle de tráfego de vídeo. Na seção 6, apresentamos o esquema de controle de taxa da fonte de tráfego de vídeo e avaliamos o seu desempenho. Por fim, na seção 7, concluímos.

II. ANÁLISE MULTIFRACTAL

A descrição do comportamento local de medidas e funções em uma forma geométrica e estatística é de interesse da análise multifractal [Park e Willinger 2000]. Na análise multifractal, verifica-se o comportamento em escala de momentos estatísticos dos processos para estimar suas regularidades locais [Feldman et al. 1998],[Riedi et al. 1999],[Vieira e Ling 2008],[Park e Willinger 2000].

A. Cascatas Multiplicativas

Seja X^N o processo de tráfego no estágio N de uma cascata multiplicativa [Krishna 2003]. A série de tráfego no estágio $(N-1)$ da cascata pode ser obtida agregando valores consecutivos do estágio N em blocos não-sobrepostos de tamanho 2. De forma análoga, dada a série na escala $(N-j)$, X_i^{N-j} onde $(i=1, \dots, 2^{N-j})$, obtemos os dados na escala $(N-j-1)$ pela soma consecutiva dos valores do estágio $(N-j)$ da seguinte forma:

$$X_i^{N-j-1} = X_{2i-1}^{N-j} + X_{2i}^{N-j} \quad (1)$$

para $i=1, \dots, 2^{N-j-1}$. Este procedimento termina quando a agregação dos valores forma apenas um ponto na última escala da cascata. Uma estimativa $r_j^{(i)}$ dos multiplicadores da cascata pode ser obtida pela equação [Feldman et al. 1998]:

$$r_j^{(i)} = X_i^{N-j} / X_{2i-1}^{N-j-1} \quad (2)$$

para $i=1, \dots, 2^{N-j}$. Podemos considerar $r_j^{(i)}$ como sendo amostras da distribuição $f_{R_j}(r)$ dos multiplicadores no estágio j . A distribuição dos multiplicadores na escala j pode ser obtida pelos histogramas de $r_j^{(i)}$. O modelo multifractal VVGM [Krishna et al. 2003], por exemplo, é uma cascata multiplicativa que aproxima os histogramas obtidos por gaussianas [Krishna et al. 2003].

III. CASCATA COM MODELAGEM AUTORREGRESSIVA PARA OS MULTIPLICADORES (CMAM)

A. Modelo CMAM

Nesta seção, apresentamos o algoritmo de síntese do processo CMAM. O algoritmo de síntese de tráfego de vídeo proposto faz uso do valor agregado de tráfego na última escala da cascata e da densidade de probabilidade dos multiplicadores estimada através de processos autorregressivos.

A partir das equações (1) e (2), pode-se representar a estrutura de construção da cascata multiplicativa, descrita na seção 2, através da Figura 1:

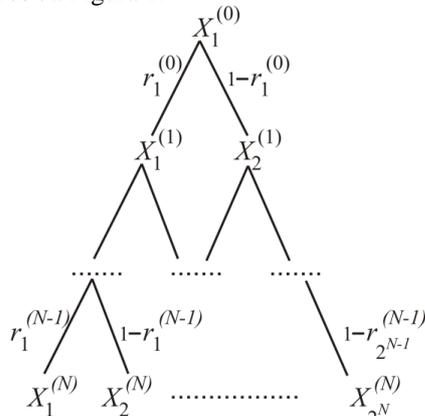


Figura 1. Processo de construção da cascata multiplicativa

Assim, o algoritmo de síntese do processo CMAM consiste basicamente dos seguintes passos:

Algoritmo 1

- 1) Calcula-se o valor agregado obtido na última escala N ;
- 2) Estimam-se os multiplicadores usando a equação (2);
- 3) Calculam-se, através do método dos mínimos quadrados apresentado em [Neumaier e Schneider 2001], os parâmetros do modelo de regressão para cada escala da cascata;
- 4) Estima-se a distribuição dos multiplicadores em cada escala através de um processo autorregressivo;
- 5) Com os multiplicadores disponíveis, geram-se amostras de um processo multifractal por meio do procedimento descrito na seção 2.

IV. MODELAGEM DE VÍDEO

Por existirem semelhanças entre os quadros sucessivos gerados a partir de uma mesma cena, o MPEG-4 é uma técnica de compressão que utiliza codificação tanto de redundância espacial (*intra-frames*) quanto codificação de redundância temporal (*inter-frames*) [ISO/IEC 2000]. No MPEG-4, existem três tipos diferentes de quadros, os quadros do tipo I,

os quadros do tipo P e os quadros do tipo B. Os quadros do tipo I são os quadros mais importantes, maiores em bits e que carregam o maior número de informações importantes, estes quadros não dependem de nenhum outro. Já os quadros do tipo P dependem de quadros tipo I ou tipo P anteriores, enquanto os quadros do tipo B dependem de quadros anteriores e sucessivos dos tipos I e P. Os quadros dos tipos I, P e B são organizados em grupos chamados de GoPs (*Group of Pictures* – Grupo de imagens). Uma série de GoPs compõe uma série de vídeo. Desta forma, os quadros do tipo I são chamados de *intra-frames* e os quadros dos tipos P e B são chamados de *inter-frames*.

Com a finalidade de gerar séries sintéticas de tráfego de vídeo MPEG-4, foi utilizado o modelo multifractal baseado em cascata multiplicativa CMAM, apresentado na seção anterior e sintetizado a partir do algoritmo 1. Um modelo de tráfego multifractal foi utilizado por já ter sido mostrado que o tráfego de vídeo MPEG-4 possui características multifractais, tais como diferentes leis de escala, decaimento lento da função de autocorrelação e rajadas que persistem para diferentes escalas [Fei e Zhimei 2003],[Wang e Qiu 2005].

A. Comparação de Estatísticas do Modelo Multifractal Proposto em Relação a outros Modelos Multifractais

Neste artigo, comparamos o desempenho de nosso modelo com o do modelo multifractal VVGM (*Variable Variance Gaussian Model*) [Krishna et al. 2003], que se destaca por sua simplicidade, e também o comparamos com o MWM (*Multifractal Wavelet Model*) [Riedi et al. 1999], que apresenta um ótimo desempenho para o tráfego multifractal [Riedi et al. 1999],[Vieira e Ling 2008],[Ribeiro et al. 2000].

Como exemplo, apresentamos nesta seção os resultados obtidos para a série de vídeo “*Silence of the Lambs*” (O Silêncio dos Inocentes) chamada neste trabalho de S.LAMBS. Este vídeo utiliza compressão MPEG-4 parte 2, resolução de 352 x 288 pixels e para análise apresentada foram considerados os 32768 primeiros quadros das séries. A série de vídeo S.LAMBS possui taxa de 30 quadros por segundo e agrupamento de 16 quadros por GoP, ordenados da seguinte forma (IBBBPBBBPPBBBPPBBB – G16B3). Mais informações sobre as características de séries de vídeo podem ser encontradas em [Seeling et al. 2004].

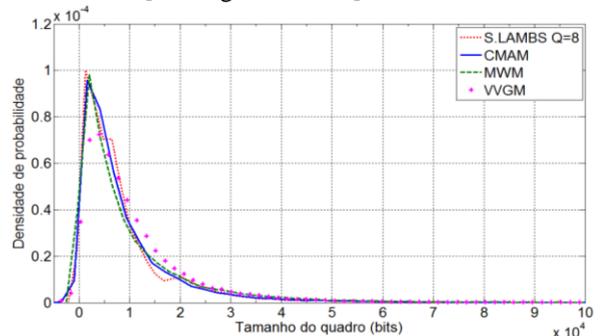


Figura 2 – Função densidade de probabilidade (pdf) – S.LAMBS

A Figura 2 apresenta as funções de densidade de probabilidade reais e sintéticas da série de vídeo S.LAMBS. Observa-se que esta série possui uma tendência a ser descrita por uma função lognormal e que o modelo CMAM foi capaz de representar bem este comportamento. Em relação aos

modelos VVGM e MWM, o modelo CMAM apresentou desempenho comparável aos desempenhos dos demais modelos e em alguns casos, como na Figura 2, apresentou desempenho superior ao VVGM. Resultados semelhantes foram obtidos para outras séries de vídeo.

Tabela 1. Média e variância – série de quadros – S.LAMBS

Quadros (bits)	Média	Erro	Variância	Erro
S.LAMBS	$9,411.10^3$	-	$1,659.10^8$	-
VVGM	$1,006.10^4$	6,84%	$1,033.10^8$	37,77%
MWM	$1,126.10^4$	19,64%	$1,856.10^8$	11,83%
CMAM	$9,280.10^3$	1,40%	$1,456.10^8$	12,26%

A Tabela 1 apresenta estatísticas do vídeo S.LAMBS. Por meio da Tabela 1 observa-se que a média obtida com o modelo CMAM proposto foi a que mais se aproximou da série real e que a variância encontrada com o CMAM é comparável aquela obtida com o MWM e mais próxima do real que o modelo VVGM. Isto pode ser observado através da coluna erro, que apresenta o erro relativo das estatísticas das séries sintéticas geradas em relação às séries reais.

V. MODELAGEM DA FUNÇÃO DE FATOR DE ESCALA

Nesta seção, mostraremos que ao analisarmos diferentes séries de vídeo MPEG-4, constata-se que cada série de vídeo pode ser submetida a um processo de decomposição em três outras séries, a saber, séries de quadros tipo I, tipo P e tipo B. Cada uma destas séries pode ser modelada por um processo CMAM diferente, e, posteriormente estas séries podem ser entrelaçadas em um processo de composição para formar o processo CMAM resultante.

O parâmetro de quantização Q determina a resolução espacial da imagem codificada com MPEG-4 [Zainaldin et al. 2008]. Ao modificarmos o valor de Q , a taxa de tráfego e a qualidade do vídeo também são modificadas. Outra constatação pode ser feita ao analisarmos uma série de vídeo com diferentes parâmetros de quantização Q [ISO/IEC 2000]. É possível observar que as diferenças entre as séries de quadros dos tipos I, P e B residem em um fator de escala. De forma que não é necessário modelar as séries de vídeo para todos os valores de Q . Apenas um modelo CMAM para um dado valor de Q é necessário, e os demais são obtidos ao multiplicarmos o modelo gerado por um fator de escala. Este fator de escala é diferente para cada tipo de quadro, mas é muito útil por fornecer séries sintéticas para quaisquer valores de Q a partir de apenas um valor de Q , chamado de Q de referência, ou simplesmente Q_{ref} .

O exemplo de modelagem de tráfego apresentado na Tabela 2 possui parâmetro de quantização de referência Q_{ref} igual a 8, resultados de desempenho similares foram obtidos pelo modelo CMAM ao serem utilizados outros valores de Q .

Tabela 2. Média e variância - série de quadros – S.LAMBS

S.LAMBS (bits)	Média		Variância	
	Real	Modelo	Real	Modelo
Quadro I	$3,447.10^4$	$3,267.10^4$	$7,083.10^8$	$2,574.10^8$
Quadro P	$1,418.10^4$	$1,422.10^4$	$2,289.10^8$	$1,686.10^8$
Quadro B	$8,310.10^3$	$8,656.10^3$	$7,324.10^7$	$9,034.10^7$
Entrelaçado	$1,141.10^4$	$1,269.10^4$	$2,182.10^8$	$2,030.10^8$

A Tabela 2 apresenta as estatísticas de média e variância das séries reais e sintéticas geradas para os quadros dos tipos I, P e B, além de mostrar também as estatísticas das séries reais e sintéticas de quadros após entrelaçamento. Observa-se que ao modelarmos os processos individualmente obtemos séries sintéticas com médias muito próximas das médias reais e variâncias distantes dos processos reais. No entanto, ao realizamos o processo de síntese do CMAM resultante, ou seja, ao realizarmos o entrelaçamento dos modelos das séries tipo I, P e B individuais, obtemos uma série sintética que reproduz bem tanto a média como a variância do processo real.

A Figura 3 apresenta o fator de escala em relação à variação do parâmetro Q para as séries de quadros tipo I, P e B do vídeo S.LAMBS, onde $Q_{ref} = 4$.

Seja $f(Q)$ o fator de escala e assumindo que esta função possa ser modelada por uma função exponencial, obtém-se:

$$f(Q) = a \cdot e^{-b \cdot Q} + c \tag{3}$$

onde a , b e c são parâmetros da função exponencial que podem ser determinados por um algoritmo de ajuste de curvas.

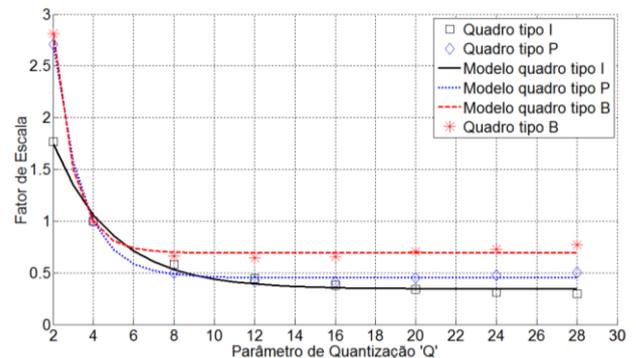


Figura 3 – Modelagem exponencial dos fatores de escala

A Figura 3 apresenta os resultados para modelagem exponencial das funções de fator de escala dos quadros tipo I, P e B, respectivamente, $f_I(Q)$, $f_P(Q)$, $f_B(Q)$, onde, por exemplo, $f_I(Q)$ pode ser modelado pela seguinte função:

$$f_I(Q) = 2,745e^{-0,3364Q} + 0,3448 \tag{4}$$

ou seja, $a=2,745$, $b=0,3364$ e $c=0,3448$, onde o erro quadrático médio (MSE-Mean Square Error) calculado foi igual a 0,00265.

Desta forma, propomos o seguinte algoritmo de modelagem e uso da função de fator de escala para obtenção de um processo CMAM resultante para quaisquer valores de Q (sistematizando o processo de modelagem descrito acima).

Algoritmo 2

- 1) Escolhe-se uma fonte de vídeo e codifica-se esta fonte com MPEG-4 para alguns parâmetros de quantização Q diferentes.
- 2) Decompõe-se cada série da etapa 1 em três séries distintas, sendo elas: série de Quadros I, P e B.
- 3) Escolhe-se um valor de Q dentre os valores de Q da etapa 1 como Q_{ref} .
- 4) Dividem-se as séries de quadros tipo I, P e B obtidas pela série correspondente que possui o Q_{ref} . A média de cada quociente realizado é chamada de fator de escala, e expresso como $f_I(Q)$, $f_P(Q)$ e $f_B(Q)$.

5) Utilizando um algoritmo de ajuste de curva obtém-se um modelo exponencial para os valores de $f(Q)$ na forma $f(Q) = a \cdot e^{-b \cdot Q} + c$. Desta forma, é possível obter $f(Q)$ para qualquer valor de Q , estando ele presente ou não na etapa 1.

6) Obtém-se séries sintéticas utilizando-se o CMAM como modelo para séries de quadros tipo I, P e B para um dado Q , por meio do algoritmo 1.

7) Obtém-se séries sintéticas de quadros I, P e B para quaisquer valores de Q ao multiplicar-se as séries da etapa 6 por $f_I(Q)$, $f_P(Q)$ e $f_B(Q)$.

8) Entrelaçam-se as séries da etapa 6 ou 7 para obter o processo CMAM resultante para quaisquer valores de Q .

VI. CONTROLE DE TAXA DA FONTE DE VÍDEO MPEG-4

O CBR (*Constant Bit Rate*/Taxa de bit constante) e o VBR (*Variable Bit Rate*/Taxa de bit variável) são dois métodos de codificação de vídeo MPEG-4. No CBR o vídeo é transmitido a uma taxa constante, e desta forma os valores de atraso são geralmente conhecidos. A codificação CBR depende da mudança do parâmetro de quantização Q , em nível de GoP, que é feita através da fixação da quantidade de bits alocados para cada GoP [ISO/IEC 1992]. As principais desvantagens desta técnica são a mudança contínua na qualidade do vídeo e a introdução do atraso de suavização do *buffer* cujo papel é remover a variabilidade de taxa. No VBR, o vídeo é transmitido com variações de taxa (objetivando obter qualidade constante) que dependem da atividade e complexidade das cenas [Zainaldin et al. 2008], desta forma no VBR a taxa da fonte varia (sem controle), acompanhando as variações das cenas, utilizando um valor fixo para o parâmetro de quantização Q , e nenhum controle para a variabilidade da taxa da fonte é aplicado. No entanto, isto pode resultar em uma série com alto grau de rajadas devido às diferenças existentes entre os tamanhos dos quadros do tipo I em comparação com os quadros dos tipos P e B. Para evitar as desvantagens das duas técnicas, propomos um esquema de controle adaptativo de taxa da fonte de tráfego de vídeo que combina os benefícios das duas técnicas supracitadas. Este esquema será chamado de algoritmo VBR com controle de taxa da fonte, onde um processo de modelagem exponencial para o fator de escala associado ao parâmetro Q é aplicado.

A Figura 4 apresenta o esquema de controle de taxa da fonte de tráfego de vídeo MPEG-4 proposto.

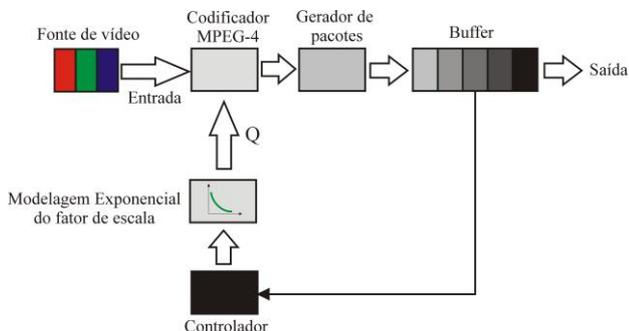


Figura 4 – Esquema VBR com controle de taxa

No esquema proposto, o controlador de taxa é utilizado para garantir que o tamanho da fila no *buffer* permaneça

dentro de um intervalo especificado. Isto é feito através de uma contínua inspeção do tamanho da fila no *buffer*. O intervalo especificado é composto de um limite superior e um limite inferior, caso um deles seja violado o controlador de taxa informa o codificador MPEG-4 para que o valor de Q seja alterado. O novo valor de Q será aquele obtido através da inspeção da curva obtida na etapa de modelagem exponencial do fator de escala, especificado no algoritmo 2. As alterações dos valores de Q ocorrem em nível de GoP, ou seja, mesmo que o controlador de taxa identifique a necessidade de mudança do valor de Q , este será alterado apenas quando um novo GoP for iniciado. Desta forma garante-se que a qualidade dos quadros dentro de um mesmo GoP não será afetada.

É importante ressaltar que a taxa de mudanças no valor de Q que ocorre no esquema proposto é menor que aquele observado no tráfego CBR em virtude dos limites impostos ao tamanho da fila no *buffer* e a constante inspeção do mesmo. Desta forma, a qualidade do vídeo, de uma forma geral, não é depreciada, e, ao contrário disso, é possível obter um vídeo com taxa de mudança de quantização Q constante quando possível e com taxa de quantização Q variável quando necessário.

Para avaliação do esquema proposto configuramos o cenário retratado pela Figura 4 para operar com uma capacidade de servidor fixa, igual a média da série de tráfego de entrada para $Q=Q_{ref}$. A Figura 5 apresenta a dinâmica do *buffer* observada para o algoritmo VBR com controle de taxa da fonte MPEG-4 que utiliza Q adaptativo, em comparação ao esquema VBR sem controle de taxa da fonte, que utiliza um valor de Q fixo, tendo como entrada do sistema o vídeo S.LAMBS com parâmetro de quantização $Q_{ref}=8$. Observa-se através desta figura que com o VBR original o *buffer* assume valores extremos, ora permanecendo com valores altos, violando o limite do *buffer* que é de 10^7 bits, ora assumindo valores iguais a zero. Já com o VBR com controle de taxa, o *buffer* tem uma ocupação média em torno de 50% do comprimento total do *buffer* com perda zero para o *buffer* especificado.

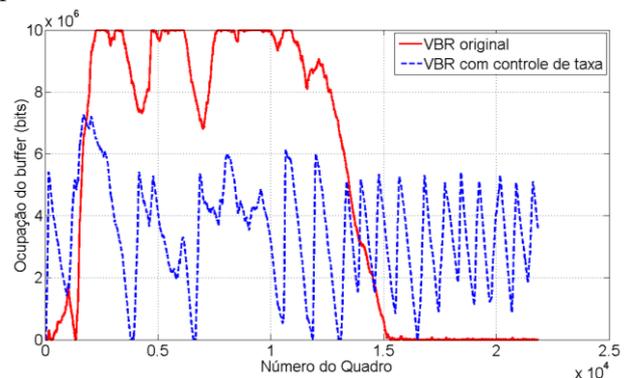


Figura 5 – Ocupação média do buffer – S.LAMBS

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos em termos de probabilidade de perda em função do tamanho do *buffer*. Consta-se através desta figura que, para um grande intervalo de tamanhos de *buffer*, a perda para o algoritmo VBR com controle de taxa da fonte MPEG-4 é menor que aquele observado sem controle de taxa. Para grande parte dos

tamanhos de *buffer* a perda constatada, com o esquema de controle de taxa, foi zero.

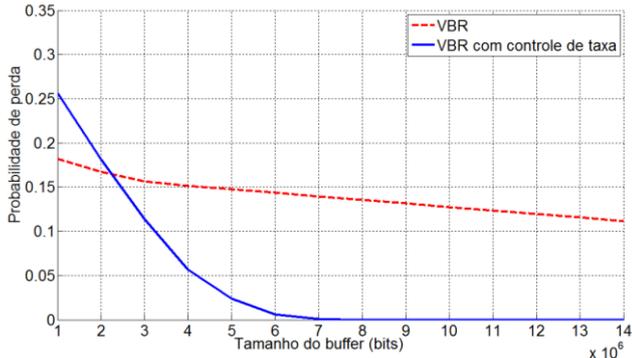


Figura 6 – Probabilidade de perda – S.LAMBS

A Figura 7, corrobora com a afirmação de que uma melhor utilização do enlace é obtida através de esquemas adaptativos de controle de taxa, como o algoritmo VBR com controle de taxa proposto. O algoritmo VBR com controle de taxa possui um comportamento mais desejável, visto que a utilização cresce exponencialmente com o tamanho do *buffer* e estabiliza-se em torno de 99%, mantendo, portanto, uma margem de segurança em relação à utilização máxima.

Desta forma, conclui-se que, com o algoritmo VBR de controle de taxa da fonte que lança mão de um algoritmo de modelagem exponencial para o fator de escala, associado ao valor de *Q*, é possível obter uma ocupação média do *buffer* menor, conjugado a uma menor probabilidade de perda e a uma utilização mais eficiente dos recursos de enlace disponíveis.

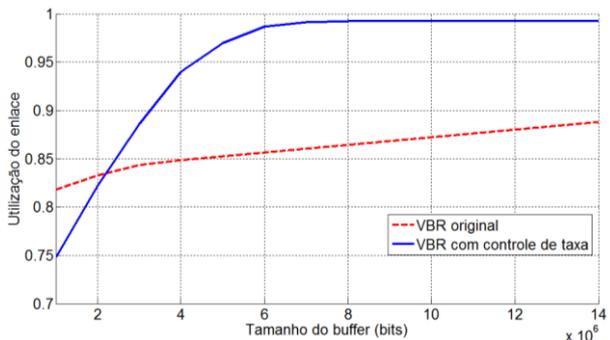


Figura 7 – Utilização do enlace – S.LAMBS

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o modelo multifractal proposto consegue capturar com eficiência as características do tráfego de vídeo VBR MPEG-4. Essa afirmação é confirmada pelos testes realizados. Neste trabalho, apresentamos uma modelagem da distribuição dos multiplicadores através de processos autorregressivos para cada estágio da cascata, logo a média dos multiplicadores varia para cada escala; diferente do que ocorre no VVGM [Krishna et al. 2003]. Esta característica do modelo proposto permite que um desempenho eficiente de modelagem seja obtido. As simulações revelam que os resultados do modelo CMAM são comparáveis e, na maioria dos casos, superiores ao do modelo MWM [Riedi et al. 1999].

O esquema VBR com controle de taxa da fonte de tráfego de vídeo MPEG-4 também se mostrou bastante eficiente, pois permitiu controlar o comportamento da fila no *buffer*, evitar

perdas, e promover um aproveitamento eficiente do enlace de comunicação. Dado os resultados obtidos, consideramos que o esquema proposto é uma ótima alternativa para modelagem e controle em tempo real do tráfego de vídeo MPEG-4.

REFERÊNCIAS

Aquino, V. A. e Barria, J. A. (2006) "Multiresolution FIR neural-network-based learning algorithm applied to network traffic prediction". IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-C, vol. 36, no.2, pp.208-220.

Cruz, L. J., Pallares, E. e Alins, J. J. (1998) "Self-similar traffic generation using a fractional ARIMA model. Application to the VBR MPEG video traffic," in Telecommunications Symposium, 1998. ITS'98 Proceedings. SBT/IEEE International, vol. 1, pp. 102-107.

Fei, H. e Zhimei, W. (2003) "Multifractal analysis and model of the MPEG-4 video traffic," in Performance, Computing, and Communications Conf., vol. 9-11, pp. 463-467.

Feldmann, A., Gilbert, A. C. e Willinger, W. (1998) "Data networks as cascades: Investigating the multifractal nature of Internet WAN traffic". ACM/SIGCOMM'98, Vancouver. pp. 25-38.

Heyman, D., Tabatabai, A. e Lakshman, T. V. (1992) "Statistical analysis and simulation study of video conference traffic in ATM networks," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol. 2, no. 1, pp.49-59.

Huang, C., Devetsikiotis, M., Lambadaris, I. e Kaye, A. R. (1995) "Fast Simulation for Self-Similar Traffic in ATM Networks." In Proc. IEEE ICC, Pages 438-444.

ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11. (2000) "Overview of the MPEG-4 standard".

ISO/IEC/JTC1/SC29/WG11 MPEG Test Model 2 (1992) "Coded Representation of Picture and Audio Information".

Krishna, M. P., Gadre, V. M. e Dessay, U. B. (2003) "Multifractal based network traffic modeling". Kluwer Academic Publishers.

Liu, H. H., Hsu, P. L. (2006) "Design and simulation of adaptive fuzzy control on the traffic network". In International Joint Conference SICE-ICASE, pp. 4961-4966.

Maglaris, B., Anastassiou, D., Sen, P., Karlsson, G. e Robbins, J. (1988) "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications", vol. 36, no. 7, pp. 834-844.

Neumaier, A. e Schneider, T. (2001) "Estimation of parameters and eigenmodes of multivariate autoregressive models". ACM Trans. Math. Softw. 27, 1 (Mar.), 27-57.

Ouyang, Y. C., Yang, C. W. e Lian, W. S. (2006). "Neural networks based variable bit rate traffic prediction for traffic control using multiple leaky bucket". Journal of High Speed Networks. vol. 15, no.2, pp.11-122.

Park, K. e Willinger, W. (2000) "Self-similar Network Traffic and Performance Evaluation". John Wiley and Sons, New York.

Ribeiro, V.J., Riedi, R.H., Crouse, M.S. e Baraniuk, R.G.(2000) Multiscale queuing analysis of long-range dependent traffic, Proc. IEEE Infocom.

Riedi, R. H., Crouse, M. S., Ribeiro, V. J. e Baraniuk, R. G.(1999) "A multifractal wavelet model with application to network traffic". IEEE Trans. on Information Theory, vol. 45, no.3, pp. 992-1018.

Seeling, P., Reisslein, M., Kulapala, B. (2004) "Network Performance Evaluation Using Frame Size and Quality Traces of Single-Layer and Two-Layer Video: A Tutorial". IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol. 6, No. 2, Pages 58-78.

Vieira, F. H. T. e Ling, L. L. (2008) "Modelagem de Tráfego de Redes Utilizando Cascata Multifractal Generalizada". RITA, Vol.15, No. 2.

Wang, S. H. e Qiu, Z. D. (2005) "A Novel Multifractal Model of MPEG-4 Video Traffic". Proceedings of ISCT2005.

Wang, S. H. e Qiu, Z. D., (2006) "Multifractal Analysis and Prediction of VBR Video Traffic". 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings.

Zainaldin, A., Lambadaris, I., e Nandy, B. (2008) "Adaptive rate control low bit-rate video transmission over wireless zigbee networks". Proceedings of ICC2008.