

Modelagem de Vídeo MPEG-4 Utilizando Cascata Multifractal com Multiplicadores Autorregressivos

Flávio Geraldo Coelho Rocha, Flávio Henrique Teles Vieira e Douglas Borges de Oliveira Filho

Escola de Engenharia Elétrica e de Computação (EEEC/UFG)
Av. Universitária, n°.1488, Qd. 86, Bloco A
74605-010, Goiânia, GO, Brasil

flavio.geraldo@gmail.com, flavio@eee.ufg.br, douglasfilho@gmail.com

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.*

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 autoregressivos a cada escala. Verificamos também o desempenho do modelo em capturar as características das séries reais de tráfego em comparação a outros modelos multifractais.*

1. 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. Inicialmente, modelos baseados em cadeias de Markov, assim como processos autoregressivos foram desenvolvidos [Heyman et al. 1992],[Maglaris et al.1988]. No entanto, estes modelos eram capazes apenas de capturar as características de curta dependência entre as amostras. Em outras palavras, um processo com curta dependência significa que sua função de autocorrelação que mede essa dependência, apresenta um rápido decaimento (exponencial) à medida que se considera amostras mais distantes no tempo. Quando características de longa dependência foram consideradas, modelos, como por exemplo, FGN [Huang et al. 1995] e FARIMA [Cruz et al. 1998] foram aplicados. Pesquisas recentes têm mostrado que o tráfego de vídeo possui propriedades

que vão além daquelas relativas a simples processos auto-similares. Longa-dependência entre as amostras e tráfego em rajadas persistentes nas mais diversas escalas têm sido observadas [Feldman et al. 1998], [Wang e Qiu 2006]. 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, por exemplo dimensionar a banda realmente necessária para a transmissão dos dados. Além disso, modelos de tráfego podem ser utilizados em algoritmos para alocação eficiente de recursos e controle de taxa de transmissão em tempo real [Ouyang et al. 2006],[Aquino e Barria 2006].

Este trabalho tem o objetivo de propor 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 modelo proposto foi chamado de CMAM (Cascata com Modelagem Autorregressiva para os Multiplicadores). Testes de desempenho foram realizados e confirmaram o bom desempenho do modelo em comparação a outros modelos multifractais. O foco deste artigo é o de avaliar o modelo CMAM em termos de desempenho de modelagem, inclusive para séries de vídeo diferentes das apresentadas em [Rocha e Vieira 2011]. Além disso, o objetivo principal do artigo [Rocha e Vieira 2011] é o de utilizar o modelo como entrada para um esquema de controle de taxa de tráfego de vídeo que atualiza parâmetros de um codificador de vídeo de forma adaptativa.

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 proposto. Na seção 4, revemos alguns conceitos e características da modelagem de vídeo MPEG-4 e são mostrados os testes realizados para validar o modelo multifractal CMAM. Por fim, na seção 5, concluímos.

2. 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]. Através de ferramentas da análise multifractal algumas propriedades encontradas em processos reais podem ser verificadas. O tráfego de redes, por exemplo, ao ser considerado multifractal significa que possui uma estrutura de forte dependência inerente entre as amostras, com incidência de rajadas em várias escalas [Riedi et al. 1999]. Estas características podem degradar o desempenho de rede em relação a fluxos de tráfego Gaussianos e de curta-dependência [Riedi et al. 1999],[Vieira e Ling 2008],[Park e Willinger 2000].

2.1. Cascatas Multiplicativas

O conceito de cascata multiplicativa nos remete ao conceito de cascata binomial. A cascata binomial é um método de se obter um processo multifractal que consiste de um processo iterativo no intervalo compacto $[0,1]$. Ao se permitir que os multiplicadores da cascata sejam variáveis aleatórias independentes em $[0,1]$ com densidade de

probabilidade $f_R(X)$, obtém-se uma estrutura geral chamada cascata multiplicativa em que os multiplicadores são valores fixos.

2.2. Estimação da Densidade de Probabilidade dos Multiplicadores

Seja X^N o processo de tráfego no estágio N da cascata. 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 $i=1, \dots, 2^{N-j-1}$. 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. Ou seja, neste modelo assume-se que a distribuição dos multiplicadores $f_{R_j}(r)$ é gaussiana centrada em 0.5 e com variâncias que mudam a cada escala. Essas variâncias são estimadas a partir de histogramas [Krishna et al. 2003].

3. Cascata com Modelagem Autorregressiva para os Multiplicadores (CMAM)

3.1. 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 autoregressivos.

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:

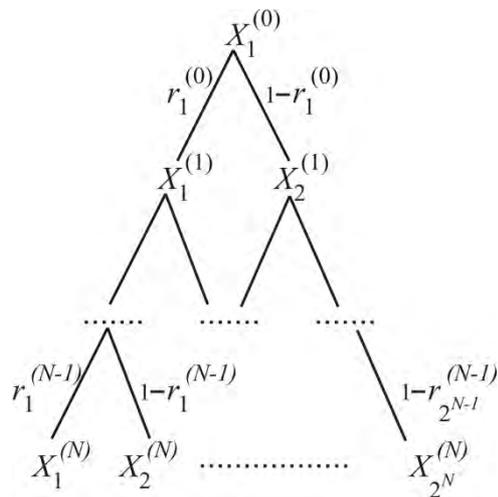


Figura 1. Processo de construção da cascata multiplicativa

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

Algoritmo 1

- 1) Calcula-se o valor agregado da série de tráfego obtido na última escala N ;
- 2) Estimam-se os multiplicadores usando as equações (1) e (2);
- 3) Calcula-se, através do método dos mínimos quadrados apresentado em [Neumaier e Schneider 2001], os parâmetros do modelo de regressão (processo autorregressivo) 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, gera-se amostras de um processo multifractal por meio do procedimento descrito na seção 2.

4. 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), cada GoP é composto por um quadro do tipo I, de um certo número de quadros do tipo P e opcionalmente de alguns quadros do tipo B localizados entre os quadros I e P, e entre quadros do tipo P consecutivos. 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].

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

Com o objetivo de comparar as características estatísticas do modelo CMAM e do tráfego de vídeo real, assim como de outros modelos multifractais de tráfego, são apresentados resultados e testes estatísticos como: média, variância e função densidade de probabilidade (*pdf-probability density function*).

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 exemplos, apresentamos nesta seção os resultados obtidos para duas séries de vídeo, sendo elas: “*Silence of the Lambs*” (O Silêncio dos Inocentes) e “*Lord of the Rings 3*” (Senhor dos Anéis 3), chamados neste trabalho de S.LAMBS e LORD3, respectivamente. Estes vídeos utilizam 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 (IBBBPBBBPBBBPBBB – G16B3). A série de vídeo LORD3 possui taxa de 25 quadros por segundo e agrupamento de 12 quadros por GoP ordenados da seguinte forma (IBBPBBBPBBB – G12B2). Mais informações sobre as características das séries de vídeo podem ser encontradas em [Seeling et al. 2004],[Rocha e Vieira 2011].

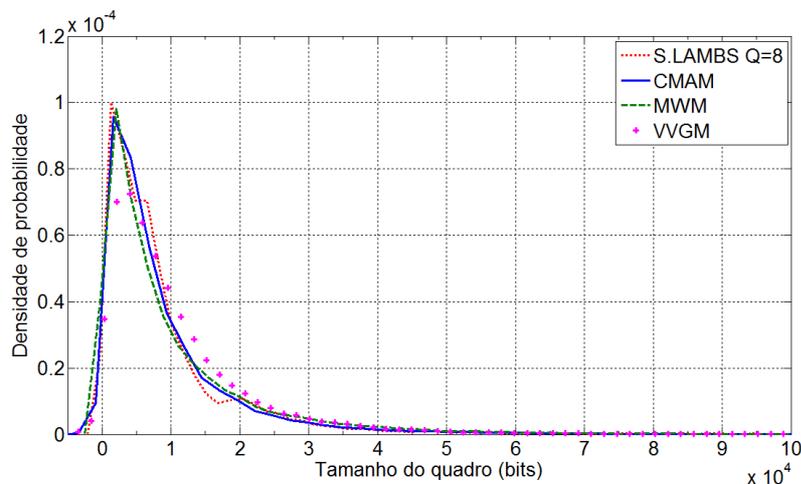


Figura 2 – Função densidade de probabilidade (*pdf*) – S.LAMBS

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. A análise estatística das séries de vídeo e as implementações dos códigos para a modelagem (VVGM, MW, CMAM) das séries foram realizadas no *software* Matlab.

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.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas do vídeo LORD3. Nesta tabela é possível observar que a média obtida para o modelo CMAM está muito próxima da série real e que a variância encontrada está mais próxima do real que o importante modelo MWM [Riedi et al. 1999].

Tabela 2. Média e variância – série de quadros – LORD3

Quadros (bits)	Média	Erro	Variância	Erro
LORD3	$2,872.10^3$	-	$9,362.10^6$	-
VVGM	$3,087.10^3$	7,52%	$1,082.10^7$	15,60%
MWM	$2,416.10^3$	16,03%	$6,296.10^6$	32,75%
CMAM	$2,844.10^3$	0,96%	$1,172.10^7$	25,21%

5. 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, propomos uma modelagem da distribuição dos multiplicadores através de processos autoregressivos 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. Os testes de desempenho de modelagem revelam que os

resultados do modelo CMAM são comparáveis e, na maioria dos casos, superiores ao do modelo MWM [Riedi et al. 1999].

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*, pp. 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 queueing 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.
- Rocha, F.G.C. e Vieira, F.H.T. (2011) “Modelagem e Controle da Taxa de Vídeo MPEG Utilizando Cascata Multifractal com Multiplicadores Autorregressivos, XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT, Curitiba PR.
- 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 ISCIT2005.
- 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.