

# Modelo para Previsão da Qualidade de Experiência na Transmissão de Vídeo sobre IP

Robert Christian Moritz Cantarutti Junior and Carlos Marcelo Pedroso

**Resumo**— A demanda por conteúdo de vídeo tem apresentado um crescimento significativo nesta década. Paralelamente à este aumento de demanda há o desafio em se atender a qualidade de experiência (QoE) esperada pelo usuário e ao mesmo tempo realizar o provisionamento de recursos da rede. Neste artigo propomos um modelo para previsão da QoE em função do nível de utilização do canal e do número de fluxos agregados de vídeos. O estudo também mostra como a latência, o tamanho do GOP (*Group of Pictures*) e a probabilidade de perda afetam a QoE prevista. Uma das principais aplicações previstas para o modelo é no controle de admissão de novos fluxos na rede.

**Palavras-Chave**— Sistemas multimídia, redes de comunicação, qualidade de experiência, controle de admissão

**Abstract**— The demand for video content have shown a significant growth in this decade. Parallel to this increase in demand is the challenge in supply the quality of experience (QoE) expected by the user while provisioning of network resources. In this paper we propose a model to predict the QoE using the utilization and the number of aggregate flows of videos. The study also shows how the video motion, the size of the GOP, and spatial compression affects QoE. One of the main applications for this model is to admission control of new flows in the network.

**Keywords**— Multimedia Systems, communication networks, Quality of Experience, Admission Control

## I. INTRODUÇÃO

Na evolução do campo de transmissão de vídeo algumas tecnologias surgem com objetivo de transmitir dados e logo são aperfeiçoadas com o objetivo de transportar sinais de vídeo. É o caso do protocolo IP (*Internet Protocol*), que além de permitir que vários tipos diferentes de formatos de vídeo, áudio e dados sejam transportados, apresenta novas possibilidades aso permitir um alto nível de interação com o usuário. Paralelamente, a demanda por conteúdo de vídeo de alta-definição e a implementação de sistemas de televisão por IP, ou IPTV (*Internet Protocol Television*) e VoD (*Video on Demand*) tem apresentado um crescimento consistente. De acordo com [1], a expectativa de crescimento de consumo de banda para serviços de VoD é de 27% ao ano nos próximos 5 anos. De acordo com a mesma referência, o crescimento da demanda por conteúdo de vídeo tende a criar problemas para as redes de acesso, principalmente de provedores de serviço do tipo *triple-play*. Nos últimos anos, ocorreu um grande crescimento do tráfego de vídeo com a enorme popularidade de *websites* como o *Youtube* e o *Netflix*, bem como o crescimento do número de usuários de sistemas IPTV em todo o mundo, inclusive no Brasil após a aprovação do Projeto de Lei Complementar 116 de 16 de agosto de 2011.

Robert C M Cantarutti Jr and Carlos Marcelo Pedroso Department of Electrical Engineering, Federal University of Paraná, Curitiba-PR, Brazil, E-mails: rcantarutti@gmail.com, pedroso@eletrica.ufpr.br

Pode-se classificar os desafios na área em três grandes categorias: (i) a transição definitiva do vídeo analógico para o digital, com conseqüente melhoria na qualidade de vídeo; (ii) pesquisa de técnicas de codificação, com melhor compressão do vídeo preservando a qualidade; (iii) pesquisa de técnicas transmissão da rede IP, como qualidade de serviço, tecnologias de redes de acesso, transmissão em *multicast*, alternativas para transmissão de VoD, métodos para melhoria e avaliação da qualidade da experiência. Nesta última frente está situado um campo que vem sido um ativo campo de pesquisa: métodos de controle de admissão para vídeos. Pode-se, por exemplo, utilizar o modelo de controle de admissão para maximizar a receita financeira baseada no preço do conteúdo, preservar a qualidade do serviço, otimizar o uso de banda disponível através de mudança adaptativa de qualidade dos vídeos, otimizar do uso da capacidade armazenamento em função da demanda ou para melhoria de desempenho de servidores de VoD.

Neste artigo propomos um método para previsão da QoE onde o objetivo é estudar o efeito da agregação de fluxos na QoE, em função de variáveis como o nível de utilização do canal e o número de fluxos agregados. Também estamos interessados em estabelecer como a latência, a estrutura do GOP (*Group of Pictures*), a intensidade de compactação espacial e o grau de movimento do vídeo afetam a QoE.

Este artigo está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta definições sobre os termos mais utilizados neste artigo como sistemas IPTV, padrão MPEG e QoE. A Seção III descreve o método utilizado para obtenção do modelo. A Seção IV apresenta o modelo para previsão de QoE e os resultados obtidos. A Seção V fornece as conclusões e apresenta observações sobre trabalhos futuros.

## II. SISTEMAS DE PARA TRANSMISSÃO DE VÍDEO POR IP E SUAS CARACTERÍSTICAS

O IPTV é definido pelo ITU como “serviços multimídia, como televisão/ vídeo/ áudio/ texto/ gráficos/ dados entregues por IP, utilizando redes gerenciadas para prover um nível de QoS/QoE, segurança, interatividade e confiança, desejados” (ITU-T Focus Group and GSI). No entanto, entre os organismos que promovem a padronização, como ITU-T, Open IPTV Forum, ATIS IIF e DVB Project, existem diferentes definições [2] [3].

Na transmissão de dados e vídeo pela rede IP, o conteúdo é dividido em pacotes. Desde o envio do vídeo pelo servidor até a sua chegada na exibição ao cliente, a rede IP pode causar atrasos e perda de pacotes, afetando a QoE de formas distintas.

A perda de um pacote pode ocorrer por descartes causados em virtude da falta de espaço nos *buffers* dos roteadores ou

caso a latência do pacote ultrapasse o tempo máximo para reprodução no cliente. A distorção resultante artefatos no vídeo digital, que podem ser caracterizadas de diversas maneiras: mosaico (ou *blocking*), *pixelização*, fantasmas, congelamento de quadros, entre outras [4]. Para que não haja queda significativa de QoE, a recomendação TR-126 [5] estabelece que o limite máximo para latência de um pacote para sistemas de vídeo utilizando MPEG-2 e MPEG-4 seja de 200ms.

Normalmente os sistemas IPTV utilizam redes de transmissão completamente controladas pelo provedor do serviço, que pode realizar configurações para prover qualidade de serviço e assegurar a QoE. Sistemas de *Internet TV* utilizam a Internet para transportar a informação e geralmente realizam o armazenamento do vídeo no equipamento cliente para reproduzir posteriormente, reduzindo os efeitos negativos da variação do atraso e da perda de pacotes. Em um sistema IPTV, o usuário possui um STB (*Set-Top Box*) que realiza a decodificação do fluxo de pacotes, produzindo como saída um sinal utilizado pelo equipamento de TV para reproduzir a imagem. Além disso, o sistema IPTV deve oferecer opções de transmissão de VoD e condições para que o usuário realize comandos interativos (troca de canal, pausa, avanço, entre outros) de maneira eficiente. Para que isto ocorra, existe uma latência máxima de propagação dos pacotes entre o servidor de vídeo e o STB.

A transmissão do vídeo entre servidor e STB normalmente é realizado utilizando estratégias de transmissão de um para muitos (*multicast*). Desta forma, no núcleo da rede será realizada a transmissão de agregados de fluxos de vídeo. Atualmente, uma das maneiras mais utilizadas para promover a QoS é o conjunto de serviços diferenciados [6], que realiza a transmissão de fluxos agregados e garante a justiça na distribuição de recursos através de um marcador de tráfego na borda da rede.

#### A. Padrão MPEG

O padrão MPEG (*Moving Pictures Experts Group*), definido pela ISO (*International Organization Organization*), tem como objetivo realizar a codificação de vídeo, utilizando as redundâncias espacial e temporal intrínsecas do vídeo para reduzir a quantidade de informação necessária sem perda significativa de qualidade da imagem.

Para codificação do vídeo, são produzidas imagens a uma taxa constante, dada em quadros por segundo (ou fps, *frames per second*). Cada quadro é equivalente a uma foto instantânea da imagem. Normalmente as taxas de transmissão de quadros estão entre 24 e 30 fps.

O padrão MPEG explora redundâncias nas imagens para reduzir a quantidade de informação para representá-las. As redundâncias espaciais são semelhanças entre regiões do mesmo quadro. A redundância espacial é explorada no MPEG através da aplicação da *transformada do cosseno*. As redundâncias temporais são semelhanças entre regiões de quadros subseqüentes. Para explorar a redundância espacial, os quadros são agrupados em uma estrutura denominada GOP (*Group of Pictures*). Um GOP inicia-se sempre com um quadro do tipo I (*intra-frame*), que é compactado apenas espacialmente.

Em seguida, é gerado um quadro P (*predictive-frame*), sendo codificado a partir de informações contidas no último quadro I ou no último quadro P. O GOP também utiliza quadros do tipo B (*bidirectional-frame*), que depende do quadro I ou P anterior e posterior para ser decodificado. A estrutura do GOP é composta por uma seqüência de quadros, por exemplo IBBPBBPBBPBB, que é repetida continuamente ao longo da duração do vídeo. Uma notação usual para representar a estrutura do GOP utiliza o par (X, Y), sendo X o número total de quadros e Y o número de quadros B consecutivos de um GOP. Desta forma, a representação (12,2) indica a seqüência IBBPBBPBBPBB e (8,1) indica a seqüência IBPBBPBB. Como resultado, o tráfego gerado pela transmissão de vídeos codificados com o padrão MPEG apresenta perfil de tráfego variável (VBR, *variable bit rate*). Este perfil de tráfego variável produz atraso, jitter e perda variáveis, afetando a QoE percebida pelo usuário. Variações na taxa de transmissão dos fluxos individuais podem causar perdas de pacotes e atraso que afetam a QoE de diversas formas.

Entre os padrões disponíveis, o MPEG-4 é atualmente um dos mais populares. A primeira versão foi aprovada em 2000 e as atualizações mais importantes como H.264 (recomendação MPEG-4 parte 10) tornaram-se padrões em 2003. O principal motivo da larga utilização do MPEG-4 é a redução nos requisitos de largura de banda para transmissão do vídeo. Estima-se que a transmissão de um vídeo em qualidade de alta definição (geometria de 1920x1080 pixels) demande entre 6 a 8 Mbps. O MPEG-4 é o padrão mais utilizado na transmissão de sistemas IPTV [3].

#### B. Perda de Pacotes

A perda de pacotes na rede pode impactar negativamente na qualidade de experiência percebida pelo usuário. Em [4] é apresentado um estudo sobre o impacto da perda de pacotes na rede. A perda de um pacote no início de um quadro I pode ter o mesmo efeito de perder um quadro I por inteiro, afetando todos os quadros do GOP, com a qualidade sendo recuperada apenas após o recebimento de um novo quadro I intacto. A perda de um pacote pertencendo a um quadro P também causa prejuízos durante um certo período de tempo porque ele é utilizado como referência na decodificação de quadros posteriores. A perda de pacotes pertencentes a quadros B produz degradação da qualidade menor se comparada com os demais tipos de quadro.

Um pacote é declarado perdido quando ele não chega ao destino pretendido. Pode acontecer por uma série de circunstâncias, sendo as principais: (i) erro no meio de transmissão, (ii) congestionamento nos *buffers* dos roteadores de rede e (iii) expiração do tempo limite para reprodução do vídeo. Um estudo realizado em [7] indica que a latência está passando a ser o fator dominante para determinar a qualidade na transmissão de sistemas de vídeo e voz.

#### C. Qualidade da Experiência

Uma das maneiras mais utilizadas para estimar a qualidade da experiência é o MOS (*Mean Opinion Score*). O MOS é

um teste subjetivo de qualidade, realizado por avaliadores humanos, padronizado pelo ITU em [8] e [9]. O resultado do teste é um número de 1 a 5 que indica a percepção de qualidade do avaliador, sendo 1 a pior qualidade e 5 a melhor.

Ao longo dos últimos anos, diversas técnicas objetivas de avaliação do MOS tem sido propostas. Estas técnicas são divididas em métodos referenciados, onde é possível comparar o vídeo original e o reproduzido e as não referenciadas, onde somente o vídeo reproduzido é analisado. Entre os métodos referenciados, se destacam duas abordagens: (i) avaliação da relação sinal-ruído de pico (PSNR, *Peak Signal-to-Noise Ratio*) [10] e (ii) avaliação utilizando o modelo psico-visual humano [11]. Neste trabalho, utilizamos o PSNR para realizar a avaliação do MOS. A aproximação máxima da avaliação do MOS por avaliadores humanos é secundária para atingir os objetivos, que é avaliar os efeitos a degradação relativa da qualidade da experiência em diversas situações.

### III. METODOLOGIA UTILIZADA

Foram realizadas simulações de transmissão de vídeo utilizando uma topologia *dumbbell*, conforme ilustrado na Fig. 1. A taxa de transmissão entre clientes-roteador e servidor-roteador foi configurada muito maior do que a taxa entre roteador-roteador, que representa o gargalo do sistema. O atraso de propagação entre cliente-roteador e servidor-roteador foi configurado para ser desprezível em comparação ao atraso roteador-roteador. Foi configurado um modelo de perda entre os dois roteadores utilizando o modelo de Gilbert-Eliot [12], com probabilidade de perda de 0,1%, com parâmetros sugeridos por [13] para reproduzir as condições de perda de uma rede de acesso ADSL típica. O atraso do enlace entre roteadores foi configurado para imitar condições típicas de uma rede de acesso, com dois valores: 30ms e 70ms, de acordo com o estudo realizado em [7]. O *buffer* de todos os elementos de rede foi mantido grande suficiente para que não houvesse perda de pacotes nas filas.

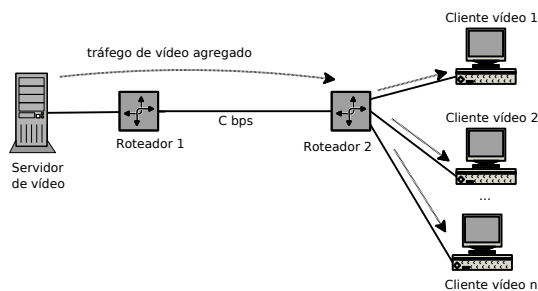


Fig. 1. Topologia de simulação

Foram produzidos diversas situações de uso da rede variando-se a taxa de transmissão entre os roteadores, de modo a produzir níveis de utilização desejados. A utilização é uma variável adimensional definida pela razão entre a taxa de transmissão média exigida pelos vídeos sendo transmitidos e a taxa do enlace entre roteadores. Foram realizadas simulações com utilização de 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%,

80% e 90%. A resposta da simulação foi analisada tomando-se o cuidado de verificar o intervalo para 95% de confiança. O período de *warm-up* da simulação foi identificado e removido, como recomendado por [14], para não influenciar na análise, que foi realizada utilizando-se períodos estacionários da simulação.

Os vídeos utilizados são disponíveis publicamente em [15]. Foram produzidos níveis de agregação com a transmissão de 1, 2, 4, 8 e 16 vídeos simultâneos além do vídeo utilizado como referência. Todos os vídeos iniciam a transmissão em um momento escolhido aleatoriamente entre 0 e  $1/f$ , sendo  $f$  a taxa de geração de quadros. Para melhorar a aleatoriedade, o primeiro quadro a ser reproduzido foi escolhido aleatoriamente entre todos os quadros do vídeo e caso a reprodução chegue ao fim, o vídeo continua sendo transmitido a partir do seu primeiro quadro. Todos os vídeos foram codificados com uma taxa de quadros de  $f = 30$  fps. Os vídeos foram codificados a partir do original em formato cru (YUV, com configuração luminância-crominância 4:2:2 e resolução CIF (*Common Intermediate Format*) com 352x288 pixels, em formato MPEG-4 Parte 10.

Para a avaliação do MOS um dos vídeos foi utilizado como referência para o cálculo do PSNR. Os vídeos de referência foram *Highway* e *Football*. Além do nível de utilização e do número de fluxos de vídeo agregados, de forma a proporcionar condições para compreensão da variação de parâmetros de codificação e de rede, foram produzidas simulações considerando-se a variação dos seguintes fatores: estrutura do GOP, padrão de movimento do vídeo de referência, latência do gargalo e o grau de compactação espacial utilizado na codificação.

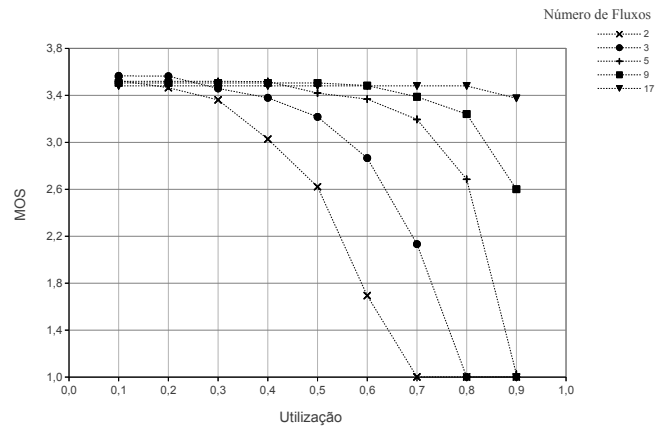


Fig. 2. Resultados da simulação

A Fig. 2 apresenta o resultado da simulação para uma situação de probabilidade de perda de pacote 0,1%, 30ms de atraso no enlace, estrutura de GOP (12,2) e geometria de 352x288 pixels. É possível perceber que a degradação da qualidade é mais severa quando a agregação de tráfego é menor. A medida que o nível de agregação aumenta, o MOS estimado melhora para o mesmo nível de utilização - este comportamento ocorre em todas as simulações. A razão deste comportamento é que, conforme o número de fluxos aumenta, as rajadas do tráfego de vídeo tendem a

ser acomodadas pela maior taxa de transmissão. Com uma taxa menor proporcionalmente menor, o efeito das rajadas de tráfego provocam problemas devido ao aumento do *jitter*. Para montagem desta figura são utilizados o resultados de 45 simulações, cada uma envolvendo a simulação da transmissão, remontagem da imagem e análise do PSNR.

#### IV. MODELO PREVISÃO DA QOE

A análise do comportamento do MOS nas várias situações simuladas permitiu realizar a modelagem desta variável em função do nível de utilização e do número de fluxos agregados, para os diversos cenários simulados. Propõe-se a utilização da seguinte função para modelagem do MOS:

$$f(x, y) = \alpha^{-x^y\beta} \quad (1)$$

onde:

- $f(x, y)$  representa o MOS (normalizado de 0 a 1);
- $x$  representa a utilização,  $0 < x < 1$ ;
- $y$  representa o número de fluxos agregados,  $y \geq 1$ ;
- $\alpha$  e  $\beta$  são constantes,  $\alpha > 0$  e  $\beta > 0$ .

A variação do parâmetro  $\alpha$  provoca o deslocamento da curva no sentido do eixo da utilização. Ao aumentar o parâmetro  $\alpha$ , a curva de desloca de modo que o vídeo tende a iniciar a degradação em fatores de utilização mais baixos. Ou seja, quanto maior o parâmetro  $\alpha$ , a degradação de qualidade irá iniciar em níveis de utilização menores. Com relação ao parâmetro  $\beta$ , quando maior o seu valor mais abrupta será a degradação do MOS a medida que a utilização aumenta, ou seja, aumentando-se este parâmetro aumenta-se o ângulo de inclinação da curva quando ocorre a alteração do MOS máximo para o MOS mínimo. Desta forma, pode-se chamar o parâmetro  $\alpha$  de *parâmetro de localização* e o  $\beta$  de *parâmetro de forma*.

A Fig. 3 apresenta um gráfico em três dimensões do modelo proposto com os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  ajustados para os dados na simulação da transmissão do vídeo *Highway* com compactação espacial baixa, 30ms de atraso, GOP (12,2) e probabilidade de perda de 0,1%. Neste caso, para ilustração, o MOS foi normalizado para um valor entre 0 e 1, com o nível 1 representando a qualidade máxima obtida para este vídeo. Na figura, o modelo proposto é desenhado em linhas contínuas e o resultado simulado é desenhado com o símbolo “\*”. Observa-se visualmente a boa aderência aos dados simulados e também o comportamento típico da degradação do MOS.

Para o ajuste dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  nas diversas simulações foi utilizado o algoritmo de regressão não linear Levenberg-Marquardt [16]. Para confirmar a aderência, além de observar o gráfico da curva vs. dados simulados, foi calculado o erro médio quadrático entre os dados simulados e o modelo. O erro ficou sempre menor do que 0,11 para todos os casos, o que confirma a boa aderência dos ajustes. O resultado do ajuste de parâmetros é apresentado nas Tabelas I e II. Os resultados apresentados na Tabela II referem-se à transmissão dos vídeos sem alteração no fator de qualidade, obtidos codificando-se o vídeo original no formato YUV com as mesmas matrizes de quantização do vídeo original. Os resultados apresentados na Tabela I foram obtidos alterando-se as matrizes de quantização

TABLE I

RESULTADOS DA MODELAGEM COM MAIOR COMPACTAÇÃO ESPACIAL

$\alpha$	$\beta$	Atraso(ms)	GOP	Video de Ref.
221.548	1.499	30	12 2	Highway
384.897	1.474	30	30 2	Highway
9.26174	1.146	30	12 0	Highway
8.79367	1.083	70	12 0	Highway

TABLE II

RESULTADOS DA MODELAGEM COM MENOR COMPACTAÇÃO ESPACIAL

$\alpha$	$\beta$	Atraso(ms)	GOP	Video de Ref.
2.50243e+19	0.950	70	4 2	Highway
4.38599e+19	0.958	70	12 2	Highway
5.56319e+19	0.972	70	15 2	Highway
1.11032e+20	0.991	70	18 2	Highway
2.19718e+20	0.997	70	30 2	Highway
7.56319e+19	3.058	70	4 2	Football
1.05922e+20	3.158	70	12 2	Football
1.66559e+20	3.352	70	15 2	Football
1.66559e+20	3.402	70	18 2	Football
2.15344e+20	3.557	70	30 2	Football
8.46316e+19	0.954	30	4 2	Highway
13.3134e+19	0.961	30	12 2	Highway
3.01841e+20	0.968	30	15 2	Highway
3.95649e+20	0.975	30	18 2	Highway
4.25609e+20	0.985	30	30 2	Highway
12.3581e+19	3.152	30	4 2	Football
3.15854e+20	3.427	30	12 2	Football
3.5296e+20	3.894	30	15 2	Football
4.5122e+20	3.910	30	18 2	Football
4.8664e+20	3.933	30	30 2	Football

dos vídeos para permitir uma maior compactação espacial das imagens, o que resultou em uma quantidade de informação menor para representar os vídeos. Neste último caso, o MOS máximo obtido para cada vídeo foi reduzido.

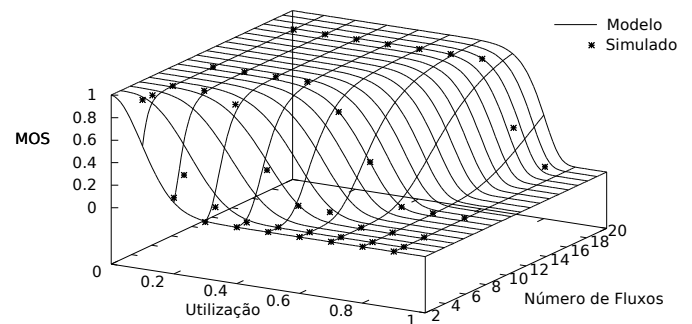


Fig. 3. Modelo proposto comparado com o resultado simulado

Os resultados apresentados nas Tabelas I e II indicam uma degradação no MOS mais acentuada para os níveis menores de agregação, com a curva típica ilustrada na Fig. 3 sendo observada em todos os casos. Além disso, os resultados possibilitam as seguintes observações sobre o impacto da variação das características do vídeo sobre o comportamento da QoE:

##### A. Variação na compactação espacial

Ao alterar o fator de qualidade para permitir uma maior compactação espacial, o sistema se tornou menos sensível à

perdas. Por exemplo, pode ser observado o comportamento do vídeo de referência Highway com atraso de 30ms, estrutura de GOP (12,2), probabilidade de perda de 0,1%, é possível perceber que a degradação ocorre em níveis de utilização maiores. No entanto, a degradação do MOS é mais abrupta neste caso. Este resultado indica que quanto maior a qualidade da compactação espacial, menor será o nível de utilização máximo do enlace para manutenção de níveis altos de QoE. Observa-se que, quanto menor a agregação, mais sensível é o sistema - desta forma, este resultado afeta principalmente a rede de acesso porque esta tende a transportar um número menor de fluxos agregados em comparação com os enlaces do *backbone* da rede.

### B. Variação no tamanho do GOP

Ao aumentar o tamanho do GOP, mantendo-se as mesmas condições para as outras variáveis, percebe-se um pequeno aumento em  $\alpha$  e também aumento em  $\beta$ . Isto indica que, com o aumento do GOP, o MOS se degrada de forma mais acentuada. Também indica que, com o aumento do GOP, o início da degradação ocorre em níveis de utilização menores. É importante observar que o aumento do GOP aumenta a compactação do vídeo. No entanto, os resultados indicam que o aumento do GOP faz com que a degradação inicie em níveis de utilização cada vez menores e de forma mais abrupta.

### C. Variação no vídeo de referência

O vídeo de referência *Football* possui um padrão de movimento maior do que o vídeo *Highway*. A comparação entre estes dois casos mostra que o vídeo *Football* foi modelado com um valor de  $\beta$  em torno de 3,5 vezes maior em comparação ao vídeo *Highway*. O valor da variável  $\alpha$  é semelhante para situações equivalentes. Isto significa que a degradação do MOS para o vídeo com menor movimento foi mais suave.

### D. Variação na latência do gargalo

O aumento da latência provocou um aumento no parâmetro  $\alpha$  estimado no modelo. O parâmetro *beta* permaneceu equivalente. Isto significa que o aumento da latência no gargalo fez com que o vídeo inicie a degradação em fatores de utilização menores.

## V. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste artigo foi proposto um modelo para previsão da QoE para sistemas que realizam a transmissão de vídeo sobre o protocolo IP. O modelo utiliza o número de fluxos agregados e o nível de utilização. Também foi analisada a variação do grau de compactação espacial, o tamanho do GOP, o padrão de movimento do vídeo de referência e a latência no gargalo da rede. O modelo foi parametrizado a partir da transmissão simulada de vídeos disponíveis publicamente. Os resultados indicam que o modelo proposto é aderente aos dados reais.

Os resultados apresentados indicam de que forma a variação dos diversos parâmetros em estudo afetam a QoE. O conhecimento deste padrão de comportamento é importante para os envolvidos em projetos de implantação de sistemas IPTV.

O modelo proposto também permite realizar previsões de qualidade, que podem ser aplicados em diversos cenários.

Uma das principais aplicações do modelo é resolver o problema de controle de admissão baseado na previsão de QoE, de forma a admitir ou rejeitar novos fluxos para se manter a QoE desejada. É possível estabelecer regiões operacionais para admitir fluxos nos enlaces utilizando-se como referência o modelo proposto, parametrizado de acordo com as condições operacionais da rede. A parametrização pode ser realizada utilizando-se simulações ou mesmo através de medições na própria rede.

Como trabalho futuro, pretende-se ampliar o conjunto de parametrizações disponíveis, utilizando vídeos em alta definição. Com a ampliação das situações onde os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  são conhecidos, um administrador de rede poderia utilizar os parâmetros já tabelados como critério de admissão de novos fluxos, por exemplo, para sistemas VoD ou mesmo para realizar a reserva de recursos na rede ou dimensionamento de capacidade de enlaces.

## REFERÊNCIAS

- [1] "Video shakes up the IP edge. a Bell Labs study on rising video demand and its impact on broadband IP networks," January 2012, aLCATEL-LUCENT WHITE PAPER. Bell Labs. On Line: <http://www3.alcatel-lucent.com/>.
- [2] W. Simpson, *Video Over IP: Iptv, Internet Video, H.264, P2p, Web TV, and Streaming: a Complete Guide to Understanding the Technology*, ser. Electronics & Electrical. Elsevier Science & Technology Books, 2008.
- [3] J. Maisonneuve, M. Deschanel, J. Heiles, W. Li, H. Liu, R. Sharpe, and Y. Wu, "An overview of IPTV standards development," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 55, no. 2, pp. 315–328, June 2009.
- [4] J. Greengrass, J. Evans, and A. C. Begen, "Not all packets are equal," *IEEE Internet Computing*, vol. 13, pp. 74–82, March 2009.
- [5] "Triple-play services quality of experience (QoE) requirements," December 2006, digital Subscriber Line Forum (DSL) TR-126. On-line: <http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-126.pdf>.
- [6] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, and D. Black, "RFC 2474: Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers," IETF, Tech. Rep., 1998. [Online]. Available: [www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt](http://www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt)
- [7] "Measuring broadband america," February 2013, federal Communications Commission (FCC). On-line: <http://www.fcc.gov/measuring-broadband-america/2013/February>.
- [8] "Recommendation ITU-R BT.1788," January 2007, methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications.
- [9] "Recommendation ITU-T P.910," April 2007, subjective video quality assessment methods for multimedia applications.
- [10] A. Lie and J. Klaue, "Evalvid-ra: Trace driven simulation of rate adaptive MPEG-4 VBR video," *Multimedia Systems*, vol. 14, no. 1, pp. 35–50, 2008.
- [11] M. Zink, O. Kunzel, J. Schmitt, and R. Steinmetz, "Subjective impression of variations in layer encoded videos," in *Proc. of 11th IEEE/IFIP Int. Workshop on QoS (IWQoS 03)*, 2003, pp. 137–154.
- [12] E. O. Elliott, "Estimates of Error Rates for Codes on Burst-Noise Channels," *Bell System Technical Journal*, vol. 42, pp. 1977–1997, 1963.
- [13] G. Hasslinger and O. Hohlfeld, "The gilbert-elliott model for packet loss in real time services on the internet," in *Measuring, Modelling and Evaluation of Computer and Communication Systems (MMB), 2008 14th GI/ITG Conference -*, 2008, pp. 1–15.
- [14] J. Banks, S. Carson II, J., L. Nelson B., and M. Nicol, D., *Discrete-Event System Simulation*, 3rd ed. Prentice Hall, 2001.
- [15] "Video trace library," January 2013, arizona State University. On Line: <http://trace.eas.asu.edu/>.
- [16] K. Levenberg, "A method for the solution of certain non-linear problems in least squares," *Quart. J. Appl. Maths.*, vol. II, no. 2, pp. 164–168, 1944.