

Um Protocolo para a Difusão Periódica de Vídeo sob Limitação de Banda Passante

Rogério M. Zafalão e Nelson L. S. da Fonseca
Instituto de Computação - Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6176 - 13083-970 Campinas, SP
{rzafalao,nfonseca}@ic.unicamp.br

Resumo—Protocolos de difusão periódica requerem largura de banda constante, sendo indicados para a transmissão dos vídeos mais freqüentemente acessados em aplicações de vídeo-sob-demanda. No entanto, estes protocolos não consideram possíveis limitações de banda passante do usuário. Neste trabalho, é apresentado um novo protocolo chamado Protocolo de Difusão Poliharmônica com Limitação de Banda do Usuário (PDPH-LBU), que permite sua utilização por clientes com banda passante limitada.

Abstract—Periodic Broadcast Protocols require a constant amount of bandwidth regardless the number of viewers. However, most of them do not take into consideration the available bandwidth at the receivers. In this paper, a new protocol based on Polyharmonic Broadcast Protocol for users under bandwidth constrain is proposed.

I. INTRODUÇÃO

Protocolos de difusão periódica são vistos como uma opção escalável em aplicações de Vídeo sob Demanda (VoD), uma vez que requerem largura de banda constante independentemente do número de usuários. Nestes protocolos, o servidor divide um vídeo em vários segmentos, e transmite-os em um conjunto de canais dedicados à transmissão destes segmentos; cada cliente recebe dados de vários canais ao mesmo tempo para armazenar/exibir os quadros posteriores. Todos os protocolos que utilizam difusão periódica possuem uma organização similar: dividem cada vídeo em n segmentos, transmitidos simultaneamente via difusão em diferentes canais lógicos.

A largura de banda é um dos principais recursos que devem ser levados em conta para a implantação de um sistema de VoD. Quanto menor for a demanda de banda passante, mais usuários poderão ser agregados ao sistema. Entretanto, a maioria dos protocolos não foi concebida para suportar clientes com limitações de largura de banda. Os protocolos otimamente estruturados, por exemplo, requerem que todos os canais sejam recebidos ao mesmo tempo, podendo exigir mais banda passante do que a disponível pelo cliente.

A principal contribuição do presente trabalho é uma extensão do Protocolo de Difusão Poliharmônica, um protocolo otimamente estruturado, de forma a permitir usuários com limitação de banda passante. O presente artigo difere de [7] por uma nova formulação baseada em otimização não-linear

O presente trabalho está organizado da seguinte forma: Na Seção II introduz-se o conceito de protocolo otimamente estruturado. A Seção III apresenta o Protocolo de Difusão Poliharmônica sujeito a limitação de banda passante no usuário. A

Seção IV avalia a efetividade do novo protocolo. Conclusões são apresentadas na Seção V.

II. PROTOCOLOS OTIMAMENTE ESTRUTURADOS

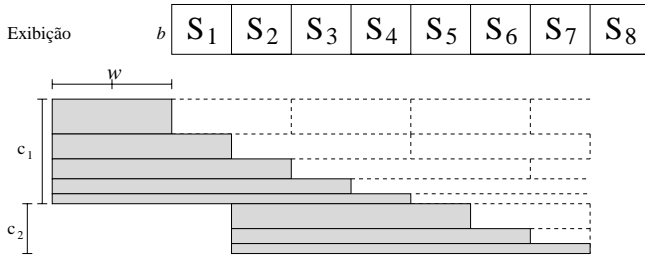
Em [2] foram definidas três regras para que protocolos de difusão periódica possam obter uma utilização mais racional da largura de banda. A primeira regra estabelece a transmissão única de um segmento durante o ciclo de recepção do usuário, isto é, desde o momento da requisição até o início da exibição deste segmento. A segunda regra sugere que nenhuma porção desnecessária do vídeo seja transmitido durante um ciclo. A última regra afirma a necessidade da entrega de todos os segmentos a tempo, sejam estes armazenados anteriormente ou exibidos simultaneamente à recepção. Esta última regra é vital para o correto funcionamento de qualquer protocolo de difusão periódica.

Os protocolos que seguem estas regras são candidatos a minimizar o desperdício de banda passante e por este motivo são denominados otimamente estruturados (*optimally-structured*). Os únicos protocolos considerados otimamente estruturados são o Protocolo de Difusão Poliharmônica (PDPH) e o GEBB (*Greedy Equal Bandwidth Broadcasting Protocol*, ou Protocolo de Difusão Guloso com Canais de Mesma Largura de Banda).

Um dos principais objetivos de qualquer protocolo de difusão periódica é a obtenção da menor latência de exibição possível. Como a latência está diretamente associada ao tamanho do primeiro segmento, torna-se possível reduzi-la através de uma maior segmentação do vídeo, reduzindo o prefixo e, por conseqüência a latência. Entretanto, o aumento no número de segmentos acaba por demandar uma largura de banda extra para acomodá-los.

Para permitir uma menor latência de exibição no caso da limitação de banda no cliente, utiliza-se a seguinte estratégia: introduz-se atrasos no calendário de recepção de alguns segmentos, a fim de se obter uma solução com a latência desejada e de tal forma que em qualquer instante da recepção o cliente não precise receber mais do que sua capacidade de banda passante.

Um grupo de canais que têm sua recepção de segmentos iniciada simultaneamente é definido como sendo um conjunto de canais. No mapa da Figura 1, por exemplo, vê-se dois conjuntos de canais: c_1 , que consiste nos cinco primeiros canais recebidos imediatamente após a requisição de exibição

Fig. 1. Mapa do PDPH-LBU (fora de escala em y) para $d = 2$

do cliente, e c_2 , compreendendo os três últimos canais, cuja recepção só se inicia no instante do término da recepção do segundo segmento. A partir daí ocorre um período de transição, onde o cliente passa a receber segmentos de canais de conjuntos adjacentes, até o término da recepção de segmentos do conjunto anterior.

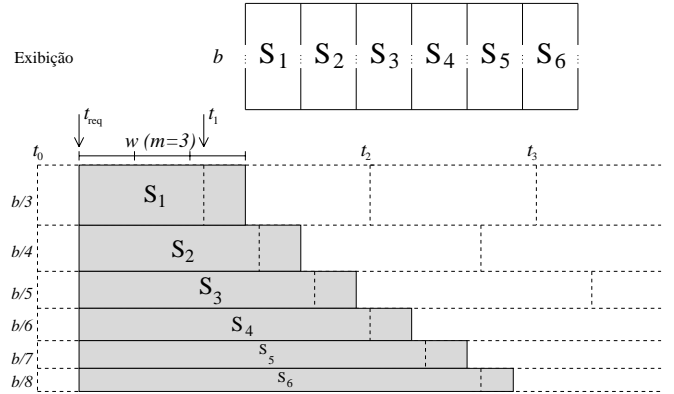
O problema que decorre desta abordagem é que, dentre a vasta gama de possibilidades de configuração dos parâmetros modificadores do calendário (largura de banda dos canais, tempo de atraso dos conjuntos de canais e o número de segmentos de cada conjunto), deve-se definir qual configuração demandará a menor banda passante do servidor. Para determinar a configuração ótima destes parâmetros, utiliza-se um problema de otimização.

A escolha de protocolos otimamente estruturados foi feita devido ao fato destes possuírem uma utilização mais racional da banda disponível, o que leva a um melhor desempenho em relação ao restante dos protocolos. A idéia principal é que, mesmo com a restrição de largura de banda do usuário, mantenha-se a utilização racional da banda passante do servidor. Para a exposição do Protocolo de Difusão Poliharmônica Sujeito a Limitação de Banda Passante do Usuário (PDPH-LBU), descrito na seção seguinte, optou-se pela seguinte organização: primeiro obtém-se os resultados para um conjunto de canais. O problema é, então, estendido através da divisão dos canais em conjuntos. O servidor transmite todos os canais de um determinado conjunto com um atraso em relação aos canais do conjunto anterior, para que um cliente possa receber cada conjunto utilizando sua capacidade máxima disponível. Com esta visão, os problemas de otimização para apenas um conjunto de canais são generalizados e resolvidos através de avaliação de todas as possibilidades ou algoritmos genéticos.

III. PROTOCOLO DE DIFUSÃO POLIHARMÔNICA SUJEITO A LIMITAÇÃO DE BANDA PASSANTE DO USUÁRIO

O protocolo de Difusão Poliharmônica (*Polyharmonic Broadcasting*)[5] foi o primeiro protocolo otimamente estruturado proposto. Da mesma família de protocolos que seu antecessor, o Protocolo de Difusão Harmônica (*Harmonic Broadcasting*), divide o vídeo em n segmentos de mesmo tamanho, transmitidos em canais exclusivos com largura de banda decrescente, tendo como base a série harmônica.

Este protocolo possui um parâmetro adicional m , relacionado com a largura de banda do primeiro segmento, cujo valor é igual à taxa de consumo do vídeo b multiplicada pelo

Fig. 2. Mapa do Protocolo de Difusão Poliharmônica ($m=3$)

m -ésimo termo da série harmônica (ou seja, com o valor $\frac{b}{m}$). Os segmentos seguintes seguem normalmente a série harmônica: $\frac{b}{m+1}, \frac{b}{m+2}, \dots, \frac{b}{m+n-1}$.

Além disso, cada segmento S_i tem o mesmo tamanho ($S_i = \frac{S}{n}, i = 1, 2, \dots, n$) e é transmitido a uma largura de banda igual a $\frac{b}{m+i-1}$, isto é, são necessárias $m+i-1$ fatias de tempo para recepção completa do vídeo.

A latência de exibição do PDPH equivale ao tempo de transferência do primeiro segmento, transmitido a $\frac{b}{m}$. Isto significa que levará m fatias de tempo para a recepção completa deste segmento. Sendo cada fatia de tempo equivalente à n -ésima fração da duração do vídeo (S), tem-se:

$$w = md = m \frac{S}{n} \quad (1)$$

A. O Protocolo PDPH-LBU

No primeiro estágio da adaptação do protocolo PDPH para clientes com limitação de banda passante, utiliza-se apenas um conjunto de canais, como ilustrado no mapa da Figura 2.

Como parâmetros do problema, foram considerados a latência de exibição w , a qual os clientes são submetidos, e um parâmetro, k , correspondente à razão entre a largura de banda disponível do cliente e a largura de banda utilizada para a exibição contínua do vídeo.

O problema de otimização associado ao PDPH com restrições, apresentado aqui com a denominação Protocolo de Difusão Poliharmônica com Limitação de Banda do Usuário, ou PDPH-LBU (*Polyharmonic Broadcasting with User Bandwidth Limit* [7]), é dado por:

$$\min [H(m+n-1) - H(m-1)] \quad (2)$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$H(m+n-1) - H(m-1) \leq k \quad (3)$$

$$w \geq m \frac{S}{n} \quad (4)$$

$$1 \leq m \leq m_{max} \quad (5)$$

$$m \frac{S}{w} \leq n \leq n_{max} \quad (6)$$

onde m e n são inteiros, correspondem aos mesmos parâmetros utilizados no PDPH e representam, respectivamente, o termo inicial da série harmônica e o número de segmentos ao qual o vídeo é submetido. m_{max} e n_{max} definem o valor máximo destas duas variáveis. O parâmetro n_{max} define a granularidade da segmentação, acarretando em um compromisso entre desempenho e computabilidade. Se por um lado, uma segmentação menor traz um desempenho mais baixo (através de uma latência de exibição maior e, por vezes, também uma maior demanda de banda passante), por outro lado uma grande segmentação acarreta em uma complexidade computacional maior para o gerenciamento destes segmentos, tanto na *set-top-box* quanto no servidor.

A primeira restrição (3) trata do ponto central do PDPH-LBU. Ela representa a indicação da largura de banda máxima permitida a um cliente durante a recepção de um vídeo. Esta banda passante é denotada por kb , onde k é o múltiplo do número de canais em relação à taxa de consumo b . No PDPH, o momento no qual a largura de banda exigida é máxima ocorre durante as primeiras m fatias de tempo, quando o cliente recupera todos os n segmentos recebidos simultaneamente. Sendo $\frac{b}{i}$ a largura de banda utilizada pelo i -ésimo canal, obtém-se, então, a seguinte restrição:

$$b \left(H(m+n-1) - H(m-1) \right) \leq kb$$

ou, simplificando,

$$H(m+n-1) - H(m-1) \leq k, \quad (7)$$

já que b deve ser estritamente positivo.

Note que o cliente precisa esperar durante as primeiras m fatias de tempo para armazenar completamente o primeiro segmento, já que é transmitido a uma largura de banda igual a $\frac{b}{m}$, e só então inicia a exibição do vídeo. Tendo cada fatia de tempo uma duração equivalente a S/n segundos, e dado um limite w para o tempo de espera máximo, tem-se a obrigatoriedade deste limite w não ser menor que o tempo de m fatias de tempo, obtendo-se então a segunda restrição (4).

Rearranjando-se a expressão, obtém-se ainda:

$$m \frac{S}{w} \leq n, \quad (8)$$

um limite inferior para a variável n , que é limitada superiormente por um parâmetro n_{max} dado. A variável m é restringida através da terceira restrição, dada pela inequação 5.

B. PDPH-LBU com vários conjuntos de canais

Atrasos no calendário de recepção de alguns segmentos são introduzidos (Na Figura 1, correspondem ao sexto, sétimo e oitavo segmentos), de forma a se poder obter uma solução viável tal que o cliente receba no máximo uma quantidade de segmentos equivalente a sua disponibilidade de banda passante. Esta é a idéia do PDPH-LBU em sua forma geral, com vários conjuntos de canais. A adição destes conjuntos

de canais acarreta em uma perda de eficiência decorrente do aumento na demanda de banda passante do servidor, mas em compensação consegue satisfazer condições mais restritivas de tempo de espera, pois assim torna-se possível o aumento do número de segmentos, diminuindo assim a latência de exibição. Há então um compromisso entre um aumento na largura de banda do servidor, e a latência de exibição, que consegue se reduzir.

Denota-se por d a *dimensão* do problema, em outras palavras o número de conjuntos de canais existentes em uma instância PDPH.

C. Formulação do problema para vários conjuntos de canais

A utilização de vários conjuntos de canais torna possível a modelagem do problema de otimização utilizando a formulação para apenas um conjunto de canais. Tome-se como exemplo a Figura 1, onde há dois conjuntos de canais (c_1 e c_2). Cada um deles pode ser modelado separadamente através das equações da Seção III-A. Para dimensões maiores que um, obtém-se a formulação do PDPH-LBU generalizada, dada por:

$$\min \sum_{i=1}^d [H(m_i + n_i - 1) - H(m_i - 1)] \quad (9)$$

sujeito às restrições:

$$H(m_1 + n_1 - 1) - H(m_1 - 1) \leq k \quad (10)$$

$$H(m_{i-1} + n_{i-1} - 1) - H(m_{i-1} + n_{i-1} - m_i) + H(m_i + n_i - 1) - H(m_i - 1) \leq k, i = 2, \dots, d \quad (11)$$

$$m_{i-1} + n_{i-1} - m_i \geq 0, \quad i = 2, \dots, d \quad (12)$$

$$n = \sum_{i=1}^d n_i \quad (13)$$

$$m_1 \frac{S}{w} \leq n \quad (14)$$

$$1 \leq m_i \leq m_{max}, \quad i = 1, \dots, d \quad (15)$$

$$1 \leq n_i \leq n_{max}, \quad i = 1, \dots, d \quad (16)$$

Neste problema de otimização, cada uma das variáveis m e n do PDPH-LBU com um conjunto de canais é substituída por d outras variáveis, cada qual relativa ao próprio conjunto de canais. Em outras palavras, cada conjunto de canais c_i possui seus próprios parâmetros m_i e n_i . Os significados são os mesmos do problema com um conjunto de canais. Assim, m_i corresponde ao termo inicial da série harmônica correspondente à largura de banda alocada ao primeiro canal de c_i , e n_i corresponde ao número de segmentos do c_i -ésimo canal.

A variável n neste problema reflete agora a soma de cada valor n_i , ou seja, o número total de segmentos do vídeo, exatamente a restrição dada pela Equação 13.

As duas primeiras restrições, (10) e (11), são as restrições equivalentes à restrição do problema com um conjunto de canais (3) e diz respeito à largura de banda máxima permitida para difusão. A diferença é que há uma restrição somente para o primeiro conjunto de canais (10), e na segunda restrição (11) há $(d - 1)$ restrições para cada fase de transição entre dois conjuntos de canais adjacentes.

A restrição seguinte (12) torna obrigatório que um conjunto de canais não inicie a recepção antes que o conjunto anterior. O último segmento do conjunto de canais anterior $(i - 1)$ é transmitido em $m_{i-1} + n_{i-1} - 1$ fatias de tempo. O primeiro segmento do conjunto de canais atual i , por sua vez, é transmitido em m_i fatias de tempo. A diferença entre estes dois valores não pode ser superior a uma fatia de tempo, que corresponde ao intervalo de tempo entre o fim da transmissão de um canal para outro adjacente. Em outras palavras, como se trata da transição de um conjunto de canais para outro, neste caso ocorre uma aglutinação dos conjuntos de canais.

A restrição de latência de exibição do PDPH-LBU com vários conjuntos de canais (14) é obtida da mesma maneira que no modelo com apenas um conjunto (4), observando que o cliente deve esperar somente durante as primeiras m_1 fatias de tempo, e que uma fatia de tempo equivale ao tempo total do vídeo, S , dividido pelo número total de segmentos, ou seja,

$\sum_{i=1}^d n_d$. Tem-se então:

$$w \geq m_1 \frac{S}{n_1 + n_2 + \dots + n_d}, \quad (17)$$

ou, rearranjando:

$$n_1 + n_2 + \dots + n_d \geq m_1 \frac{S}{w} \quad (18)$$

obtendo-se então (14).

A restrição dada pelas Inequações (15) e (16) tem a finalidade de limitar o valor de cada uma das variáveis m_i e n_i , onde $1 \leq i \leq d$.

IV. UMA AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DO PDPH-LBU

Para se avaliar a efetividade do protocolo PDPH-LBU, foram realizados estudos sobre o compromisso entre as limitações do lado do cliente, notadamente a largura de banda, o tempo de espera máximo ao qual o cliente é submetido, e a largura de banda necessária pelo servidor no protocolo PDPH-LBU. Para tal fim, exemplos numéricos foram derivados.

Os problemas do PDPH-LBU são problemas de otimização inteiros e não-lineares. Não existe algoritmo computacional para a solução específica destes problemas. Assim sendo, o problema de PDPH-LBU foi resolvido, para $d = 1$ e $d = 2$, via avaliação de todas as possíveis soluções, e para $d \geq 2$, foram utilizados também algoritmos genéticos [6], [4].

A estrutura de um cromossomo para uma solução PDPH-LBU possui relação direta com as variáveis envolvidas no problema de otimização. Como cada solução depende apenas dos parâmetros m e n de cada conjunto de canais, cada

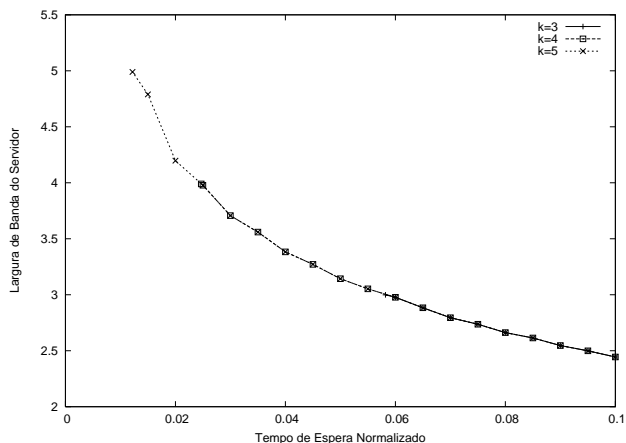
cromossomo é composto justamente pelos pares de parâmetros m_i e n_i , para cada conjunto de canais c_1, c_2, \dots, c_d .

A população inicial é gerada de forma que para cada gene de um indivíduo receba um valor aleatório entre sua faixa de valores possíveis. Depois da geração dos genes, são cheçadas as restrições do problema, para verificação da factibilidade da solução. Caso contrário, o indivíduo é descartado e não entra na população. Desta forma, os indivíduos são adicionados até atingir o tamanho da população inicial, definido neste trabalho em 500 indivíduos. Se ocorrerem 100.000 tentativas improdutivas para gerar um indivíduo, o melhor indivíduo é apresentado como solução do problema. A mesma verificação das restrições realizada na fase de geração dos indivíduos é feita após a geração de novos indivíduos por cruzamento e mutação, com taxas iguais a 60% e 5%, respectivamente [3]. Neste trabalho, utiliza-se 100 gerações para a obtenção do resultado final.

A fase de seleção dos indivíduos foi feita utilizando-se uma roleta com função de aptidão (*fitness*) igual a $\frac{1}{(F_{obj})^2}$. Também foi utilizada a reprodução seletiva, que garante que a melhor solução gerada até então sobreviva à próxima geração. O espaço de busca para a otimização da função de PDPH-LBU torna-se muito grande, o que faz com que uma heurística que não faça avaliação de todas as possíveis soluções, como algoritmos genéticos, obtenha uma solução aproximada da solução ótima, mas com um tempo de processamento muito menor.

As soluções para os problemas de otimização (tanto algoritmos genéticos como avaliação de todas as possibilidades) foram desenvolvidas em C e executadas em ambiente Linux em PCs Pentium 4. O tempo de execução de uma solução do PDPH-LBU depende da abordagem utilizada. A avaliação de todas as soluções possíveis depende diretamente dos parâmetros m_{max} e n_{max} . Para $d = 1$ o tempo de execução não foi significativo, assim como também não o foi para $d = 2$ com valores de m_{max} e n_{max} até 100. Já para $m_{max} = n_{max} = 1000$, as soluções chegam a levar uma hora de processamento. Para $d = 3$ o tempo de processamento tornou-se inviável, devido ao crescimento exponencial característico do problema. Utilizando-se algoritmos genéticos, soluções para $d = 1$ e $d = 2$ foram encontradas em tempo não significativo, e para $d = 3$, demora-se entre cinco e dez minutos para gerar cada solução. A variação deste tempo deve-se em grande parte à fase inicial do algoritmo, durante a geração da população inicial, pois a medida em que as soluções tornam-se mais restritivas, mais difícil torna-se também a geração de um indivíduo que satisfaça estas condições. Com relação à qualidade das soluções obtidas através de algoritmos genéticos, não foram apresentadas diferenças significativas em relação à versão de avaliação de todas as soluções possíveis.

Para os gráficos a seguir, utiliza-se a fração w/S como eixo das abscissas, uma vez que todos os resultados de latência de exibição obtidos podem ser dados em função do tempo total do vídeo. Exemplificando, um resultado onde $w/S = 0,04$ equivale a dizer que o tempo de espera para exibição é de 4% do tempo de duração total. Para um clipe musical de cinco minutos, esta latência equivale a doze segundos, enquanto em um filme de duas horas corresponde a quase cinco minutos de

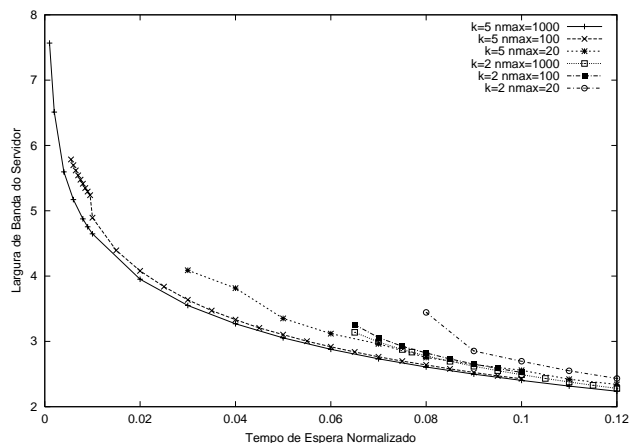
Fig. 3. Valores ótimos de B em função de w/S para PDPH-LBU ($d = 1$)

espera. Os resultados nas ordenadas estão em função da largura de banda do servidor, e é dada em múltiplos da taxa b utilizada para transmissão de um fluxo de vídeo, geralmente dada em Mbps. Uma solução encontrada que utilize uma largura de banda igual a $3,5b$ pode gerar uma demanda no servidor de 392 kbps caso utilize-se um fluxo MPEG-4 de 112 kbps, ou 70 Mbps em caso de utilização de um fluxo MPEG-2 HDTV de 20 Mbps.

Na Figura 3, mostra-se a demanda por largura de servidor (dada pela função B), em função da razão entre a latência de exibição e o tamanho total do vídeo, w/S . O gráfico mostra o limite de tempo de espera de acordo com o número de canais que o cliente possui. No caso do cliente possuir três canais ($k = 3$), a fração w/S equivale a 0,0582. Isto significa que, para um filme de duas horas de duração este cliente deverá esperar até oito minutos. Para $k = 4$ e $k = 5$, o cliente deve esperar, respectivamente, três e um minuto. Pode-se observar ainda a sobreposição de todas as curvas, independentemente do número de canais do cliente. A diferença entre elas está no limite inferior w/S obtido. Para cada curva, são geradas várias soluções para valores de w/S diferentes, até o ponto onde não se encontram soluções factíveis, sendo este ponto considerado como o limite inferior de w/S .

Até o ponto onde $w/S = 0,0582$, limite da latência para $k = 3$, as três curvas permanecem sobrepostas. Valores menores de latência requerem uma banda passante do cliente e do servidor maior do que $3b$ (uma vez que só há um conjunto de canais e todos devem ser recuperados simultaneamente), o que inviabiliza estas soluções. Entre as faixas de w/S entre 0,0582 e 0,0247, as curvas $k = 5$ e $k = 4$ se sobrepõem. Novamente, para latências menores do que 2,47% do vídeo são requeridos mais do que $4b$, inviabilizando assim as soluções para $k = 4$. A curva $k = 5$ persiste até a latência de 0,0122, ou seja um minuto e 12 segundos para um vídeo de duas horas.

Como este gráfico ilustra o PDPH-LBU com apenas um conjunto de canais, toda a largura de banda disponível pelo cliente é utilizada pelo servidor. Por este motivo, as curvas acabam sobrepostas, uma vez que a única limitação que as diferencia está na própria restrição de largura de banda máxima do cliente (restrição 3 do PDPH-LBU). Por exemplo,

Fig. 4. Estudo comparativo de n_{max} para o PDPH-LBU ($d = 2$)

ao desejar um tempo de espera igual a 4% do tamanho do vídeo, serão necessários $3,38b$ de largura de banda, permitidos apenas para clientes com largura de banda igual ou superior a esta. Estes valores evidenciam o compromisso entre a largura de banda dos clientes e a latência de exibição.

A Figura 4 mostra a influência da escolha de n_{max} para a resolução de PDPH-LBU para valores de k iguais a dois e cinco. As curvas do gráfico mostram um aumento significativo na demanda por banda passante e tempo de espera para uma segmentação pequena ($n = 20$) em relação a uma segmentação grande ($n = 1000$). Uma alternativa pode ser a utilização de uma segmentação intermediária que não requeira muita largura de banda adicional e ao mesmo tempo possua bons resultados em relação ao tempo de espera, como no caso de $n = 100$. Cabe salientar que uma segmentação excessiva poderia dificultar o processamento em servidores, acarretando um aumento de custos na infra-estrutura.

A segmentação exerce um papel direto na latência de exibição, porque um número maior de segmentos acarreta na diminuição do tamanho geral dos segmentos. Como a latência é diretamente relacionada com o tamanho do primeiro segmento, esta é reduzida na mesma medida.

Percebe-se ainda no gráfico que para uma restrição de $k = 2$ ocorre uma queda abrupta de desempenho em relação à restrição $k = 5$; este resultado já era esperado, uma vez que na referência [1] são indicadas perdas significativas quando há restrição no cliente de utilização de até dois canais simultâneos. Para uma segmentação de até 20 segmentos por conjunto de canais, a melhor latência obtida é de 8%, o que equivale a aproximadamente 8 minutos e meio para um vídeo de duas horas. Mesmo maiores segmentações não conseguem reduzir substancialmente a latência, baixando para sete minutos e 48 segundos.

Pode se constatar na Figura 5 uma pequena diferença entre as curvas, diferentemente da sobreposição encontrada na Figura 3. Vê-se nesta diferença uma pequena melhoria no requerimento da largura de banda do servidor quando o cliente possui uma maior capacidade de largura de banda. Nota-se também uma nítida vantagem em relação ao tempo de espera quando os clientes possuem uma largura de banda maior. Tanto

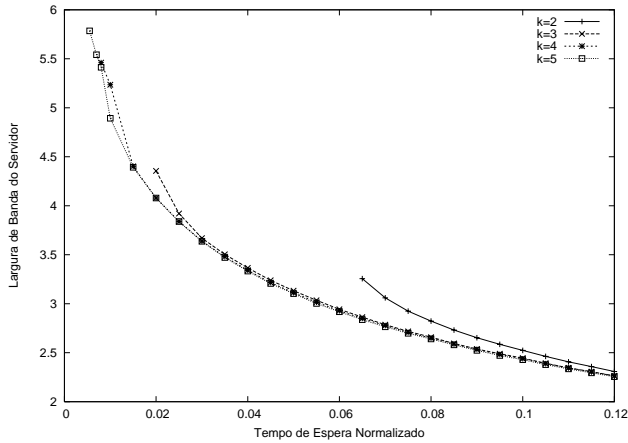


Fig. 5. Largura de banda do servidor em função de w/S para PDPH-LBU ($d = 2$)

a vantagem nos valores de B quanto na obtenção de melhores latências devem-se ao fato da abertura de novas possibilidades de configuração abertas pelo uso de dois conjuntos de canais. Para restrições mais apertadas, como $k = 2$ acabam sem poder beneficiar-se de tais configurações.

Clientes com limitações de largura de banda de $k = 4$ e de $k = 5$, isto é, com largura de banda 4 e 5 vezes maior que a taxa de exibição do vídeo podem ser atendidos mesmo quando o tempo total do vídeo é superior a 125 e 180 vezes o tempo de espera, respectivamente. Ou seja, em torno de 58 (para $k = 4$) e 40 segundos (para $k = 5$) de espera para um vídeo de duas horas. Em comparação com a versão com um conjunto de canais (Figura 3), percebe-se uma diminuição na latência de exibição em todos os casos. Na curva com a limitação $k = 5$, consegue-se um tempo de espera equivalente a 0,0055 do vídeo todo, enquanto que para $d = 1$ o valor mínimo obtido é de 0,0122.

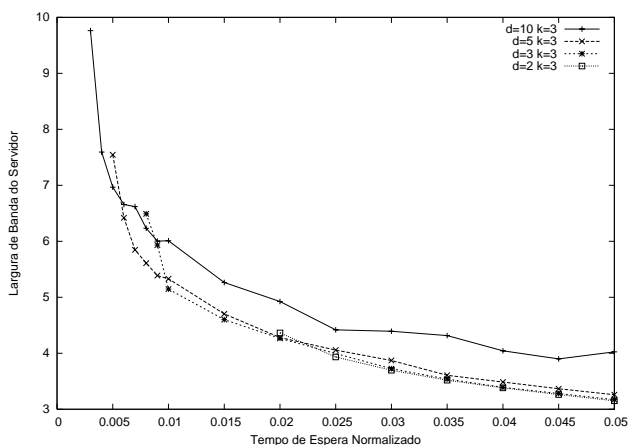


Fig. 6. Influência do parâmetro d

A Figura 6 ilustra a influência do parâmetro d no protocolo PDPH-LBU. Percebe-se uma clara melhoria devido à grande redução na latência mínima obtida com o aumento do número de conjuntos de canais. Da latência mínima de 5,82% do tamanho do vídeo para um conjunto de canais (Figura 3)

para 2% com dois conjuntos de canais, chegando a 0,8% para $d = 3$. A latência ainda é reduzida para 0,5% quando $d = 5$ e 0,3% para $d = 10$. Para o caso com cinco conjuntos de canais, percebe-se uma demanda ligeiramente maior do que para os casos com dois e três conjuntos de canais. Para $d = 10$, ao contrário dos anteriores, nota-se o grande aumento de demanda na largura de banda do servidor (em média, 0,8b a mais). No PDPH-LBU, a adição de um conjunto de canais implica no aumento de até n_{max} segmentos extras, o que diminui drasticamente a latência de exibição na transição de um até três conjuntos de canais. Desta forma, obtém-se soluções com pouca ou nenhuma diferença na demanda de banda passante do servidor, antes impossíveis por não atingir a latência especificada. Já para dimensões maiores o ganho na latência não é significativo (como na Figura 4, onde o desempenho com 1000 segmentos não é significativamente superior às soluções com 100 segmentos), aumentando assim de forma gradativa a largura de banda necessária.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho introduziu um novo protocolo de difusão periódica, resultado de uma adaptação do protocolo otimamente estruturado PDPH de forma que o mesmo permita a inclusão de usuários que possuam limitação na largura de banda. Uma nova técnica baseada na introdução de atraso na recepção de conjuntos de canais foi proposta. A efetividade deste novo protocolo foi avaliada.

Protocolos de difusão periódica com limitação de banda passante em clientes são específicos para um valor único de k . Em uma rede heterogênea, com clientes utilizando diferentes restrições de canais requerem transmissões exclusivas para cada caso ($k = 2, k = 3, k = 4, \dots$). A criação (ou verificação de impossibilidade) de um protocolo onde clientes com diferentes larguras de banda possam utilizar-se do mesmo *scheduling* de transmissão do servidor é um trabalho promissor.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado parcialmente pelo CNPq e pela CAPES.

REFERÊNCIAS

- [1] D. L. Eager, M. K. Vernon, and J. Zahorjan. Minimizing bandwidth requirements for on-demand delivery. In *Proc. 5th Intl. Workshop on Advances in Multimedia Information Systems, Indian Wells, CA, EUA*, pages 80–87, 1999.
- [2] A. Hu. Video-on-Demand broadcasting protocols: A comprehensive study. In *Proceedings of the IEEE Infocom 2001 Conference*, Anchorage, Alaska EUA, abr. 2001.
- [3] J. R. Koza, F. H. B. III, D. Andre, and M. S. Keane, editors. *Genetic Programming III: Darwinian invention and problem solving*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999.
- [4] S. R. Ladd. *Genetic Algorithms In C++*. New York: M&T Books, 1996.
- [5] J.-F. Pâris, S. W. Carter, and D. D. E. Long. A low bandwidth broadcasting protocol for video on demand. In *Proceedings of the 7th IC3N'98*, Lafayette, LA, EUA, pp. 690–697, out. 1998.
- [6] D. Whitley. An overview of evolutionary algorithms: Practical issues and common pitfalls. *Information and Software Technology*, 43(14):817–831, 2001.
- [7] R. M. Zafalão, N. L. S. Fonseca, and C. C. Souza. O protocolo polyharmonic broadcasting sujeito a limitação de banda passante. In *XXI SBRC, SBC*, volume I, pages 397–410, Natal, RN, mai. 2003.