

Um Mecanismo de Seleção de Pares Baseado no Tempo de Vida dos Participantes em Sistemas de Vídeo Par-a-Par

Igor M. Moraes e Otto Carlos M. B. Duarte*

¹Grupo de Teleinformática e Automação, PEE/COPPE-DEL/POLI,
Universidade Federal do Rio de Janeiro

{igor,otto}@gta.ufrj.br

Abstract. *In peer-to-peer video-on-demand systems, peers interact with the system stopping, jumping forward, and jumping back the video during its playback. Thus, each peer can be playing a given interval of the video and, consequently, the number of partners from which a peer can require video chunks varies and in some cases a few partners can be selected. In this paper, we propose a novel peer selection mechanism for peer-to-peer video-on-demand systems. The goal of our mechanism is to increase the synchronization of the video playback between a peer and its partners. For this purpose, the process of selecting partners is based on the lifetime of peers. We define the lifetime as the time since the beginning of the video playback. Thus, a peer selects other peers with closest lifetimes as partners in order to increase the intersections among their windows of interest. According to the results, the proposed mechanism is efficient for different interactivity patterns and for the analyzed configurations it provides a percentage of intersections among windows of interest in order of 80%. On the other hand, this percentage is in order of 30% with the traditional random selection mechanism.*

Resumo. *Nos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda, os participantes interagem com o sistema parando, avançando e retrocedendo o vídeo durante sua reprodução. Dessa forma, cada participante pode estar assistindo a um dado trecho do vídeo e, conseqüentemente, o número de parceiros dos quais se podem solicitar pedaços (chunks) desse trecho é variável, podendo em alguns casos serem poucos parceiros. Neste artigo, é proposto um novo mecanismo de seleção de pares para sistemas par-a-par de vídeo sob demanda, cujo objetivo é aumentar a sincronização da reprodução entre um participante e seus parceiros. Para tanto, o processo de seleção de pares é baseado no tempo de vida dos participantes. Define-se o tempo de vida como o tempo decorrido desde o início da reprodução do vídeo. Dessa forma, um dado participante seleciona como seus parceiros outros participantes que tenham tempos de vida próximos ao seu. Com isso, aumenta-se a probabilidade de interseção entre as janelas de interesse dos parceiros. De acordo com os resultados, o mecanismo proposto é eficiente para diferentes padrões de interatividade e para as configurações analisadas proporciona um percentual de interseção de janelas de interesse da ordem de 80%. Por outro lado, esse percentual é da ordem de 30% com o mecanismo de seleção aleatória tradicional.*

*Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ, FINEP e FUNTTEL.

1. Introdução

A difusão de vídeo ao vivo sobre sistemas par-a-par é atualmente um sucesso [Liu et al. 2008, Sentinelli et al. 2007, Rejaie 2006, Moraes et al. 2008a]. Tal afirmativa pode ser comprovada pelo número de sistemas disponíveis comercialmente e propostos na literatura [Moraes et al. 2008b], bem como pelo número de usuários desses sistemas. Alguns sistemas possuem milhões de usuários e suportam centenas de milhares de usuários simultâneos [Tang et al. 2007].

A maior parte dos sistemas de vídeo par-a-par é baseada na arquitetura em malha¹. Nos sistemas com essa arquitetura, um fluxo de vídeo é dividido em pedaços (*chunks*). Tais pedaços, por sua vez, são armazenados e enviados pelos próprios participantes, que colaboram para o funcionamento do sistema. Um participante também estabelece parcerias com outros nós do sistema. Os parceiros são os vizinhos de um participante na malha de distribuição. É importante ressaltar que um participante só envia mapas de *buffer* e troca pedaços de vídeo com seus parceiros. O mapa de *buffer* indica para os parceiros quais os pedaços do vídeo um dado participante possui. Com isso, um nó conhece quais pedaços do vídeo seus parceiros possuem e, dessa forma, pode definir de qual parceiro e quando vai requisitar um dado pedaço.

Embora a maioria dos sistemas de vídeo par-a-par implemente a difusão contínua de vídeo sem a possibilidade de interação do usuário, atualmente, o número de sistemas par-a-par que implementam serviços de vídeo sob demanda, que permitem parar/retroceder/avançar o vídeo, vem crescendo [Huang et al. 2007, Vratonjic et al. 2007, Annapureddy et al. 2007]. Entretanto, o uso de sistemas par-a-par para essa finalidade é um grande desafio [Huang et al. 2008]. Na difusão de vídeo ao vivo, a troca de pedaços entre os nós é facilitada, uma vez que os participantes recebem e reproduzem o vídeo a partir do instante de sua requisição. Com isso, o progresso da reprodução do vídeo é fortemente sincronizado entre os participantes, pois eles não podem controlar as ações de reprodução do vídeo e, portanto, têm interesse em um dado conteúdo durante um mesmo período de tempo. Os resultados dos experimentos realizados com o CoolStreaming, um dos sistemas pioneiros de vídeo par-a-par, mostram que o intervalo entre os trechos de um mesmo vídeo reproduzidos por diferentes participantes não é superior a um minuto [Zhang et al. 2005]. Por outro lado, no vídeo sob demanda, cada participante pode estar assistindo a um dado trecho do vídeo, dado que os participantes podem interagir com o sistema durante a reprodução do vídeo. Dessa forma, o número de participantes que simultaneamente se interessa por um mesmo trecho de um vídeo tende a ser menor por causa da dessincronização da reprodução dos participantes e, conseqüentemente, o número de parceiros dos quais se podem solicitar pedaços desse trecho também é menor. Por isso, a seleção de parceiros que tenham interesse nos mesmos pedaços em um dado período de tempo é fundamental para o funcionamento dos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda.

Os mecanismos de seleção de pares são uma alternativa que pode ser explorada para aumentar a sincronização do progresso de reprodução entre os parceiros em sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. Nos sistemas atuais, os parceiros são escolhidos de forma aleatória. Ao entrar no sistema, um novo participante recebe da fonte, ou de um

¹No restante deste artigo, ao se referir aos sistemas de distribuição de vídeo par-a-par, os autores estarão se referindo aos sistemas baseados na arquitetura em malha.

nó adjunto, uma lista de possíveis candidatos a parceiros. O novo participante, então, envia mensagens de estabelecimento de parcerias para os participantes contidos na lista. Os participantes que respondem positivamente à mensagem são considerados parceiros do novo participante. O conjunto de parceiros de um participante também é atualizado de forma aleatória. Periodicamente, um parceiro do qual se recebe menos pedaços de vídeo é substituído por outro, escolhido aleatoriamente da lista de participantes mantida por cada par. A seleção aleatória de parceiros nos sistemas de difusão se justifica, pois todos os participantes estão interessados em um dado trecho do vídeo. Por outro lado, no vídeo sob demanda, a seleção aleatória é menos eficiente, uma vez que os participantes entram no sistema em instantes diferentes e controlam a reprodução do vídeo. Sendo assim, a probabilidade de um participante recém-chegado ao sistema selecionar parceiros com interesses mútuos depende do tempo em que os demais participantes estão no sistema e do número de interações já feitas pelos participantes.

Neste trabalho, é proposto um mecanismo de seleção de pares específico para sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. O objetivo do mecanismo LIPS (*Lifetime-based Peer Selection*) é fazer com que o conjunto de parceiros, que são os participantes que trocam pedaços entre si, tenha interesse no mesmo trecho do vídeo. Para tanto, define-se uma métrica de seleção denominada tempo de vida (*lifetime*). O tempo de vida de um participante é dado pelo tempo decorrido desde o início da reprodução do vídeo até um determinado tempo de referência. Sendo assim, o tempo de vida indica há quanto tempo um participante está no sistema assistindo a um dado vídeo. Um participante seleciona como parceiros outros participantes que possuam tempos de vida próximos ao seu. Com isso, a chance de se selecionar parceiros com interesse em um trecho de vídeo comum é maior do que na seleção aleatória, uma vez que os participantes selecionados iniciaram a reprodução do vídeo em trechos próximos. Mesmo tendo iniciado a reprodução do vídeo em trechos próximos, os participantes podem interagir com o sistema e alterar o ponto de reprodução do vídeo a qualquer instante. Portanto, o padrão de comportamento dos usuários em serviços de vídeo sob demanda [Costa et al. 2004, Vielmond et al. 2007, Chesire et al. 2001] afeta o desempenho dos mecanismos de seleção de pares. Como mostram os resultados, o LIPS é eficiente em cenários com diferentes níveis de interatividade de participantes. O mecanismo proporciona uma diferença de até 50 pontos percentuais entre o percentual de interseção de janelas de interesse proporcionado pela seleção aleatória. O percentual das janelas de interesse indica o quão sincronizada está a reprodução do vídeo nos parceiros.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira. Na Seção 2, discutem-se os trabalhos relacionados aos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda, especialmente, sobre os mecanismos de seleção de parceiros. O mecanismo LIPS é apresentado e caracterizado na Seção 3. Na Seção 4, os modelos de comportamento de usuários são descritos, bem como o simulador implementado. Em seguida, na Seção 5, o desempenho do LIPS é avaliado e comparado com o desempenho da seleção aleatória de parceiros para vídeos com características e padrões de interatividade diferentes. As conclusões sobre este artigo são apresentadas na Seção 6.

2. Trabalhos Relacionados

O uso de sistemas par-a-par para implementar serviços de vídeo sob demanda é um grande desafio [Huang et al. 2008]. Existem trabalhos que propõem novos sistemas

específicos para tal finalidade [Vratonjic et al. 2007, Annapureddy et al. 2007]. Um deles é o BulletMedia [Vratonjic et al. 2007] proposto por Vratonjic *et al.* Segundo os autores, quando um participante altera o seu ponto de reprodução, ou seja, avança ou retrocede o vídeo, ele precisa rapidamente achar outros participantes que tenham os pedaços de vídeo referentes a esse novo ponto de reprodução. O BulletMedia define que todo pedaço de um vídeo deve ser replicado pelos participantes mesmo que ele não seja necessário para os pontos de reprodução atuais dos participantes ativos do sistema. Sendo assim, os participantes devem solicitar e armazenar pedaços de vídeo que não sejam usados para a reprodução imediata. Ao aumentar a disponibilidade de pedaços nos participantes, reduz-se a dependência do sistema em relação à fonte e também o tempo de espera para retomar a reprodução após uma parada, um avanço ou um retrocesso. O BulletMedia constrói duas redes sobrepostas: uma rede em malha e uma rede estruturada baseada em tabelas *hash* distribuídas. A rede sobreposta estruturada é usada para controlar a replicação dos pedaços. Ela também é usada pelos participantes para descobrirem a localização dos pedaços disponíveis no sistema e, conseqüentemente, afetar menos a continuidade de recepção após um avanço ou retrocesso.

Existem muitas propostas de mecanismos de seleção de pares para sistemas de compartilhamento de arquivos e de difusão de vídeo ao vivo [Liu et al. 2007, Liang e Nahrstedt 2006]. Na sua maioria, tais propostas buscam aumentar a eficiência do encaminhamento do conteúdo de vídeo na estrutura de distribuição. Por isso, o processo de seleção de pares é baseado em métricas de desempenho relacionadas normalmente à capacidade de transmissão, à continuidade de reprodução e à manutenção da qualidade do vídeo [Cui et al. 2007]. Rejaie e Stafford [Rejaie e Stafford 2004] e Zhang *et al.* [Zhang et al. 2005] alegam que seleção aleatória dos pares é suficiente para atender os requisitos desejados pela distribuição de vídeo. Por outro lado, Liang e Nahrstedt [Liang e Nahrstedt 2006] consideram que a seleção aleatória e a visão parcial dos participantes do sistema não são apropriadas para o estabelecimento de parcerias que atendam os requisitos de qualidade de serviço exigidos pela distribuição de vídeo. Para garantir esses requisitos, Liang e Nahrstedt propõem a separação de participantes do sistema em grupos de acordo com as características de desempenho. Dessa forma, um participante seleciona como seus parceiros somente membros do seu grupo. Para Liu *et al.*, a presença de pares em condições satisfatórias para atender a transmissão de vídeo está ligada à organização dos nós fisicamente na rede [Liu et al. 2007]. Segundo os autores, nós fisicamente próximos têm maiores chances de se tornarem melhores “encaminhadores” de vídeo. Entretanto, em redes sobrepostas, como as construídas pelos sistemas par-a-par, um nó vizinho pode não estar fisicamente próximo. Logo, organizar a rede sobreposta de forma a otimizar as distâncias físicas entre os nós vizinhos é o desafio.

O mecanismo proposto neste artigo difere dos demais por ser específico para a distribuição de vídeo sob demanda. O objetivo é determinar o conjunto de parceiros baseado no tempo de vida dos participantes levando-se em conta também o comportamento interativo dos participantes com o sistema durante a reprodução do vídeo. Com o LIPS, reduz-se o principal problema do vídeo sob demanda, que é a falta de sincronização entre os interesses dos parceiros durante a reprodução do vídeo. Esse objetivo é priorizado em relação ao aumento da eficiência da distribuição ao se selecionar parceiros, por exemplo, com maior banda passante disponível e menor atraso. Considera-se que é mais importante se ter pedaços de vídeo para trocar usando um enlace que não seja ótimo do que se ter um

enlace ótimo, mas com poucos pedaços para trocar.

3. O Mecanismo LIPS (*Lifetime-based Peer Selection*)

O mecanismo de seleção de pares proposto denomina-se LIPS (*Lifetime-based Peer Selection*) e é específico para sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. O objetivo do LIPS é formar parcerias entre participantes que tenham interesse nos mesmos pedaços de vídeo em um dado período de tempo. Como já mencionado anteriormente, tal tarefa se torna mais difícil em serviços de vídeo sob demanda, quando comparada à difusão de vídeo ao vivo, pois os participantes podem interagir com o vídeo durante a sua reprodução. Dessa forma, o número de participantes que simultaneamente se interessa por um mesmo trecho de um vídeo é variável e, conseqüentemente, o número de parceiros dos quais se podem solicitar pedaços desse trecho pode ser menor em alguns casos.

O processo de seleção de pares no LIPS é baseado no tempo de vida (*lifetime*) dos participantes. Define-se o tempo de vida de um participante como o tempo decorrido desde o início da reprodução do vídeo até um determinado tempo de referência. O tempo de vida indica há quanto tempo um usuário está no sistema assistindo a um determinado vídeo. Usar o tempo de vida para selecionar os pares é um artifício para sincronizar o progresso da reprodução do vídeo, como ocorre na difusão de vídeo ao vivo. O objetivo é fazer com que os pares que entrem no sistema em instantes próximos formem parcerias, pois tais nós têm interesse em pedaços de vídeo de trechos próximos. Além do tempo de entrada no sistema, a interseção de interesses também depende da interatividade dos participantes. Apesar de terem controle total sobre a reprodução do vídeo a qualquer instante, estudos mostram que os participantes de sistemas de vídeo sob demanda seguem padrões de interatividade determinados pelas características do vídeo [Costa et al. 2004, Vielmond et al. 2007, Chesire et al. 2001]. A duração e o conteúdo do vídeo, por exemplo, são fatores que influenciam a frequência e os tipos de interações feitas pelos participantes. Como será explicado a seguir na Seção 5, os resultados mostram que o LIPS é eficiente para diferentes padrões de interatividade obtidos a partir de dados reais.

O LIPS funciona da seguinte forma. O tempo de vida de um participante é dado por um contador que é incrementado em uma unidade a cada unidade de tempo. Por isso, o LIPS não requer a sincronização do relógio dos pares. O mecanismo proposto requer apenas que os participantes do sistema definam a mesma unidade de tempo para incrementar os contadores. Cada participante é responsável por atualizar e divulgar o seu tempo de vida. Entretanto, o LIPS não exige a introdução de novas mensagens no sistema. A difusão dos tempos de vida é feita através das mensagens de existência (*membership messages*), presentes nos sistemas de vídeo par-a-par. Tais mensagens são enviadas pelos participantes para anunciar sua atividade no sistema e, conseqüentemente, para que os demais pares atualizem suas listas de participantes. Dessa forma, é necessário apenas introduzir um novo campo nas mensagens de existência e uma nova entrada na lista de participantes para informar e armazenar o tempo de vida. O campo tempo de vida de uma entrada da lista de participantes pode ser atualizado tanto pelo próprio nó responsável pela lista quanto pela chegada de uma nova mensagem de existência.

A primeira atribuição de parceiros é feita pela fonte ou por um nó adjunto (*deputy node*) designado pela fonte. Na maioria dos sistemas de vídeo par-a-par, um nó ao entrar

no sistema recebe uma lista de candidatos a parceiros. Usando o LIPS, o responsável pelo envio dessa lista, considera que o tempo de vida de um novo participante é zero e envia como candidatos a parceiros os L últimos participantes a entrarem no sistema. Ao receber a lista, o novo participante envia mensagens de estabelecimento de parcerias. Assume-se que a recepção da primeira resposta positiva para o estabelecimento de parcerias dispara o contador do tempo de vida e, simultaneamente, a reprodução do vídeo é iniciada.

A cada t unidades de tempo o processo de atualização do conjunto de parceiros é disparado. Esse processo é necessário, pois o número máximo de parceiros pode ainda não ter sido atingido ou alguns dos parceiros podem ter deixado o sistema. Além disso, como os participantes interagem com a reprodução do vídeo, os parceiros podem deixar de se interessar pelo mesmo trecho do vídeo e, conseqüentemente, deixarem de trocar pedaços. O Algoritmo 1 ilustra o processo de atualização de parcerias.

Algoritmo 1 Atualização do conjunto de parceiros.

Requer: $t = atualizar$, $\mathcal{A}(t) > 0$ e $n \in \mathcal{A}(t)$
 $novosParceiros \leftarrow 0$
para todo nó $p \in \mathcal{P}_n(t)$ **faça**
 se $p \notin \mathcal{A}(t)$ **então**
 $remove(p, \mathcal{P}_n(t))$
 $novosParceiros \leftarrow novosParceiros + 1$
 fim do se
fim do para
se tamanho de $\mathcal{P}_n(t) < NUM_MAX_PARCEIROS$ **então**
 $novosParceiros \leftarrow novosParceiros + calcNovosParceiros(\mathcal{A}(t), maxParceiros)$
senão
 para todo nó $p \in \mathcal{P}_n(t)$ **faça**
 se utilidade(p) $< U$ **então**
 $remove(p, \mathcal{P}_n(t))$
 $novosParceiros \leftarrow novosParceiros + 1$
 fim do se
 fim do para
fim do se
 $\alpha \leftarrow 1$
enquanto $novosParceiros > 0$ ou $\alpha < A$ **faça**
 para todo nó $i \in \mathcal{A}(t)$ e $i \notin \mathcal{P}_n(t)$ e $i \neq n$ **faça**
 se $|l(t)_n - l(t)_i| < \alpha R$ e tamanho de $\mathcal{P}_n(t) < NUM_MAX_PARCEIROS$ **então**
 $adicionar(i, \mathcal{P}_n(t))$
 $novosParceiros \leftarrow novosParceiros - 1$
 fim do se
 fim do para
 $\alpha \leftarrow \alpha + 1$
 se $\alpha = A$ **então**
 $adicionar(fonte, \mathcal{P}_n(t))$
 fim do se
fim do enquanto

O algoritmo tem como entradas, no instante de atualização t , o conjunto de participantes ativos no sistema $\mathcal{A}(t)$ e o conjunto atual de parceiros $\mathcal{P}_n(t)$ do nó n . O primeiro passo do algoritmo é determinar se um dos parceiros p deixou o sistema ou falhou. Para isso, basta verificar as entradas ativas da lista de participantes do nó. Caso não haja nenhuma entrada relativa a um dos parceiros, ele é removido do conjunto $\mathcal{P}_n(t)$ e a variável *novosParceiros* é incrementada em uma unidade. Essa variável indica o número de nós a serem selecionados ao término da atualização. Neste ponto, se o tamanho de $\mathcal{P}_n(t)$ for menor do que o tamanho máximo do conjunto, definido por NUM_MAX_PARCEIROS, calcula-se o número de novos parceiros a serem selecionados. Do contrário, calcula-se a utilidade de cada parceiro para o nó. Tal função retorna uma pontuação para os parceiros de acordo com o número médio de pedaços enviados e recebidos por unidade de tempo. Se um nó tem uma utilidade abaixo do limiar U ele é removido. Um número de pacotes recebidos e enviados pequeno pode indicar que os parceiros não possuem mais interesse no mesmo trecho, devido a uma interação, ou que o enlace entre os pares está congestionado. Se algum parceiro foi removido do conjunto, novamente a variável *novosParceiros* é incrementada.

Os passos anteriores são necessários para se determinar o número de novos parceiros a serem selecionados. O passo seguinte corresponde à seleção de parceiros de acordo com seus tempos de vida. Para tanto, utiliza-se a técnica de anel expansivo. Dois parâmetros são necessários: o parâmetro α é o fator de expansão do anel e R é o limite do anel. A partir desses parâmetros, é possível determinar se o tempo de vida de um nó i , $l(t)_i$, é suficiente próximo do tempo de vida de n , $l(t)_n$, de acordo com a seguinte equação

$$|l(t)_n - l(t)_i| < \alpha R. \quad (1)$$

Os primeiros parceiros selecionados são aqueles dentro do limite inicial R do anel. A cada rodada, se o número de parceiros a serem selecionados ainda não foi atingido ou se o parâmetro α ainda está dentro do limiar A especificado, o parâmetro α é incrementado e o limite do anel é ampliado. O processo é repetido até um dos critérios de parada ser atingido. Caso o algoritmo pare devido ao número de parceiros a serem selecionados ser igual a zero, o conjunto de parceiros terá o maior tamanho possível no momento sem importar a diferença entre os tempos de vida dos parceiros. Por outro lado, se o algoritmo para em virtude do parâmetro α ser igual A é possível ter um conjunto de parceiros menor do que o máximo possível, porém com a diferença desejada entre os tempos de vida dos parceiros. Se o valor de α atinge o valor máximo A , a diferença entre o tempo de vida do nó n e dos candidatos a parceiros é grande e provavelmente tais participantes não terão interesses em trechos em comum do vídeo. Por isso, adiciona-se a fonte ao conjunto de parceiros de n .

Vale ressaltar que o LIPS é um mecanismo de seleção de parceiros que pode ser usado por qualquer sistema par-a-par de vídeo sob demanda baseado na arquitetura em malha, nos quais os participantes estabeleçam parcerias e troquem pedaços do vídeo. Além disso, a definição da heurística de escalonamento de pacotes é independente do mecanismo proposto. É importante ressaltar também que o tempo de vida foi escolhido como métrica de seleção ao invés do tempo de reprodução para evitar a sobrecarga de controle. Ao usar o tempo de reprodução, a fonte e os participantes devem estar atualizados sobre o tempo de reprodução atual de todos os participantes do sistema. Sendo assim, para toda

interação de qualquer um dos participantes, mensagens de atualização devem ser difundidas pela rede. Por outro lado, ao usar o tempo de vida, uma mensagem de atualização só é necessária quando um novo participante entra no sistema. Após isso, novas mensagens de atualização não são mais necessárias porque o tempo de vida é facilmente atualizado pela fonte e pelos demais participantes do sistema. É necessário apenas que eles incrementem um contador, como mencionado anteriormente.

4. O Ambiente de Simulação

Um simulador específico foi desenvolvido para avaliar o desempenho do mecanismo proposto e da seleção aleatória de parceiros. O objetivo é simular o padrão de interatividade dos participantes e observar a evolução da reprodução e as possíveis interseções entre os trechos assistidos pelos participantes. O padrão de interatividade dos participantes afeta o desempenho dos sistemas par-a-par de vídeo sob demanda, principalmente os mecanismos de seleção de pares. Segundo esse padrão, os participantes alteram o ponto de reprodução do vídeo e, conseqüentemente, alteram o trecho do vídeo no qual têm interesse. O tempo de entrada de uma participante no sistema, a frequência, o tipo e a duração das interações são parâmetros necessários para se determinar o comportamento e gerar cargas sintéticas próximas da realidade.

Neste trabalho, utiliza-se a caracterização de comportamento de usuários em serviços de vídeo sob demanda apresentada por Costa *et al.* [Costa et al. 2004]. Tal caracterização foi escolhida por analisar diferentes tipos de vídeo, de diferentes tamanhos e popularidades. Costa *et al.* definem padrões de comportamento para duas categorias de vídeo: vídeos de entretenimento e vídeos educacionais. Os vídeos de entretenimento são parametrizados de acordo com arquivos de carga dos servidores da TV UOL. A TV UOL é o serviço de vídeo sob demanda do UOL, o maior provedor de acesso à Internet da América Latina. Quando os experimentos foram realizados, o serviço tinha entre 34 e 520 mil acessos diários. Os vídeos educacionais, por sua vez, têm seus parâmetros extraídos de arquivos de carga do eTeach, um servidor de conteúdo educacional localizado na Universidade de Winsconsin, EUA. A frequência de cada tipo de interação e as distribuições e seus respectivos parâmetros são apresentados nas Tabelas 1 e 2. Os dois tipos de vídeo possuem durações diferentes e diferentes padrões de interação. A duração dos vídeos de entretenimento é, em sua maioria, menor do que as dos vídeos educacionais. O número de interações dos vídeos de entretenimento também é menor do que o dos educacionais. Quando existe uma interação nos vídeos de entretenimento, na maioria das vezes, é uma pausa. Por outro lado, nos vídeos educacionais a maioria das interações ainda são pausas, mas a frequência dos saltos para trás e para frente e a distância desses saltos é maior do que nos vídeos de entretenimento.

O simulador implementado, escrito em linguagem C++, é constituído basicamente por dois módulos. O primeiro módulo é responsável pela geração da carga sintética, que representa o comportamento interativo dos participantes ao longo da reprodução do vídeo. O segundo implementa os mecanismos de seleção de parceiros. A geração de carga sintética recebe com entrada as distribuições e parâmetros definidos, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2 e produz com saída um padrão de comportamento para cada participante do sistema. Define-se o tempo de entrada do participante no sistema, o número, o tipo e a duração ou a distância das interações e o tempo de saída do participante. Anteriormente à seleção de parceiros, o tempo de vida e o ponto de reprodução do vídeo são atualizados

Tabela 1. Frequência e tipo de interações dos participantes.

	Entretenimento (TV UOL)	Educacional (eTeach)
Tamanho do vídeo	5 minutos	20 minutos
Número de interações	1,29	4,74
Pausa	83%	57%
Salto para trás	13%	25%
Salto para frente	4%	17%

Tabela 2. Distribuições que caracterizam o comportamento dos participantes.

	Entretenimento (TV UOL)	Educacional (eTeach)
Tamanho do vídeo	5 minutos	20 minutos
Chegada dos participantes	Exponencial (média = 10 s)	Lognormal ($\mu = 5.5, \sigma = 0,95$, média = 450 s)
Duração da pausa	Weibull ($\alpha = 11.11, \beta = 0,57$, média = 25 s)	Weibull ($\alpha = 13, \beta = 0,42$ média = 55 s)
Distância de saltos para trás	Exponencial (média = 20 s)	Exponencial (média = 40 s)
Distâncias de salto para frente	Exponencial (média = 7 s)	Exponencial (média = 40 s)

de acordo com o padrão de comportamento de cada participante em um dado instante de tempo. Em seguida, os parceiros são selecionados ou atualizados, de acordo com Algoritmo 1, para o LIPS, ou de forma aleatória.

5. Resultados

O mecanismo proposto LIPS é comparado com o desempenho do mecanismo de seleção aleatória através de simulação. A seleção aleatória foi escolhida para a comparação, pois é o mecanismo mais usado pelos sistemas par-a-par de vídeo. Além disso, não foram encontradas na literatura propostas específicas de mecanismos de seleção de parceiros para a distribuição de vídeo sob demanda, que é o caso do mecanismo LIPS proposto neste trabalho. Avalia-se o desempenho do mecanismo proposto e da seleção aleatória para os dois padrões de comportamento de participantes, apresentados na Seção 4, relativos aos vídeos de entretenimento e educacional. A métrica usada na avaliação dos mecanismos é a interseção entre as janelas de interesse dos participantes e os mapas de *buffer* enviados por seus parceiros. Define-se que tal janela representa o intervalo de pedaços de vídeo no qual um nó tem interesse em um dado momento. Quando há interseção entre a janela de interesse de um participante e o mapa de *buffer* de um dos seus parceiros, é possível que esse parceiro tenha pedaços do vídeo desejados pelo participante. Considera-se que o intervalo da janela de interesse é o mesmo representado pelo mapa de *buffer*. Assume-se assim que os participantes armazenam e disponibilizam os

pedaços referentes à sua janela de interesse. Define-se que o percentual de interseções de um determinado nó é dado pela razão entre o número de parceiros que possuem interseção de janelas de interesse com esse nó e o número máximo de vizinhos.

Os parâmetros da simulação são apresentados na Tabela 3. Apesar de ter uma duração menor, o vídeo de entretenimento é mais popular do que o de ensino a distância, por isso o maior número de participantes durante a simulação [Costa et al. 2004]. Vale ressaltar que esse número não é o de participantes ativos e sim o número total de participantes que entram, assistem ao vídeo, e deixam o sistema ao longo da simulação. As janelas de interesse correspondem a 10% da duração do vídeo, considerando pedaços de um segundo. O limite do anel R é definido como $\frac{W}{3}$ e o fator de expansão máximo é $A = 5$. Com isso, um nó pode selecionar parceiros com até $5R$ unidades de tempo de diferença para o seu tempo de vida, antes de selecionar a fonte como parceiro. O número máximo de parceiros é definido de acordo com o valor sugerido por Zhang *et al.* [Zhang et al. 2005]. O mesmo comportamento dos participantes gerado a cada rodada de simulação é aplicado aos dois mecanismos. A simulação é iniciada no instante zero, no qual somente a fonte participa do sistema, e termina quando não resta mais nenhum participante assistindo ao vídeo. Considera-se que todos os participantes iniciam a reprodução do vídeo do seu ponto inicial e que nenhum participante falha ou deixa o sistema antes do término da reprodução do vídeo. Em cada período de atualização, tanto o LIPS quanto a seleção aleatória substituem o pior parceiro de um dado participante, que é um dos parceiros com os quais não se possui interseção de janelas de interesse.

A seguir, compara-se o desempenho do LIPS e da seleção aleatória usando como métrica o percentual de interseções, considerando todos os participantes, em função do tempo e do número de participantes ativos no sistema. Para todos os pontos das curvas apresentadas a seguir, calcula-se o intervalo de confiança para um nível de confiabilidade de 95%.

Tabela 3. Parâmetros da simulação.

	Entretenimento (TV UOL)	Educacional (eTeach)
Número de participantes	50	30
Janela de interesse (W)	30 pedaços	120 pedaços
Limite do anel (R)	10 s	40 s
Fator de expansão máximo (A)	5	5
Número máximo de parceiros	4	4
Tempo de atualização	10 s	10 s

A Figura 1 apresenta o percentual de interseções de janelas de interesse em função do tempo para os dois tipos de vídeo com o LIPS e a seleção aleatória. No intervalo de tempo apresentado, o número de participantes ativos no sistema é superior ao tamanho máximo do conjunto de parceiros. Cada ponto do gráfico representa o valor médio do percentual de interseção de todos os participantes ativos no sistema em um dado instante de tempo. Para os dois tipos de vídeo, o mecanismo proposto LIPS proporciona um maior número de interseções entre os parceiros. Nos dois cenários, o percentual de interseção do LIPS é sempre maior do que o proporcionado pela seleção aleatória. Para o vídeo de

entretenimento, o percentual médio de interseções com o LIPS é de 90% e com a seleção aleatória é de 69%. Para o vídeo educacional, esse percentual também é de 90% com o LIPS e de apenas 37% com a seleção aleatória. Isso mostra que o LIPS é eficiente em cenários com diferentes níveis de interatividade dos participantes. A explicação para o melhor desempenho do LIPS é a seguinte. A probabilidade de um participante recém-chegado ao sistema selecionar parceiros com interesses mútuos depende do tempo em que os demais participantes estão no sistema e do número de interações já feitas pelos participantes. Na seleção aleatória, nenhum desses parâmetros é levado em consideração. Por outro lado, o LIPS considera o tempo em que o participante está no sistema para selecionar os parceiros. Dessa forma, a probabilidade do estabelecimento de parcerias entre participantes com interesses mútuos aumenta, pois essa probabilidade passa a depender apenas da interatividade dos participantes. Por isso, os mecanismos são avaliados para diferentes níveis de interatividade. Como mostram os resultados, a escolha dos parceiros baseada simplesmente no tempo de vida é suficiente para aumentar o desempenho do sistema em relação à seleção aleatória para diferentes padrões de interatividade. Isso mostra que a escolha de parceiros com tempos de entrada muito diferentes afeta mais a sincronização dos parceiros do que a interatividade dos participantes, uma vez que as interações seguem um padrão de acordo com as características do vídeo. Portanto, a escolha do tempo de vida como métrica de seleção é justificada e explica o melhor desempenho do LIPS.

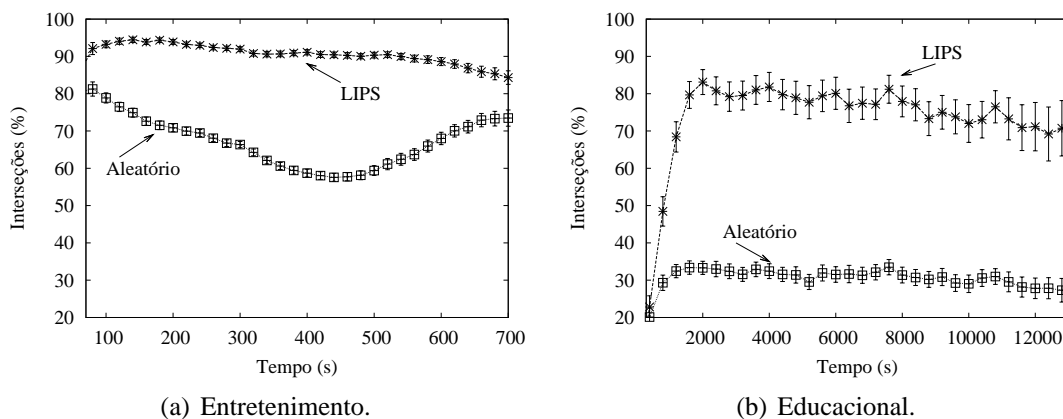


Figura 1. Percentual de interseções de janelas de interesse em função do tempo.

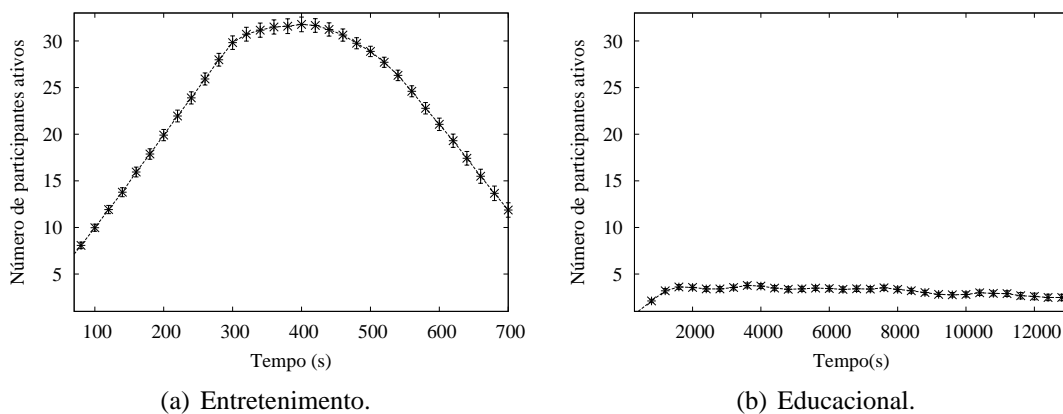


Figura 2. Número de participantes ativos em função do tempo.

Para o vídeo de entretenimento, ilustrado pela Figura 1(a), a diferença entre o percentual de interseções proporcionado pelos mecanismos diminui nos instantes próximos ao início e ao término do intervalo analisado e cresce na parte intermediária, chegando a uma diferença da ordem de 30 pontos percentuais. Esse comportamento se deve ao número de participantes do sistema, como pode ser observado na Figura 2(a). Os pontos da curva, ilustrada nessa figura, representam do número de participantes ativos no sistema em um dado instante de tempo. O gráfico só possui uma curva, pois o cenário de uma mesma rodada de simulação é usado para avaliar o LIPS e a seleção aleatória. Observa-se que, à medida que o número de participantes aumenta, o percentual de interseções proporcionado pela seleção aleatória diminui. Isso ocorre porque todos os participantes do sistema têm a mesma probabilidade de serem escolhidos com parceiros de um participante recém-chegado, sem importar quando o candidato a parceiro tenha iniciado a reprodução do vídeo. Por outro lado, com o LIPS, os nós recém-chegados formam parcerias entre si. Isso aumenta a probabilidade de interseção de interesses, uma vez que tal interseção passa a depender apenas das interações realizadas pelos participantes do sistema. Por isso, o LIPS é pouco influenciado pela variação do número de participantes no sistema. Nota-se também que, à medida que o número de participantes diminui, o desempenho dos dois mecanismos se aproxima, pois ambos passam a ter os mesmos candidatos a parceiros. Para o vídeo educacional, ilustrado pela Figura 1(b), a diferença entre o LIPS e a seleção aleatória se mantém constante em torno de 50 pontos percentuais. Novamente, tal comportamento se deve ao número de participantes ativos no sistema, que, em média, é de aproximadamente 4 participantes durante todo o intervalo mostrado.

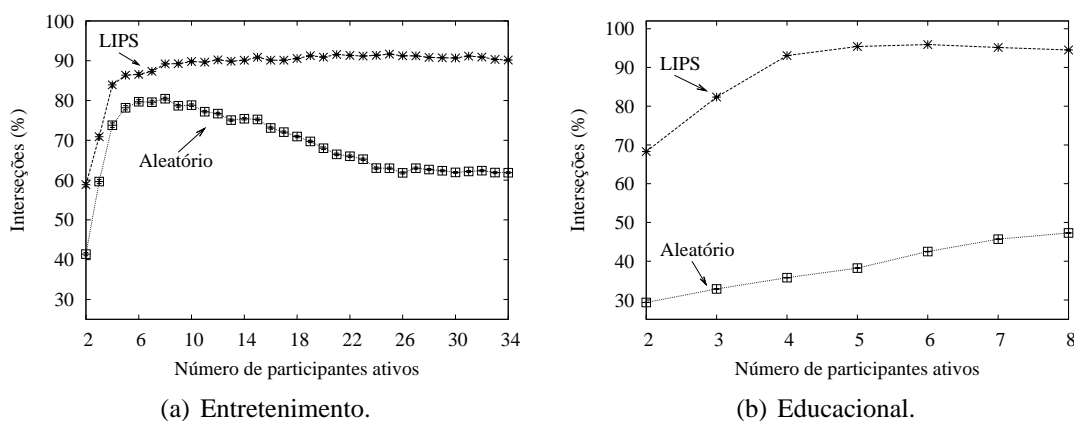


Figura 3. Percentual de interseções de janelas de interesse em função do número de participantes ativos.

Como visto anteriormente, o número de participantes ativos no sistema influencia o desempenho dos mecanismos de seleção de parceiros. Por isso, a Figura 3 mostra o percentual de interseções de janelas de interesse em função do número de participantes ativos no sistema para o LIPS e a seleção aleatória, considerando os dois padrões de interatividade. Os pontos das curvas representam a média dos instantes em que havia aquele número de participantes no sistema para os mesmos cenários analisados na Figuras 1 e 2. De acordo com os resultados, independentemente do número de participantes ativos, o LIPS proporciona um maior percentual de interseções de janelas para os participantes do sistema. Tanto para o vídeo de entretenimento quanto para o educacional, ilustrados

respectivamente pelas Figuras 3(a) e 3(b), as curvas do LIPS crescem até atingirem o tamanho máximo do conjunto de parceiros (quatro). Em seguida, as curvas se tornam constantes, o que mostra que o LIPS não é influenciado pelo número de participantes desde que existam mais participantes ativos do que o número máximo de parceiros. No LIPS o número de participantes que podem ser selecionados é limitado pelos parâmetros α e R do anel expansivo independentemente do instante de entrada do participante do sistema ou do seu instante de atualização de parcerias. Por outro lado, na seleção aleatória, cada participante tem a mesma probabilidade de ser selecionado como parceiro independentemente do tempo em que entrou no sistema e, portanto, a probabilidade de selecionar um parceiro sem interseção de janelas de interesse é maior.

6. Conclusão

Neste artigo, foi proposto um mecanismo de seleção de pares específico para sistemas par-a-par de vídeo sob demanda. A idéia básica do mecanismo LIPS (*Lifetime-based Peer Selection*) é formar parcerias entre participantes com tempos de vida próximos e, conseqüentemente, aumentar a probabilidade de um participante selecionar parceiros com interesse mútuo em um dado trecho do vídeo. O desempenho do LIPS foi avaliado e comparado com a seleção aleatória de parceiros através de simulação para diferentes cenários, considerando diferentes padrões de comportamento dos participantes. O percentual de interseções de janelas de interesse entre os parceiros foi usado como métrica de desempenho. O percentual das janelas de interesse indica o quão sincronizada está a reprodução do vídeo nos parceiros.

Os resultados mostram que o LIPS é eficiente em cenários com diferentes padrões de interatividade de participantes. Para o vídeo de entretenimento, o percentual de interação do LIPS se mantém na casa de 90%, podendo chegar a uma diferença de até 30 pontos percentuais em relação à seleção aleatória. Para o vídeo educacional, a diferença se mantém constante em torno de 50 pontos percentuais. Mostra-se também que o LIPS não é influenciado pelo número de participantes do sistema, desde que existam mais participantes ativos do que o número máximo de parceiros. No LIPS, o número de candidatos a parceiros é limitado pelos parâmetros do anel expansivo. Como trabalhos futuros, pretende-se analisar a adoção de parâmetros adaptativos para controlar o limite e a expansão do anel. Pretende-se desenvolver também um protótipo do mecanismo proposto.

Referências

- Annappureddy, S., Guha, S., Gkantsidis, C., Gunawardena, D. e Rodriguez, P. (2007). Exploring VoD in P2P swarming systems. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 2571–2575.
- Cheshire, M., Wolman, A., Voelker, G. M. e Levy, H. M. (2001). Measurement and analysis of a streaming media workload. Em *USENIX Symposium on Internet Technology and Systems - USITS*, páginas 1–12.
- Costa, C., Cunha, I., Borges, A., Ramos, C., Rocha, M., Almeida, J. e Ribeiro Neto, B. (2004). Analyzing client interactivity in streaming media. Em *International World Wide Web Conference - WWW*, páginas 534–543.
- Cui, Y., Dai, L. e Xue, Y. (2007). Optimizing P2P streaming throughput under peer churning. Em *IEEE GLOBECOM*, páginas 231–235.

- Huang, C., Li, J. e Ross, K. W. (2007). Can Internet video-on-demand be profitable? Em *ACM SIGCOMM*, páginas 133–144.
- Huang, Y., Fu, T. Z., Chiu, D.-M., Lui, J. C. e Huang, C. (2008). Challenges, design and analysis of a large-scale P2P-VoD system. Em *ACM SIGCOMM*, páginas 375–388.
- Liang, J. e Nahrstedt, K. (2006). RandPeer: Membership management for QoS sensitive peer-to-peer applications. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 1–10.
- Liu, J., Rao, S. G., Li, B. e Zhang, H. (2008). Opportunities and challenges of peer-to-peer Internet video broadcast. *Proceedings of the IEEE*, 96(1):11–24.
- Liu, Z., Shen, Y., Panwar, S., Ross, K. e Wang, Y. (2007). On scalability of proximity-aware peer-to-peer streaming. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 2561–2565.
- Moraes, I. M., Campista, M. E. M., Duarte, J. L., Passos, D. G., Costa, L. H. M. K., Rubinstein, M. G., de Albuquerque, C. V. N. e Duarte, O. C. M. B. (2008a). On the impact of user mobility on peer-to-peer video streaming. *IEEE Wireless Communications Magazine*, 15(6):54–62.
- Moraes, I. M., Campista, M. E. M., Moreira, M. D. D., Rubinstein, M. G., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2008b). Distribuição de vídeo sobre redes par-a-par: Arquiteturas, mecanismos e desafios. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*, páginas 115–171.
- Rejaie, R. (2006). Anyone can broadcast video over the Internet. *Communications of the ACM*, 49(11):55–58.
- Rejaie, R. e Stafford, S. (2004). A framework for architecting peer-to-peer receiver-driven overlays. Em *International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video - NOSSDAV*, páginas 42–47.
- Sentinelli, A., Marfia, G., Gerla, M., Kleinrock, L. e Tewari, S. (2007). Will IPTV ride the peer-to-peer stream? *IEEE Communications Magazine*, 45(6):86–92.
- Tang, Y., Luo, J.-G., Zhang, Q., Zhang, M. e Yang, S.-Q. (2007). Deploying P2P networks for large-scale live video-streaming service. *IEEE Communications Magazine*, 45(6):100–106.
- Vielmond, C. C. L. B., Leão, R. M. M. e de Souza e Silva, E. (2007). Um modelo HMM hierárquico para usuários interativos acessando um servidor multimídia. Em *Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*, páginas 469–482.
- Vratonjic, N., Gupta, P., Knezevic, N., Kostic, D. e Rowstron, A. (2007). Enabling DVD-like features in P2P video-on-demand systems. Em *Peer-to-Peer Streaming and IP-TV Workshop - P2P-TV*, páginas 329–334.
- Zhang, X., Liu, J., Li, B. e Yum, T.-S. P. (2005). CoolStreaming/DONet: A data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming. Em *IEEE INFOCOM*, páginas 2102–2111.