

Otimizando a Recuperação de Conteúdo em Redes Par-a-Par*

Melissa Morgado Costa, Marcelo Werneck Barbosa,
Jussara Marques de Almeida, Virgílio Almeida

¹Departamento de Ciência da Computação – Instituto de Ciências Exatas
Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha – 31210-070 Belo Horizonte, MG

{melissa, mwb, jussara, virgilio}@dcc.ufmg.br

Resumo. Um problema fundamental para o projeto de aplicações par-a-par (P2P) é a recuperação de conteúdo. Esta envolve a localização do par que armazena o conteúdo requisitado, a seleção do par a partir do qual será realizada a transferência e a transferência em si. Trabalhos anteriores enfatizam a otimização da localização do conteúdo, ignorando, em sua maioria, os demais fatores. Em contraste, este trabalho tem por foco principal minimizar o tempo total de transferência. Para tanto, foram propostas e avaliadas novas políticas de seleção de pares, aplicadas para o sistema Gnutella. Resultados de simulação com um conjunto estático de pares mostram que, comparando com sistema original, a nossa melhor política contribuiu para uma redução de até 27% na duração média das transferências e até 25% no número de transferências não realizadas, além de um aumento nas taxas de consultas bem sucedidas de até 15%, dependendo da topologia inicial da rede. Para cenários com um conjunto dinâmico de pares, foram desenvolvidas e avaliadas novas políticas de seleção de pares que priorizam os nós com maior disponibilidade. Apesar de produzirem uma redução modesta no número de transferências canceladas (6%), tais políticas representam um primeiro esforço na avaliação do impacto da disponibilidade de nós no desempenho de sistemas P2P.

Abstract. A fundamental issue in the design of peer-to-peer (P2P) applications is content retrieval. This process involves locating nodes that store the requested content, selecting a node from which to transfer the content and, finally, transferring the file. Previous work focuses on optimizing content location, ignoring, in most cases, the other aspects. In contrast, this work aims at minimizing the average file transfer time. We propose and evaluate new peer selection policies, applied to the Gnutella system. Results from simulation with a static set of peers show that, compared to the original system, our best policy reduces the average download time in up to 27% and the number of unsuccessful file transfers in up to 25%, and increases the query success rate in up to 15%, depending on the initial network topology. For scenarios with a dynamic set of peers, we design and analyze new peer selection policies that prioritize the most available nodes. Although they produce a small reduction in the number of cancelled file transfers (6%), these new policies represent a first effort towards the evaluation of the impact of peer availability on P2P system performance.

*Este projeto foi financiado por HP-Brasil e CNPq.

1. Introdução

Sistemas par-a-par, ou simplesmente P2P, estão se popularizando como um meio de armazenamento e troca de informação e compartilhamento de recursos entre milhões de usuários na Internet [Pandurangan et al., 2001]. Estes sistemas provêem infraestrutura para comunidades que compartilham ciclos de CPU, espaço de armazenamento, ou que suportam ambientes colaborativos [Ripeanu and Foster, 2002]. Os sistemas P2P são atraídos por diversas razões: sua boa escalabilidade em relação ao número de usuários simultâneos, a facilidade de inicialização e manutenção do sistema, a possibilidade de agregação e uso de um enorme poder de computação e recursos de armazenamento, e a grande tolerância a falhas e a ataques devido a sua natureza distribuída e descentralizada. Além disso, sistemas P2P permitem a integração a baixo custo de um grande número de usuários espalhados por regiões geograficamente distantes, possivelmente conectados em redes com diferentes velocidades de conexão, através do compartilhamento de recursos. Como exemplo de aplicações P2P populares podemos citar Napster [Napster, 2001], Gnutella [Gnutella, 2002], Kazaa [Kazaa, 2001] e eMule [eMule, 2004].

Um dos aspectos mais desafiadores no projeto de sistemas P2P é a recuperação de conteúdo, que envolve: (1) a localização de pares que tenham cópias da informação desejada, (2) a seleção do par a partir do qual o conteúdo será obtido e (3) a transferência em si [Sripanidkulchai et al., 2003]. Vários trabalhos disponíveis na literatura [Barbosa et al., 2004, Sripanidkulchai et al., 2003, Lv et al., 2002] tratam da localização eficiente de conteúdo em sistemas P2P, particularmente no sistema Gnutella, que é baseado na difusão controlada de mensagens de consulta e, portanto, pode apresentar sérios problemas de escalabilidade causados pela inundação de mensagens na rede. Esses trabalhos têm como objetivo a redução da carga de mensagens na rede e, conseqüentemente, da latência para se encontrar um arquivo.

Os arquivos tipicamente compartilhados em sistemas P2P (vídeo, áudio, software) são muito maiores que as mensagens de sinalização (consultas), alvo principal dos trabalhos anteriores. Portanto, a transferência dos arquivos é o componente fundamental do tráfego total em sistemas P2P e, conseqüentemente, também tem impacto significativo no desempenho da rede [Sen and Wang, 2002]. Apesar da sua relevância, não encontramos na literatura trabalhos anteriores que tratam da política de seleção de pares para otimização do desempenho das transferências de arquivos em sistemas P2P.

Neste artigo, diferentemente da maioria dos trabalhos anteriores, nós abordamos o problema da recuperação de conteúdo em sistemas P2P de forma inovadora, com foco na seleção do par a partir do qual será realizada a transferência e na transferência em si. Mais especificamente, nós desenvolvemos novas políticas para seleção de pares que podem ser divididas em duas classes: políticas para seleção de vizinhos e políticas para seleção de par para transferência. As políticas para seleção e substituição de vizinhos têm como objetivo permitir que os pares identifiquem os nós com melhor desempenho e tentem preferencialmente conectar-se diretamente a eles, na rede. Com isso, esperamos otimizar o desempenho dos nós, e conseqüentemente, do sistema como um todo. As políticas de seleção de par para transferência, por sua vez, priorizam nós com características distintas a fim de reduzir o tempo de transferência e, portanto, da recuperação de conteúdo como um todo. Este trabalho vem complementar o nosso esforço anterior na otimização da localização de conteúdo em sistemas P2P [Barbosa et al., 2004].

Para a avaliação das políticas de seleção de pares utilizamos um simulador da arquitetura Gnutella previamente desenvolvido por nós [Barbosa et al., 2004] e estendido neste trabalho. Este simulador inclui diversas características realistas, tais como heterogeneidade dos nós em relação à capacidade de armazenamento, largura de banda e atividade no sistema. Três métricas foram utilizadas para avaliação das políticas: (1) o tempo de transferência dos arquivos, (2) a taxa de sucesso para as consultas, e (3) o número de transferências não realizadas devido à inexistência de nós, entre aqueles que responderam à consulta, que possam aceitar a conexão. Um nó não aceita novas conexões caso a sua largura de banda disponível no momento de transferência não seja suficiente.

Pares em um sistema distribuído podem, eventualmente, se tornar indisponíveis. Se um par se torna indisponível, as transferências em andamento, sendo realizadas a partir dele, são automaticamente canceladas, comprometendo a recuperação de conteúdo. Para tentar reduzir o número de transferências canceladas em cenários em que o conjunto de pares é dinâmico, isto é, pares entram e saem do sistema dinamicamente, foram propostas e avaliadas políticas de seleção de vizinhos que priorizam nós com maior disponibilidade, ou seja, que tenham, historicamente, sessões mais longas no sistema.

O foco deste trabalho é o sistema Gnutella, em particular, a versão 0.4 do protocolo. Esta escolha foi baseada no fato deste sistema ser bastante difundido, ter um protocolo aberto, descentralizado e auto-organizável, além de já ter sido amplamente analisado, tornando possível a obtenção de informações sobre suas características. Fazemos notar que, apesar de termos escolhido uma aplicação específica para a experimentação e avaliação de nosso trabalho, acreditamos que os resultados qualitativos e conclusões obtidos podem ser estendidos a outros protocolos para redes auto-organizáveis.

As principais contribuições deste trabalho são:

- Análise de um aspecto da recuperação de conteúdo, a transferência dos arquivos, não avaliado na maioria dos trabalhos disponíveis na literatura.
- Desenvolvimento e análise de políticas de seleção de pares em redes descentralizadas e auto-organizáveis para otimização da qualidade de serviço observada pelo usuário. As políticas são de fácil implementação, não exigem alterações profundas nos protocolos e, logo, podem ser estendidas a outros sistemas descentralizados.
- Resultados de simulação que mostram que a utilização da largura de banda disponível como critério de seleção de pares para transferência e da localidade de interesses, avaliada através do conteúdo requisitado, para seleção de vizinhos, produzem um aumento de até 15% na taxa média de sucesso de consultas e a redução de até 27% e 25% na duração média das transferências e no número de transferências não realizadas, respectivamente.
- Desenvolvimento e análise de políticas de seleção de vizinhos que priorizam os pares mais disponíveis. Apesar de terem apresentado apenas uma pequena redução no número de transferências canceladas (6%), tais políticas representam um primeiro esforço para a análise do impacto da disponibilidade de pares no desempenho do sistema, aspecto ainda não explorado na literatura.

O restante deste artigo é organizado da seguinte forma. A seção 2 apresenta trabalhos relacionados. As novas políticas para seleção de pares propostas são apresentadas na seção 3. Na seção 4, descrevemos as principais características do simulador utilizado

neste trabalho bem como as métricas utilizadas para a avaliação das políticas. Os principais resultados experimentais obtidos para conjuntos de pares estáticos são apresentados na seção 5. As novas políticas de seleção de vizinhos que priorizam a disponibilidade, bem como os principais resultados da avaliação destas são apresentados na seção 6. A seção 7 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Esta seção apresenta os principais trabalhos relacionados existentes na literatura. A seção 2.1 descreve sucintamente o sistema Gnutella, foco deste trabalho, e a seção 2.2 sumariza os principais trabalhos anteriores sobre localização de conteúdo. Estamos cientes de apenas um trabalho anterior que otimiza a seleção do par de transferência [Cornelli et al., 2002]. Entretanto, enquanto nosso trabalho objetiva a melhoria do desempenho e qualidade de serviço observada pelo usuário, aquele trabalho se baseia no compartilhamento de informações sobre a reputação de nós para melhorar a segurança em sistemas P2P.

2.1. Sistema Gnutella

Gnutella é um protocolo aberto para busca distribuída em uma arquitetura P2P descentralizada que define o modo como os pares se comunicam através da rede. Ele consiste de um conjunto de mensagens de sinalização para comunicação entre os pares, e um conjunto de regras determinando a troca de mensagens entre eles [Gnutella, 2002]. As mensagens de sinalização definidas por este protocolo são (a) Ping (respondida por mensagens Pong), utilizada para se conhecer novos pares e para verificar se os pares conhecidos estão disponíveis, (b) Query (respondida por mensagens QueryHit), que é utilizada para pesquisar por arquivos específicos, e (c) Get/Push, utilizadas para se recuperar conteúdo de um nó.

Na versão v0.4 do protocolo Gnutella [Gnutella, 2002], para realizar uma pesquisa, um nó envia um mensagem de consulta (Query) para todos os seus vizinhos. Ao receber uma Query, um nó verifica se possui o arquivo solicitado. Se for o caso, ele envia uma resposta positiva (QueryHit) para o solicitante. Tendo sido encontrado o arquivo ou não, o nó continua a enviar a consulta pela rede, enquanto o tempo de vida da mensagem (TTL), decrementado em cada nó, for maior que zero. Esse processo de difusão controlada é robusto e simples, porém, não apresenta boa escalabilidade.

Em novas versões do protocolo Gnutella foram adotadas algumas alterações. A mais significativa é a mudança da topologia da rede de plana, não organizada, para uma topologia em dois níveis: nós normais ligados a *super-nós*. Os *super-nós* se organizam em uma rede plana, não estruturada, similar à original [Ripeanu and Foster, 2002].

O protocolo Gnutella não estabelece critérios para a escolha do par para transferência, mesmo sendo este um aspecto fundamental para a recuperação eficiente de conteúdo. Além disso, no Gnutella v0.4 também não são definidos critérios para a escolha dos nós (vizinhos) aos quais um par deve se conectar, apesar de a topologia da rede em aplicações P2P ter uma influência significativa em seu desempenho, confiabilidade e escalabilidade [Ripeanu and Foster, 2002]. Neste trabalho, desenvolvemos políticas para seleção e substituição de vizinhos e políticas para a seleção do par para transferência objetivando a otimização da recuperação de conteúdo.

2.2. Localização de Conteúdo

Protocolos de pesquisa baseados em tabelas hash distribuídas (DHT) [Stoica et al., 2001, Ratnasamy et al., 2001] foram propostos para tratar do problema de escalabilidade inerente à difusão de mensagens. Nesses protocolos, os nós se organizam em uma estrutura bem-definida, utilizada para guiar requisições e armazenar itens de dados pré-definidos. DHTs apresentam uma grande sobrecarga no caso de falhas ou desconexão de nós, e não suportam, eficientemente, consultas parciais [Cohen et al., 2003].

Motivados pelos problemas de escalabilidade do sistema Gnutella, os autores de [Lv et al., 2002] propuseram um algoritmo de localização de conteúdo para tais redes baseado em passeios múltiplos (*random walks*). Os resultados de simulação reportados demonstram uma melhoria considerável na carga de mensagens de sinalização na rede, ao custo de um aumento no tempo de latência percebido pelo usuário.

Dois trabalhos anteriores exploram a localidade de interesses entre pares para reduzir a carga de mensagens de sinalização na rede Gnutella, otimizando a localização de conteúdo neste sistema [Sripanidkulchai et al., 2003, Barbosa et al., 2004]. Em [Sripanidkulchai et al., 2003], pares com interesses em comum criam atalhos entre si e os utilizam para localização de conteúdo. Os interesses são avaliados através do conteúdo requisitado, ou seja, se um par responde a uma consulta do outro, considera-se que possuem interesses em comum. Ao realizar uma pesquisa, o nó consulta primeiramente seus atalhos, e recorre ao algoritmo original do Gnutella caso nenhum deles possua o arquivo.

Em [Barbosa et al., 2004], propusemos e avaliamos dois novos algoritmos (básico e estendido) que organizam em comunidades pares com interesses comuns. Diferentemente do algoritmo de atalhos [Sripanidkulchai et al., 2003], dois nós compartilham interesses se compartilham arquivos armazenados. Em ambos os algoritmos, um nó periodicamente envia requisições a nós conhecidos participantes na rede para detectar outros nós com os quais ele compartilha interesses (isto é, compartilha arquivos). No algoritmo básico, o processo de se criar uma comunidade é mapeado em um problema de fluxo máximo [Flakes et al., 2000]. No algoritmo estendido, mais simples, a comunidade de um nó é criada com os nós com os quais ele compartilha o maior número de arquivos armazenados. Para se encontrar um arquivo, um nó primeiramente contacta os nós de sua comunidade. Como em [Sripanidkulchai et al., 2003], ele recorre ao protocolo original do Gnutella somente se o conteúdo não for encontrado na comunidade.

Uma comparação extensa de desempenho dos algoritmos baseados em comunidades, do algoritmo de atalhos e do algoritmo original do Gnutella mostrou que o algoritmo estendido é não somente mais simples mas também apresenta melhorias significativas no tráfego de rede e na latência observada pelos clientes [Barbosa et al., 2004]. Portanto, é um método eficiente para otimização da localização de conteúdo em sistemas P2P, em particular, o Gnutella. O foco do trabalho corrente desloca-se então para a otimização de outro componente chave para o desempenho de sistemas P2P, a transferência de conteúdo.

3. Políticas para Seleção de Pares

Para otimizar as transferências de conteúdo, foram desenvolvidas novas políticas para a seleção de pares. Estas políticas podem ser divididas em: (a) políticas para seleção de vizinhos, isto é, pares aos quais um nó deve se conectar, e (b) políticas para seleção

do par para transferência, isto é, para seleção do nó a partir do qual uma transferência deverá ser realizada. O projeto das novas políticas foi baseado em um processo inicial de identificação dos aspectos de desempenho da recuperação de conteúdo que, acreditamos, sejam mais relevantes para os usuários de sistemas P2P. As políticas propostas neste artigo têm como objetivo a otimização dos aspectos principais identificados, listados a seguir:

- Eficiência na obtenção de arquivos, ou seja, redução do tempo de transferência. Como os arquivos geralmente são grandes, o tempo gasto nas transferências dos arquivos pode ser considerável.
- Redução do número de transferências não realizadas por falta de nós que possam aceitar conexões. Como existe um limite no número de conexões simultâneas que um nó pode aceitar, pode ocorrer de nenhum dos nós que respondeu à pesquisa possa realizar a transferência.
- Alta taxa de sucesso das consultas, ou seja, os arquivos procurados devem ser localizados caso estejam armazenados em algum nó da rede.

O protocolo Gnutella, foco deste trabalho, não especifica uma política para a gerência dos vizinhos de cada nó. Logo, definimos como original uma política que trata apenas da adição de novos vizinhos, mas não da substituição destes [Gnutella, 2002]. Tendo em vista a política original, procuramos definir novas políticas para a gerência de vizinhos que pudessem ser implementadas de forma fácil em uma rede real descentralizada e não estruturada, ou seja, políticas que sejam baseadas em informações que sejam locais aos nós ou que possam ser facilmente obtidas a respeito de outros nós. Para o desenvolvimento destas políticas foram considerados dois aspectos principais, a saber, a descoberta de novos pares e a priorização dos pares.

O modo através do qual um nó descobre novos pares no sistema pode determinar os seus vizinhos o que, em última instância, pode afetar o desempenho do nó. No protocolo Gnutella original, novos pares são descobertos através das mensagens Pong. Propomos as seguintes políticas alternativas de descoberta de novos pares:

- QueryHit - novos pares são descobertos através de mensagens QueryHit, recebidas em resposta a consultas realizadas pelo nó em questão.
- Qualquer QueryHit - novos pares são descobertos através de qualquer mensagem QueryHit que seja encaminhada através do nó em questão. Esta mensagem QueryHit pode ser uma resposta para uma consulta enviada por outro nó.
- Qualquer Resposta - novos pares são descobertos a partir de mensagens Pong ou QueryHit, enviadas em resposta a mensagens originadas ou não do nó em questão.

Note que as duas primeiras políticas exploram a localidade de interesses entre os pares, já que esperamos que nós que responderam a consultas anteriores de um par tenham uma probabilidade maior de responder a consultas futuras [Sripanidkulchai et al., 2003].

Além das políticas de descoberta de novos vizinhos, consideramos os seguintes critérios para comparação e priorização de pares para escolha dos vizinhos:

- Largura de banda declarada - Largura de banda informada pelo nó ao enviar uma mensagem.
- Número de arquivos - Número de arquivos que o nó disponibiliza para a rede.

Critério de Priorização de Pares	Política de Descoberta de Novos Pares		
	Qualquer Resposta	QueryHit	Qualquer QueryHit
Largura de Banda	qr-banda	qh-banda	qqh-banda
Número de Arquivos	-	qh-numArq	qqh-numArq
Localidade de Referência	-	qh-localidade	qqh-localidade

Tabela 1: Novas Políticas de Seleção de Vizinhos

- Localidade de Referência - Este critério privilegia pares que responderam recentemente a consultas realizadas pelo nó. Nós consideramos que estes pares têm uma probabilidade maior de no futuro responderem a outras consultas realizadas por este mesmo nó devido à localidade de interesses [Sripanidkulchai et al., 2003].

Associando as políticas de descoberta de pares com os critérios para a priorização dos mesmos, definimos sete novas políticas para seleção de vizinhos, como mostrado na Tabela 1. O prefixo do nome indica a política de descoberta novos pares utilizada e o sufixo indica o critério de priorização destes. Outras políticas de seleção de vizinhos que priorizam pares com maior disponibilidade são discutidas na seção 6.

Um outro aspecto importante é a escolha do nó a partir do qual será realizada a transferência. Clientes Gnutella não possuem um mecanismo sofisticado para direcionar os usuários para o melhor entre os diversos pares que responderam a uma pesquisa [Chu et al., 2002]. Desta forma, além de novas políticas para seleção de vizinhos, propomos e avaliamos também duas políticas para seleção do par para transferência: (a) maior largura de banda declarada e (b) maior largura de banda disponível, informada pelo par no momento em que este responde à consulta. A largura de banda disponível, apesar de não estar completamente atualizada (ela pode mudar entre o instante da consulta e o instante em que a transferência é iniciada), é muito mais confiável que a largura de banda declarada, uma vez que esta pode ser uma super-estimativa do desempenho de um nó, caso este esteja realizando muitas transferências simultâneas.

4. Metodologia

A avaliação das políticas de seleção de pares propostas neste trabalho é realizada através de simulação. Na seção 4.1 descreveremos brevemente o simulador Gnutella desenvolvido em [Barbosa et al., 2004] e estendido neste trabalho. As métricas utilizadas para avaliação e comparação das políticas são apresentadas na seção 4.2.

4.1. Simulador Gnutella

Para avaliação das novas políticas de seleção de pares, estendemos um simulador da arquitetura Gnutella, originalmente desenvolvido em [Barbosa et al., 2004]. Este simulador foi implementado na linguagem Java e reproduz diversas características de uma rede Gnutella real, tais como a heterogeneidade dos nós em relação à largura de banda, à capacidade de armazenamento e ao nível de atividade (alguns nós realizam mais consultas que outros). Estas características foram modeladas com distribuições estatísticas, obtidas a partir de caracterizações de carga de redes P2P presentes na literatura [Nogueira et al., 2002, Saroiu et al., 2002, Ripeanu and Foster, 2002].

O simulador implementa a versão 0.4 do protocolo Gnutella [Gnutella, 2002]. Neste, os nós mantêm-se conectados à rede e realizam buscas por arquivos através das

mensagens pré-definidas. Para os experimentos apresentados na seção 5 deste trabalho, o número de nós ativos na rede é 1000 durante toda a simulação, isto é, nenhum nó é adicionado ou retirado da rede durante os experimentos. Já para os resultados apresentados na seção 6, o simulador foi estendido para permitir a entrada e saída de nós dinamicamente [Costa, 2003]. O número máximo de vizinhos ao qual um nó pode se conectar é fixado em 10, o que está de acordo com números reais [Cornelli et al., 2002]. Os arquivos compartilhados pelos nós têm tamanhos diferentes e são divididos em três classes para diferenciar a ordem de grandeza dos seus tamanhos: música, vídeos curtos, para representar programas de televisão, e vídeos longos, para representar filmes.

Não existe consenso quanto à topologia de redes Gnutella reais. Segundo [Saroju et al., 2002, Ripeanu and Foster, 2002], a topologia do Gnutella é uma *Small World*. Já em [Hong, 2001, Keyani et al., 2002], afirma-se o contrário. Portanto, utilizamos dois tipos de topologia inicial em nossas simulações, uma em anel e uma aleatória. A topologia em anel foi utilizada para se criar uma topologia semelhante a uma *Small World* [Watts and Strogatz, 1998]. Inicialmente, os nós são conectados em anel, com cada nó conectado ao próximo e ao anterior (considerando os identificadores destes). Depois, com uma pequena probabilidade (5%, em nossos experimentos), os nós podem ser conectados a outros nós, escolhidos de forma aleatória, criando, assim, atalhos. A criação da topologia aleatória foi feita de forma semelhante à da topologia em anel, no entanto, em vez de conectar cada nó ao próximo e ao anterior, os dois pares aos quais cada nó será conectado são escolhidos de forma aleatória. Note que, independentemente da topologia inicial, com o decorrer da simulação os nós vão se conectando e a topologia final pode até ter características de *Small World*. No entanto, isso não foi avaliado.

Como em todas as aplicações Gnutella [Chu et al., 2002], o número de transferências simultâneas a partir do mesmo nó foi limitado em nosso simulador. Consideramos que um nó não deve aceitar uma nova transferência caso sua largura de banda disponível tenha atingido um limite inferior de 10 kbps. Maiores detalhes sobre o simulador podem ser encontrados em [Barbosa et al., 2004, Costa, 2003].

4.2. Principais Métricas de Avaliação

Para a avaliação do desempenho do sistema com a utilização das novas políticas de seleção de pares, foram utilizadas as seguintes métricas:

- Duração Média das Transferências - Média ponderada dos tempos de duração das transferências de acordo com a classe de arquivo buscado.
- Número de Transferências Não Realizadas - Número de transferências não realizadas por não existir nó, dentre aqueles que responderam à consulta, com largura de banda disponível suficiente para aceitar a conexão.
- Taxa de Sucesso para Consultas - Número de consultas que foram respondidas dividido pelo número total de consultas por arquivos existentes na rede.

5. Resultados Experimentais

Esta seção apresenta os resultados mais relevantes e representativos da avaliação das novas políticas de seleção de pares. A seção 5.1 apresenta os principais resultados da

Políticas	Aumento da Taxa de Sucesso (%)	Redução da % Transfs. Não Realizadas (%)	Redução da Duração Média de Transferências (%)
qr-banda	-13	24	28
qh-banda	5	-7	-20
qgh-banda	5	-8	-17
qh-localidade	14	-9	-32
qgh-localidade	15	-7	-32
qh-numArq	13	-10	-29
qgh-numArq	13	-11	-29

Tabela 2: Desempenho das Políticas de Seleção de Vizinhos.
(Par para Transferência: Largura de Banda Declarada; Topologia Inicial: Anel.)

avaliação das novas políticas de seleção de vizinhos utilizando a largura de banda declarada como política para seleção de par para transferência. Resultados com a utilização da largura de banda disponível para seleção do par para transferência são apresentados na seção 5.2. Em cada caso, as novas políticas foram comparados com a política original do Gnutella. Os resultados apresentados são médias de 10 execuções da simulação, utilizando um conjunto fixo de sementes para o gerador de números aleatórios.

5.1. Seleção de Par para Transferência: Largura de Banda Declarada

A Tabela 2 apresenta um sumário dos resultados obtidos com as novas políticas de seleção de vizinhos quando a largura de banda declarada é utilizada como política para seleção de par para transferência e a topologia inicial da rede é em anel. O desempenho de cada política é avaliado quanto ao aumento da taxa de sucesso e à redução tanto na porcentagem de transferências não realizadas quanto na duração média das transferências, quando comparado aos resultados obtidos com a política original da Gnutella.

A Tabela 2 mostra que a política qr-banda reduz a taxa de sucesso de consultas em 13%. Isto ocorre porque nós com largura de banda alta são frequentemente selecionados como vizinhos por um grande número de pares. Por outro lado, nós com baixa largura de banda são muitas vezes preteridos, ficando isolados, juntamente com todos os arquivos neles armazenados, do restante da rede. Como consequência, a taxa de sucessos é reduzida, pois consultas por estes arquivos dificilmente são bem sucedidas. Esse comportamento é acentuado quando a descoberta de novos pares é realizada através de qualquer resposta. No entanto, a Tabela 2 mostra que o uso de mensagens QueryHit para a descoberta de novos pares aumenta significativamente a taxa de sucesso obtida quando o critério de priorização dos nós é a largura de banda. Esta melhora é devido ao fato de que, neste caso, um par não adiciona *qualquer* nó com alta largura de banda como vizinho, mas somente aqueles que responderam às suas consultas ou às de seus vizinhos. Como discutido em [Sripanidkulchai et al., 2003], tais nós podem compartilhar interesses com o par e, desta forma, tê-los como vizinhos melhora seu desempenho.

A utilização do número de arquivos compartilhados ou da localidade de referência como critério de priorização dos nós aumenta significativamente a taxa de sucesso das consultas, em comparação à política original. Em particular, a utilização da localidade de referência aumentou a taxa de sucesso em 14%. Este critério, utilizado em conjunto com as mensagens QueryHit para descoberta de novos pares, acrescenta características de temporalidade à avaliação da localidade de interesses, o que otimiza a taxa de sucesso nas consultas. Por outro lado, estas políticas acarretam um aumento na percentagem de transferências não realizadas e na duração média das transferências. De fato, a política

Políticas	Topologia Inicial				
	Anel			Aleatória	
	Aumento da Taxa de Sucesso (%)	Redução da % Transf. Não Real. (%)	Redução da Duração Média de Transf. (%)	Redução da % Transf. Não Real. (%)	Redução da Duração Média de Transf. (%)
qh-localidade	15	10	3	25	26
qqh-localidade	15	11	3	24	27
qqh-numArq	14	12	7	23	27

Tabela 3: Desempenho das Políticas de Seleção de Vizinhos.
(Seleção do Par para Transferência: Largura de Banda Disponível.)

qr-banda leva aos melhores resultados para estas duas métricas. Isto ocorre pois, como os pares tendem a se agrupar ao redor dos nós com alta largura de banda, a maioria das consultas são respondidas por nós que possuem largura de banda disponível suficiente para aceitar novas transferências de arquivos. A duração média das transferências também é reduzida como consequência da maior largura de banda disponível.

Portanto, se a largura de banda declarada é utilizada para a seleção do par para transferência, nenhuma política de seleção de vizinhos alcança resultados satisfatórios simultaneamente nas três métricas de avaliação (taxa de sucesso para consultas, duração das transferências e número de transferências não realizadas). Em termos gerais, a utilização da largura de banda declarada não é uma boa política para seleção de pares para transferência pois não considera a carga atual do par. Isso se deve ao seguinte fato: em um sistema P2P, alguns nós são naturalmente mais ativos que os outros [Saroiu et al., 2002], realizando um número maior de requisições e/ou armazenando mais arquivos localmente. Estes nós mais ativos acabam por ter mais arquivos e mais vizinhos e, com isso, acabam respondendo a mais mensagens Query de outros nós. Para as políticas onde as mensagens QueryHit são a forma de se conhecer novos pares, estes nós acabam tendo prioridade para serem escolhidos como vizinhos, ficando sobrecarregados. Como o critério para a escolha do par para transferência é a largura de banda declarada, estes nós acabam por ter muitas transferências simultâneas causando um aumento da duração média das transferências no sistema e do número de transferências não realizadas. Na seção seguinte, utilizaremos a largura de banda disponível como política para escolha do par para transferência a fim de resolver este problema.

5.2. Seleção de Par para Transferência: Largura de Banda Disponível

Nesta seção são apresentados os principais resultados obtidos com a utilização da largura de banda disponível como política para a seleção do par para transferência e as políticas qh-localidade, qqh-localidade e qqh-numArq para seleção de vizinhos. Estas políticas foram escolhidas por serem as que tiveram melhor desempenho em relação à taxa de sucesso para as consultas. Os resultados principais de experimentos com a topologia inicial da rede em anel e aleatória são apresentados na Tabela 3.

De um modo geral, pode-se observar que o desempenho das políticas de seleção de vizinhos é significativamente melhor com a utilização da largura de banda disponível para a escolha do par para transferência, se comparado com o desempenho quando a largura de banda declarada é utilizada (vide Tabela 2). Com a topologia inicial em anel, houve melhoras, em relação ao protocolo original, para todas as métricas avaliadas. A taxa de sucesso das consultas aumentou em até 15%, o número de transferências não realizadas

foi reduzido em até 12% e a duração média das transferências foi reduzida em até 7%. Isso comprova que a largura de banda disponível é uma medida bastante eficaz da sobrecarga dos nós. Como as políticas de seleção de vizinhos tendem a fazer com que os melhores nós fiquem bastante conectados, a política baseada na largura de banda disponível acaba por realizar um balanceamento da carga entre eles.

Embora os positivos, os resultados obtidos com topologia inicial em anel não são considerados totalmente satisfatórios. O aspecto mais surpreendente foi a pequena redução na duração das transferências, que é a métrica na qual esperávamos obter os melhores resultados. Percebemos então que esta topologia inicial cria uma rede artificial. Como o anel é criado conectando cada nó ao próximo e ao anterior, os nós com identificadores próximos acabam bastante conectados. Além disso, observamos que alguns nós, mais especificamente aqueles com identificadores menores, que já estavam conectados desde o início da simulação, acabavam sendo selecionados para serem os mais ativos, além de terem maior probabilidade de possuir maior largura de banda e espaço de armazenamento. Neste cenário, as políticas de seleção de pares não têm muita efetividade, já que a rede já está próxima do ótimo em relação às transferências desde o início da simulação.

Com topologia inicial aleatória, a política original do Gnutella já produz uma taxa de sucesso bem próxima do ótimo (97%), deixando pouco espaço para otimizações. Logo, a utilização das novas políticas de seleção de vizinhos não resultou em melhora nesta métrica. Este fato já era esperado pois redes aleatórias possuem um pequeno diâmetro [Watts and Strogatz, 1998]. Com a utilização de um TTL igual a 7, a probabilidade dos arquivos existentes na rede serem encontrados é muito grande. Entretanto, para a topologia inicial aleatória, a utilização da política qh-localidade reduz em 25% o número de transferências não realizadas e em 27% a duração média das transferências. As políticas qqh-localidade e qqh-numArq apresentaram resultados equivalentes. Estas políticas alcançaram uma redução maior para estas métricas com a topologia inicial aleatória do que com a topologia inicial em anel, indicando que a topologia inicial da rede tem uma grande influência no desempenho das políticas. Portanto, as novas políticas de seleção de vizinhos propostas resultam em melhorias significativas ou na taxa de sucesso das consultas ou na duração média das transferências e no número de transferências não realizadas, dependendo da topologia inicial. Se a topologia é em anel, elas trazem maiores ganhos para taxa de sucesso das consultas. Já com a topologia aleatória, a duração média das transferências e o número de transferências não realizadas são otimizados.

Sumarizando, a utilização da largura de banda disponível para a seleção do par para transferência é significativamente superior à utilização da largura de banda declarada. Para a seleção de vizinhos, as políticas que utilizam a localidade de referência e o número de arquivos compartilhados para priorização dos pares têm desempenho similar para as métricas analisadas e superior ao das que utilizam a largura de banda declarada. As políticas que utilizam mensagens QueryHit enviadas em resposta a consultas do par ou qualquer QueryHit para a descoberta de novos pares obtiveram resultados semelhantes e superiores aos alcançados com a utilização de qualquer resposta. Como discutido anteriormente, isso se deve à localidade de interesses entre os pares.

6. Analisando a Disponibilidade dos Pares

Nós em sistemas distribuídos podem falhar, tornando-se indisponíveis. Além disso, eles podem optar por interromper sua participação na rede momentânea ou permanentemente [Bhagwan et al., 2002]. Um sistema P2P precisa ser capaz de prover as funcionalidades esperadas apesar das desconexões regulares. No entanto, desconexões frequentes dos pares podem levar a um aumento no número de transferências canceladas devido à indisponibilidade do nó fornecedor do arquivo e, portanto, à degradação do desempenho.

Com o objetivo de minimizar o impacto da desconexão dos nós e reduzir o número de transferências interrompidas, propusemos e avaliamos novas políticas de seleção de vizinhos que priorizam nós mais disponíveis no sistema. A disponibilidade de um par foi estimada utilizando informações relativas ao seu comportamento no passado, partindo do princípio que esse reflete o seu comportamento no futuro próximo. Cada par é classificado de acordo com um *índice de disponibilidade*, definido como a porcentagem de tempo em que o nó esteve disponível, no sistema, desde o início da simulação. Este índice é utilizado para a comparação de nós e é armazenado em um histórico de disponibilidade.

Realizamos experimentos com dois tipos de histórico de disponibilidade. O histórico local, armazenado em cada nó, é um *cache* local ao nó, de tamanho parametrizável, que só é atualizado e consultado pelo nó em questão. O histórico global é único, armazena informações sobre todos os nós da rede e é compartilhado para leitura e modificação. Estes históricos são atualizados quando: (1) um nó recebe uma mensagem de um outro par e, com isso, constata que ele está ativo, isto é, disponível e (2) um nó *não* recebe uma mensagem Pong como resposta a uma mensagem Ping previamente enviada e assim, conclui que o nó destino deve estar indisponível. Note que as informações dos históricos, mesmo o global, não são completamente atualizadas. O histórico global é uma opção hipotética, utilizada apenas como parâmetro de comparação com o histórico local. Além do histórico global, definimos também uma outra política hipotética que chamamos *oráculo*. Nesta política, cada nó calcula seu próprio índice de disponibilidade de acordo com os tempos reais em que ficou disponível durante a simulação e compartilha esta informação com o resto do sistema. Neste caso, as informações utilizadas na seleção de pares refletem exatamente o passado de disponibilidade do nó.

Para a realização dos experimentos foram necessárias algumas adaptações no simulador Gnutella que estão descritas com maiores detalhes em [Costa, 2003]. A entrada e a saída de pares na rede foram modeladas utilizando distribuições exponenciais (pdf: $p_X = \lambda \times e^{-\lambda x}$) para o tempo que o nó fica disponível e o tempo que ele fica fora do sistema. Utilizamos parâmetros λ_d e λ_i para as distribuições dos tempos disponível e indisponível, respectivamente. Além disso, agrupamos os nós em classes para as quais atribuímos diferentes valores de λ_d , a fim de representar a heterogeneidade dos pares de acordo com os resultados apresentados em [Chu et al., 2002]. A principal métrica de avaliação das novas políticas é o número de transferências canceladas devido à indisponibilidade do nó fornecedor do arquivo.

Para a avaliação das políticas propostas foram executados experimentos para configurações semelhantes às usadas nos experimentos discutidos seção 5. A rede simulada possui 1000 nós, que entram e saem do sistema múltiplas vezes durante a simulação. Utilizamos a topologia inicial aleatória e a largura de banda disponível como política para seleção de par para transferência. A política de seleção de vizinhos utilizada

	# Transferências Canceladas		Transf. Canceladas (%)	Redução % Transf. Canceladas (%)
	μ	σ		
básica	1428	390	14	
oráculo	1199	381	12	14
global	1269	389	13	10
local-10%	1341	408	13	6
local-5%	1362	403	13	4
local-1%	1375	418	14	4

Tabela 4: Número de Transferências Canceladas.
(Par para Transferência: Largura de Banda Disponível; Topologia Inicial: Aleatória.)

como base para a implementação das políticas priorizando a disponibilidade foi a qqh-localidade, descrita na Tabela 1, a qual nos referiremos como *básica* nas comparações. O valor de λ_i foi fixado em $\frac{1}{30}$ e foram utilizadas três classes de valores para λ_d , alta disponibilidade ($\frac{1}{120}$), média disponibilidade ($\frac{1}{30}$) e baixa disponibilidade ($\frac{1}{10}$), que possuem, respectivamente, 20%, 50% e 30%, dos pares.

Na Tabela 4, são apresentados a média e o desvio padrão obtidos para o número de transferências canceladas em 10 execuções da simulação. A tabela apresenta também a porcentagem de transferências canceladas e a redução (percentual) obtida para esta métrica com a utilização das políticas que priorizam a disponibilidade em relação à política básica. Para a política local, que mantém um histórico local dos índices de disponibilidade, utilizamos tamanhos de *cache* de 10%, 5% e 1% do número de nós na rede. O tamanho do histórico de disponibilidade utilizado foi acrescentado como sufixo do nome da política local. Como pode-se observar, houve uma redução discreta de até 6% no número de transferências canceladas com a utilização de um histórico local armazenando índices de 10% dos nós da rede. Mesmo com a utilização do histórico global, contendo informações sobre todos os nós da rede, a redução alcançada foi de apenas 10%. A política oráculo, que é onisciente, contribuiu com uma redução de 14%. Estes resultados indicam que a dificuldade em se prever a disponibilidade futura de um nó a partir de seu passado pode ser explicada pela transitoriedade desta informação, ou seja, mesmo que um nó tenha sido muito disponível no passado, se ele ficar indisponível durante uma transferência, a qualidade deste par não é boa para o nó que teve a transferência cancelada.

Para as métricas avaliadas na seção 5, não houve variações significativas dos resultados, uma vez que as políticas priorizando a disponibilidade atuam em conjunto com as políticas de seleção de pares definidas anteriormente. Esses resultados estão disponíveis em [Costa, 2003], onde também são apresentados outros resultados, obtidos com variações dos parâmetros λ_d e λ_i , das políticas que priorizam disponibilidade.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

A otimização da localização de conteúdo em sistemas P2P é o foco de vários trabalhos na literatura. Entretanto, a seleção do par a partir do qual será realizada a transferência caso o conteúdo seja encontrado em mais de um nó é um aspecto fundamental para a avaliação da qualidade de serviço percebida pelo usuário que ainda não foi satisfatoriamente avaliado. Neste trabalho, um dos primeiros esforços nesta direção, foram desenvolvidas e avaliadas uma série de políticas de seleção de vizinhos e políticas para seleção do par para transferência. As políticas desenvolvidas, aplicadas ao sistema Gnutella, são de fácil implementação e não exigem alterações drásticas no protocolo original.

Nossos resultados sugerem que a utilização da largura de banda disponível como critério de escolha de par para transferência e a localidade de interesses, avaliada através do conteúdo requisitado, como forma de seleção e comparação dos pares para a seleção de vizinhos, levam ao melhor desempenho do sistema Gnutella. Em comparação com o protocolo Gnutella original, estas duas políticas em conjunto contribuíram para uma redução de até 27% e 25% na duração média das transferências e número de transferências não realizadas, respectivamente, além de um aumento de até 15% nas taxas de consultas bem sucedidas para uma topologia inicial da rede em anel.

Para cenários onde os pares entram e saem do sistema dinamicamente, também foram propostas e analisadas novas políticas de seleção de vizinhos que priorizam os nós com maior disponibilidade. Para estas políticas foi alcançada uma redução discreta de 6% no número de transferências canceladas com a utilização de um histórico local de tamanho 10% do total de pares na rede. Mesmo com a utilização de um histórico onisciente, a redução máxima alcançada para esta métrica foi de 14%. Apesar da pequena melhora, estas políticas representam um primeiro esforço em analisar o impacto da disponibilidade dos nós no desempenho de sistemas P2P.

Direções para trabalhos futuros incluem: (a) combinação das novas políticas com as técnicas para otimização da localização de conteúdo propostas em [Barbosa et al., 2004] e avaliação com conjuntos dinâmicos de pares, (b) avaliação do desempenho das novas políticas em aplicações mais recentes onde existem nós especiais, ou super nós, como no Kazaa e na nova versão do protocolo Gnutella, (c) proposição e avaliação de novas métricas mais resilientes para a avaliação da disponibilidade dos pares que possam ser utilizadas para priorização destes, (d) realização de experimentos com cargas reais de trabalho e (e) implementação de um protótipo de cliente Gnutella utilizando as novas políticas de seleção de par para transferência e de seleção de vizinhos.

Referências

- Barbosa, M. W., Costa, M. M., Almeida, J. M., and Almeida, V. A. F. (2004). Using Locality of Reference to Improve Performance of Peer-to-Peer Applications. In *Proceedings of Fourth Workshop on Software Performance (WOSP)*, Redwood City, CA, EUA.
- Bhagwan, R., Savage, S., and Voelker, G. M. (2002). Understanding Availability. In *Proceedings of 2nd International Workshop on Peer-to-Peer Systems*, Berkeley, CA, EUA.
- Chu, J., Labonte, K., and Levine, B. (2002). Availability and Locality Measurements of Peer-to-Peer File Systems. In *Proceedings of SPIE 2002*, San Jose, CA, EUA.
- Cohen, E., Fiat, A., and Kaplan, H. (2003). Associative Search in Peer to Peer Networks: Harnessing Latent Semantics. In *Proceedings of IEEE Infocom*, San Francisco, CA, EUA.
- Cornelli, F., Damiani, E., and Capitani, S. D. (2002). Choosing Reputable Servents in a P2P Network. In *Proceedings of Eleventh International World Wide Web Conference*, Honolulu, HI, EUA.
- Costa, M. M. (2003). Avaliação de Políticas de Seleção de Pares em Aplicações Par-a-Par (P2P). Dissertação de mestrado, UFMG.

- eMule (2004). Página do eMule na Internet. <http://www.emule-project.net>.
- Flakes, G. W., Lawrence, S., and Giles, C. L. (2000). Efficient Identification of Web Communities. In *ACM KDD*, Boston, MA, EUA.
- Gnutella (2002). Especificação do Protocolo Gnutella v0.4. <http://dss.clip2.com/Gnutella/GnutellaProtocol04.pdf>.
- Hong, T. W. (2001). *Peer-to-Peer: Harnessing the Power of Disruptive Technologies*, chapter Performance. O'Reilly.
- Kazaa (2001). Página do Kazaa na Internet. <http://www.kazaa.com>.
- Keyani, P., Larson, B., and Senthil, M. (2002). Peer Pressure: Distributed Recovery from Attacks in Peer-to-Peer Systems. In *IFIP Workshop on Peer-to-Peer Computing*, Pisa, Itália.
- Ly, Q., Cao, P., Cohen, E., Li, K., and Shenker, S. (2002). Search and Replication in Unstructured Peer-to-Peer Networks. In *Proceedings of the 16th international conference on Supercomputing*, pages 84–95, New York, NY, EUA. ACM Press.
- Napster (2001). Página do Napster na Internet. <http://www.napster.com>.
- Nogueira, D., Rocha, L., Santos, J., Araujo, P., Almeida, V., and Jr., W. M. (2002). A Methodology for Workload Characterization of File-Sharing Peer-to-Peer Systems. In *IEEE Workshop on Workload Characterization*, Austin, TX, EUA.
- Pandurangan, G., Raghavan, P., and Upfal, E. (2001). Building Low-Diameter Peer-to-Peer Networks. In *Proceedings of the 42nd Annual IEEE Symposium on the Foundations of Computer Science (FOCS)*, Las Vegas, NV, EUA.
- Ratnasamy, S., Francis, P., Handley, M., RichardKarp, and Shenker, S. (2001). A Scalable Content-Addressable Network. In *Proceedings of ACM Sigcomm 2001 Technical Conference*, San Diego, CA, EUA.
- Ripeanu, M. and Foster, I. (2002). Mapping the Gnutella Network: Macroscopic Properties of Large-Scale Peer-to-Peer systems. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Peer-to-Peer Systems*, Cambridge, MA, EUA.
- Saroiu, S., Gummadi, P. K., and Gribble, S. D. (2002). A Measurement Study of Peer-to-peer File Sharing Systems. In *Proceedings of Multimedia Computing and Networking 2002 (MMCN'02)*, San Jose, CA, EUA.
- Sen, S. and Wang, J. (2002). Analyzing Peer-to-Peer Traffic Across Large Networks. In *Proceedings of ACM SIGCOMM*, Marseille, França.
- Sripanidkulchai, K., Maggs, B., and Zhang, H. (2003). Efficient Content Location Using Interest-Based Locality in Peer-to-Peer Systems. In *Proceedings of IEEE Infocom*, San Francisco, CA, EUA.
- Stoica, I., Morris, R., Karger, D., Kaashoek, M. F., and Balakrishnan, H. (2001). Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lookup Service for Internet. In *Proceedings of ACM Sigcomm 2001 Technical Conference*, San Diego, CA, EUA.
- Watts, D. J. and Strogatz, S. H. (1998). Collective Dynamics of Small-World Networks. In *Nature*.