

Chameleon: uma Arquitetura para Serviços Avançados Fim a Fim na Internet com QoS

Carlos Alberto Kamienski¹
cak@cin.ufpe.br

Djamel Sadok
jamel@cin.ufpe.br

Centro de Informática
Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil

Resumo

A oferta de serviços avançados na Internet demanda a colaboração ativa de vários domínios, para que recursos sejam disponibilizados para o tráfego gerado pelas aplicações em todo o trajeto entre origem e destino. Esse artigo apresenta a Arquitetura Chameleon, que permite a oferta de serviços avançados fim a fim independente da quantidade de domínios envolvidos e do tipo de tecnologia de QoS adotada por eles. Especificamente, um modelo para negociação hierárquica de serviços é proposto, visando proporcionar escalabilidade e eficiência ao processo. Na simulação realizada, o modelo hierárquico obteve ganhos significativos, como a concessão de até 10 % a mais recursos para serviços em comparação com o modelo bilateral tradicional.

Abstract

The delivery of advanced services in the Internet requires the active cooperation of several domains, so that resources can be provided for traffic generated by applications in the whole path between source and destination. This paper presents the Chameleon Architecture, which enables the deployment of advanced end to end services without being affected by the number of domains involved and the underlying QoS technology that they use. Particularly, a method for hierarchical service negotiation is proposed, which aims to provide scalability and efficiency to this process. A simulation study revealed that the hierarchical method had significant gains, e.g., it was granted up to 10 % more resources to services compared to the traditional bilateral method.

Palavras-chave: qualidade de serviço, negociação de serviços, provisionamento de recursos

1. Introdução

A Internet se tornou uma realidade na vida de muitas pessoas ao redor do mundo. Pode-se verificar, no entanto, que o serviço de melhor esforço oferecido atualmente não é adequado para atender à demanda de aplicações avançadas que os usuários desejam, como multimídia interativa. Aplicações avançadas somente poderão ser disponibilizadas na Internet com a introdução de Qualidade de Serviço (QoS). QoS, no entanto, somente é efetiva se for constante em todo o trajeto do tráfego de dados entre fonte e destino, ou seja, fim a fim, passando por vários domínios (redes) com administrações e características técnicas diversas.

QoS pode assumir dois sentidos em redes de computadores. O primeiro diz respeito ao desempenho da rede relativo às necessidades das aplicações. O segundo é relacionado conjunto de tecnologias que possibilita às redes oferecer garantias de desempenho. Embora já existam várias propostas para introdução de QoS na Internet, as opiniões são divergentes quanto à necessidade da introdução de mecanismos específicos para esse fim [4][16]. Dessa forma, para oferecer serviços avançados fim a fim na Internet é possível que algumas redes implementem mecanismos distintos de QoS e outras redes não implementem nenhum mecanismo. Mesmo assim, as características de QoS fim a fim devem ser mantidas para atender às necessidades das aplicações.

¹ Aluno de doutorado do Centro de Informática da UFPE e professor do CEFET Paraíba.

Com relação à infra-estrutura de rede, algumas abordagens tem sido propostas no âmbito da IETF [16][30] nos últimos anos para introduzir QoS na Internet. IntServ [7] utiliza o protocolo RSVP [8] para reservar recursos específicos para cada fluxo em todos os roteadores no caminho entre fonte e destino. IntServ é conhecido pelas sua falta de escalabilidade, por gerar grande quantidade de mensagens de sinalização e informação de estado. DiffServ [6] utiliza o conceito de agregação de fluxos para obter escalabilidade e está sendo utilizado em vários projetos experimentais para QoS na Internet. MPLS [22] utiliza um rótulo de tamanho fixo para decidir o encaminhamento e tratamento dos pacotes, rompendo com o modelo de roteamento salto a salto da Internet. MPLS não é uma tecnologia de QoS em si, mas pode ser utilizado para realizar Engenharia de Tráfego (TE) [1], que é o processo de arranjar como os fluxos atravessam uma rede, tal que congestionamentos causados pela distribuição desigual de recursos possam ser evitados. Roteamento com QoS (QoS SR) [11] é o processo de selecionar as rotas utilizadas pelos pacotes baseado nos seus requisitos de QoS, como vazão e atraso.

O objetivo de oferecer serviços avançados fim a fim tem merecido maior atenção nos últimos anos [2][9][26]. Nesse artigo é apresentada a arquitetura Chameleon para serviços avançados na Internet, que posiciona as diferentes funções necessárias para oferecer QoS fim a fim em três planos distintos: plano de serviços, plano de operação e plano de monitoramento. No plano de serviços, maior atenção é concentrada no modelo hierárquico de negociação de serviços, que oferece eficiência e escalabilidade ao processo. Esse modelo apresentou resultados significativos na avaliação preliminar realizada.

Na seqüência do artigo, a Seção 2 apresenta uma visão geral sobre serviços avançados na Internet. A Seção 3 apresenta a arquitetura Chameleon, enquanto que a Seção 4 enfatiza os modelos de negociação de serviços. Na Seção 5 é realizada uma avaliação preliminar de desempenho através de simulação. Trabalhos relacionados são apresentados na Seção 6 e finalmente a Seção 7 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

2. Serviços Avançados na Internet

O serviço de melhor esforço dedica tratamento similar a todas as aplicações e usuários. Por outro lado, serviço avançado, segundo a definição adotada nesse trabalho, é todo serviço que oferece tratamento diferenciado a determinada porção de tráfego (provavelmente com um custo maior). Por isso, devem ser negociados entre domínios através de contratos de serviço.

Serviços podem ser classificados segundo o seu escopo geográfico. Um serviço intra-domínio é utilizado somente dentro dos limites de um domínio, caracterizado por uma rede de usuário, um provedor de acesso ou um sistema autônomo da Internet. Um serviço fim a fim permite a sua utilização quando os usuários estão localizados em domínios distintos, possivelmente com vários outros domínios no caminho entre eles.

Serviços de transporte formam a infra-estrutura necessária para o oferecimento de serviços fim a fim, que são implementados e negociados por domínios. Os serviços de usuário são aqueles que fazem sentido para o usuário final e estão relacionados diretamente às demandas que os usuários têm de utilização da rede. Os provedores devem mapear serviços de usuário final em serviços de transporte para poder oferecê-los. Como exemplos de serviços de usuário, pode-se citar o serviço de voz sobre IP (VoIP) ou serviço de vídeo sob demanda (VoD). Exemplos de serviços de transporte são o serviço de emulação de linha dedicada [5], ou o serviço assegurado, do tipo “melhor que o melhor esforço” [5].

Um serviço bem conhecido [25] (WKS) é um serviço para o qual existe uma definição clara e precisa sobre quais garantias de desempenho um provedor oferece ou espera receber quando está negociando um contrato. Ele deve apresentar o mesmo comportamento em todos

os domínios onde é implementado, para que seja possível oferecer um serviço fim a fim para os usuários (embora sua implementação possa ser diferente). Provedores devem especificar o serviço desejado no momento da negociação através de um identificador (WKSID).

Um SLA (Service Level Agreement) [5] é uma descrição de um acordo entre um provedor de serviços e um cliente, que pode ser um usuário final ou outro provedor. O SLA contém, além de questões comerciais, uma especificação técnica do serviço, chamada de SLS (Service Level Specification). Um SLS possui várias informações, como: escopo geográfico, identificação do fluxo de dados, perfil de tráfego (taxa, rajada), tratamento de tráfego submetido em excesso, garantias de desempenho (vazão, atraso, etc.) e programação do serviço (início, duração) [5][13][20][24]. Além disso, se serviços bem conhecidos (WKS) estiverem sendo utilizados, é necessária identificação do serviço (WKSID).

Do ponto de vista do usuário, o processo de negociação para utilização do serviço envolve duas fases, a assinatura e a ativação do serviço [28]. A assinatura é o processo de negociar o direito de ativar serviços posteriormente. O resultado de uma solicitação de assinatura pode ser a concessão ou negação do serviço. Um serviço pode ser concedido parcialmente, devido à escassez de recursos. A ativação do serviço se refere ao processo de efetivamente solicitar recursos e está sujeita ao controle de admissão. O resultado de uma solicitação de ativação de serviço pode ser a admissão ou o bloqueio do serviço.

3. A Arquitetura Chameleon

A arquitetura Chameleon², que visa para proporcionar serviços avançados fim a fim na Internet é apresentada na Figura 1. Ela é dividida em três planos lógicos, para possibilitar a flexibilidade na definição e negociação de serviços, a implementação eficiente e o controle do funcionamento correto dos serviços contratados. Os três planos são:

- Plano de Serviços: define um modelo abstrato da rede para que a interface externa de todos os domínios seja similar, para fins de definição e negociação de serviços;
- Plano de Operação: os domínios implementam os serviços negociados através de alguma abordagem para QoS na Internet;
- Plano de Monitoramento: é ortogonal aos demais e executa a medição dos parâmetros de QoS, a realimentação das informações e possivelmente uma reação.

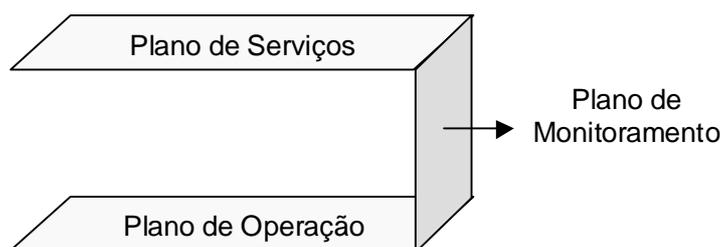


Figura 1 – A arquitetura Chameleon

A organização da arquitetura nos três planos torna possível aos usuários uma visão homogênea e integrada da rede, muito embora um serviço possa necessitar da ação conjunta de muitas redes com administração independente que empregam tecnologias de QoS completamente distintas para implementá-lo.

² A origem do nome vem do fato da arquitetura se adaptar às diversas tecnologias para QoS existentes, mas manter uma visão única para os usuários de serviços fim a fim.

3.1. Plano de Serviços

O Plano de Serviço tem um papel fundamental na arquitetura Chameleon, propiciando a visão abstrata necessária para que todas as redes tenham um comportamento semelhante. A interface abstrata proporcionada pelo Plano de Serviços é implementada pela combinação de um modelo padronizado de SLS e de um modelo para negociação de serviços.

O elemento que implementa o plano de serviços em cada domínio é o Corretor de Serviços (Service Broker - SB). Ele é o responsável por fazer a predição do tráfego, negociar os serviços com os outros domínios, verificar a disponibilidade de recursos, comandar o provisionamento de recursos, efetuar o controle de admissão e estabelecer as configurações necessárias para a coleta e transmissão das informações de realimentação do plano de controle. O SB pode ser visto como uma extensão de um Bandwidth Broker (BB)[18], mas com duas diferenças fundamentais. Ao contrário do BB (específico para DiffServ), o SB não está vinculado a nenhuma tecnologia de QoS. Ele pode também negociar serviços que dependam de outros parâmetros de QoS (atraso, variação do atraso, etc.) e não apenas capacidade (bps).

O SB em um domínio é uma entidade lógica, o que significa que sua implementação pode ser distribuída por vários componentes de software e hardware para obter maior flexibilidade e robustez. Ele possui um repositório onde guarda as informações referentes aos serviços que o domínio é cliente/provedor, bem como informações atualizadas sobre os recursos do domínio e políticas [29] utilizadas para efetuar o mapeamento necessário para a tecnologia de QoS adotada. Do ponto de vista da manutenção e fiscalização dos contratos, os roteadores de borda de cada domínio são componentes fundamentais com os quais o SB deve interagir (roteadores pertencem à camada de operação).

Predição de Tráfego

O SB recebe solicitações de ativação de serviços e informações de tráfego coletadas pelos roteadores de borda do domínio. Existem mecanismos que permitem aos roteadores facilmente medir e coletar o tráfego [10]. As medições são compostas de amostras obtidas em instantes (regularmente espaçados) durante um janela de tempo de duração T_{med} . Os roteadores de borda calculam a média, m , e a variância, σ , das amostras e enviam ao SB para prever o tráfego futuro. Entre alguns tipos de preditores que podem ser utilizados [10][12][15][27], o Preditor Gaussiano está sendo utilizado. A justificativa é que quando o número de fluxos individuais é grande, a taxa de chegada agregada tende a ter uma distribuição de acordo com o Teorema Central do Limite[10].

A estimativa da capacidade (taxa) a ser negociada é calculada através de: $\bullet = m + \alpha\sigma$, onde α é um multiplicador que controla o grau com que o preditor acomoda variações nas amostras. Na aproximação da capacidade necessária, espera-se que \bullet seja excedida com probabilidade $1 - G(\alpha)$, onde G é a distribuição cumulativa da distribuição normal padrão.

O SB utiliza a capacidade \bullet estimada para negociar os serviços com os outros domínios. Um fator importante é a habilidade do preditor em estimar a capacidade corretamente. Dois problemas que podem ocorrer são a subestimação e a superestimação de capacidade. A subestimação deve ser totalmente evitada, uma vez que pode levar à quebra dos contratos pela violação dos parâmetros de QoS. Por outro lado, a superestimação deve ser minimizada para que não sejam provisionados mais recursos do que são necessários.

3.2. Plano de Operação

Cada domínio, através de um conjunto interno de políticas, mapeia os serviços negociados com os outros domínios para algum mecanismo ou técnica utilizada para o provisionamento de recursos e configuração de equipamentos. Os domínios podem

implementar técnicas para provimento de QoS, como DiffServ ou IntServ, mas também são livres para configurar suas redes com qualquer mecanismo ou tecnologia, desde que consigam cumprir os contratos estabelecidos para fornecimento de serviços. Nesse sentido, a arquitetura torna a oferta dos serviços independente das decisões tecnológicas adotadas. Isso também permite que um domínio altere a tecnologia de QoS utilizada sem causar impacto nos serviços por ele prestados. Como esse plano que implementa as decisões de engenharia do domínio para viabilizar o oferecimento dos serviços disponibilizados, ele também pode ser chamado de “Plano de Engenharia de Tráfego”.

3.3. Plano de Monitoramento

Esse plano é ortogonal aos demais e executa a medição dos parâmetros de QoS negociados para cada serviço, a realimentação dessas informações para as partes interessadas (transmissor ou receptor) e possivelmente uma reação. A responsabilidade por manter os serviços em pleno funcionamento é do provedor do serviço, independente da rede que esteja sendo utilizada para transportá-lo. Nem todos os domínios podem ser capazes de fazer o monitoramento, ou alguns podem desejar fazê-lo apenas para alguns tipos de serviços. Portanto, a disponibilidade do monitoramento, bem como os limites dentro dos quais o serviço pode ser considerado operante e os ajustes que o usuário pode fazer, devem ser negociados entre provedor e usuário.

4. Negociação de Serviços

A negociação de serviços faz parte das atividades do Plano de Serviços e tem uma grande participação do SB. A negociação para assinatura de serviços fim a fim consiste em duas etapas, a negociação de serviços de usuário e a negociação de serviços de transporte. Essas etapas são distintas e independentes.

O responsável por iniciar uma negociação de serviço de usuário é o próprio usuário. Esse processo não resulta em nenhum tipo de provisionamento de recursos, apenas a intenção de comprar/vender serviços entre usuários e provedores. A negociação inicia com o usuário requisitando um serviço através de um SLA. O provedor de serviços mapeia o serviço de usuário em serviço de transporte e agrega, para cada serviço, todas as requisições para cada provedor de acesso a partir de onde seus usuários poderão ativar os serviços. Então, o provedor de serviços se comunica com os provedores de acesso para (re)negociar serviços de transporte. Cada provedor de acesso recebe as requisições de vários provedores de serviços. Baseado nisso, ele efetua as configurações necessárias para tratar as requisições de ativação dos serviços e negocia os serviços de transporte. Esse processo resulta no provisionamento de recursos em diversos domínios para atender às necessidades dos serviços fim a fim. Como esse processo é independente da negociação de serviço de usuário, ele confere ao provedor flexibilidade para negociar seus contratos.

O provisionamento de recursos pode ser feito através de reservas antecipadas ou imediatas. Reservas antecipadas são baseadas em estatísticas de utilização e devem garantir que a maioria das ativações de serviço sejam aceitas. Reservas imediatas são necessárias para adaptar os recursos às necessidades instantâneas das aplicações/usuários. Esse artigo considera somente reservas antecipadas.

4.1. Negociação Bilateral

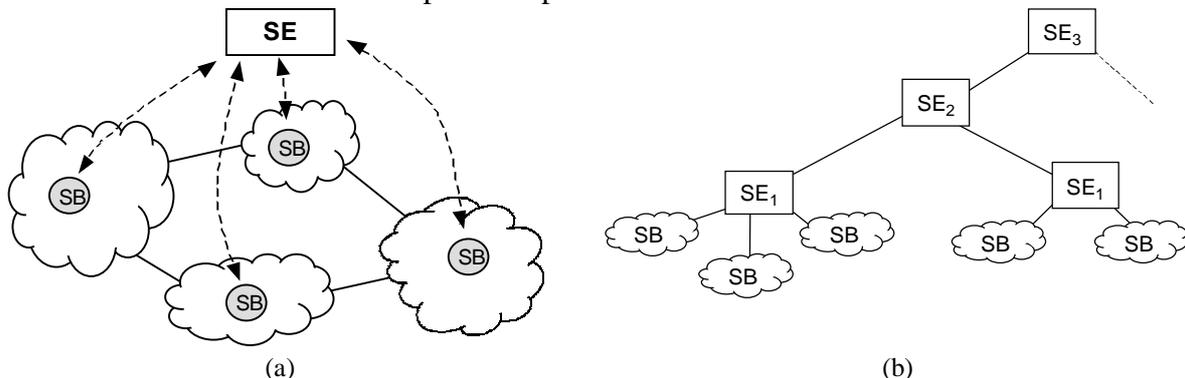
É o modelo mais comum e de implementação direta, que vem sendo proposto há algum tempo no contexto de Bandwidth Brokers[18]. Esse modelo também é chamado de modelo de negociação em cascata, porque para o provisionamento de um serviço fim a fim é necessário que um domínio negocie com o domínio vizinho que por sua vez também negocia com o seu

vizinho e assim por diante, até chegar ao domínio de destino. Essa negociação pode ser feita sob demanda ou então ser iniciada por algum evento pré-definido, por exemplo, um intervalo de tempo. O processo de negociação se dá pela da troca de SLSs entre os domínios através de algum protocolo de negociação, semelhante ao SIBBS [25] do projeto QBone/Internet2. O modelo bilateral pode ser utilizado para realizar reservas antecipadas ou imediatas.

4.2. Negociação Hierárquica

Modelo onde vários domínios são agrupados em áreas que ficam sob a coordenação de uma entidade central, chamada de Central de Serviços (SE – Service Exchange), responsável pela definição e negociação de serviços. Esse modelo é semelhante ao modelo baseado em câmara de compensação, comum na área de telefonia e em alguns novos serviços de negociação de capacidade (Bandwidth Exchange [3][21]). Toda a negociação de serviços ocorre através do SE, ao contrário do modelo bilateral, onde cada domínio deve manter acordos e negociar com vários outros domínios. No entanto, o modelo hierárquico somente realiza reservas antecipadas.

Para realizar as suas funções, um SE mantém toda a informação necessária para fazer as negociações de serviços para os seus domínios participantes, que são: os serviços oferecidos (WKSs), a topologia e as características dos enlaces entre os domínios e os caminhos internos dos domínios. Além disso, cada SB envia periodicamente informações de compra (assinatura) e de venda de serviços, que são formatos específicos de SLSs (Figura 2a). De posse dessas informações, o SE realiza periodicamente as “rodadas” de negociação, que resultam na permissão ou negação total ou parcial de serviços. A permissão de um serviço implica na concessão de recursos fim a fim a partir do provedor de acesso até o destino.



Entre os domínios participantes, existem dois tipos: compradores e vendedores de serviços. Alguns domínios podem ser tanto compradores quanto vendedores. Os SBs enviam informações de venda e de compra de serviços para o SE. Domínios vendedores enviam informações sobre seus enlaces externos e caminhos internos entre os seus roteadores de borda. Para cada serviço vendido deve ser especificado a sua identificação. Para a compra de serviços, os domínios enviam SLSs, que são simplificados pela existência de serviços bem conhecidos. Informações importantes são a identificação do serviço (WKSID), o escopo (que informa origem e destino) e o total de recursos necessário (especificação de tráfego).

O processo de negociação hierárquica inicia com os domínios determinando quais serviços desejam comprar e vender. Depois disso, os domínios enviam informações de compra e venda de serviços e o SE calcula quais requisições serão atendidas e quais recursos devem ser reservados. Concluída essa operação, ele informa os domínios sobre os serviços concedidos e as reservas que devem ser realizadas. A cada rodada de negociação essas fases

se repetem. Além disso domínios podem negociar detalhes sobre os serviços com os domínios vizinhos, como algum mecanismo de QoS utilizado entre eles para obter melhor desempenho.

Esse modelo permite escalabilidade e eficiência na negociação de serviços. Uma das principais críticas ao modelo bilateral é a possibilidade de gerar uma grande quantidade de mensagens de sinalização [14]. Um SE sempre recebe as solicitações de compra de serviços para tráfego agregado. Dentro de uma área básica, os SBs agregam o tráfego por serviço e por destino, fazem a predição para a próxima negociação e enviam ao SE. Cada SE agrega o seu tráfego da mesma forma e se comunica com um SE de nível superior e assim por diante. Os SEs nunca se comunicam par a par, mas sempre através de um SE superior, conforme mostra a Figura 2b. Isso confere escalabilidade ao modelo, porque dentro da área de um SE não se espera mais do que 50 domínios participantes[10]. Nesse artigo somente está sendo considerado um nível de SE, que se relaciona com os SBs dos domínios.

A eficiência do modelo hierárquico resulta do conhecimento que o SE tem do seu domínio. Ele pode efetuar as negociações levando em consideração vários critérios, inclusive realizar QoS inter-domínios. Nesse caso, o SE pode determinar quais as melhores rotas entre os domínios, através de onde o serviço solicitado pode ser atendido. Ele comunica esse resultado aos SBs, que alimentam os protocolos de roteamento interior e exterior. Isso leva à necessidade de versões alteradas dos protocolos de roteamento, como OSPF e BGP, para considerar além da rede de destino, o serviço e possivelmente a rede de origem nas decisões de roteamento. Uma consequência disso, comum ao QoS, é o crescimento das tabelas de roteamento [30].

Durante o processo de negociação, o SE procura alcançar os seguintes objetivos:

- Atendimento do maior número de solicitações possível de compra de serviços;
- Precisão nas alocações, ou seja, uma vez feita a alocação, o serviço fim a fim não deveria ficar indisponível para os usuários finais por falta de recursos;
- Negociação da maioria dos recursos colocados à disposição pelos vendedores;
- Eficiência na implementação;
- Justiça para com todos os compradores e vendedores.

Na avaliação da seção 5, maior atenção é dada aos dois primeiros objetivos.

5. Avaliação Preliminar

Nessa seção são apresentados resultados preliminares de uma avaliação de desempenho baseada em simulação que está sendo realizada na arquitetura Chameleon. A avaliação utiliza o simulador de rede ns-2 [19], estendido com novos recursos para o Corretor de Serviços (SB), a Central de Serviços (SE), a geração de solicitações de ativação de serviços, o preditor gaussiano e o controle de admissão para serviços.

5.1. Modelo de Simulação

A topologia utilizada nas simulações pode ser vista na Figura 3. Foi utilizada como base a rede RNP2 [22] e cada PoP estadual foi considerado um domínio básico (27 domínios). A capacidade³ dos enlaces varia de 20 Mbps entre os domínios 1 e 2 a 1 Mbps para domínios com menor movimento. A capacidade interna dos domínios varia de 155 Mbps, 34 Mbps ou 2 Mbps. Internamente, cada domínio foi configurado com um atraso de 10 ms. O atraso dos enlaces foi configurado de acordo com a sua extensão física em patamares de 10 a 40 ms. Por exemplo, o enlace entre os domínios 1 e 2 foi configurado com 10 ms, enquanto que o enlace entre os domínios 1 e 13 foi configurado com 40 ms.

³ Aqui o termo “capacidade” está sendo utilizado para representar a quantidade de bits por segundo (bps).

A carga de tráfego gerada e o volume de tráfego recebido em cada domínio são proporcionais à capacidade dos seus enlaces de saída e de entrada, respectivamente⁴. A todo momento, os domínios geram requisições de ativação de serviço (chamadas) destinadas a algum outro domínio (tráfego local não está sendo simulado). A carga do sistema, dada pelo número de chamadas ativas por segundo, é variada de 1000 até 10000. A distribuição de carga também leva em consideração que alguns domínios são apenas origem e destino de dados, enquanto outros atuam como passagem para tráfego. A Tabela 1 mostra a participação de cada domínio na carga total do sistema. Por exemplo, se a carga do sistema for de 5000 chamadas por segundo, os domínios 1 e 2 participam com 750 chamadas, os domínios 3 e 4 com 500 chamadas e assim por diante. Do mesmo modo, para cada chamada o seu destino é gerado de acordo com uma tabela de probabilidade semelhante à Tabela 1.

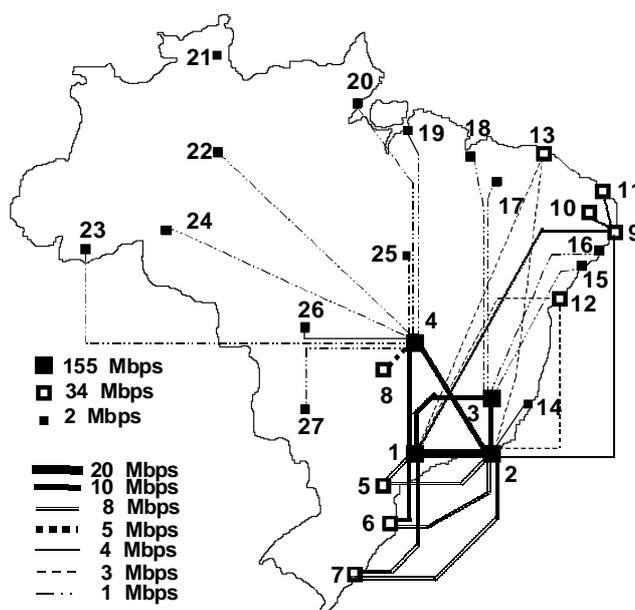


Figura 3 – Topologia de simulação

Todas as ativações de serviço geradas se referem a apenas um serviço de voz (WKS1). A taxa de chegada de chamadas de voz em cada domínio i ($i = 1, 2, \dots, 27$) é modelada como um processo de Poisson de intensidade λ_i chamadas por segundo e a duração das chamadas é exponencialmente distribuída com uma média de $1/\mu = 120$ s. A carga de tráfego em cada domínio é definida como $\rho_i = \lambda_i/\mu$. As fontes de voz são modeladas como processos On-Off (processo de Markov), que alternam períodos ativos (“on”) e inativos (“off”) distribuídos exponencialmente com durações médias de 1,004 s e 1,587 s, respectivamente. Cada fonte gera tráfego CBR de 80 Kbps⁵ nos períodos “on” e 0 Kbps nos períodos “off”.

Domínios	Carga (%)	Domínios	Carga (%)
1 e 2	15	9	4
3 e 4	10	10 e 11	1,5
5, 6 e 7	9	12 e 13	3,5
8	2	14 a 27	0,5

Tabela 1 – Percentual de carga de cada domínio em relação à carga total do sistema

⁴ Uma vez que todos os enlaces são duplex, a capacidade de saída é similar a capacidade de entrada.

⁵ Considerando um codificador PCM de 64 Kbps com quadro (*frame*) de 20 ms e considerando os cabeçalhos IP (20 bytes), UDP (8 bytes) e RTP (12 bytes).

Portanto, o WKS1 foi definido com taxa de pico de 80 Kbps, taxa média de 32 Kbps e atraso máximo⁶ suportável de 150 ms. WKS1 é um serviço de transporte. Assume-se que a negociação de serviço de usuário já foi realizada e cada domínio comporta-se como um provedor de acesso, comprando e vendendo serviços, de acordo com a carga especificada acima.

5.2. Preditor Gaussiano

Nas simulações dessa seção é realizada uma avaliação do Preditor Gaussiano, com relação ao grau com que ele consegue captar as alterações de vazão agregada das fontes de voz, evitando a subestimação e minimizando a superestimação. Para esse estudo, foi considerado apenas o preditor de um único domínio. O tempo de simulação utilizado foi de 1 hora, nessa e nas outras seções.

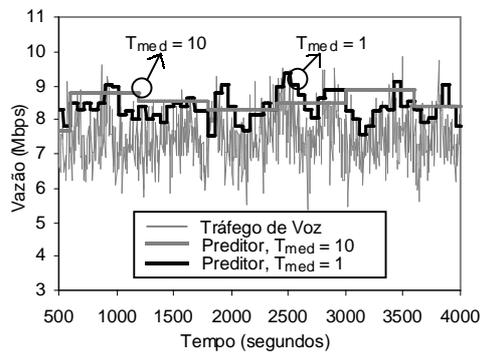


Figura 4 – Preditor Gaussiano com carga $\rho = 240$

O primeiro resultado foi obtido utilizando uma carga ρ de 240 chamadas e medindo as estimativas do preditor para uma janela T_{med} de 1 e 10 minutos. Pode-se observar que o preditor com $T_{med} = 1$ minuto é consideravelmente mais eficiente em acompanhar a variação do tráfego submetido pelas fontes. O preditor com $T_{med} = 10$ não é capaz de se adaptar a flutuações que ocorrem em uma escala de tempo pequena. Esses resultados são compatíveis com os apresentados em[10].

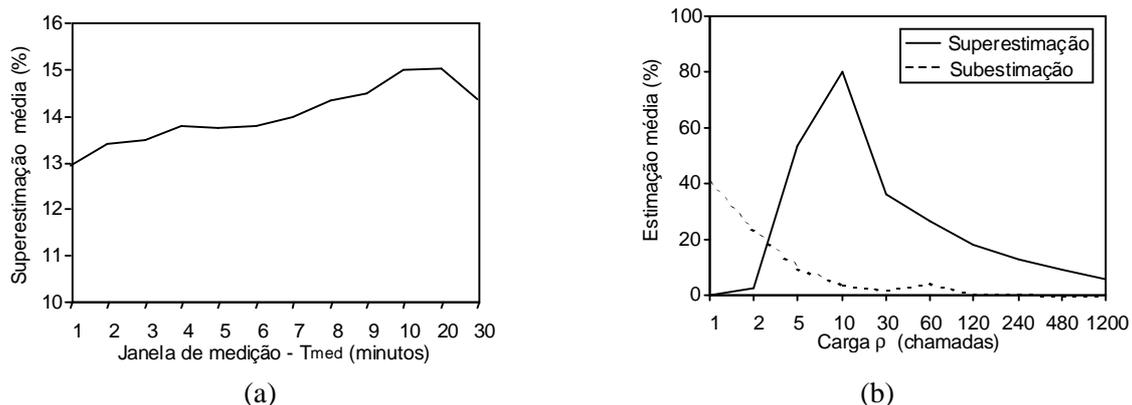


Figura 5 – Efetividade das estimativas; a) superestimação em relação à janela de medição T_{med} ; b) superestimação e subestimação em relação à carga ρ .

A seguir é avaliada a efetividade do preditor em gerar estimativas próximas da realidade do tráfego futuro. A Figura 5a mostra a superestimação de capacidade gerada pelo preditor para uma carga $\rho = 240$ chamadas por segundo e variando a janela de medição T_{med} de 1 a 30

⁶ A motivação para trabalhar com tráfego com restrição de atraso vem de trabalhos anteriores realizados nesse tema com tecnologias de QoS [17].

minutos. O menor valor de superestimação (cerca de 13 %) é alcançado pelo preditor com $T_{med} = 1$ minuto, justamente porque ele leva em consideração as flutuações de tráfego em intervalos muito curtos, como pôde ser observado para a Figura 4. Entre $T_{med} = 10$ e 20 ele apresenta o seu valor máximo de superestimação e com $T_{med} = 30$ ocorre uma queda. Com base nisso, pode-se considerar que não é estritamente necessário utilizar previsões para intervalos muito curtos e conseqüentemente os intervalos entre as negociações podem ser mais espaçados. Entretanto, deve-se considerar que o tráfego de voz tipicamente varia de acordo com a hora do dia, de modo que intervalos excessivamente longos (maiores que 1 hora) devem ser evitados [12]. Para todos os valores de T_{med} simulados a subestimação ficou abaixo de 1 %.

A Figura 5b mostra a super e subestimação realizada pelo simulador com $T_{med} = 1$, para várias cargas ρ variando de 1 a 1200 chamadas por segundo. Com ρ abaixo de 10, o preditor apresenta falha nas estimativas, com a superestimação atingindo um pico de 80 % para $\rho = 10$ e a subestimação 40 % para $\rho = 1$. Até $\rho = 100$ a superestimação se mantém acima de 20 %. Isso ocorre porque com carga pequena a taxa de chegada agregada não segue uma distribuição normal. Em geral, quanto maior for a carga, é menor a ocorrência de sub e superestimação.

5.3. Modelos de negociação

Nessa seção é realizada uma avaliação comparativa dos modelos de negociação bilateral e hierárquico. O objetivo é mostrar que o modelo hierárquico apresenta resultados semelhantes ao modelo bilateral (em alguns casos superiores) e ao mesmo tempo é mais escalável e não gera sinalização em cascata. Em todas as simulações dessa seção e das seções subsequentes foi utilizada uma janela de medição $T_{med} = 1$ minuto.

O modelo bilateral de negociação é simples. O SB de cada domínio faz a estimativa agregada de carga para cada destino em intervalos $T_{med} = 1$ e verifica se existem recursos (capacidade) internamente ao domínio e no enlace próximo domínio na rota até o destino. Então, checa se o atraso do domínio mais o atraso do enlace é maior que o atraso máximo permitido pelo serviço WKS1. Caso o atraso exceda o valor máximo, o serviço é negado. Caso contrário, envia uma mensagem para iniciar uma negociação com o SB do próximo domínio⁷, informando o atraso acumulado e solicitando uma quantidade menor de recursos, caso o domínio ou enlace de saída não tenham a quantidade total estimada pelo preditor. Ao receber uma mensagem de solicitação de recursos, um SB a deixa pendente e efetua o mesmo procedimento descrito anteriormente. Quando o domínio de destino recebe a mensagem ele verifica a sua capacidade interna e a devolve, concedendo o maior valor de recursos entre o solicitado e sua capacidade interna. Então, ele reserva os recursos necessários. Do mesmo modo, todos os SBs no caminho de volta fazem as suas reservas. Assim, o recurso concedido a uma solicitação de um SB é a menor quantidade disponível no caminho de ida e de volta (pode ser zero). Como o serviço WKS1 apresenta tráfego simétrico nos dois sentidos, as reservas são sempre bidirecionais.

No modelo hierárquico, um SB também faz as estimativas a cada $T_{med} = 1$ minuto, mas envia para o SE, que realiza então uma rodada de negociação. A negociação consiste em analisar para todas as solicitações de serviços recebidas se existem recursos suficientes no caminho entre origem e destino e se o atraso do caminho não ultrapassa o limite máximo do WKS1. O algoritmo utilizado pelo SE é baseado no algoritmo de menor caminho de Dijkstra., com algumas alterações. O primeiro tipo de alteração se refere à verificação para descobrir se o caminho fim a fim possui recursos suficientes e não excede o limite máximo de atraso. O outro tipo de alteração se refere à escolha do menor caminho. Foram definidos dois esquemas,

⁷ Os domínios executam protocolos de roteamento interior e exterior baseados no menor caminho.

de acordo com a prioridade de escolha do menor caminho: 1) menor atraso, o caminho escolhido é o com menor atraso e em caso de caminhos com o mesmo atraso, o com a maior capacidade; 2) maior capacidade, o caminho escolhido é o com maior capacidade e em caso de caminhos com mesma capacidade, o com menor atraso. A complexidade computacional não inibe sua utilização, uma vez que existem algoritmos polinomiais para QoSR eficientes que realizam a escolha de caminhos quando são considerados a capacidade e um outro parâmetro, como o atraso [30]. Cada solicitação de serviço envolve a procura de um caminho disponível para a tupla <domínio de origem; domínio de destino; serviço>. No final da rodada de negociação, o SE informa os SBs os resultados das suas solicitações, as reservas que devem ser feitas e as rotas, que devem ser propagadas aos protocolos de roteamento.

Na seqüência dessa seção, essas duas variações do modelo hierárquico são comparadas com o modelo bilateral. A Figura 6 apresenta o percentual de recursos concedidos em relação ao solicitado, para a carga ρ geral do sistema variando de 1000 a 10000 chamadas. Nessas condições, as duas variações do modelo hierárquico apresentam desempenho similar (vantagem inferior a 0,3 % ao esquema de maior capacidade), concedendo 100 % dos recursos solicitados aos SBs com ρ abaixo 2000 e acima de 98 % com ρ até 3000. Para as condições simuladas $\rho = 3000$ é o limite máximo aceitável para que o SE seja capaz de recusar menos de 2 % das solicitações de serviços. Essa carga corresponde a um tráfego médio de 96 Mbps, enquanto que a capacidade total de todos os enlaces é de 310 Mbps⁸. Por outro lado, com $\rho = 10000$ (320 Mbps em média) a capacidade do sistema é completamente excedida, e o percentual de recursos concedidos é de 62,5 %, para ambas as variações.

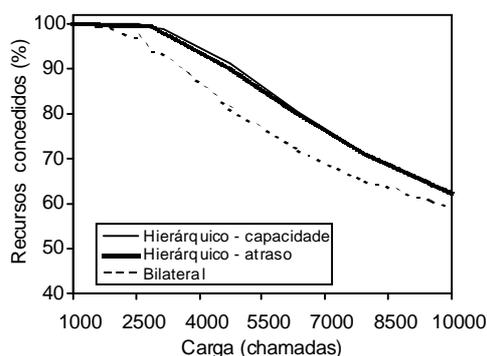


Figura 6 – Recursos concedidos com relação à carga do sistema

O modelo bilateral apresentou um desempenho inferior ao modelo hierárquico para todos os valores de ρ maiores que 1500. Isso ocorre porque o modelo hierárquico é capaz de encontrar caminhos alternativos para conceder recursos para as solicitações de recursos, devido ao seu algoritmo baseado em QoSR. O ganho do modelo hierárquico varia de 0 % a 10 %, com média de 5 % para a variação do modelo hierárquico que dá prioridade à maior capacidade. Para $\rho = 3000$ o ganho é de 5,5 %.

Para avaliar comparativamente as variações do modelo hierárquico foram feitas alterações na configuração do enlace entre os domínios 1 e 2 e os resultados podem ser observados na Figura 7. Em primeiro lugar foi reduzida a capacidade do enlace para 5 Mbps, originalmente é 20 Mbps (Figura 7a). O esquema de maior capacidade teve um resultado consideravelmente inferior ao esquema de menor atraso, chegando a picos de 12 % a menos em recursos concedidos. A partir de ρ maior que 6000, o esquema de maior capacidade apresenta desempenho inferior ao modelo bilateral, chegando a quase 8 % com $\rho = 10000$. Esse comportamento se deve ao fato de que ele procura sempre caminhos com maior

⁸ Como os enlaces são duplex, está sendo considerado duas vezes o seu valor nominal.

capacidade, mesmo que envolvam ou número maior de domínios e enlaces. Isso significa que para atender a uma determinada solicitação de serviços, freqüentemente ele consome recursos que seriam concedidos a outras solicitações, que conseqüentemente não podem ser atendidas. Esse resultado vem a corroborar com a bem conhecida preferência da comunidade de redes pelo roteamento baseado em menor número de saltos, que consome menos recursos.

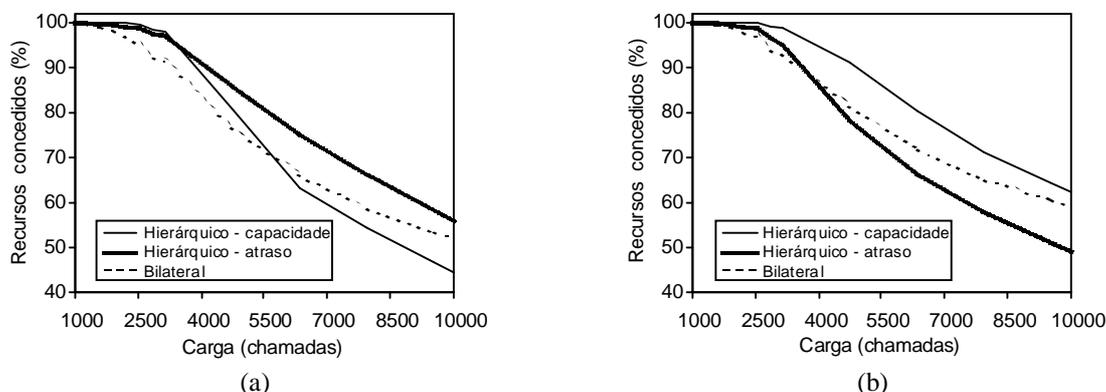


Figura 7 – Recursos concedidos com alterações nas configurações; a) capacidade do enlace 1-2 alterada para 5 Mbps; b) atraso do enlace 1-2 alterado para 50 ms.

Pelo mesmo motivo que o anterior, o esquema hierárquico baseado em menor atraso tem desempenho inferior ao esquema baseado em maior capacidade, quando o atraso do enlace 1-2 é aumentado para 50 ms (Figura 7b). O esquema baseado em atraso dá preferência a caminhos alternativos (como 1-4-2 e 2-3-1), que agora tem menor atraso. Dessa forma, uma maior quantidade de recursos é consumida, para atender a mesma quantidade de requisições de serviço. O resultado é a queda no percentual de recursos concedidos. Um aspecto interessante é que até $\rho = 3000$, nos dois casos da Figura 7, o desempenho não é alterado. A razão é simples: os enlaces afetados não representam um gargalo para o sistema, com essa carga. Independente de utilizar caminhos mais longos, os recursos existem e são concedidos.

5.4. Controle de admissão

Nessa seção é avaliado o mecanismo de controle de admissão, comparando as chamadas geradas, solicitadas, concedidas e admitidas no sistema. Foi utilizado o modelo de negociação hierárquico com o esquema baseado em menor atraso. Os resultados são mostrados na Figura 8. A quantidade de chamadas solicitada ao SE por todos os SBs (baseada na estimativa do preditor) é 19 %, 13 % e 12 % maior que a carga do sistema (chamadas geradas) para $\rho = 1000$, 3000 e 10000, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com a seção 5.2.

O mecanismo de controle de admissão (implementado pelo SB) consiste em verificar se existem recursos suficientes para atender à solicitação de ativação do serviço, ou seja, a chamada. O valor considerado é a taxa média das fontes do serviço WKS1, de 32 Kbps. Em primeiro lugar, é verificado se existem recursos no domínio local e então, no enlace de saída para o próximo domínio no caminho até o destino. Se for suficiente, o recurso é descontado da quantidade disponível e a chamada liberada. Senão, a chamada é bloqueada. Quando a chamada termina, uma mensagem de finalização é enviada ao mecanismo de admissão que aumenta novamente a quantidade de recursos disponíveis.

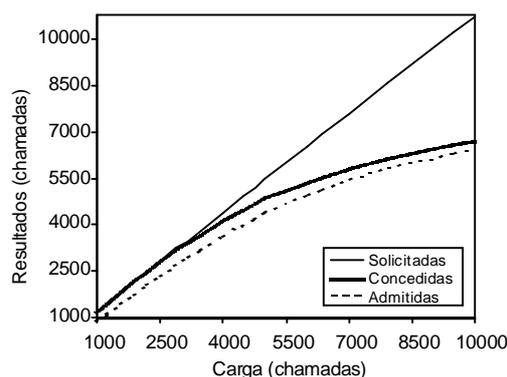


Figura 8 – Chamadas geradas, solicitadas, concedidas e admitidas no sistema

A Figura 8 mostra que 97 % das chamadas geradas são admitidas para $\rho = 3000$, que representa definitivamente o ponto ótimo do cenário simulado. A admissão é de 67 % para $\rho = 10000$, embora isso represente 96 % em relação às chamadas (recursos) concedidas. Com uma carga de $\rho = 1000$, as chamadas admitidas representam 91 % das chamadas geradas. Esse resultado, inferior a $\rho = 3000$, ocorre porque o Preditor Gaussiano não faz as previsões corretas para cargas baixas (seção 5.2). Mesmo para o melhor caso, os SBs não são capazes de admitir todas as chamadas, porque o tráfego gerado apresenta rajadas em intervalos curtos de tempo, e chamadas são geradas em momentos onde não existem recursos disponíveis.

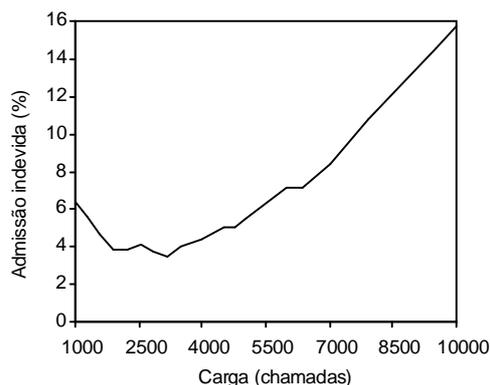


Figura 9 – Chamadas admitidas indevidamente

A seguir é avaliada a efetividade do provisionamento realizado pelo SE para todos os domínios e enlaces. Para isso, o mecanismo de controle de admissão local descrito anteriormente é alterada para fazer todas as verificações de recursos de maneira fim a fim, ou seja, em cascata até o domínio de destino. Desse modo, é possível avaliar o percentual de chamadas admitidas a mais pelo mecanismo local do que pelo mecanismo fim a fim⁹. Esse cenário é retratado pela Figura 9. Com uma carga $\rho = 3000$, são admitidas 3,5 % chamadas acima do que seriam admitidas se fosse utilizado o mecanismo fim a fim. Isso sugere que a rede pode ter problemas em manter os níveis de QoS estabelecidos no contrato, vindo a descartar uma quantidade de pacotes acima do aceitável. Embora 3,5 % não seja um valor demasiadamente elevado, seria desejável que ficasse bem abaixo de 1 % para que fosse considerado insignificante. Uma maneira mais precisa de avaliar as razões para esse comportamento seria a simulação do tráfego real na rede.

A partir de $\rho = 3000$, o percentual aumenta de acordo com o acréscimo de carga, atingindo 15,7 % para $\rho = 10000$. Quando a rede trabalha com uma carga superior à sua

⁹ Esse mecanismo de controle de admissão fim a fim é utilizado somente para fins de avaliação. Não faz sentido utilizá-lo em um ambiente real, pois o volume de sinalização é alto, comparável ao IntServ.

capacidade, os seus resultados não são confiáveis. Com esse valor de chamadas aceitas a mais do que os recursos da rede, certamente a maioria das chamadas irão apresentar desempenho abaixo do esperado pela aplicação.

5.5. Provisionamento e utilização de recursos

As próximas simulações avaliam a quantidade de recursos (capacidade) reservados em função dos recursos disponíveis e a quantidade de recursos utilizados em função dos recursos reservados. Os resultados comparam o esquema baseado em maior capacidade do modelo hierárquico com o modelo bilateral.

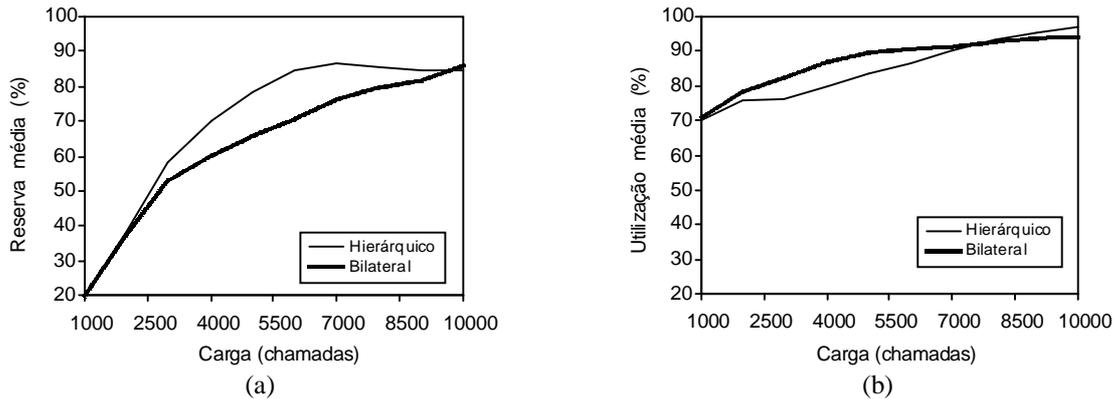


Figura 10 – Provisionamento e utilização de recursos; a) percentual de recursos reservados em relação ao disponível; b) percentual de recursos utilizados em relação ao reservado.

A Figura 10a mostra que o modelo hierárquico consegue reservar mais recursos que o modelo bilateral. A reserva é maior em 9,4 % para $\rho = 3000$ com uma média de 8,9 %. Por outro lado, o modelo bilateral consegue utilizar 3 % a mais de recursos proporcionalmente aos recursos reservados (Figura 10b). A utilização diz respeito aos recursos consumidos pelas chamadas admitidas. Com base nesses resultados, conclui-se que o modelo hierárquico gera um super-provisionamento um pouco maior do que o modelo bilateral. O valor é 2,2 % superior para $\rho = 3000$, 5,5 % superior para $\rho = 5000$ e 4 % inferior para $\rho = 10000$.

O provisionamento e utilização de recursos nos domínios é semelhante aos enlaces guardadas as suas proporções. O modelo hierárquico gera reservas 1,1 % superiores na média e o modelo bilateral tem uma utilização de recursos 3,8 % superior. Para os dois modelos de negociação, o percentual de recursos reservados não atingiu 24 %. Isso se deve em parte a não simulação de tráfego somente local e em parte ao fato de que os domínios estarem internamente bem provisionados de recursos físicos.

6. Trabalhos Relacionados

Atualmente, a idéia de Corretor de Banda (Bandwidth Broker – BB) é o que existe de mais concreto para a negociação e provisionamento de recursos na Internet. Proposto juntamente com a idéia de DiffServ[16], consiste em uma entidade que gerencia os recursos de um domínio e troca mensagens com outros BBs para reservar recursos dentro da área que o usuário necessita. Em [27] é sugerido um modelo de duas camadas, intra e inter-domínios, para o gerenciamento de recursos de uma rede DiffServ. O projeto QBone da Internet2 criou o seu modelo de BB para gerenciamento de recursos e também definiu um protocolo para sinalização inter-domínios entre os BBs[25]. O SB proposto nesse artigo é baseado no conceito do BB, mas com uma gama maior de funções (seção 3.1).

Nos últimos dois anos surgiram alguns grandes projetos que tratam de disponibilizar serviços avançados na Internet. O projeto TEQUILA [26] visa oferecer serviços com garantias

de QoS e está envolvido com a definição de SLSs, protocolos para a negociação de SLSs e esquemas de engenharia de tráfego intra e inter-domínios para que a rede seja capaz de honrar com os compromissos assumidos no SLS. Em comparação com o trabalho apresentado nesse artigo, TEQUILA tem um escopo mais abrangente. Entretanto, a arquitetura Chameleon é mais enxuta que a arquitetura TEQUILA e o modelo de negociação hierárquico de serviços é inovador.

O projeto AQUILA [2] tem o objetivo de definir, avaliar e implementar uma arquitetura avançada para QoS na Internet que introduz uma camada de software para controle distribuído e adaptável de recursos. AQUILA concentra suas atividades na construção de ferramentas e realização de experiências em redes reais com serviços multimídia e pelo menos no início, o oferecimento de serviços está restrito a um domínio administrativo. Ou seja, não fornece soluções para negociação de recursos para serviços fim a fim.

O projeto CADENUS [9] está propondo uma solução integrada para a criação, configuração e provisionamento de serviços de usuário com garantias de QoS em redes IP Premium (que oferecem serviços avançados). CADENUS pode ser visto como completar ao trabalho proposto nesse artigo e também aos projetos TEQUILA e AQUILA.

A proposta para provisionamento de QoS utilizando uma arquitetura de câmara de compensação [10] apresentou a primeira motivação para o modelo de negociação hierárquico de serviços. Entretanto, ela é limitada à negociação de capacidade (bps), ou seja, não é capaz de identificar serviços e realizar as negociações baseada em outros parâmetros de QoS.

7. Conclusão

Nesse artigo, foi apresentada a arquitetura Chameleon, que permite a oferta de serviços fim a fim, independente da quantidade e do tipo de tecnologia de QoS adotada pelas redes que existem no caminho entre fonte e destino de dados na Internet. Ela introduz o conceito de Corretor de Serviços (SB), que, entre outras funções, realiza a negociação de serviços que resulta na disponibilidade ou não de recursos fim a fim para a utilização dos serviços. Dois modelos de negociação são apresentados: o tradicional modelo bilateral que gera mensagens em cascata entre domínios vizinhos e o modelo hierárquico, que utiliza a Central de Serviços (SE) para centralizar a negociação entre os domínios. No modelo hierárquico, todas as negociações se referem a agregações de serviços.

Para avaliar a eficiência e escalabilidade do modelo hierárquico foi realizado um estudo de simulação. A avaliação comparativa dos modelos de negociação mostrou que, nas condições simuladas, o modelo hierárquico conseguiu obter 5,5 % a mais de recursos concedidos para serviços, com a rede no seu ponto ideal de carga. A efetividade do provisionamento realizado como resultado da negociação hierárquica foi demonstrada pela admissão de até 97 % das chamadas geradas. No entanto, foi constatado que o modelo hierárquico apresenta um super-provisionamento de 2,2 % em relação ao modelo hierárquico, embora consiga admitir mais chamadas.

Uma vez que a avaliação da arquitetura Chameleon é apenas preliminar, existe um grande espaço para trabalhos futuros. Pretende-se simular a camada de operação, com roteadores e tráfego real, porque nesse trabalho somente a camada de serviços foi avaliada. Outras possibilidades são a avaliação do comportamento do modelo hierárquico quando mais serviços são negociados e a introdução do conceito de justiça de modo eficiente na negociação realizada pelo SE.

Referências Bibliográficas

- [1] Awduche, D. et al., “Requirements for Traffic Engineering over MPLS”, RFC .2702, Setembro 1999.
- [2] AQUILA Project, <http://www-st.inf.tu-dresden.de/aquila>, 2000.
- [3] Arbinet-thexchange, <http://www.arbinet.com>
- [4] Baker, F., “The Case for QoS”, Packet Magazine, Quarto Trimestre 2000.
- [5] Bernet, Y. et. al., “A Framework for Differentiated Services”, Internet Draft, <draft-ietf-diffserv-framework-02.txt>, Fevereiro 1999.
- [6] Black, D. et. al., “An Architecture for Differentiated Services”, RFC 2475, Dezembro 1998.
- [7] Braden, R., Clark, D. & Shenker, S., “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview”, RFC 1633, Junho 1994.
- [8] Braden, R. et al., “Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification”, RFC 2205, Setembro 1997.
- [9] CADENUS Project, <http://www.cadenus.org>, 2000.
- [10] Chuah, C. N., et. al., “QoS Provisioning Using a Clearing House Architecture”, IWQoS’2000, Junho 2000.
- [11] Crawley, E. et al., “A Framework for QoS-based Routing in the Internet”, RFC 2386, Agosto 1998.
- [12] Duffield, N.G., Goyal, P. & Greenberg, A., “A Flexible Model for Resource Management in Virtual Private Networks”, ACM SIGCOMM’99, Setembro 1999.
- [13] Goderis, D. et. al., “Service Level Specification Semantics and Parameters”, Internet Draft, <draft-tequila-sls-00.txt>, Novembro 2000.
- [14] Günter, M. & Braun, T., “Evaluation of Bandwidth Broker Signaling” IEEE 7th International Conference on Network Protocols, Outubro 1999.
- [15] Jamin, S. et. al., “A Measurement-based Admission Control Algorithm for Integrated Services Packet Network”, IEEE/ACM Transactions in Networking, Fevereiro 1997.
- [16] Kamienski, C.A. & Sadok, D., “Qualidade de Serviço na Internet”, minicurso, 18º SBRC, Belo Horizonte/MG, Maio 2000.
- [17] Kamienski, C.A. & Sadok, D., “Engenharia de Tráfego em uma Rede de Serviços Diferenciados”, 18º SBRC, Belo Horizonte/MG, Maio 2000.
- [18] Nichols, K., Jacobson, V. & Zhang, L., “A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet”, RFC 2638, Julho 1999.
- [19] Network Simulator (versão 2.1b7), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, Outubro 2000.
- [20] Rajan, R., Celenti, E. & Dutta, S., “Service Level Specification for Inter-domain QoS Negotiation”, Internet Draft, <draf-sls-somefolks-00.txt>, Novembro 2000.
- [21] RateXchange, <http://www.ratexchange.com>.
- [22] Rosen, E., Viswanathan, A. & Callon, R., “Multiprotocol Label Switching Architecture”, RFC 3031, Janeiro 2001.
- [23] RNP, “Mapa do backbone RNP2”, <http://www.rnp.br/backbone/bkb-mapa.html> .
- [24] Salsano, S. et. al., “Definition and usage of SLSs in the AQUILA consortium”, Internet Draft, <draft-salsano-aquila-sls-00.txt>, Novembro 2000.
- [25] Teitelman, B. & Chimento, P., “QBone Bandwidth Broker Architecture”, Internet2 QBone Draft, Junho 2000, <http://qbone.internet2.edu/bb/bboutline2.html>.
- [26] TEQUILA Project, <http://www.ist-tequila.org>, 2000.
- [27] Terzis, A., et. al., “A Two-Tier Resource Management Model for the Internet”, Global Internet’99, Dezembro 1999.
- [28] T’ Joens, Y., et. al., “Service Level Specification and Usage Framework”, Internet Draft, <draft-manyfolks-sls-framework-00.txt>, Outubro 2000.
- [29] Westerinen, A. et. al., “Policy Terminology”, Internet Draft, <draft-ietf-policy-terminology-01.txt>, Novembro 2000.
- [30] Xiao, X., “Providing Quality of Service in the Internet”, Tese de doutorado, Michigan State University, Maio 2000.