

Uma Estratégia para Rerroteamento Pró-Ativo em Redes Ópticas Utilizando uma Infra-Estrutura de Gerência P2P

Reinaldo B. Correia¹, Alexandre G. Lages¹, Luci Pirmez¹, Lisandro Z. Granville²,
Elias P. Duarte Jr.³, Rossana M. C. Andrade⁴, José N. Souza⁴

¹Núcleo de Computação Eletrônica - Universidade Federal do Rio de Janeiro
reinaldo@posgrad.nce.ufrj.br, {alexandre, luci}@nce.ufrj.br

²Instituto de Informática - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
granville@inf.ufrgs.br

³Depto. Informática - Universidade Federal do Paraná
elias@inf.ufpr.br

⁴Depto. Computação - Universidade Federal do Ceará
{rossana, neuman}@ufc.br

Resumo. *Uma das ações que pode ser desencadeada diante de quebra de requisitos de QoS em redes ópticas baseadas em GMPLS é o rerroteamento de fluxos. Este trabalho apresenta a aplicação de uma estratégia de rerroteamento pró-ativo em redes ópticas baseado no uso de agentes atuando em circuitos virtuais redundantes, que pode ser pleno ou parcial dependendo do circuito virtual falho ser completamente ou parcialmente substituído por outro. Este esquema se insere em uma arquitetura de gerência de redes baseada em peers (GigaManP2P) que é responsável pela monitoração e disparo do processo. Uma avaliação levando aspectos estáticos e dinâmicos de redes reais comprova a efetividade da proposta.*

Abstract. *Among the possible actions that may be employed in face of QoS constraint violations in optical networks based on GMPLS, rerouting flows have been considered a good choice. This work presents the application of a proactive rerouting strategy in optical networks based on the usage of redundant virtual circuits, allowing both full and partial rerouting depending on whether the broken virtual circuit is completely or partially replaced by the new one. This mechanism is implemented within a network management framework based on peers (called GigaManP2P), which is responsible for monitoring and triggering the process. Experimental results obtained from simulation are presented considering the static and dynamic aspects of real data networks.*

1. Introdução

As redes ópticas apresentam um diferencial em comparação com outras tecnologias por permitirem a execução de aplicações de alto desempenho, a maioria delas sensíveis a parâmetros tais como banda e atraso de entrega dos pacotes. Portanto, pode-se afirmar que a própria funcionalidade destas redes depende da alocação de rotas adequadas que sejam capazes de atender às aplicações com requisitos específicos de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*) [1]. O processo é, entretanto, dinâmico, envolvendo a

monitoração contínua dos circuitos. Quando é detectada a possibilidade de violação de requisitos, deve ser efetuado o roteamento, de forma que a infra-estrutura continue provendo o serviço solicitado [2].

As redes ópticas focadas neste trabalho são aquelas utilizadas para a construção de backbones interligando múltiplos Sistemas Autônomos (SA). A gerência destes backbones apresenta grandes desafios devido ao fato de cada sistema adotar suas medidas de segurança, incluindo firewalls restritivos, impedindo que um sistema de gerência tradicional possa ser utilizado para a monitoração do sistema como um todo. Desta forma foi proposto um sistema de gerência baseado na interação de pares (*peers*) que interagem em um SA específico com um sistema de gerência local baseado no protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Os *peers* estão localizados em diferentes sistemas autônomos, e trocam informações entre si utilizando uma infraestrutura Peer-to-Peer (P2P).

Sistemas e redes *peer-to-peer* (P2P) [3] vêm promovendo o desenvolvimento de aplicações e serviços inovadores para usuários da Internet. Compartilhamento de arquivos, computação distribuída, voz sobre IP (*voice over IP* - VoIP) e vídeo sob demanda (*video on demand* - VoD) são exemplos de aplicações onde o uso de tecnologias P2P vêm introduzindo evoluções sensíveis. Em essência, o modelo de comunicação P2P difere do modelo cliente-servidor tradicional ao permitir que computadores de usuários localizados na periferia da Internet tenham a capacidade de comunicação direta entre si para compartilhamento de recursos sem a necessidade de servidores intermediários. Na verdade, os nodos de uma rede P2P (ou apenas *peers*) funcionam como entidades híbridas que operam como clientes ao solicitarem recursos de outros *peers*, e como servidores quando oferecem ao restante da rede P2P seus próprios recursos computacionais.

O sistema de gerenciamento chamado GigaManP2P [4] considera a existência de *peers* de gerenciamento distribuídos ao longo da rede óptica gerenciada, formando assim uma rede overlay de gerência. Os *peers* de gerenciamento oferecem serviços diversos, como execução remota de scripts, suporte a agentes móveis e gerenciamento de configuração através da definição e distribuição de políticas de operação. Neste ambiente, a arquitetura de roteamento é um serviço de gerenciamento adicional que pode ser solicitado por usuários aos operadores humanos do sistema. Porém, durante sua execução, as tarefas de roteamento são transparentes para as aplicações críticas.

Este artigo é especificamente focado nos problemas de roteamento de fluxos críticos em redes ópticas através do uso de uma rede de gerenciamento *overlay* que controla a infra-estrutura física. A solução proposta foi simulada e os resultados demonstram que o roteamento dentro de um contexto de gerenciamento de redes ópticas baseado em P2P é viável. Foram utilizados tempos de atrasos de processamento e transmissão reais medidos a partir de dispositivos da rede do projeto GIGA [5], financiado pela RNP/FINEP. Além disso, o desempenho dos nodos-gerentes da rede P2P de gerenciamento foi obtido a partir de medidas realizadas sobre os *peers*.

O restante deste trabalho está estruturado em quatro seções. A seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. Na seção 3 são descritas a arquitetura pró-ativa de roteamento e sua aplicação em uma infra-estrutura óptica. A seção 4 apresenta o mecanismo de roteamento em um *peer*, e são descritos os testes e definidas as

métricas de desempenho escolhidas para avaliar o mecanismo. Ainda nesta seção são apresentados os resultados da simulação realizada que, posteriormente, são analisados. Este artigo é finalizado na seção 5 com a apresentação de conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

A maioria dos trabalhos relacionados disponíveis na literatura tem por objetivo aplicar algoritmos ou estratégias de roteamento em redes GMPLS [8][10][12][14] bem como aplicar estratégias pró-ativas para o gerenciamento de desempenho [13].

Em [8] e [10], o foco é o mecanismo de roteamento e testes são realizados para investigar o impacto computacional da aplicação de agentes móveis em operações de roteamento. Nestes dois artigos, o ambiente de simulação consiste de uma rede ethernet 10/100 Mbps controlada no laboratório Labnet do NCE, não levando em consideração aspectos dinâmicos que normalmente estão presentes em redes reais.

Estratégias de engenharia de tráfego multi-camadas são discutidas e testes são realizados em [12] para comparar o roteamento reativo e o pró-ativo em um cenário IP sobre uma rede óptica. Os resultados alcançados ilustram os benefícios de utilizar essas estratégias evitando condições desfavoráveis da rede e mantendo continuamente a rede otimizada. Entretanto, a infra-estrutura de gerenciamento utilizada não é P2P.

Em [13], uma arquitetura de gerenciamento de desempenho pró-ativo distribuído baseada em tecnologia ativa e em Java é apresentado. Os testes efetuados no gerenciamento de desempenho têm como objetivo avaliar o desempenho e a eficácia da monitoração e o tempo de reação do sistema.

Takana *et al* em [14] relatam os resultados de testes de campo de roteamento óptico GMPLS em um cenário que inclui roteadores IP, photonic cross-connects (PXCs) e equipamentos dense wavelength-division-multiplexing (DWDM) em um ambiente heterogêneo. Resultados na faixa de 7s foram alcançados e foram detectadas necessidades de melhorias no software e no mecanismo de troca de mensagens.

No caso do presente trabalho, conforme mencionado anteriormente, o roteamento pró-ativo é aplicado em redes ópticas que utilizam um ambiente de gerenciamento P2P e os testes efetuados consideram o *backbone* e os equipamentos reais da rede GIGA [5].

3. Descrição do Mecanismo de Roteamento Pró-ativo

O mecanismo de roteamento empregado na infra-estrutura óptica da rede Gigabit da RNP possui um arquitetura baseada em agentes e se utiliza de uma infra-estrutura de rede orientada a circuitos virtuais. Por ser baseada em agentes, esse mecanismo necessita que seja instalada nos peers uma infra-estrutura de mobilidade de agentes. A infra-estrutura utilizada foi o muCode [6], que precisou ser atualizada para que funcionasse na versão mais recente do Java (versão 1.5) [7]. Adicionalmente, esse mecanismo de roteamento caracteriza-se por efetuar as operações de roteamento de forma pró-ativa além de adotar o roteamento parcial. Essas duas características visam reduzir ao máximo a latência das operações de roteamento. A natureza pró-ativa da arquitetura reside no fato de que todas as operações possíveis são iniciadas ou completamente finalizadas antes da solicitação externa de roteamento. No

rerroteamento parcial, ao invés de substituir todo o circuito virtual como ocorre no rerroteamento pleno, somente um trecho pertencente ao circuito virtual do fluxo da aplicação é substituído. Esse trecho, denominado trecho crítico, é uma porção do circuito virtual que tem o maior peso da métrica de QoS relevante ao fluxo em relação ao seu valor fim-a-fim do circuito virtual.

3.1. Componentes da Arquitetura

Essa Arquitetura, que foi desenvolvida em [8], é constituída de três agentes: *AgenteNóEntrada*, *AgenteNóIntermediário*, *AgenteRotaAlternativa*. O *AgenteNóEntrada* (ANE) é o primeiro a iniciar o seu processamento no comutador de entrada do circuito virtual. Esse componente efetua o gerenciamento do rerroteamento dos fluxos pertencentes ao mesmo circuito virtual e é o elemento que interage com algum sistema externo.

O *AgenteNóIntermediário* (ANI) possui dois objetivos: (i) identificar os nós pertencentes ao circuito virtual do fluxo a ser rerroteado; e (ii) enviar ao componente ANE hospedado no nó de entrada do circuito virtual os valores das métricas de QoS relevantes ao fluxo dos nós e enlases do circuito virtual.

O *AgenteRotaAlternativa* (ARA) é especializado na descoberta de trechos alternativos em torno do trecho crítico. O mecanismo de descoberta de novos trechos alternativos é feito em uma área (área de busca) em torno do trecho crítico. O tamanho dessa área, na qual são efetuados os processamentos para a descoberta de trechos alternativos, é definido por um parâmetro chamado de raio da área de busca (RAB). O valor desse parâmetro é passado quando criado pelo componente ANE. O componente ARA possui ainda dois outros objetivos: (i) definir o melhor trecho alternativo e (ii) realizar a mudança de rota.

3.2. Funcionamento da Arquitetura

A Arquitetura de Rerroteamento Pró-ativo pode ser explicada estabelecendo cinco fases para as operações necessárias ao rerroteamento de um fluxo: Instalação dos agentes (IA), Monitoração do Circuito Virtual (MCV), Descoberta de Trechos Alternativos (DTA), Monitoração dos Trechos Alternativos (MTA) e Mudança de Rota (MR).

A partir do início do processamento do primeiro agente (ANE) no nó de entrada do circuito virtual, todas as operações referentes a todas as fases, excetuando a fase de mudança de rota (MR), são executadas seqüencialmente (IA -MCV-DTA-MTA) sem a necessidade de outros eventos externos. Essas fases são chamadas de pró-ativas porque suas operações são concluídas ou iniciadas antes da ocorrência da falha ou tendência de falha de QoS do fluxo. O adiantamento dessas operações é responsável pela redução da latência do rerroteamento. A fase MR é considerada reativa uma vez que sua execução só será efetuada após solicitação externa de rerroteamento. Ao iniciar a monitoração do fluxo da aplicação, o sistema de gerenciamento envia os três agentes de rerroteamento ao peer responsável pelo monitoramento do primeiro nó do circuito virtual, dando início a fase IA.

A fase IA tem então início quando o agente ANE começa o seu processamento, criando o agente ANI. O agente ANI, recém criado, migra para o próximo nó peer, responsável pelo monitoramento do próximo dispositivo pertencente ao circuito virtual. A partir daí, cópias do agente ANI são criadas, as quais se instalam nos peers associados

aos dispositivos do circuito virtual correspondente. Após receber informações de estado do circuito virtual provenientes dos agentes ANI (fase MCV), o agente ANE calcula a posição do trecho crítico e cria o agente ARA. Este, imediatamente, migra para o primeiro nó do trecho crítico, onde a fase DTA tem início.

A fase MCV inicia assim que o agente ANI instala-se no nó peer responsável pelo nó de saída do circuito virtual. O seu término se dá juntamente com o término do fluxo. Durante essa fase, são realizadas as operações necessárias para disponibilizar as informações de estado do circuito virtual ao agente ANE hospedado no peer de entrada do circuito virtual. O esquema utilizado consiste no envio dessas mensagens a partir do agente ANI do peer referente ao nó de saída do circuito virtual até ao agente ANE, passando por todos os agentes ANI instalados nos nós peers intermediários, os quais vão agregando a essas mensagens os estados locais dos enlaces e nós.

A fase DTA inicia quando o agente ARA se instala no peer responsável pelo primeiro nó do trecho crítico. O encerramento desta fase se dá quando a última cópia do agente ARA instala-se no peer do último nó do trecho crítico, indicando a descoberta do último trecho alternativo. A técnica utilizada na descoberta de trechos alternativos é a difusão limitada de cópias do agente ARA na área de busca.

Na fase MTA, são efetuadas as operações necessárias para a obtenção do estado local dos nós peers dos trechos alternativos e ao envio periódico das mensagens de estado. A origem dessas mensagens é o agente ARA do último nó peer do trecho crítico e o destino é o agente ARA do primeiro nó peer do trecho crítico. Essas mensagens contêm informações que permitem ao agente ARA do peer do último trecho crítico escolher o melhor trecho alternativo com recursos suficientes para atender às restrições de QoS do fluxo a ser rerroteado.

A fase MR compreende o conjunto de operações executadas entre o recebimento da solicitação externa de rerroteamento pelo agente ANE e o redirecionamento do fluxo através do trecho alternativo. O redirecionamento é efetuado pelo agente ARA hospedado no peer do primeiro nó do trecho crítico. As operações envolvidas durante a fase de mudança de rota dependem da abordagem adotada na geração e associação dos identificadores locais do novo circuito virtual, que pode ser antecipada ou sob demanda. Na abordagem antecipada, os identificadores locais (rótulos) são gerados na fase DTA (fase pró-ativa), não impactando na latência da fase MR. Já a abordagem sob demanda incorre em um aumento da latência da fase MR, pois as operações referentes à criação e associação dos identificadores locais devem ser efetuadas nesta fase. Além disso, a latência da fase MR torna-se dependente do comprimento do trecho alternativo, o que não ocorre no caso do esquema antecipado.

4. O Rerroteamento Pró-Ativo na Infra-Estrutura GigaManP2P

O mecanismo de rerroteamento proposto atua na camada IP/MPLS, sendo o redirecionamento dos fluxos efetuado pelo estabelecimento de novos circuitos virtuais (LSPs). Isso significa dizer que os fluxos das aplicações de usuários são reencaminhados através de circuitos virtuais (LSPs) redundantes, não sendo considerado os canais ópticos (Lambdas) da camada física. Conseqüentemente, só é considerado o rerroteamento oriundo de falhas de QoS e não de falhas de enlaces e nós (dispositivos).

Uma questão relevante diz respeito ao problema da ausência do ambiente de

execução nos switches 6808 da Extreme Networks para executar threads e agentes móveis. Para contornar essa limitação, considerando que o mecanismo de roteamento utiliza agentes móveis, as computações referentes às tarefas de roteamento são efetuadas nos peers onde está disponível o ambiente de execução (Figura 1b). Logo, os peers devem estar atrelados aos switches 6808 de forma que seja possível o monitoramento e a reconfiguração dos circuitos virtuais (LSPs) quando da solicitação de roteamento. A associação entre *peers* e *switches* está claramente indicada pelas linhas pontilhadas da Figura 1a. Desta forma, apesar de o processamento das operações de roteamento ser realizado nos peers, as ações de roteamento têm seus efeitos na camada IP/MPLS, pois é aí que são feitas as alterações nas tabelas de rótulos para o estabelecimento ou ativação dos novos circuitos virtuais (LSPs).

Para implantar esse novo esquema de roteamento na rede óptica, algumas alterações foram realizadas nos agentes. Essas alterações estão relacionadas à forma de interação entre os agentes de roteamento e os dispositivos de rede, *switches*. Diferentemente do que foi originalmente implementado em [8, 10] (interação direta), no presente trabalho, os agentes devem ser capazes de remotamente obter informações e reconfigurar as *switches*. Para tal, foram incorporados nos agentes novos métodos que interagem com a interface de nível 1 do peer em substituição aos métodos originais que realizavam chamadas ao sistema. Os peers, por sua vez, interagem via interface de nível 2 com os *switches* utilizando-se de requisições SNMP. Outras formas de interação podem ser investigadas, tais como: as execuções de scripts ou de linhas de comando (CLI).

Os testes efetuados no mecanismo de roteamento e apresentados em [10,4] tinham como principal objetivo investigar o impacto computacional do uso de agentes móveis em operações de roteamento usando uma rede controlada no laboratório Labnet do NCE, não levando em consideração aspectos dinâmicos que normalmente estão presentes em redes reais.

Assim, na presente proposta foram considerados os seguintes aspectos que não foram abordados nos trabalhos anteriores: (1) os aspectos dinâmicos e (2) a forma indireta de interação. Vale ressaltar que os testes dinâmicos nunca foram apresentados em nenhum outro trabalho. Já os estáticos foram apresentados anteriormente, excetuando o teste de interação com o dispositivo 6808. Tais testes são utilizados na simulação dos testes dinâmicos.

Os aspectos ou características dinâmicas consideradas na presente proposta foram o número de interfaces das *switches* MPLS (grau de liberdade dos nós), a redundância da rede (quantidade de enlaces redundantes), intensidade de tráfego injetado na rede, o tipo de tráfego e o posicionamento do circuito virtual (LSP) na topologia da rede.

Quanto à forma indireta de interação, conforme descrito anteriormente, houve a necessidade de adequar os agentes de roteamento às necessidades da infra-estrutura de comunicação Giga, ou seja, esses agentes deixaram de interagir de forma direta com os dispositivos de rede (roteadores MPLS) e passaram a obter informações de estado e atuar nesses dispositivos de forma indireta, utilizando-se do protocolo SNMP para realizar tais operações.

A inclusão desses aspectos (dinâmico e forma indireta) nos testes se justifica, pois eles têm impacto direto no desempenho do roteamento. O impacto do tipo de interação dos agentes de roteamento com o dispositivo de rede está relacionado com o retardo introduzido nas operações de roteamento porque a forma indireta apresenta maior latência do que a forma direta. Quanto ao tráfego, espera-se que seu impacto implique também em um maior retardo nas operações de roteamento devido ao tempo de enfileiramento nos dispositivos de rede. Além disso, perdas de pacotes nas filas de saída dos dispositivos de rede introduz um certo percentual de solicitações de roteamento mal sucedido.

4.1. Testes Dinâmicos

Os *testes dinâmicos* buscam verificar o desempenho da arquitetura de roteamento dentro do contexto da infra-estrutura de comunicação Giga. Os testes dinâmicos são assim denominados devido ao fato de a viabilidade do roteamento ser avaliada considerando simultaneamente a topologia, o tráfego, e a sobrecarga do mecanismo de roteamento. A idéia central é investigar o comportamento do mecanismo de roteamento em um ambiente de rede real simulada. Estes testes foram divididos em duas partes: testes sem tráfego (de topologia) e com tráfego conforme descritos nas duas seções subseqüentes.

Para a execução de ambos os testes, foram desenvolvidos *scripts* de simulação no NS2. A topologia utilizada ao longo de todos estes testes é a que está apresentada na figura 1. Essa topologia é típica de um ISP (*Internet Service Provider*) conforme descrito em [1].

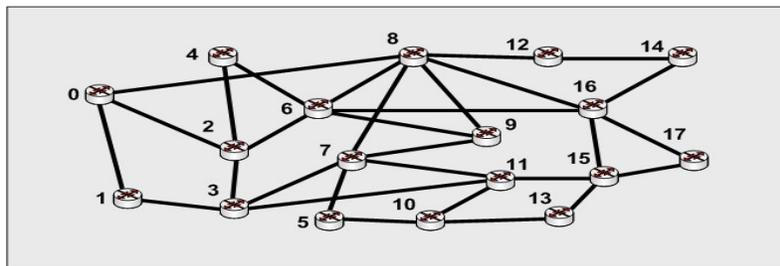


Figura 1. Topologia de ISP usada na simulação.

4.1.1. Testes sem Tráfego (de Topologia)

Os testes de topologia objetivam investigar o impacto da topologia no desempenho do mecanismo de roteamento e estabelecer um referencial de comparação para os testes com tráfego. Os resultados destes testes, em tese, correspondem ao melhor desempenho possível para a topologia típica escolhida (referência para o teste com tráfego), ou seja, os resultados aqui obtidos devem ser, em princípio, melhores que os resultados dos testes com tráfego.

As métricas de desempenho adotadas na avaliação foram: (i) latência da fase IA (instalação dos agentes), latência da fase DTA (descoberta de trechos alternativos), Latência da fase MR-sb (mudança de Fase – sobdemanda) e índice de viabilidade de roteamento. A **latência da fase IA** corresponde ao tempo gasto entre o início da execução do agente ANE no LER de entrada até o agente ARA se instalar no primeiro

nó do trecho crítico, incluindo a instalação de réplicas do agente ANI em todos os nós do circuito virtual (LSP). A **latência da fase DTA** é o tempo transcorrido para a descoberta do primeiro trecho alternativo dentro da área de busca, incluindo a instalação de réplicas do próprio agente ARA em todos os nós do trecho alternativo descoberto. A **latência da fase MR-sd** refere-se ao tempo necessário para o redirecionamento do fluxo da aplicação a partir de uma solicitação externa, cuja ação corresponde a várias operações desencadeadas sequencialmente, a saber: escolha, pelo agente ARA do primeiro nó do trecho crítico, o melhor trecho alternativo, troca de mensagens entre os agentes ARA do trecho alternativo escolhido, criação e associação dos rótulos (criação parcial do circuito virtual LSP no trecho alternativo) e, finalmente, a troca de rótulos no primeiro nó do trecho crítico.

O **índice de viabilidade de roteamento por nó (IVRN)** indica o grau de sucesso que pode ser alcançado a partir de solicitações externas em função somente da topologia típica adotada, ou seja, considerando que quando da solicitação do roteamento, este pode ser realizado em qualquer um dos circuitos virtuais possíveis da topologia, um percentual dessas solicitações não serão atendidas devido à inviabilidade topológica. A impossibilidade de roteamento ocorre devido à falta de caminho alternativo para um determinado trecho crítico. Como exemplo, supondo o circuito virtual 8-12-14-16-15-13 com trecho crítico 12-14-16 (figura 2), o roteamento é inviável porque o nó 12, primeiro do trecho crítico, não possui enlaces redundantes ligados a ele. O **índice de viabilidade de roteamento por circuito virtual (IVRCC)** tem o mesmo objetivo do índice IVRCC, porém apresenta uma semântica mais precisa, pois considera no seu cálculo os circuitos virtuais redundantes ao invés dos nós.

A metodologia de teste para a coleta dos resultados foi elaborada em função da métrica de desempenho. Para a medição da latência da **fase IA**, os seguintes passos foram adotados: (i) escolha aleatória de um circuito virtual com comprimento de 2 saltos; (ii) execução da simulação, registrando a latência da fase IA; (iii) repetir os passos 1 e 2 considerando comprimentos de circuito virtual de 3 até 8 saltos.

As latências das fases DTA e MR-sd foram obtidas com os seguintes passos: (i) estabelecimento de um trecho alternativo de comprimento 2 em um circuito virtual qualquer; (ii) execução da simulação, medindo as latências DTA e MR-sd; (iii) repetir os passos 1 e 2 utilizando trechos alternativos com comprimentos 3 e 4.

Como o índice de viabilidade de roteamento por nó (IVRN) é função exclusivamente da topologia, a medição dessa métrica não envolve a simulação com agentes. Este índice pode ser definido pela expressão: $IVR_i = PN_i / PT$, onde PN_i é o número de pares de nós que possuem pelo menos dois caminhos de comprimento i e PT é o número total de pares de nós na topologia de teste que, na verdade, pode ser ainda expresso pela combinação do número total de nós da topologia (tamanho da rede) tomados dois a dois. Então o índice IVR_i pode ser expresso pela seguinte igualdade: $IVR_i = \frac{PN_i \cdot 2(n-2)!}{n!}$, sendo n o número de nós da rede. Vale ressaltar que este índice varia em função da distância em saltos i entre os dois nós específicos que na verdade é o raio da área de busca.

O IVRCC é a razão entre o número de trechos críticos com k saltos que possuem pelo menos um trecho alternativo com l saltos e o total de trechos críticos com k saltos.

Essa métrica dá uma melhor idéia da susceptibilidade de uma topologia específica ao roteamento por considerar o circuito virtual no seu cálculo. Além disso, permite orientar na escolha do tamanho do trecho crítico em função da probabilidade de se encontrar trechos alternativos.

Os gráficos da figura 2 apresentam os resultados de desempenho obtidos através das simulações e testes conforme descritos no parágrafo anterior.

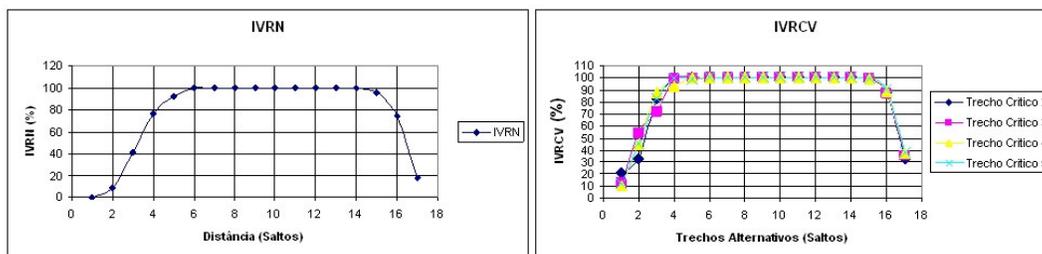


Figura 2. Gráficos dos testes sem tráfego.

5.2.2. Testes com Tráfego

Os testes com tráfego foram realizados a fim de avaliar o mecanismo de roteamento diante de várias condições de rede em função, principalmente, da ocupação dos enlaces, ou, ainda, da banda disponível nos mesmos.

Quanto às métricas de desempenho, essas são as mesmas, excetuando a métrica IVR que foi substituída pela métrica TRR (Taxa de Rejeição de Roteamento). Apesar de serem muito semelhantes, apresentam diferenças conceituais. Enquanto a métrica IVR depende exclusivamente da topologia adotada, a métrica TRR, sofre impacto da intensidade e do padrão de tráfego nos enlaces. Desta forma, é fácil concluir que, sob tráfego, o fato de existirem caminhos alternativos entre o primeiro e o último nó do trecho crítico não necessariamente implica que o roteamento será bem sucedido, ou seja, o sucesso de uma solicitação de roteamento vai depender não somente da existência de trechos alternativos, mas também do tráfego existente nesses trechos alternativos no momento da efetivação do roteamento.

Outra questão é definir os cenários de simulação que sejam representativos e que atendam aos objetivos dos testes. Para delimitar a abrangência dos cenários de simulação sem perder generalidade e mantendo a validade das conclusões em função dos resultados, é necessário que sejam feitas algumas simplificações, haja vista a grande quantidade de parâmetros existente que proporcionam também uma vasta coleção de cenários. Antes de definir os cenários faz-se necessário algumas considerações de forma a justificar os cenários escolhidos: capacidade dos enlaces, tipo e intensidade de tráfego, escolha do circuito virtual (LSP), do trecho crítico e dos comprimentos dos trechos alternativos.

Todos os enlaces foram configurados com capacidade de 10 Mbits/s com 2ms de retardo de propagação. Na simulação, para compensar essa baixa taxa de transmissão em comparação com a taxa utilizada da rede Gigabit da RNP, o tamanho dos agentes e mensagens foi reduzido proporcionalmente. A razão dessa redução de taxa foi diminuir o tempo de processamento da simulação.

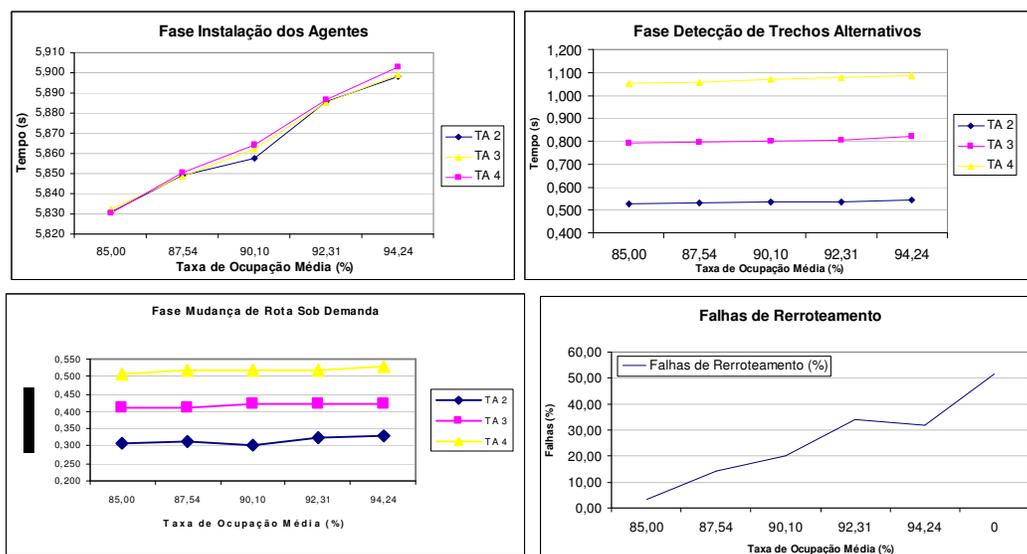


Figura 3. Gráficos dos testes com tráfego.

Dos 72185 circuitos virtuais existentes na topologia de teste (figura 1) foi escolhido um único circuito virtual (12-14-16-6-8-7-11-10-13) com comprimento igual a 8 saltos. Um trecho crítico (6-8-7) de 2 saltos pertencente a esse circuito virtual foi também fixado. Ainda em relação à topologia de teste, foi considerado somente três trechos alternativos (6-9-7, 6-2-3-7 e 6-4-2-3-7) correspondendo a 2, 3 e 4 saltos. As simplificações se justificam, pois o objetivo dos testes dinâmicos é investigar a influência do tráfego e não os efeitos da topologia no rerroteamento.

Para a definição do tráfego de fundo na simulação, devem ser considerados três pontos: fontes e sorvedouros do tráfego, intensidade e tipo de tráfego. O esquema adotado de distribuição das fontes e sorvedouros de tráfego foi o de fixá-los em todos os nós pertencentes ao circuito virtual e trechos alternativos de teste, de maneira que o tráfego nos enlaces fosse o mais homogêneo possível. Por serem mais representativos na Internet, os tráfegos do tipo CBR e WEB foram escolhidos para a simulação. 80% da banda do enlace foi ocupado com tráfego CBR enquanto que os 20% restantes foram consumidos com tráfego WEB. As fontes de tráfego WEB [11] foram atachadas nos nós acima mencionados com intensidades variáveis de acordo com o cenário escolhido. Essas intensidades foram definidas em termos de conexões WEB por segundo (durante a simulação foram 5, 10, 15, 20 e 25 cweb/s). A razão dos níveis de tráfego escolhidos (variando de 80 até quase 100% da banda do enlace) foi porque não se observou retardos significativos para intensidade de tráfego inferior a 80% da banda. A metodologia utilizada nestes testes é semelhante àquela dos testes de topologia (sem tráfego). Os resultados obtidos para os diversos cenários de intensidade e tipo de tráfego estão detalhados graficamente na figura 3.

5.3. Análise dos Resultados

Os testes dinâmicos medem os retardos de rerroteamento diante do tráfego, ou seja, da taxa de ocupação dos enlaces.

A principal conclusão é que o impacto do tráfego no retardo (Fases IA, DTA e MRSD) é pequeno, tornando-o relevante a partir de 85% de ocupação dos enlaces. A

variação máxima desses retardos, conforme ilustram os gráficos da Figura 4, não são superiores a 10%. Assim, conclui-se que o gargalo da arquitetura GigaManP2P, do ponto de vista do roteamento, está na capacidade de processamento das estações onde estão implementados os peers e não da carga de tráfego a que está submetida a rede óptica. Vale ressaltar que o impacto de processamento pode ser minimizado caso o código seja otimizado, resultando em um baixo retardo de processamento.

Outra conclusão é que a taxa de solicitações mal sucedidas de roteamento aumenta (ainda não temos o número) na medida em que o tráfego também aumenta devido ao descarte de pacotes nas filas quando ocorrem rajadas de tráfego WEB. Tal fato ocorre devido à arquitetura de roteamento não prever a retransmissão de agentes ou mensagens.

6. Conclusão

O objetivo desse artigo foi investigar de forma integrada o roteamento em um ambiente de gerenciamento de redes baseado em tecnologias P2P sobre uma infraestrutura de redes ópticas. Para tal, nesse trabalho foi realizada uma série de testes dinâmicos com o intuito de verificar a eficácia da arquitetura de roteamento proposta em [10] em um ambiente de rede real considerando o impacto da interação dos agentes dessa arquitetura com os dispositivos de redes, em especial, com o switch 6808 da Extreme Network. Os resultados dos testes dinâmicos mostram que o gargalo do gerenciamento GigaManP2P do ponto de vista do roteamento está na capacidade de processamento das estações. Adicionalmente, constatou-se um aumento significativo da taxa de solicitações mal sucedidas de roteamento devido ao descarte de pacotes nas filas dos dispositivos de rede.

Trabalhos futuros incluem uma investigação sobre a introdução de (i) esquemas de retransmissão de agentes e mensagens e (ii) o uso do TCP como protocolo de transporte, o que diminuiria a taxa de solicitações mal sucedidas mantendo o retardo em níveis aceitáveis.

Referências

- [1] G. Apostolopoulos et al, *Intradomain QoS Routing in IP Networks: A Feasibility and Cost/Benefit Analysis*, IEEE Network Magazine, 1999.
- [2] Andrea Fumagalli et al, *IP Restoration vs. WDM Protection: Is there an Optimal Choice?*, Revista IEEE Network, 2002
- [3] Granville, L.Z., Pirmez, L., et al, “GigaManP2P – Tecnologia Peer-to-Peer Aplicada no Gerenciamento de Redes Ópticas”, In: III Workshop de Grade Computacional e Aplicações (WCGA2005), 2005.
- [4] Granville, L.Z., Pirmez, L., et al, “GigaManP2P – Uma Infra-estrutura Peer-to-Peer para Gerenciamento de Redes Ópticas”, In: Anais do 23º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2005), 2005.
- [5] Projeto GIGA – Chamada RNP 02/2003. Disponível em http://www.rnp.br/_arquivo/editais/chamada_rnp-giga_200302.pdf.

- [6] Picco, G.P., “ μ Code: A Lightweight and Flexible Mobile Code Toolkit”, Proceedings of the 2nd International Workshop on Mobile Agents 98, 1998.
- [7] Alexandre G. Lages e Roberto Nemirovsky, “Aplicação da Arquitetura de Rerroteamento em uma Infra-estrutura Óptica, utilizando Serviços Web e Redes Peer-to-Peer”, trabalho final de curso, IM/DCC/UFRJ, 2005
- [8] Correia, R.B., “Rerroteamento de Fluxos Utilizando Redes MPLS e Tecnologia Ativa”, Dissertação de Mestrado, NCE-UFRJ, 2003.
- [9] Gong, L. (2001) “JXTA: A Network Programming Environment”, In: IEEE Internet Computing, Vol. 5, Issue 3, p. 88-95.
- [10] Reinaldo Correia et al, “O Rerroteamento Parcial Pró-ativo em Redes baseadas em Circuito Virtual no Suporte ao Gerenciamento de Desempenho Pró-ativo”, In: Anais do 23º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2005), 2005.
- [11] J. Cao, et al, “Stochastic Models for Generating Synthetic HTTP Source Traffic”, Proceedings of IEEE INFOCOM Hong Kong, 2004.
- [12] Puype, B., Yan, Q., Colle, D., De Maesschalck, Lievens, S. I., Pickavet, M., Demeester P., Multi-layer traffic engineering in data-centric optical networks, In: Proceedings of COST266/IST Optimist workshop at Optical Networks, 2003.
- [13] Cecílio, E. L. et al, “Uma Arquitetura de Gerenciamento de Desempenho Pró-ativo Distribuído Usando Tecnologia Ativa”, In: Anais do 21º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2003), 2003.
- [14] Tanaka S. et al, “Field Test of GMPLS All-Optical Path Rerouting”, In: IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 17, No. 3, 2005.