

Gerenciamento Dinâmico de Qualidade de Serviço em Redes OBS Baseadas no GMPLS

Fernando Nazareno Nascimento Farias^{1,3}, Rafael Pereira Esteves^{1,2}, Antonio Jorge Gomes Abelém^{1,2,3}

¹ Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia (GERCOM) Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – PA – Brasil

² Instituto de Ciências Exatas e Naturais – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC) – Universidade Federal de Pará (UFPA) – Belém – PA – Brasil

³ Instituto de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Computação (PPGEE) – Universidade Federal do Pará (UFPA) – Belém – PA – Brasil

{fern nf, esteves, abelem}@ufpa.br

Abstract. *This paper presents a proposal to dynamically control the Quality of Service (QoS) in optical networks based on optical burst switching (OBS) which use a GMPLS control plane. In this proposal, monitoring agents are used to verify the quality of service experienced by the burst classes and to deploy reactive mechanisms in order to guarantee absolute performance levels and, through GMPLS traffic engineering, offer idle resources to traffic flows whose service level is not being achieved. Simulation results show that the proposal can minimize the blocking probability when there are violations of burst flows parameters.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma proposta de gerenciamento dinâmico de Qualidade de Serviço (QoS), em redes ópticas que utilizam o paradigma de comutação de rajadas ópticas (OBS) baseadas no GMPLS. Nessa proposta, agentes de monitoração são utilizados para verificar a qualidade de serviço oferecida às classes de rajadas e executar mecanismos reativos para garantir níveis absolutos de desempenho e, através da engenharia de tráfego do GMPLS, oferecer recursos ociosos a fluxos cujo nível de serviço não esteja sendo obedecido. Resultados de simulação mostram que a proposta é capaz de reduzir a probabilidade de bloqueio dos fluxos de rajadas na ocorrência de quebras de contexto.*

1. Introdução

Com a introdução de novas aplicações na Internet, tais como: vídeo conferência, vídeo sob demanda, telefonia IP, telemedicina e computação em grade, criou-se uma demanda por novas tecnologias que pudessem contornar as limitações de capacidade da infraestrutura de comunicação atual.

A consolidação das redes ópticas e a multiplexação por divisão de comprimento de onda, o WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), fornecem a melhor alternativa para proporcionar enlaces ópticos com capacidade de transmissão na grandeza de

dezenas de gigabits por segundo. Porém, com o objetivo de ampliar os benefícios da comunicação óptica e diminuir as desvantagens da comutação eletrônica, como a conversão óptica-eletr-óptica (O-E-O), várias propostas vêm sendo desenvolvidas na tentativa de reduzir as quantidades de conversões O-E-O e permitir que os dados sejam transmitidos inteiramente no domínio óptico, ou seja, em uma comutação puramente óptica. Existem basicamente três abordagens de comutação puramente óptica: comutação de circuitos ópticos (OCS - *Optical Circuit Switching*), comutação de pacotes ópticos (OPS - *Optical Packet Switching*) e a comutação de rajadas ópticas (OBS - *Optical Burst Switching*) [Jue e Vokkaranne, 2005].

Dentre os paradigmas citados, a comutação de rajadas ópticas se destaca por ser uma proposta híbrida entre comutação de circuitos ópticos e a comutação de pacotes ópticos, e também por contornar os problemas apresentados por ambos os paradigmas como, por exemplo, a falta de escalabilidade, o uso de *buffers* ópticos e a necessidade de se enviar as informações de controle em conjunto com os dados. Outro fator, que contribui para a escolha do paradigma de comutação OBS é que, a mesma é séria candidata para atender a computação em grade [Simeonidou e Nejabati, 2006].

A evolução do plano de controle MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) para GMPLS (*Generalized Multiprotocol Label Switching*) [Mannie, 2004] surge como a melhor forma de integrar o protocolo IP sobre a tecnologia WDM, pois, com o rótulo generalizado é possível estabelecer um caminho rotulado LSP (*Label Switching Path*) fim-a-fim independente da tecnologia utilizada, seja ela por comprimento de onda, célula ou divisão de tempo, e assim, fornecendo uma arquitetura mais simples, com inteligência e garantias (QoS, proteção e restauração, monitoração de enlaces, etc). A integração do plano de controle GMPLS à comutação OBS proporciona, entre outras facilidades, mecanismos de engenharia de tráfego, como roteamento baseado em restrições, roteamento explícito, bem como várias técnicas de proteção e restauração de enlaces. Mais detalhes a respeito desta integração podem ser encontrados em [Qiao, 2000].

A qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) é um aspecto importante em redes puramente ópticas em virtude da necessidade de um desempenho cada vez maior das aplicações de rede e também pelas restrições existentes na tecnologia óptica relacionadas ao armazenamento temporário de informações. Em [Jue e Vokkaranne, 2005], abordam-se dois modelos básicos de QoS em redes OBS: QoS absoluta e QoS relativa. Na QoS absoluta, os limites de desempenho devem ser fortemente obedecidos como, por exemplo, garantias de um valor máximo de atraso ou um requisito mínimo de banda. Por outro lado, no modelo relativo, os parâmetros de QoS não são definidos em termos absolutos e sim, por critérios que permitam, por exemplo, que uma classe de rajadas de alta prioridade tenha uma probabilidade de bloqueio menor que a de baixa prioridade, mas não há uma imposição sobre o quanto menor deve ser essa probabilidade.

A utilização de níveis absolutos de QoS pode trazer algumas conseqüências, como o desfavorecimento das classes de serviço de uma maneira geral quando não um gerenciamento adequado dos recursos disponíveis. Por exemplo, supondo que todos os comprimentos de onda de uma rede estejam ocupados por rajadas de prioridade alta, e que se tenha uma rajada de alta e uma de baixa de prioridade para serem transmitidas.

Dependendo do tipo de controle de admissão utilizado, a rajada de prioridade baixa pode ser descartada dando preferência à rajada de maior prioridade. No entanto, a rajada de alta prioridade também vai ser descartada pela não disponibilidade de comprimentos de onda, mesmo que existam outras rotas com recursos ociosos que poderiam ser oferecidos a esta rajada, bem como para as outras rajadas de menor prioridade.

A utilização da engenharia de tráfego do GMPLS no gerenciamento de QoS absoluta [Esteves et al, 2007] pode ser melhorada com o emprego de uma tomada de decisão dinâmica no uso de rotas alternativas. Um gerenciamento reativo da qualidade de serviço poderia monitorar níveis de probabilidade de bloqueio de classes de rajadas e oferecer recursos ociosos na rede para essas rajadas com o objetivo de diminuir o bloqueio em todas as classes.

O objetivo deste trabalho é oferecer uma arquitetura de gerenciamento dinâmico da qualidade de serviço em redes OBS baseadas no plano de controle GMPLS. Cada classe tem o seu contexto de QoS, que são valores de métricas (por ex.: atraso, variação do atraso ou probabilidade de bloqueio) estipulados e que devem ser obedecidos para que suas aplicações possam ter o desempenho satisfatório. Agentes de gerenciamento dinâmico de QoS espalhados pelos nós no núcleo OBS monitoram medidas de QoS para cada fluxo de rajadas e, em caso de quebra de contexto, alertam e ajustam o fluxo dinamicamente, utilizando da engenharia de tráfego do GMPLS para desviar os fluxos prejudicados à rotas alternativas que possuam recursos subutilizados. Para validar a proposta foram desenvolvidas extensões para o simulador de redes de computadores NS-2 (*Network Simulator – 2*), como módulos para redes OBS com plano de controle GMPLS e agentes de monitoração e gerenciamento de QoS.

Este artigo, além desta introdução possui ainda mais quatro seções. Na seção 2, são listados alguns trabalhos relacionados à proposta do artigo. Na seção 3 é apresentada a visão da arquitetura da rede OBS e o funcionamento detalhado dos agentes de monitoramento dinâmico. Na seção 4, realiza-se a análise da proposta para verificar o impacto da mesma na qualidade de serviço de redes OBS. Por fim, a seção 5 conclui o artigo e lista alguns trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Em [Lazzez et al, 2007], é apresentada uma proposta de qualidade de serviço dinâmica utilizando controle de admissão em cada nó da rede OBS. Os autores propõem um novo modelo de protocolo de admissão para rajadas. Este modelo utiliza uma arquitetura de rede OBS onde cada nó é composto de uma unidade de comutação (US), unidade de espera (UE), formada por fibras de retardo, unidade de controle de comutação (UCC) (responsável por fazer reserva de recursos e contenção), unidade processamento de entrada (UPI) e unidade de processamento de saída (UPS). Quando se deseja enviar uma rajada, o nó de borda OBS envia o BCP (*Burst Control Packet*) com informações de qualidade de serviço e estatísticas de atraso. Os nós intermediários recebem o BCP, verificam os valores de QoS e fazem as estimativas para as métricas de atraso e bloqueio. Caso ocorra bloqueio, a unidade de controle envia a rajada para uma FDL (*Fiber Delay Line*), as fibras de retardo são utilizadas para oferecer atrasos às transmissões ópticas. Se a FDL estiver ocupada, a rajada é bloqueada. Se após a rajada

sair da FDL o bloqueio ainda estiver ocorrendo, a rajada é bloqueada. Caso a estimativa do atraso seja maior que a definida em métrica de QoS, a rajada também será bloqueada

[Long et al. 2003] propõem a utilização da arquitetura de serviços diferenciados (Diffserv) para oferecer qualidade de serviço em redes OBS. Os pacotes de controle de rajada são processados eletronicamente para prover tratamento diferenciado às rajadas correspondentes através de diferentes PHBs (*Per Hop Behavior*) referentes aos serviços suportados: EF (*Expedited Forwarding*), AF (*Assured Forwarding*) e BE (*Best Effort*). A definição desses PHBs tem impacto no processo de montagem de rajadas que varia de acordo com a classe de serviço das mesmas.

Os mecanismos de controle de admissão estático e dinâmico de rajadas são propostos por [Zhang et al. 2004]. O princípio dos dois mecanismos é o mesmo, ou seja, reservar um determinado número de comprimentos de onda em um enlace para cada classe de serviço. Ambos se baseiam na ocupação do enlace para admitir as rajadas de uma determinada classe de serviço e, desta forma, diferenciar a probabilidade de bloqueio experimentada por cada classe. Os dois mecanismos usam o protocolo JET (*Just Enough Time*) [Battestili e Perros, 2003] e a implementação é feita em todos os nós da rede OBS, onde cada rajada ocupa um comprimento de onda durante a sua transmissão e cada nó OBS tem capacidade total de conversão de comprimentos de onda.

O problema principal das abordagens citadas é que nenhuma delas leva em consideração a existência de recursos disponíveis na rede, que poderiam ser utilizados em caso de cenários de alta intensidade de tráfego, onde as técnicas propostas podem não se mostrar capazes de garantir o cumprimento de restrições absolutas de desempenho.

Em [Esteves et al, 2007], é apresentada uma proposta para utilizar a engenharia de tráfego do GMPLS desviando fluxos de rajadas para rotas alternativas e, assim, abrir possibilidades para o oferecimento de QoS do tipo absoluta. No entanto, a abordagem empregada para guiar as decisões de engenharia de tráfego é baseada em análises prévias do comportamento das classes de serviço na rede.

A proposta deste artigo é superar as limitações identificadas nos trabalhos citados e em outros encontrados na literatura através de adaptações dinâmicas nos caminhos percorridos pelos fluxos de rajadas para que os seus parâmetros de QoS sejam satisfeitos de forma absoluta.

3. Gerenciamento Dinâmico de QoS em Redes OBS

Em redes OBS, há uma otimização no uso dos recursos ópticos comparada ao paradigma de comutação de circuitos ópticos, já que após o envio dos dados (rajada óptica), os recursos são liberados para que possam ser utilizados por outras rajadas. No entanto, o OBS não oferece mecanismos adequados para gerenciar classes de serviços que possuem requisitos explícitos de desempenho, como, por exemplo, garantir um mínimo de probabilidade bloqueio, de atraso fim-a-fim ou de variação do atraso, e a partir desta análise, tomar uma decisão que envolva a utilização de recursos disponíveis na rede. Nesta seção, é apresentado o modelo de arquitetura utilizado bem como a

proposta para fornecer esse comportamento dinâmico no gerenciamento da qualidade de serviço em redes OBS.

3.1. Modelo de Arquitetura de Redes OBS Baseadas em GMPLS

Uma rede OBS consiste basicamente de nós OBS que estão interconectados por enlaces de fibra óptica. Cada enlace suporta múltiplos canais de comprimento de onda distintos utilizando WDM. Os nós podem ser de dois tipos, nós de borda (*edge nodes*) ou nós de núcleo (*core nodes*), como apresentado na Figura 1.

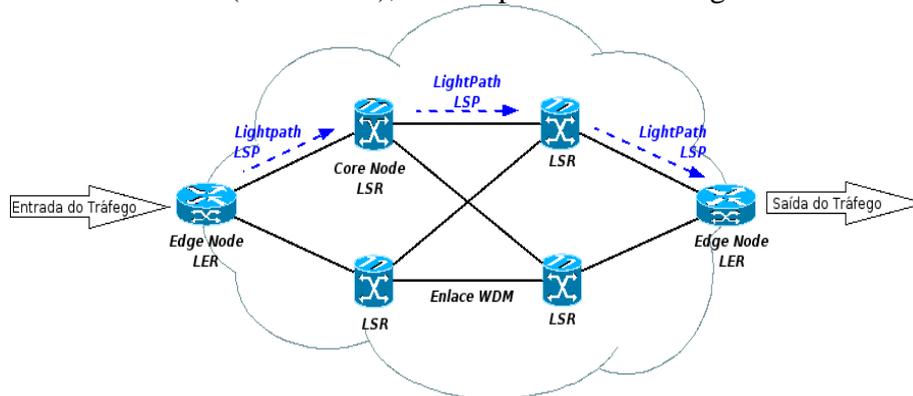


Figura 1. Arquitetura da Rede OBS baseada em GMPLS

Os nós de borda são responsáveis por construir as rajadas a partir de pacotes recebidos de clientes fora do núcleo OBS, e também por encaminhar as rajadas para a rede. Os nós de núcleo inicialmente são responsáveis por encaminhar as rajadas da interface de entrada para uma determinada interface de saída do equipamento de comutação com base nas informações entregues pelos pacotes de controle BCP (*Burst Control Packet*), e também por empregar mecanismos para lidar com contenções de rajadas. Uma vez construídas, as rajadas são encaminhadas no meio puramente óptico para os roteadores de núcleo OBS, ou seja, durante a comutação das rajadas não há a necessidade de conversões O-E-O. Quando se deseja enviar uma rajada, inicialmente um BCP é encaminhado em um canal fora da banda e processado eletronicamente ao longo da rota, reservando os recursos necessários para que os dados possam ser enviados. Na arquitetura proposta, a sinalização de controle é baseada no protocolo JET onde não há confirmação de que os recursos foram alocados e, após um intervalo de tempo chamado de *offset*, a rajada é enviada. Se o BCP não conseguir alocar os recursos, a rajada será bloqueada.

A integração do IP com o paradigma OBS pode apresentar alguns problemas como, por exemplo, o roteamento, que é a funcionalidade crucial para o bom desempenho da rede, pois o roteamento IP tradicional em redes OBS é baseado no menor caminho, o que pode implicar em congestionamentos de enlaces e em um desbalanceamento na distribuição do tráfego, sendo que boas técnicas de engenharia de tráfego e métodos de roteamento adequados poderiam minimizar o problema. Outro problema está relacionado com a sinalização, pois, com a falta de escalabilidade no roteamento, o processamento do BCP ficaria comprometido, implicando em um aumento na probabilidade de contenção da rajada, pois os incrementos nos atrasos no BCP podem resultar na chegada prematura da rajada em um determinado nó de núcleo OBS sem que os recursos necessários tenham sido reservados [Pedroso et al, 2007].

Com o objetivo de diminuir a complexidade da arquitetura, fornecer maior inteligência ao plano de controle da rede OBS e reduzir problemas de roteamento, foi proposta a utilização do plano de controle GMPLS nas redes OBS [Qiao, 2000]. Com essa união, parte da arquitetura OBS teve que sofrer modificações bem como a adição de novos protocolos de roteamento e sinalização. O protocolo de roteamento da arquitetura GMPLS é o OSFP-TE [Katz et al, 2003], que é o OSPF com extensões para engenharia de tráfego, enquanto que a sinalização é feita pelos protocolos RSVP-TE [Awduche et al, 2001] ou CR-LDP [Jamoussi et al, 2002].

No GMPLS em redes OBS os nós de borda são responsáveis por classificar as rajadas e determinar a FEC (*Forwarding Equivalence Class*) que, por sua vez, define a forma de encaminhamento das rajadas. Os nós de ingresso (LER – *Label Edge Router*) são responsáveis por enviar o pacote de controle BCP em um canal fora da banda, com o objetivo de reservar os recursos que serão utilizados pela rajada, construir os LSPs e negociar os rótulos (comprimentos de ondas) que serão utilizados para levar a rajada até o seu destino. Após o envio da rajada os recursos são disponibilizados para o envio de novas rajadas.

3.2. Arquitetura de Gerenciamento Dinâmico de QoS (DQM)

Para auxiliar na qualidade de serviço em redes OBS é proposta uma arquitetura para gerenciamento dinâmico de QoS (*DQM – Dynamic QoS Management*), que oferece ferramentas para proporcionar um melhor controle e monitoração das classes de serviços suportadas pela rede OBS. Na Figura 2, temos a ilustração da visão geral da arquitetura DQM.

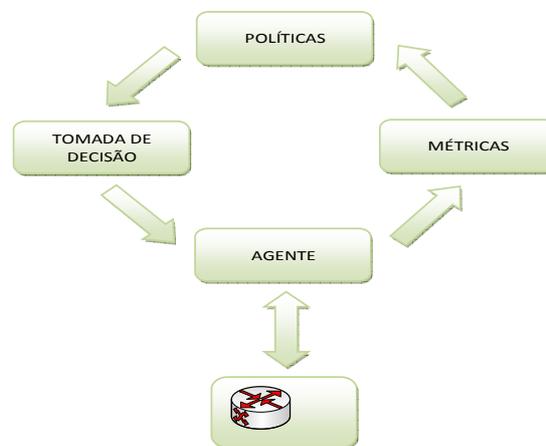


Figura 2. Visão geral da arquitetura do DQM

Na arquitetura proposta, observam-se os aspectos relacionados às métricas, às políticas, às tomadas de decisão e ao agente. As métricas são as medidas de QoS coletadas pelo agente no nó em que está inserido. Para este artigo é observada apenas a probabilidade de bloqueio. As políticas são informações do contexto de QoS que devem ser obedecidas para as classes de serviços da rede OBS. O contexto de cada classe contém limiares com os máximos ou mínimos valores de métricas que devem ser garantidos. A tomada de decisão trata das ações que são realizadas mediante possíveis violações de políticas (quebra de contexto), sendo que essas ações podem ser: o envio de um alarme para a borda da rede ou o reroteamento de fluxos através da engenharia de

tráfego do GMPLS. Os agentes são responsáveis por monitorar a rede e realizar ações de gerenciamento de QoS e serão descritos na próxima seção.

3.2.1. Agente DQMA

O agente DQMA (*Dynamic QoS Management Agent*) é incorporado aos nós da rede OBS, conforme ilustrado na Figura 3. O DQMA pode ser classificado como DQMA de núcleo ou DQMA de borda.

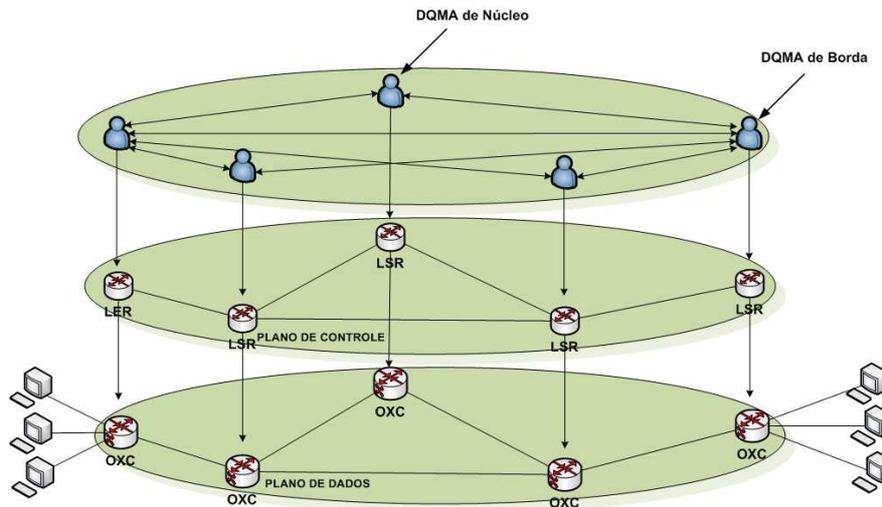


Figura 3. Agentes DQMA

O DQMA de núcleo possui como função atualizar as tabelas de métricas à medida que o tráfego passa pelo nó e gerar um sinal de alarme para o DQMA de borda caso ocorra quebra de contexto de QoS para uma determinada classe de serviço. A métrica armazenada nesta tabela é a probabilidade de bloqueio, calculada para cada fluxo de rajada que é classificado em uma das classes. A Tabela 1 mostra um exemplo de como essas métricas são estruturadas dentro do agente DQMA.

Tabela 1. Informações de métricas armazenadas no DQMA (exemplo)

| Fluxo | Classe | Rajadas Aceitas | Rajadas Bloqueadas | Probabilidade de Bloqueio |
|-------|--------|-----------------|--------------------|---------------------------|
| 0 | Alta | 70 | 3 | 4,2 % |
| 1 | Média | 60 | 10 | 16,6 % |
| 2 | Alta | 45 | 2 | 4,4 % |
| 3 | Baixa | 90 | 25 | 27,7 % |

O agente DQMA de núcleo recebe o contexto de cada classe, que contém informações de medidas de QoS (por ex. valor máximo de probabilidade de bloqueio suportado pela classe) que devem ser obedecidas de forma absoluta. Essas informações são armazenadas em uma tabela de políticas semelhante à ilustrada na Tabela 2. Em seguida, é feita uma comparação entre o valor da métrica coletada pelo agente com os limites definidos na tabela de políticas. Em caso de quebra de contexto o DQMA de núcleo envia um alerta para o DQMA de borda dizendo qual foi a classe em que houve a violação do contexto e qual fluxo dessa classe foi o maior prejudicado.

Tabela 2. Tabela de políticas (exemplo)

| Classe | Probabilidade de bloqueio |
|--------|---------------------------|
| Alta | 10 % |
| Média | 20 % |
| Baixa | 30 % |

Já o DQMA de borda possui as mesmas funções do DQMA de núcleo com a diferença de que o agente de borda é capaz de receber e processar sinais de alarme enviados por agentes de núcleo e interagir com o plano de controle GMPLS para desviar fluxos que estejam fora do contexto de QoS determinado. O DQMA de borda armazena rotas alternativas que podem ser utilizadas em caso de quebra de contexto, sendo que a quantidade de rotas alternativas varia para cada classe e em função dos recursos disponíveis na rede. Uma classe de maior prioridade vai ter a sua disposição uma quantidade maior de rotas adicionais para os seus fluxos. As Figuras 4a e 4b ilustram o funcionamento dos agentes.

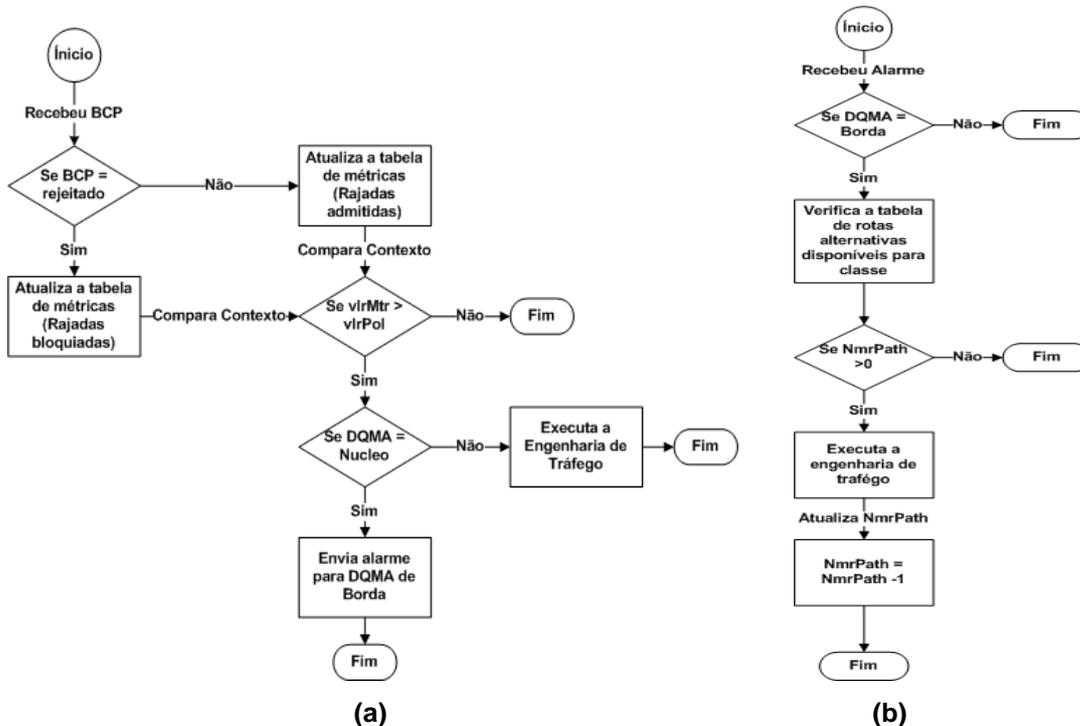


Figura 4. Funcionamento do DQMA no recebimento de: BCP (a), alarme (b)

Quando um nó da rede recebe um BCP, verifica-se a disponibilidade de comprimentos de onda para o enlace de saída do mesmo. Caso existam recursos para a rajada correspondente, o contador de rajadas aceitas para o DMQA do nó é atualizado. Se não houver nenhum comprimento de onda disponível para a rajada no momento da requisição, o contador de rajadas bloqueadas é atualizado. Para ambos os casos, compara-se o valor da métrica de probabilidade de bloqueio calculada com base nos valores coletados e armazenados no DMQA com os limites estabelecidos na tabela de políticas (*se vlrMtr > vlrPol*). Em caso de quebra de contexto, o DQMA de núcleo envia um alarme para o DQMA de borda que toma uma decisão de engenharia de tráfego, sendo que, o agente de borda consulta a existência de rotas alternativas para a classe de

serviço em questão (*se NmrPath > 0*). Se houver uma rota disponível para o fluxo, então ele será roteado para a rota selecionada. Um DQMA de borda não envia alarme para ele mesmo, nesse caso, a engenharia de tráfego é executada automaticamente.

Para adequar a utilização dos agentes DQMA em redes OBS, foram necessárias modificações na sinalização OBS com o intuito de minimizar a quantidade de informações de controle trocada entre os agentes DQMA e aproveitar a sinalização OBS, representada pelo BCP, para armazenar os contextos de QoS de cada rajada. Isso permite que uma classe de rajadas mude dinamicamente as características de seu contexto, bem como oferece possibilidades para que um fluxo individual possa alterar a sua classe de serviço de forma transparente para a rede OBS. A Figura 5 mostra a estrutura do BCP com essas extensões.

| |
|---------------------------------|
| <i>Offset</i> |
| Informações de Roteamento |
| Tamanho da Rajada |
| ... |
| Fluxo ID |
| Class ID |
| Probabilidade de bloqueio (Max) |

Figura 5. Propostas de modificações ao BCP

São adicionados três campos à estrutura do BCP: o identificador do fluxo (*Fluxo ID*), o identificador da classe (*Class ID*) a qual pertence a rajada e a probabilidade de bloqueio máxima permitida para a classe.

4. Análise da Proposta

Esta seção tem o objetivo de avaliar o impacto da utilização da arquitetura de monitoração e gerenciamento de qualidade de serviço proposta na probabilidade de bloqueio das classes de rajada em uma rede OBS com plano de controle GMPLS. Para isso foram realizadas simulações computacionais na plataforma NS-2 [VINT, 2007].

Diversas extensões ao simulador foram desenvolvidas para possibilitar a análise da proposta. Dentre as principais contribuições se destacam: um componente para simular um nó de borda OBS, que é capaz de agrupar pacotes em rajadas e implementa a sinalização JET, e um agente DQMA responsável por monitorar os fluxos de rajadas, calcular as estatísticas de cada fluxo e disparar alarmes para a borda da rede em caso de quebra de contexto.

A topologia escolhida para as simulações é baseada em uma extensão hipotética ao *backbone* da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) [RNP, 2007] com a adição de nós e enlaces que permitissem a criação de caminhos alternativos para as rajadas. Os enlaces possuem capacidade de 10Gbps e retardo de propagação de um milissegundo. Cada enlace possui oito comprimentos de onda sendo que a classe de maior prioridade (ouro) pode utilizar no máximo quatro, a classe de prioridade intermediária (prata) tem três canais reservados e a classe de mais baixa prioridade (bronze) pode usar no máximo dois comprimentos de onda. A Figura 6 mostra a topologia da rede.

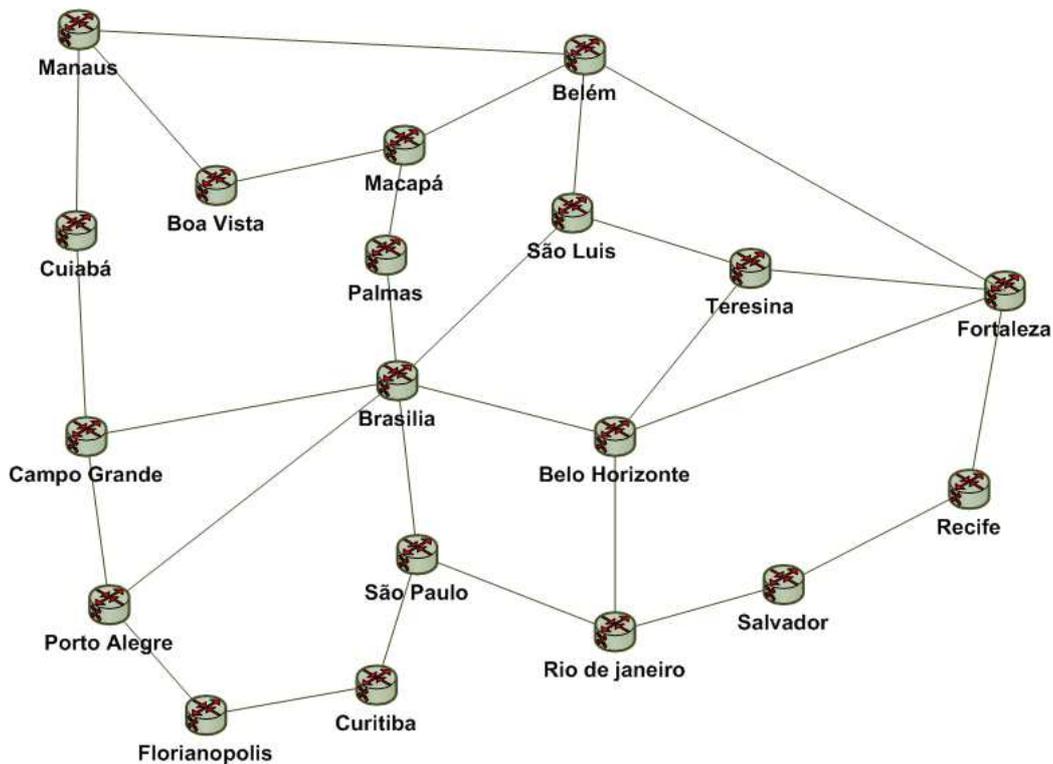


Figura 6. Topologia utilizada nas simulações

São utilizados 15 geradores de tráfego sendo distribuídos de acordo com quatro cenários que se diferenciam na proporção do tráfego atribuída a cada uma das três classes de serviço. Os pacotes individuais possuem tamanho de 500 bytes. O processo de montagem de rajadas é baseado no tamanho fixo, ou seja, só será enviada quando atingir um determinado tamanho. Neste trabalho as rajadas são de 125KB em média [Long et al, 2003]. A chegada de rajadas segue uma distribuição de Poisson. A Tabela 3 ilustra cada um dos cenários de tráfego.

Tabela 3. Proporção de tráfego por classe de serviço

| Cenário | Classe Ouro | Classe Prata | Classe Bronze |
|---------|-------------|--------------|---------------|
| 1 | 33 % | 33 % | 33 % |
| 2 | 46 % | 27 % | 27 % |
| 3 | 27 % | 46 % | 27 % |
| 4 | 27 % | 27 % | 46 % |

A origem dos fluxos da classe ouro é o nó Brasília e o destino é o nó Belém. Para a classe prata a origem é o nó Recife e o destino é o nó São Paulo. Finalmente na classe bronze os fluxos são enviados de Porto Alegre para Manaus.

As rotas alternativas são conhecidas pelos agentes DQMA de borda e foram definidas de acordo com a classe de serviço da rajada, conforme apresentado na seção 3.2.1. Existe um conjunto de opções de rotas alternativas para as rajadas de uma classe. Foi determinado que as rajadas de classe ouro possuem três opções de rotas alternativas, a classe prata tem duas alternativas e a classe bronze somente uma rota adicional. A Tabela 4 ilustra as rotas originais de cada classe e suas respectivas rotas alternativas.

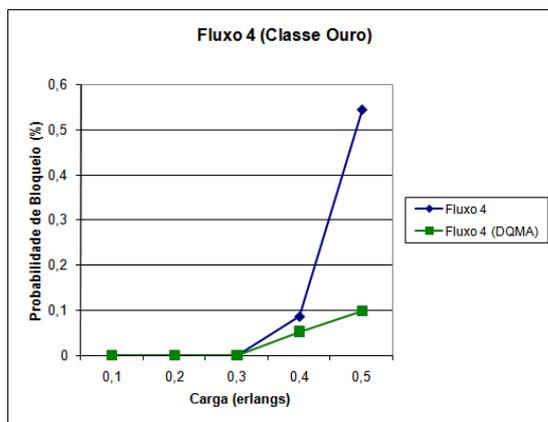
Tabela 4. Rotas alternativas por classe de serviço

| Classe | Rota original | Rota 1 | Rota 2 | Rota 3 |
|--------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Ouro | Brasília, São Luís, Belém | Brasília, Palmas, Macapá, Belém | Brasília, Campo Grande, Cuiabá, Manaus, Belém | Brasília, Belo Horizonte, Fortaleza, Belém |
| Prata | Recife, Salvador, Rio de Janeiro, São Paulo | Recife, Fortaleza, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo | Recife, Fortaleza, Teresina, São Luís, Brasília, São Paulo | - |
| Bronze | Porto Alegre, Campo Grande, Cuiabá, Manaus | Porto Alegre, Brasília, São Luís, Belém, Macapá, Boa Vista, Manaus | - | - |

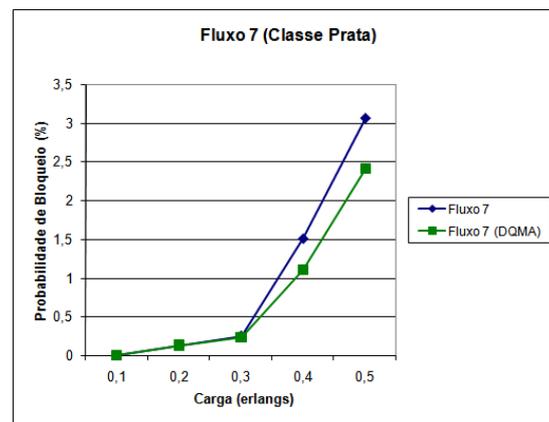
Foi definido um contexto específico para cada uma das classes de serviço. A probabilidade de bloqueio máxima permitida é de 5 %, 15 % e 25 % para as classes ouro, prata e bronze, respectivamente.

A seguir são apresentados alguns resultados referentes ao uso dos agentes DQMA no cenário proposto. O objetivo é analisar o impacto da utilização dos agentes no gerenciamento dinâmico da qualidade de serviço em uma rede OBS.

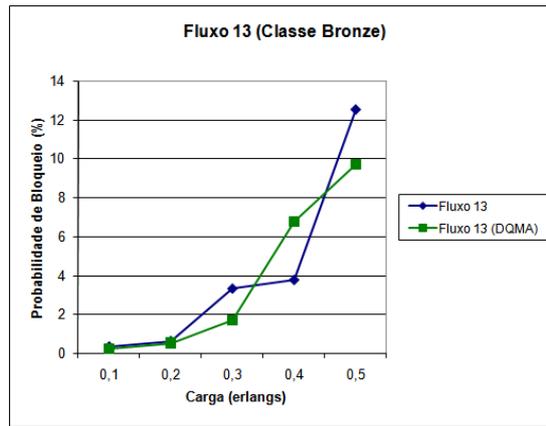
Cada um dos geradores de tráfego produz uma carga que varia de 0.1 a 0.5 *erlangs*, sendo que no cenário de mais alta intensidade a informação gerada na rede chega a aproximadamente 2000 rajadas por segundo (~2 Gbps). Foram realizadas 50 simulações para cada ponto, calculado com intervalo de confiança de 95% em relação à média das amostras. A probabilidade de bloqueio de cada fluxo é calculada com base na média da probabilidade de bloqueio registrada em cada nó da rota determinada para o mesmo. A probabilidade de bloqueio de cada classe é determinada pela média das probabilidades de bloqueio de cada fluxo pertencente à classe. As Figuras 7a, 7b e 7c mostram a probabilidade de bloqueio em função da carga para um fluxo de cada uma das três classes de serviço. As Figuras 8a, 8b, 8c e 8d mostram a probabilidade de bloqueio para a classe como um todo em função dos cenários de tráfego definidos na Tabela 3.



(a)



(b)



(c)

Figura 7. Bloqueio em fluxo da classe ouro (a), prata (b) e bronze (c)

As Figuras 7a, 7b e 7c mostram que há diminuição da probabilidade de bloqueio de uma forma geral nos fluxos de todas as classes quando são utilizados agentes DQMA para gerenciar dinamicamente a qualidade de serviço. Vale ressaltar que nem todos os fluxos serão atingidos pelo roteamento explícito, pois a quantidade de rotas alternativas para cada classe é finita. Um problema que pode ocorrer é quando uma rota determinada explicitamente compartilha enlaces e comprimentos de onda com outros fluxos. Neste caso o nível de contenção pode aumentar ao invés de diminuir, o que pode ser visto na Figura 7c para a carga de 0.4 *erlangs*, apesar de melhorar novamente para 0.5 *erlangs*.

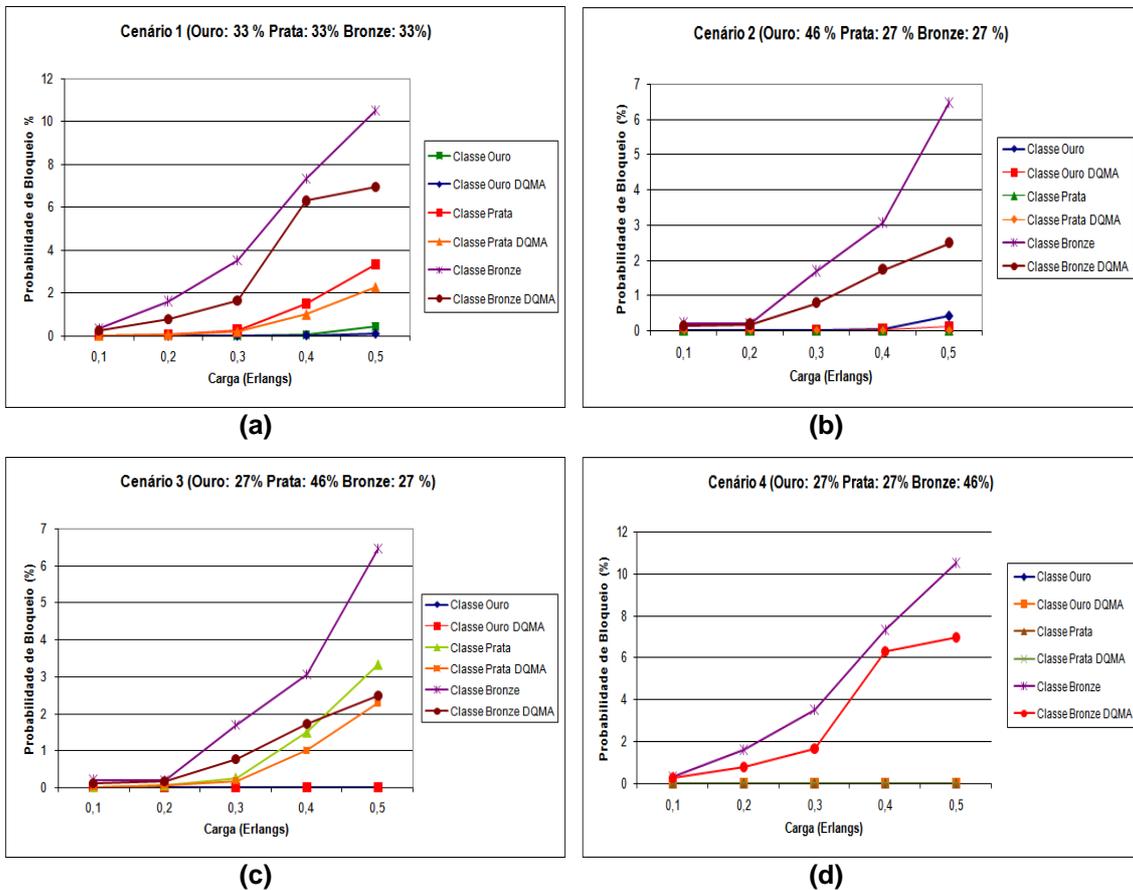


Figura 8. Probabilidade de Bloqueio por Classe

Pode ser observado pelas Figuras 8a, 8b, 8c e 8d que houve redução da probabilidade de bloqueio para todas as classes com a utilização dos agentes DQMA. Nota-se que quanto maior a proporção de tráfego de cada classe, se torna mais necessário o gerenciamento dinâmico de QoS para que se consiga oferecer níveis absolutos de desempenho para as rajadas.

5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

Este trabalho propõe uma arquitetura de gerenciamento dinâmico de qualidade de serviço para redes OBS baseada na monitoração de tráfego e no roteamento automático das rajadas pertencentes aos fluxos que experimentarem um maior nível de bloqueio, de acordo com as restrições definidas para cada classe. Dessa forma é possível definir níveis absolutos de QoS para as aplicações que possuem requisitos estritos de desempenho.

A proposta conseguiu melhorar o desempenho das classes de serviço de uma maneira geral além de garantir o cumprimento dos requisitos determinados. Os resultados também mostram que dependendo da proporção de tráfego oriunda de cada classe a demanda por recursos adicionais pode crescer bastante. Por essa razão, o principal fator limitante da proposta é a disponibilidade de recursos adicionais para atender a demanda das classes de serviço. Caso não existam, não há garantias de que a proposta vai conseguir proporcionar o desempenho desejado.

Outro aspecto importante diz respeito à definição das rotas alternativas que vão ser utilizadas. Se essas rotas conflitarem com outras já existentes, o nível de contenção experimentado pelas rajadas desviadas pode ser influenciado pela existência de outros fluxos ativos nas rotas alternativas.

Como trabalhos futuros, pretendem-se investigar a possibilidade de se empregar um mecanismo de descoberta automática de recursos para determinar os caminhos alternativos para as rajadas. Essa descoberta deve levar em consideração, além dos requisitos de desempenho, o nível de utilização das rotas candidatas. Também é necessário um mecanismo de controle de admissão mais eficiente para evitar que fluxos de baixa prioridade possam perturbar fluxos de alta prioridade. Além disso, as métricas avaliadas deverão incluir o atraso e a variação do atraso na definição do contexto, levando em consideração a sincronização entre os agentes.

Referências

- Awduche, D.; Berger, L.; Gan, D.; Li, T.; Srinivasan, V.; Swallow, G. RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels. RFC 3209, Dec. 2001.
- Battestilli, T.; Perros, H. An Introduction to Optical Busrt Switching. IEEE optical communication, Agosto, 2003
- Esteves, R. P.; Farias, F. N. N.; Sousa, F. D.; Abelém, A. J. G. Qualidade de Serviço Absoluta em Redes OBS baseadas no GMPLS. 25° Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, Anais do SBRC 2007, vol. 1, pp. 675-685, Belém, Pará, Brasil, 2007.

- Jamoussi, B.; Andersson, L.; Callon, R.; Dantu, R.; Wu, L.; Doolan, P.; Feldman, N.; Fredette, A.; Girish, M.; Gray, E.; Heinanen, J.; Kilty, T.; Malis, A. Constraint-Based LSP Setup using LDP. RFC 3212, Jan. 2002
- Jue, Jason P.; Vokkarane, Vinod M. Optical Burst Switched Networks. Optical Networks Series, Springer Science, pp. 1-3, 2005.
- Katz, D.; Yeung, D.; Kompella, K. Traffic Engineering Extensions to OSPF Version 2. IETF RFC 3630, Sep. 2003.
- Lazzez, A.; Fatmi, S. G. El; Boudriga, N.; Obiadat, M. S. A Dynamic QoS-based Scheme for Admission Control in OBS Network. IEEE Communicatio Society, ICC 2007, Vol. 1, pp. 449-454, 2007.
- Long, K.; Tucker, R.; Wang, C. A New Framework and Burst Assembly for IP DiffServ over Optical Burst Switching Networks, GLOBECOM 2003 - IEEE Global Telecommunications Conference, vol. 22, no. 1, Dec 2003 pp. 3159-3164.
- Mannie, E. Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture, RFC 3945. Outubro, 2004.
- Pedroso, P.; Solé-Pareta, J.; Careglio, D.; Klinkowski, M. Integrating GMPLS in the OBS Networks Control Plane. ICTON 2007. Roma, Itália. Julho de 2007.
- Qiao, C. Labeled optical burst switching for IP-over-WDM integration. IEEE Communications Magazine, vol.38, pp. 104 - 114, Sept. 2000.
- RNP. Rede Nacional de Ensino. Disponível em: <http://www.rnp.br/backbone/>. Acessado em: Julho de 2007.
- Simeonidou, D.; Nejabati, R.; Ciulli, N. Grid Optical Burst Switched Networks (GOBS). Informational Track: draft-ggf-ghpn-GOBS-1. Jan, 2006.
- VINT Project, The. Virtual InterNetwork Testbed. A Collaboration among USC/ISI, Xerox PARC, LBNL, and UCB. Url: <http://www.isi.edu/nsnam/vint/index.html>. Acessado em: Julho de 2007.
- Yoo, M.; Qiao, C.; Dixit, S. Optical Burst Switching for Service Differentiation in the Next-Generation Optical Internet. IEEE Communications Magazine, pp. 98-104, 2001.
- Zhang, Q.; Vokkarane, V. M.; Jue, J. P. e Chen, B. (2004). Absolute QoS Differentiation in Optical Burst-Switched Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications (JSAC), 22(9):2062-2071.