

Uma Nova Sinalização GMPLS Aplicada às Redes OBS

Fábio Y. Nagahama

Universidade Federal do Pará (UFPA), Programa de Pós- Graduação em Engenharia Elétrica,
Belém, Brasil, 66075- 110
nagahama@yahoo.com

Rafael P. Esteves

Universidade Federal do Pará (UFPA), Departamento de Infomática,
Belém, Brasil, 66075- 110
rpesteves@ig.com.br

Antônio J. G. Abelém

Universidade Federal do Pará (UFPA), Departamento de Infomática,
Belém, Brasil, 66075- 110
abelem@ufpa.br

Michael A. Stanton

Universidade Federal Fluminense (UFF), Instituto de Computação
michael@ic.uff.br

Resumo

Com os recentes aperfeiçoamentos na tecnologia de transmissão óptica, principalmente no que diz respeito à multiplexação por divisão de comprimento de onda ("Wavelength Division Multiplexing- WDM") viu-se o surgimento de pesquisas no intuito de transpor os limites impostos pela comutação eletrônica. Dentro do contexto da integração IP/GMPLS sobre WDM o paradigma OBS ("Optical Burst Switching") vem gradativamente recebendo maior atenção, pois possui características que lhe proporcionam várias vantagens em relação aos outros paradigmas de comutação óptica. Contudo, para que se possa melhor aproveitar as características do processo de sinalização sem confirmação do paradigma OBS é necessário que os mecanismos de sinalização e controle do GMPLS sejam modificados. Este artigo apresenta sugestões de alterações nos mecanismos de sinalização e controle do GMPLS para melhor adequá-lo ao contexto da comutação de rajadas ópticas rotuladas. Os impactos dessas mudanças foram avaliados através de simulações no ambiente de simulação NS ("Network Simulator").

Palavras chaves: Redes de Alta Velocidade, IP sobre WDM, Comutação de rajadas ópticas (OBS), MPLS Generalizado (GMPLS).

Abstract

With the recent improvements in optical transmission technology, especially after the invention of the wavelength division multiplexing (WDM), several researches has appeared proposing ways to surpass the limits imposed by electronic comuting. Within the context of IP/GMPLS over WDM integration the OBS (Optical Burst Switching) paradigm is gradually gaining greater attention, as it offers a number of advantages when compared with others optical switching paradigms. However, it will be necessary to alter the signalling and control mechanisms of GMPLS, if one wishes to take most effective advantage of unconfirmed signalling as used in OBS. This article presents a number of suggestions for altering the signalling and control mechanisms used in GMPLS, to make them more suitable for use with labelled optical burst switching (LOBS). In order to evaluate the applicability of these proposals, we carry out simulation studies, using the Network Simulator (NS) platform.

Keywords: High- speed networks, IP over WDM, optical burst switching (OBS), Generalised MPLS (GMPLS).

1. INTRODUÇÃO

As novas perspectivas de pesquisa que estão surgindo da combinação das tecnologias IP com WDM (“Wavelength Division Multiplexing”) apresentam uma excelente oportunidade para reformular alguns aspectos dos mecanismos de sinalização e controle das redes ópticas, para melhor adequá-los às futuras gerações de inter-redes puramente ópticas. Dentro deste contexto evolutivo, as tecnologias OBS (“OBS – Optical Burst Switching”) [QIA99] e GMPLS (“Generalized Multiprotocol Label Switching”) [MAN03] vêm se destacando por sinalizarem com soluções mais flexíveis e eficientes na alocação de recursos.

O paradigma OBS vem gradativamente recebendo maior atenção, pois, quando comparado com a comutação de lambdas (comutação de circuitos no contexto óptico) e a comutação de pacotes ópticos (“OPS – Optical Packet Switching”) [GUI98], possui características que lhe proporcionam diversas vantagens [ABE02]. No paradigma OBS, diferentemente da comutação de lambdas, os canais são alocados dinamicamente, de acordo com a demanda de transmissão. O processo de reserva do canal é rápido, simples e feito sem confirmação, através do envio de um pacote de controle (“BCP – Burst Control Packet”). O BCP é processado eletronicamente por todos os nós intermediários e transita fora da banda, em um canal de sinalização separado. As rajadas de dados (grupo de pacotes) de comprimento variável são mantidas no domínio óptico ao longo dos nós intermediários e enviadas em seguida ao envio do BCP. Caso o BCP falhe no processo de reserva dos recursos em um nó intermediário qualquer, a rajada será descartada.

O GMPLS estende a arquitetura MPLS (Multiprotocol Label Switching) para atender também a dispositivos nos quais o plano de encaminhamento não reconheça nem limites de pacotes, nem de células, e, em função disso, não sejam capazes de encaminhar dados baseados em informações transportadas tanto no cabeçalho de pacotes como no de células. Especificamente, tais dispositivos fazem parte de tecnologias onde a decisão de encaminhamento é baseada em fatias de tempo, lambdas, ou portas físicas. GMPLS vem sendo considerado a melhor proposta para integrar as tecnologias IP e WDM, primeiro porque ele pode ser usado como poderoso instrumento para engenharia de tráfego, e segundo porque ele é facilmente adequado à tecnologia WDM quando lambdas são usados como rótulos. No entanto, o seu mecanismo de sinalização em duas vias não é o adequado para o OBS.

Este artigo revê as principais questões relacionadas ao emprego da comutação baseada em rótulos e apresenta um conjunto de alterações nos mecanismos de sinalização e controle do GMPLS para melhor adequá-lo ao contexto da comutação de rajadas ópticas rotuladas. Em linhas gerais, propõe-se adequações na forma como os caminhos comutados por rótulos (“LSP – Label Switched Path”) são estabelecidos. Sugere-se que a atribuição de rótulos no modelo sob demanda seja feita entre pares de roteadores consecutivos, o que difere da sinalização GMPLS tradicional, onde esta atribuição ocorre entre roteadores de entrada e saída da rede. Tal mudança tem o intuito de melhor aproveitar o mecanismo de sinalização sem confirmação utilizado pelo paradigma OBS.

Além desta seção introdutória, o artigo é composto de mais três seções. A seção II apresenta uma visão geral das redes totalmente ópticas, do MPLS e sua extensão GMPLS. A seção III descreve as modificações sugeridas na sinalização GMPLS para uma rede OBS e apresenta os resultados das simulações realizadas no *Network Simulator* (NS). A seção IV apresenta as conclusões gerais e sugere possíveis trabalhos futuros.

2. REDES PURAMENTE ÓPTICAS E A COMUTAÇÃO BASEADA EM RÓTULOS

Com o intuito de evitar os gargalos provocados pela necessidade de conversões dos sinais do domínio óptico para o domínio eletrônico, e vice-versa, nos dispositivos de comutação atuais (e.g. roteadores e comutadores), pesquisadores da área vêm investigando o uso de comutadores puramente ópticos para tornar possível explorar a capacidade total das fibras ópticas, que é em torno de 50 Tbps [ABE03b], através do uso de WDM.

No contexto das redes puramente ópticas, existem três abordagens possíveis [ABE02]: a comutação de lambdas, a comutação de pacotes ópticos (OPS - Optical Packet Switching) e a comutação de rajadas ópticas (OBS – Optical Burst Switching).

A comutação de lambdas se caracteriza por estabelecer um caminho óptico fim-a-fim dedicado enquanto durar uma determinada comunicação entre dois nós. A comunicação é realizada em três fases: estabelecimento de uma conexão, transmissão dos dados e liberação do circuito. Este tipo de comutação possui a vantagem de garantir o atraso fim-a-fim em uma rede, porém é ineficiente quando o tráfego não é intenso já que a capacidade do circuito é desperdiçada. Uma outra desvantagem diz respeito ao retardo provocado pelas etapas para o estabelecimento do circuito em redes bastante dinâmicas.

A comutação óptica de pacotes funciona enviando juntamente com os dados um cabeçalho que contém informações adicionais sobre o mesmo. Neste caso os pacotes são enviados nó a nó e o caminho que o pacote irá percorrer é definido em cada roteador. Uma rede com comutação óptica de pacotes pode resolver o problema da má utilização dos comprimentos de onda encontrados no caso anterior, uma vez que não há uma reserva exclusiva do canal. Além disso, não há o retardo introduzido pelo estabelecimento do canal. Porém, uma vez que a comutação de pacotes se baseia no mecanismo de encaminhamento via armazenamento e encaminhamento (store-and-forward), faz-se necessário o uso de buffers ópticos para armazenamento de luz em todos os dispositivos e as técnicas para armazenamento temporário de luz ainda não estão muito flexíveis [ABE03a].

Na comutação óptica de rajadas um pacote de controle (BCP – Burst Control Packet) é enviado primeiro em um canal separado e processado eletronicamente ao longo dos nós intermediários. Após certo tempo (suficiente para que os dispositivos processem o pacote de controle e se configurem), a rajada (tipicamente um conjunto de pacotes) é enviada sem a necessidade de confirmação do estabelecimento da conexão. Logo após o envio da rajada, o canal é liberado para outras conexões. Caso haja algum problema na reserva dos recursos nos nós intermediários, a rajada será descartada. Este modelo vem merecendo atenção por se beneficiar das vantagens dos dois esquemas anteriores: utilização eficiente do canal, já que o estabelecimento de conexão é feito sem confirmação e o comprimento de onda é liberado tão logo a rajada seja enviada; e a não necessidade de buffers nos dispositivos ópticos, pois o paradigma se baseia no mecanismo de encaminhamento óptico, com a construção de um caminho de luz..

O uso do GMPLS vem recebendo destaque por estender o MPLS tradicional. O GMPLS se torna importante em redes ópticas uma vez que permite o uso de rótulos genéricos como comprimento de ondas, fatias de tempo e portas físicas. Uma outra característica importante é a possibilidade do nó iniciante da conexão sugerir os rótulos, o que agiliza o processo de sinalização. O uso do GMPLS permite a comutação rápida de pacotes e permite utilizar técnicas de engenharia de tráfego na rede.

A integração do GMPLS com o OBS permite o estabelecimento de caminhos não dedicados para as rajadas através de canais WDM ao longo dos nós. Além disso, para reduzir o tempo de processamento causado pelo roteamento no nível 3 (e.g. no nível IP), os BCPs podem ser comutados em nível 2 como ocorre no MPLS. Esta estrutura é chamada de OBS rotulada (LOBS – Labeled OBS) [QIA00].

3. SINALIZAÇÃO E CONTROLE PARA INTER- REDES IP BASEADAS EM REDES ÓPTICAS

Como destacado na Seção I, a interação do IP com WDM está oferecendo uma grande oportunidade para se reformular alguns aspectos da comunicação óptica. Contudo, para que se possa aproveitar melhor as características do paradigma OBS é necessário que os mecanismos de sinalização e controle do GMPLS sejam adaptados ao contexto da nova proposta de sinalização. Esta seção descreve o modelo de rede adotado neste trabalho, bem como apresenta as alterações sugeridas aos mecanismos de sinalização e controle do GMPLS.

3.1 Modelo Referência Adotado

O modelo de referência adotado neste trabalho consiste de roteadores IP/MPLS¹ conectados via inter-redes ópticas, através de caminhos de luz comutados dinamicamente (Figura 1). As redes ópticas que compõem estas inter-redes são baseadas nos paradigmas OBS e MPLS. A opção pela comutação de rajadas ópticas (OBS) deve-se tanto à sua maior eficiência, já que ela não necessita que lambdas fiquem dedicados a cada fluxo, como à sua maior adequação ao ambiente IP sobre WDM, uma vez que ela simplifica o processo de provisionamento dos recursos, aumentando a eficiência desses tipos de redes. Já a adoção do MPLS, como mencionado na Seção II, se justifica pela sua flexibilidade e capacidade de engenharia de tráfego, além da facilidade de adequação à tecnologia WDM, usando lambdas como rótulos.

¹ - Daqui em diante usar-se-á o termo MPLS de forma genérica para indicar o uso de MPLS, ou de seus aperfeiçoamentos MPLS ou GMPLS.

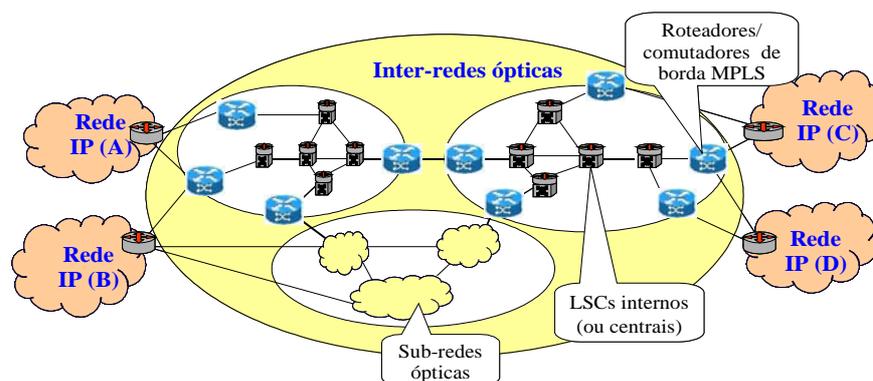


Figura 1. Modelo de rede adotado para a proposta, composto de múltiplos dispositivos de comutação óptica (LSC) interconectados através de uma malha óptica.

Supõe-se que as inter-redes ópticas consistam de múltiplas redes ópticas, que possam ser administradas por diferentes entidades. Cada rede óptica pode ser formada por sub-redes compostas de múltiplos dispositivos de comutação óptica, aptos a realizar comutação por rótulos (“LSCs - Lambda Switching Crossconnects”) e interconectados por enlaces ópticos em uma topologia geral. Esses LSCs podem ser equipamentos de diferentes fabricantes. Por questões de simplicidade, supõe-se também que existe um mapeamento um para um entre os controladores IP e os comutadores WDM.

A sinalização nas inter-redes ópticas é realizada fora de banda, existindo apenas um canal/lambda para sinalização de alta capacidade por fibra. As mensagens de sinalização são processadas eletronicamente por todos os nós, inclusive os internos. Os dados não sofrem qualquer tipo de processamento nos nós intermediários, assim como nenhuma suposição precisa ser feita sobre qual a taxa de transmissão dos dados. A inteligência da rede fica concentrada essencialmente nas bordas, e nenhum tipo de sincronização global é necessário.

Considera-se ainda que seja adotado o modelo de controle integrado, conforme apresentado em [RAJ04], onde tanto o domínio óptico como o domínio IP são gerenciados de forma unificada. Para estes dois domínios existe apenas uma instância de protocolo de roteamento e um único plano de controle baseado no MPLS. No caso de haver só um AS (“Autonomous System”) envolvido, será considerado um único protocolo intra-domínio. Quando diversos ASs estiverem envolvidos, um protocolo de roteamento inter-domínio também deve ser usado. Ambos estes protocolos precisam incluir as devidas extensões para tecnologias ópticas.

Nesta estrutura LOBS os nós da rede são classificados em dois grupos: nós internos (ou centrais) e nós de borda. Os nós internos comutam as rajadas com base em rótulos, e possuem funcionalidades semelhantes aos nós centrais LSR (“Label Switched Router”) da arquitetura MPLS. Em LOBS cada BCP pode ser considerado um “rótulo jumbo”, já que este deve conter, além dos rótulos, outras informações, tais como o tamanho da rajada e o tempo de ajuste entre o BCP e a rajada de dados.

Os nós de borda, por sua vez, possuem as funcionalidades eletrônicas pertinentes a roteadores IP e são os responsáveis pelo processo de montagem das rajadas, o qual pode envolver a definição de classes de equivalência (“FEC – Forwarding Equivalence Class”) do MPLS, o empilhamento de rótulos e a agregação de LSPs. Durante a operação de montagem das rajadas, múltiplos pacotes IP são juntados em uma única rajada e o correspondente pacote de controle é construído. Além disso, diversos LSPs podem ser aglutinados em caminhos LOBS de maior capacidade, desde que seja respeitada a capacidade do canal.

3.2 Sinalização e Controle

Os protocolos associados ao MPLS precisam ser adaptados para trabalharem com OBS, mantendo a capacidade para engenharia de tráfego, e incorporando a eficiência da reserva sem confirmação de banda para as rajadas. Obviamente, os protocolos relacionados à sinalização usarão os canais de controle do OBS para trocar informações. Dentro da rede LOBS, a associação dos rótulos de entrada/saída de um LSP deve ser implementada usando a base de informação de rótulos (“LIB – Label Information Base”) do MPLS. Além disso, como os BCPs contêm a informação necessária ao ajuste dos comutadores, entre as quais destacam-se o tempo de ajuste e o tamanho da rajada, eles devem ser enviados através de novas mensagens de controle do MPLS.

3.1.1 Atribuição de Rótulos

Para a comunicação ponto a ponto, a arquitetura MPLS define que a decisão de atribuir um rótulo específico para uma determinada FEC seja feita apenas pelo LSR de saída do enlace (“downstream”) para o qual a associação está ocorrendo. Desta forma, o LSR de saída do enlace, após atribuir o rótulo para a FEC em questão (“downstream assigned”), informa o seu par na entrada do enlace (“upstream”) sobre a associação. No que diz respeito à requisição das atribuições, a arquitetura MPLS permite duas variações, a sob demanda (“on-demand”) e a não solicitada (“unsolicited”). Na variação sob demanda, o LSR de entrada do enlace requisita explicitamente ao seu par na saída do enlace um rótulo para uma determinada FEC, enquanto, na variação não solicitada, o LSR de saída do enlace realiza a atribuição sem solicitação prévia e informa seu par em seguida [ROS01].

Na nova proposta de sinalização sugere-se alterações no processo de atribuição de rótulos sob demanda. Quando um novo caminho comutado por rótulo (LSP) precisar ser estabelecido, a mensagem de atribuição de rótulos será enviada pelo roteador de borda responsável. Contudo, propõe-se que o nó de entrada de cada enlace faça uso da extensão proposta no GMPLS, sugerindo um rótulo, no caso um lambda, para o nó na saída do enlace e que o nó egresso de cada enlace confirme a aceitação do rótulo sugerido, assim que receber a mensagem.

Este comportamento difere do comportamento padrão do MPLS para controle ordenado onde a solicitação sob demanda de rótulos teria que percorrer todos os nós do caminho a ser estabelecido, até o LSR de saída da rede, que iniciaria a efetiva confirmação dos rótulos. A Figura 2 ilustra as etapas da solicitação/atribuição dos rótulos em cada enlace: o nó 1 envia o BCP para o nó 2 ① e este último responde confirmando ou não a reserva dos recursos solicitados ②; enquanto a mensagem de resposta é enviada para o nó 1, o nó 2 envia o BCP para o próximo nó ③ e aguarda a resposta ④ e assim por diante ⑤ ⑥ até o nó de saída; caso não tenha ocorrido nenhum problema na atribuição do rótulo, a rajada começa a ser enviada pelo nó 1. Caso a reserva de recursos falhe em qualquer nó, a rajada será descartada

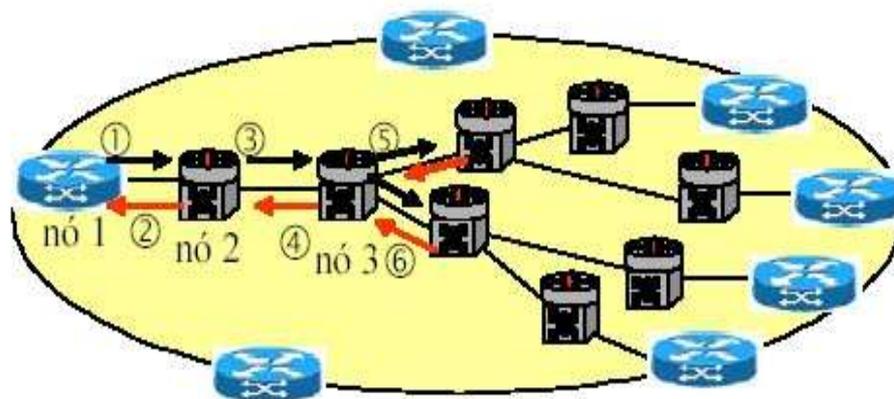


Fig. 2. Ilustração do funcionamento da proposta alternativa para atribuição de rótulos.

3.3 Engenharia de Tráfego e Outras Questões

Como os protocolos utilizados com o GMPLS já são essencialmente baseados em extensões de engenharia de tráfego ao MPLS, a princípio, é razoavelmente simples a adaptação ao contexto da engenharia de tráfego dos mecanismos relacionados à sinalização e controle sugeridos neste trabalho. O processo de sinalização pode ser basicamente o mesmo, com o processo de atribuição de rótulos sendo baseado nos esquemas sugeridos na Seção III.B. A maior diferença estaria no cálculo da árvore multiponto utilizando critérios (ou algoritmos) de engenharia de tráfego.

Adicionalmente, a flexibilidade da estrutura baseada em MPLS também possibilita algum tipo de ambigüidade na especificação dos caminhos LOBS, criando perspectivas interessantes nos esquemas de roteamento de caminhos LOBS. Por exemplo, parte das rotas pode ser especificada como “liberada”, ou mesmo os nós de borda podem não especificar explicitamente todos os nós ao longo do caminho, mas apenas um subconjunto deles. Dessa forma, apenas parte do caminho LOBS seria previamente definido, deixando o restante para ser definido dinamicamente.

3.4 Avaliação dos Mecanismos de Sinalização e Controle Propostos

Para avaliar o impacto das modificações sugeridas por nós no processo de sinalização do MPLS no desempenho da rede, realizamos simulações no ambiente de simulação NS (“Network

Simulator”) [NS04] comparando o modelo de sinalização proposto com o modelo tradicional de sinalização utilizado.

3.4.1 Extensões Desenvolvidas para o Simulador NS

O NS é um simulador de redes orientado a eventos mantido pelo projeto VINT constituído por pesquisadores de instituições como UC Berkeley, USC/ISI, LBL e Xerox PARC.

O NS tem como principais vantagens o fato de ser gratuito e possuir código aberto permitindo a adição de novos módulos ou a alteração dos existentes de acordo com as necessidades do usuário. A versão do NS utilizada neste trabalho foi a 2.26. Para adicionar novas extensões ao simulador ou mesmo acrescentar novas características aos módulos já existentes é necessário ter um bom conhecimento da hierarquia de classes do NS e saber onde cada parte do código está situada dentro da árvore de diretórios do simulador [ABE01].

Para o nosso caso, foi necessário modificar as porções do código do MNS (“MPLS Network Simulator” - módulo do NS que trata de redes MPLS) responsáveis por tratar da requisição de um LSP, do mapeamento do LSP com um determinado rótulo e do estabelecimento do LSP usando a estratégia orientada à tráfego.

Após essas mudanças criou-se um novo esquema de estabelecimento de um caminho comutado por rótulo usando o controle ordenado, como descrito na seção 3.2. Esse esquema permite a sugestão de um rótulo ao nó egresso de cada enlace da rota que confirma ou não a aceitação do rótulo sugerido assim que recebe a mensagem de estabelecimento do LSP.

Porém, surgiu a necessidade de componentes que permitissem a simulação de redes ópticas baseadas na comutação OBS que pudessem ser utilizados em conjunto com o módulo MNS. Então se definiu que a etapa seguinte seria a construção de um novo agente (componente da arquitetura NS responsável por gerar e consumir pacotes além de implementar protocolos de várias camadas), que possuísse como principais funções: armazenar pacotes na borda da rede OBS, montar e desmontar rajadas, criar pacotes de controle e controlar os tempos de ajuste.

Além disso, modificou-se a estrutura do nó MPLS para interagir com o novo agente. Também foi realizada a substituição dos enlaces nativos do NS por enlaces que possuíssem características ópticas. Esses enlaces ópticos foram adaptados de uma extensão do NS chamada *OBS-ns* [DAW04].

3.4.2 Cenário utilizado para simulações

Como nossa proposta é essencialmente para as redes de backbone, optou-se por adotar uma topologia semelhante à de backbones existentes na Internet. Especificamente, a topologia escolhida foi inspirada no backbone da Abilene, como ilustrado na Figura 3.

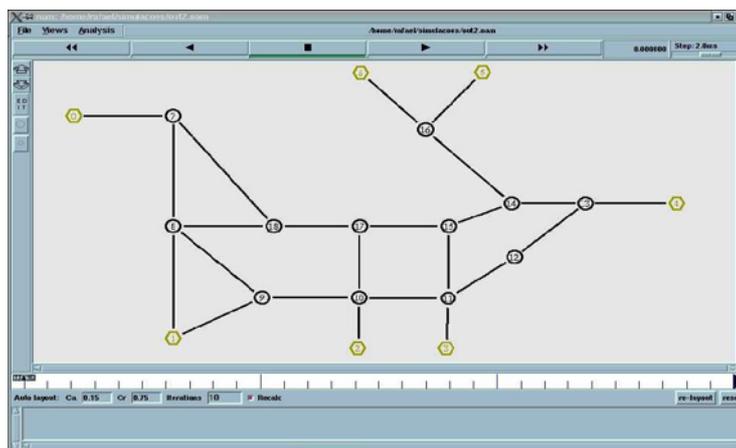


Fig.3. Topologia utilizada nas simulações

A rede possui 19 nós, dos quais 7 atuam como nós de borda e 12 atuam como nós centrais. Os nós de borda estão em formato de hexágono na cor amarela e são numerados de 0 a 6 e os nós internos estão em formato circular na cor preta e são numerados de 7 a 18. Utilizaram-se enlaces ópticos com capacidade de 10Gb possuindo retardos iguais (nas simulações esses retardos variam de 1 a 5ms para todos os enlaces). O tipo de tráfego usado foi o CBR e o tamanho das rajadas foi fixado em 2MB. Definiu-se que o tráfego teria como origem o nó 0 e o destino seria o nó 6. Também convencionou-se que após o envio de uma rajada o BCP da rajada seguinte é gerado e transmitido.

3.4.3 Resultados Obtidos

Considerando o modelo tradicional de sinalização do MPLS, o tempo entre o envio do BCP e o início do envio da rajada ocorre em $T=P + ?$, onde P é o tempo de propagação do BCP até o nó egresso da rede mais o tempo de resposta do estabelecimento do LSP e $?$ é tempo total de processamento do pacote de controle em todos os nós intermediários.

No modelo de sinalização proposto, o tempo entre o envio do BCP e a rajada é de $T=? + \delta$, onde $?$ é o tempo de propagação do BCP até o primeiro nó do núcleo da rede mais o tempo de resposta do estabelecimento do LSP disparado por este nó e δ é o tempo de processamento do BCP neste nó (vide Fig. 2).

Levando em consideração esta análise partiu-se para a realização de simulações, utilizando o cenário descrito na seção anterior, para verificar o impacto das alterações promovidas na sinalização GMPLS no comportamento da rede. Um dos parâmetros usados para essa avaliação é o retardo total. O retardo total pode ser entendido como o tempo que leva desde o envio do BCP até quando a rajada chega ao nó de destino (em nosso caso, o nó egresso da rede). Outra medida de análise pode ser a quantidade de tráfego que passa na rede em um determinado instante de tempo.

A Figura 4 mostra a variação do retardo total e as Figura 5a a 5e mostram as quantidades de dados (em Megabytes) que trafegam na rede nos dois esquemas de sinalização abordados em ambientes de simulação onde todos os enlaces possuem o mesmo retardo (de 1ms a 5ms) em cada simulação.

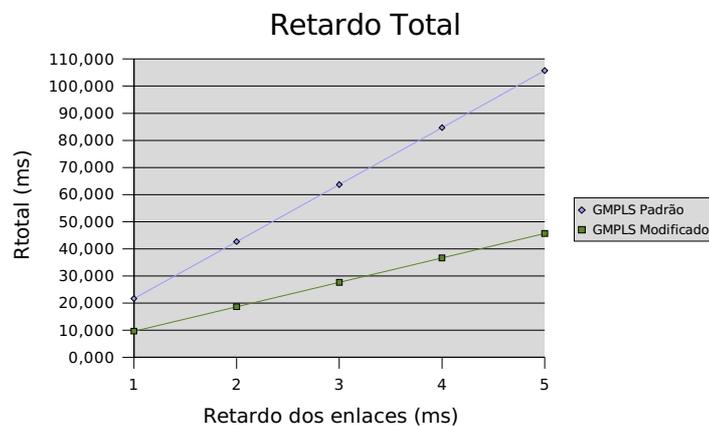


Fig. 4. Retardo Total

Pela Figura 4 percebe-se que na nova sinalização, o retardo total das rajadas é bem menor que na sinalização padrão. Isto ocorre, pois o tempo entre o envio do BCP e o envio da rajada é menor no modelo de sinalização proposto, uma vez que a rajada é enviada logo após a confirmação da atribuição do rótulo efetuada pelo primeiro nó do núcleo da rede.

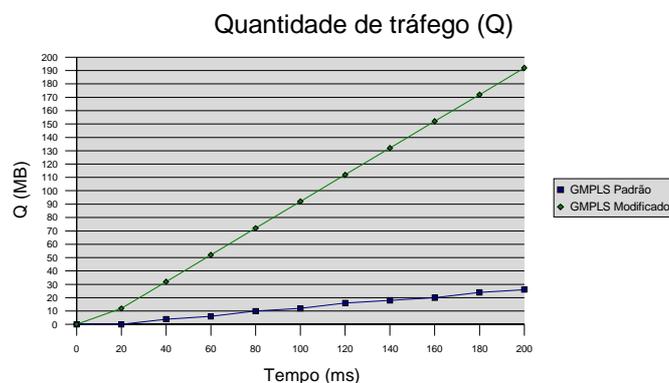


Fig.5a. Quantidade de tráfego (Utilização) com retardo dos enlaces de 1ms

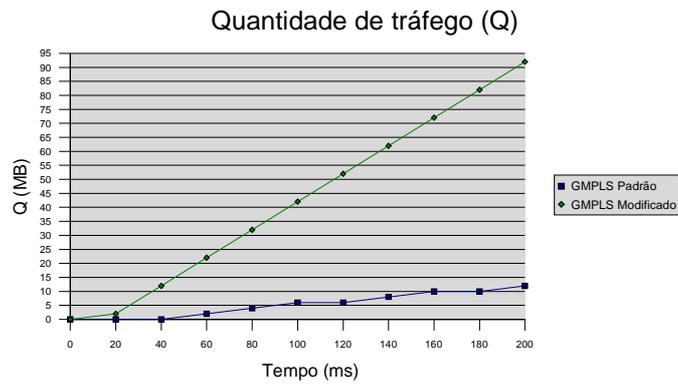


Fig.5b. Quantidade de tráfego (Utilização) com retardo dos enlaces de 2ms

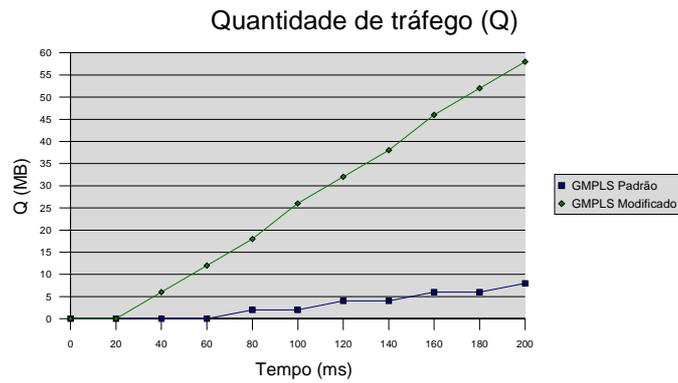


Fig.5c. Quantidade de tráfego (Utilização) com retardo dos enlaces de 3ms

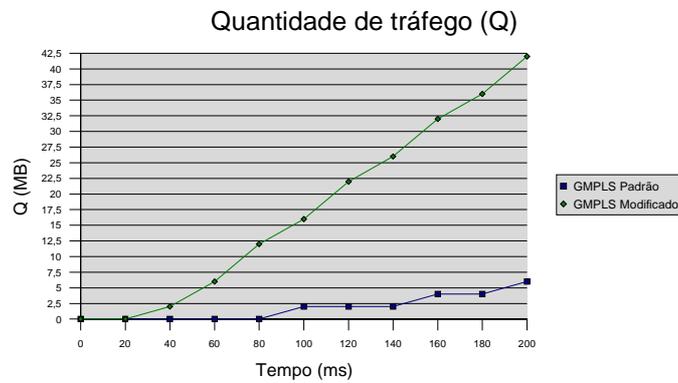


Fig.5d. Quantidade de tráfego (Utilização) com retardo dos enlaces de 4ms

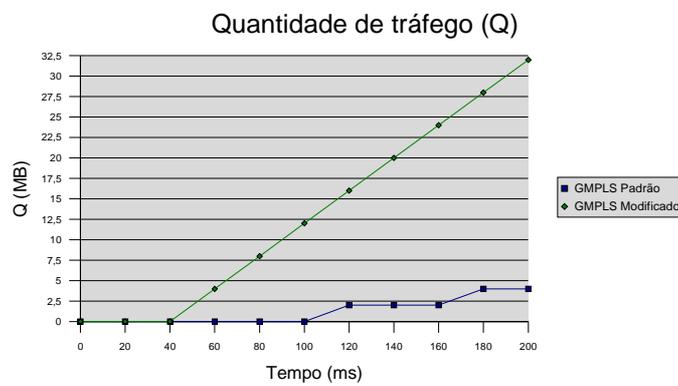


Fig.5e. Quantidade de tráfego (Utilização) com retardo dos enlaces de 5ms

As Figuras 5a a 5e mostram que no novo esquema a rede apresenta uma utilização maior, uma vez que ao longo do mesmo intervalo de tempo mais dados trafegaram no modelo de sinalização proposto, em relação ao modelo tradicional.

É possível também medir a taxa de utilização dos enlaces durante uma transmissão de rajadas ópticas. Essa medida pode ser interpretada como a relação percentual entre a quantidade de dados transmitida em um determinado intervalo de tempo e a capacidade máxima do neste mesmo intervalo. A Figura 6 mostra a variação dessa taxa de utilização em função do valor do retardo dos enlaces da rede óptica em um tempo total de simulação de 100 ms.

A partir da Figura 6 conclui-se que no modelo de sinalização proposto os recursos da rede são melhores aproveitados, pois a taxa de uso dos enlaces nesse modelo é maior que no esquema padrão. Isto se deve à maior quantidade de dados que podem ser transmitidos em uma rede com o esquema de sinalização proposto (vide Figuras 5a a 5e).



Fig. 6. Taxa de utilização dos enlaces em função do retardo dos enlaces

Levando em consideração que mais dados podem ser transmitidos no modelo de sinalização proposto, a Tabela I mostra as quantidades de rajadas (de 2MB) que podem ser enviadas em uma simulação de 100ms adotando em cada simulação os mesmos retardos em todos os enlaces.

TABELA I - NÚMERO DE RAJADAS ENVIADAS NOS DOIS ESQUEMAS DE SIMULAÇÃO

Retardo dos enlaces (ms)	Nº de rajadas enviadas (GMPLS Padrão)	Nº de rajadas enviadas (GMPLS Alterado)
1	6	46
2	3	21
3	1	13
4	1	8
5	0	6

Outras simulações foram realizadas com o objetivo de se analisar a utilização dos recursos da rede quando diferentes tamanhos de rajada são enviados.

A Figura 7 ilustra a porcentagem de uso dos enlaces estabelecendo-se tamanhos de rajada que variam de 2MB a 16MB onde o retardo dos enlaces é de 5 ms e o tempo total de simulação é de 100ms.

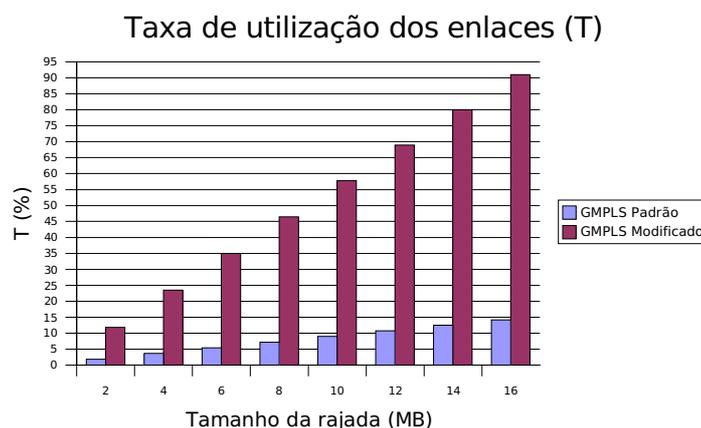


Fig. 7. Taxa de utilização dos enlaces (em função do tamanho das rajadas)

Pela Figura 7 observa-se que na sinalização sugerida há uma otimização do uso da capacidade dos enlaces da rede, consequência do menor retardo das rajadas e da maior vazão na rede obtida quando se adotam as alterações propostas nos mecanismos de sinalização e controle do GMPLS.

4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho discute os aspectos de sinalização e controle relacionados à interação do GMPLS com a comutação de rajadas ópticas (OBS) e apresenta sugestões de alterações no mecanismo de sinalização do GMPLS para melhorar o desempenho geral de redes ópticas. Especificamente, sugerimos adaptações na forma como os caminhos comutados por rótulos são disparados e nos mecanismos de distribuição e atribuição de rótulos. Em ambos os casos as modificações tiveram o intuito de melhor aproveitar as características do paradigma OBS, como por exemplo, o processo de reserva dos canais feito sem confirmação.

Verificou-se, através de simulações, que a proposta apresentada permite uma melhor utilização da rede uma vez que possui tempo de retardo de sinalização menor e consequentemente permite transferir mais dados em um determinado período de tempo.

Os trabalhos futuros incluem a implementação de mecanismos de engenharia de tráfego para a geração de caminhos alternativos para as rajadas. Um outro aspecto que deve ser analisado é a utilização do mecanismo de sugestão de rótulos a partir do nó *upstream* ou o envio da rajada sem ter recebido a confirmação do estabelecimento do LSP do primeiro enlace.

Referências

- [ABE03b]- ABELÉM, A.; STANTON, M. "MIRROR: IP Multicast for Optical Burst-Switched Networks". *Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações (SBT)*. Vol. 18, No. 2, Outubro, 2003.
- [ABE03a]- ABELÉM, A.; STANTON, M. "Análise da Proposta MIRROR: Conjunto de Adaptação ao IP Multicast para Redes Baseadas em Comutação Óptica." In: *Anais do 21º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2003)*. Natal, RN, Brasil. Maio, 2003.
- [ABE02]- ABELÉM, A.; STANTON, M. A. "Inter-Redes IP Baseadas em Redes Ópticas." Livro texto dos Minicursos, SBRC2002, Cap. 2, pp. 63-123, Búzios, RJ, Brasil, Maio, 2002.
- [ABE01]- ABELÉM, A. "Implementação de um Agente para Realizar Mapeamento entre Serviços Integrados e Serviços Diferenciados." Monografia, Departamento de Informática, PUC-Rio, Fevereiro, 2001.
- [DAW04]- DAWN LAB. "Optical Burst Switching for Network Simulator". Url: <http://dawn.cs.umbc.edu/owns/>. Acessado em: Janeiro, 2004.
- [GUI98]- GUILÉMOT, C. et al. "Transparent Optical Packet Switching: The European ACTS KEOPS project Approach". *IEEE Journal Lightwave Tech.* V. 16, No. 12, pp. 2117-2134, Dec., 1998.
- [MAN03]- MANNIE E. (editor). "Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture". *Internet Draft*, draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-07.txt. Maio, 2003.

- [NS04]- NS. Network Simulator. Sitio do simulador. Url: <http://www.isi.edu/nsnam>. Acessado em: janeiro, 2004.
- [QIA00]- QIAO, C. Labelled Optical Burst Switching for IP over WDM Integration. *IEEECommunications Magazine*. Vol. 38, no. 9, pp. 104- 114, Setembro, 2000.
- [QIA99]- QIAO, C. e YOO, M. “Optical Burst Switching (OBS) – A New Paradigm for an Optical Internet”. *Journal of High Speed Networks (JHSN)*. Vol. 8, No. 1, pp. 69- 84, Agosto, 1999.
- [RAJ04]- RAJAGOPALAN, B. et al., “IP over Optical Networks: A Framework”. *RFC3717*. Março, 2004.
- [ROS01]- ROSEN, E. et al. “Multiprotocol Label Switching Architecture”. *RFC3031*. janeiro, 2001.