

Universidade de Campinas

FEEC - Faculdade de Engenharia Elétrica e
Computação

Relatório Parcial de Iniciação Científica

Plano de Controle de Redes Ópticas

Bolsista: Daniel Henrique Barboza
Orientador: Maurício Ferreira Magalhães

16 de fevereiro de 2005

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Princípios básicos das redes ópticas | 2 |
| 3 | Plano de Controle de Redes Ópticas | 3 |
| 3.1 | Conceitos básicos | 4 |
| 3.2 | Funções do plano de controle óptico | 5 |
| 3.3 | Interação do plano de controle com o plano de gerência | 5 |
| 3.3.1 | Gerenciamento de Falhas | 5 |
| 3.3.2 | Gerenciamento de Configuração | 5 |
| 3.3.3 | Gerenciamento de Contas | 6 |
| 3.3.4 | Gerenciamento de Performance e de Segurança | 6 |
| 4 | Um modelo de plano de controle de redes ópticas modernas: GMPLS | 6 |
| 4.1 | Controle nas redes IP | 8 |
| 4.1.1 | Endereçamento | 8 |
| 4.1.2 | Descoberta de vizinhança | 9 |
| 4.1.3 | Roteamento | 9 |
| 4.2 | Plano de controle MPLS | 9 |
| 4.3 | Plano de controle GMPLS | 12 |
| 4.3.1 | Gerenciamento de link | 12 |
| 4.3.2 | Roteamento GMPLS | 12 |
| 4.3.3 | Sinalização GMPLS | 13 |
| 5 | Projeto Canarie | 13 |
| 5.1 | Arquitetura da CA*net | 13 |
| 6 | Atividade 1: Estudo dos Web-Services | 14 |
| 6.1 | Arquitetura de Web-Services | 15 |
| 6.1.1 | Sistemas distribuídos e SOA | 15 |
| 6.1.2 | Implementação | 18 |
| 6.2 | Contribuição dos WSs no controle de redes ópticas | 19 |
| 7 | Atividade 2 : Modelo de Informação | 19 |
| 7.1 | XML | 20 |
| 8 | Implementação | 22 |
| 9 | Conclusão e Comentários | 23 |

1 Introdução

Este relatório parcial tem como objetivo relatar o andamento e os progressos feitos neste trabalho de iniciação científica até o momento. Será descrito todo o conhecimento adquirido exclusivamente para o desenvolvimento deste projeto de maneira sucinta, porém concisa e objetiva.

O relatório segue conforme a seguir: nas primeiras seções apresentaremos um breve resumo dos conceitos estudados sobre as redes ópticas, plano de controle e plano de gerência e modelos de plano de controle. Depois descreveremos o desenvolvimento da atividade um e da atividade dois, ambas previstas no relatório preliminar de aquisição da bolsa de iniciação científica, onde a atividade um consistiu no estudo da tecnologia dos Web-Services e a atividade dois na definição de um modelo de informação para o plano de controle de redes ópticas. Por fim, descreveremos os primeiros passos da implementação deste plano de controle, a qual é o objetivo final deste projeto.

2 Princípios básicos das redes ópticas

As primeiras fibras ópticas foram desenvolvidas a partir dos usos de LEDs, uma vez que estes são fontes luminosas leves e com grande potência e precisão. Porém muitos aspectos físicos do próprio meio o qual a luz trafega dificultam a transmissão de informação por longas distâncias. As três dificuldades básicas pelas quais a luz passa em transmissões de longo alcance são a atenuação, a dispersão cromática e efeitos não-lineares.

A atenuação da luz é causada basicamente por difusão e absorção. O tipo mais comum de difusão é conhecido como Difusão de Rayleigh e é causada por pequenas variações da densidade do material da fibra. Este fenômeno limita o uso de comprimentos de onda menores que 800 nm. Já a absorção na fibra óptica é causada por fatores extrínsecos, como o ambiente no qual a fibra, e por fatores intrínsecos a mesma, como absorção da luz pelo material da fibra ou por impurezas presentes neste. Essa absorção intrínseca atinge os comprimentos de onda mais altos e aumenta drasticamente nos comprimentos acima de 1700 nm. A atenuação é combatida usando amplificadores ópticos, que reforçam o sinal luminoso que se atenuou após percorrer uma longa distância.

A dispersão cromática consiste no espalhamento dos raios luminosos que atravessam a fibra. Isto ocorre por dois motivos principais: diferentes comprimentos de onda se propagam em diferentes velocidades e os índices de refração dos materiais que compõem a fibra não são homogêneos.

Os efeitos não-lineares, a princípio, não eram fatores restritivos para a comunicação nas fibras ópticas. Porém, como a taxa de transmissão que pode se alcançar hoje é extremamente maior do que antes, passaram a ser um empecilho. Isso porque os efeitos da atenuação e da dispersão cromática podem ser compensados, porém estes efeitos não-lineares não podem ser compensados. Estas interações não-lineares entre diferentes canais em uma mesma fibra podem gerar bandas laterais que causam interferência multicanal. Estes efeitos não-lineares acabam, portanto, por limitar a taxa de transmissão de um canal em uma fibra óptica.

Mesmo com tantos desafios a serem superados, as companhias telefônicas investiram na melhoria e no uso das redes ópticas. Essas melhorias consistem em refinar o material o qual constitui a fibra, de maneira a diminuir cada vez mais as alterações na luz transmitida, e na melhoria do hardware que permite a comunicação pela fibra. Este hardware consiste nos transmissores e receptores ópticos, que atuam nas pontas da fibra, e nos regeneradores, repetidores e amplificadores ópticos.

As redes de transporte ópticas modernas constituem-se basicamente de comutadores que

se comunicam utilizando sistemas de transmissão baseados em DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Este sistema consiste na multiplexação do sinal luminoso no domínio da frequência, ou seja, cada sinal luminoso ocupa diferentes porções do espectro de frequência do meio de transmissão. É similar ao que acontece no rádio a estação usa o sinal de áudio original para modular uma portadora com frequência maior e lança este novo sinal no espaço. Esta multiplexação permite um grande aumento na banda disponível para a transmissão de dados. Os comutadores ópticos também passaram por inúmeras inovações tecnológicas. Hoje é possível encontrar comutadores das mais diferentes tecnologias, cada um com sua particularidade e uso especial. Podemos citar como exemplos os comutadores ópticos-mecânicos, ópticos-acusticos, ópticos-termais, ópticos-magnéticos e os mais comumente encontrados ópticos-elétricos. Este último baseia-se em receber um sinal óptico, convertê-lo para um sinal elétrico, realizar qualquer processamento desejável com este sinal, transformá-lo novamente em luz e mandá-lo para uma de suas interfaces de saída. Existem também os comutadores fotônicos, que não realizam conversão da luz para qualquer outra forma de energia. Estes comutadores permitem uma comutação extremamente rápida mas, por não conseguirem manipular o conteúdo do sinal, dificultam certas tarefas que são realizadas por outros comutadores.

3 Plano de Controle de Redes Ópticas

As primeiras redes de fibras ópticas foram usadas para fornecer transporte de alta capacidade para chamadas telefônicas. Porém, a explosão do uso das redes ópticas deu-se com o uso destas não só para o tráfego de voz, mas também o tráfego de dados para o acesso a Internet. Esse aumento da utilização de redes ópticas anuncia uma nova era no transporte de dados em alta velocidade, mas não sem criar um novo dilema: como controlar e gerenciar uma rede óptica de alto porte?

As estruturas de redes ópticas utilizadas hoje são ineficientes para o controle de uma rede óptica de grande porte. Isto se deve ao fato de que o desenvolvimento dessas redes foi freado através do próprio mercado ao qual se aplicava, uma vez que o transporte de voz não necessita da automatização que se deseja para as futuras redes ópticas.

Atualmente o estabelecimento de conexões nas redes ópticas é feito de maneira quase manual. Para se criar um caminho de um nó A a um nó B, uma equipe de gerência deve estudar uma rota que atenda aos pré-requisitos desejados. Uma vez a rota definida, configura-se manualmente todos os elementos de rede que formam esse caminho. Após a configuração de todos os elementos de rede, a próxima etapa é testar a rota. Somente após essas três etapas o serviço é disponibilizado. Este processo pode durar até semanas. Torna-se natural, portanto, alugar os recursos da rede por um período de tempo, de maneira que se possa tê-los disponíveis quando necessário. Isso, além de ser inconveniente para o consumidor que está pagando por um serviço e não está o utilizando em 100% do tempo, é um desperdício dos recursos da rede, que poderão reservados para uma conexão que não os utiliza freqüentemente.

Tomemos como exemplo o agendamento de uma videoconferência. A videoconferência nada mais é do que a transmissão de áudio e vídeo pela internet, de maneira que uma pessoa está transmitindo sua imagem e sua voz e está recebendo imagens e áudio de outras pessoas que podem estar a milhares de quilômetros de distância, tudo em tempo real. Os recursos necessários para a realização de uma videoconferência são consideráveis. Na rede óptica existente hoje, uma videoconferência deve ser agendada com pelo menos alguns dias de antecedência, de maneira que todo o procedimento descrito acima pudesse ser feito. Todavia, desejamos ter a flexibilidade para agendar uma videoconferência para daqui a uma hora, meia hora talvez, caso apareça algum imprevisto de ultima hora que deve ser tratado com todos os diretores e presidentes de uma empresa que estão espalhados pelo mundo. Com a estrutura de redes ópticas que temos

atualmente é quase impossível alocar recursos para uma aplicação sob-demanda em tão pouco tempo.

A automatização das redes ópticas beneficia tanto aos proprietários da rede quanto aos usuários. Se for possível automatizar o processo de estabelecimento de conexão, torna-se possível alocar recursos em um período curto de tempo. Da mesma forma torna-se viável liberar estes mesmos recursos quando não estiverem sendo usados, de maneira que estes possam ser reaproveitados em outra conexão. O usuário, por sua vez, pode requisitar os recursos com um intervalo de tempo menor entre pedido e utilização.

O plano de controle das redes ópticas modernas deve então colaborar para a automatização dos serviços prestados pela rede. Mais precisamente, o plano de controle deve substituir o plano de gerência em todos os campos possíveis, de maneira a eliminar a intervenção manual humana no funcionamento da rede.

3.1 Conceitos básicos

Antes de falar das funções do plano de controle óptico, é interessante ver algumas definições que serão utilizados a partir deste ponto no restante deste relatório.

Nas redes IP comuns, a funcionalidade do plano de controle é implementada junto com os elementos de rede, neste caso os roteadores, onde os protocolos de roteamento e sinalização estão implementados. Porém, no caso das redes ópticas, a funcionalidade do plano de controle não necessariamente influencia a funcionalidade do plano de transporte de dados. Em outras palavras, o canal onde trafegam informações de controle não é necessariamente o mesmo por onde trafegam os dados. Essa independência do plano de controle do plano de dados permite que eventuais falhas no plano de controle não afetem as conexões funcionais no plano de dados.

A partir desta idéia, entendemos então que canal de controle é o meio pelo qual os agentes de controle se comunicam. Geralmente reservam-se recursos exclusivos para a implementação do canal de controle. Pode-se alocar um comprimento de onda exclusivo na fibra óptica para o tráfego de informações de controle. Este canal de controle é chamado de *in-fiber*. Porém podemos usar uma outra rede para o tráfego de informações de controle, por exemplo, uma rede IP. Neste caso o canal de controle é dito ser um canal de controle *out-of-fiber*.

O agente de controle, por sua vez, é um software que é responsável pelas funções de controle de um certo elemento de rede ou mesmo de uma parte da rede óptica, sendo que este software não obrigatoriamente precisa estar presente nos elementos da rede óptica. Estes agentes de controle interagem entre si através de interfaces de controle. Estas interfaces são padronizadas, de maneira que diferentes domínios de controle possam se comunicar.

A figura 1 nos fornece uma visão mais clara dos conceitos abordados. Observamos que existem dois agentes de controle que são responsáveis por mais de um elemento de rede. Os outros dois agentes de controle estão relacionados com os clientes desta rede. A interface de controle UNI (User-Network Interface) é a interface entre o nó cliente e um nó na rede óptica. Já a E-NNI (Exterior Network-Network Interface) é a interface de controle entre nós de redes de domínios de controle distintos. Nesta abstração, podemos assumir que o canal de controle pode ser tanto *in-fiber* como *out-of-fiber*.

3.2 Funções do plano de controle óptico

As funções que o plano de controle óptico possui resumem-se em: descoberta automática de vizinhança, roteamento e sinalização.

A descoberta automática de vizinhança consiste na capacidade de um elemento de rede perceber e identificar seus vizinhos na rede de maneira automática, ou seja, sem necessidade de configuração manual.

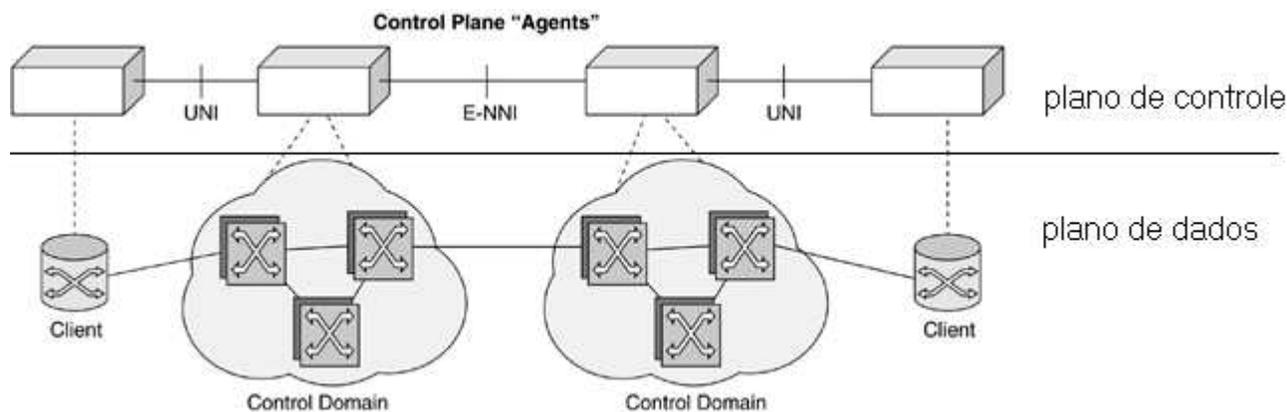


Figura 1: Abstração do plano de controle

O roteamento baseia-se em dois aspectos: o primeiro é a descoberta automática da topologia da rede e o outro é a computação de rota. A descoberta da topologia permite com que o plano de controle determine a conectividade do plano de dados e a situação dos recursos da rede. De um modo geral, este mecanismo está associado com alguma maneira de propagar a conectividade e informações de recursos de um agente de controle para os outros agentes em toda a rede. A computação de rota é o procedimento no qual um agente de controle determina um caminho para uma conexão de acordo com as informações atualizadas de topologia e recursos.

Já a sinalização denota a sintaxe e a semântica da comunicação entre agentes de controle para o estabelecimento e manutenção de conexões.

Todas estas funções do plano de controle estão relacionadas com seus protocolos e arquiteturas. Para diferentes arquiteturas, teremos diferentes maneiras de realizar estas funções. Nas seções à frente veremos algumas das arquiteturas mais utilizadas no plano de controle das redes ópticas.

3.3 Interação do plano de controle com o plano de gerência

Mesmo que busquemos a total automatização das redes ópticas, há tarefas que ainda não podem ser realizadas automaticamente, sendo necessária a intervenção do plano de gerência. Todavia o plano de controle pode fornecer mecanismos que auxiliem nas funções que a gerência cumpre.

O sistema de gerência de redes de computadores em geral deve ter as seguintes funcionalidades, segundo a recomendação M.3400 do ITU-T ¹, referência [3]: gerenciamento de falhas, gerenciamento de configuração, gerenciamento de contas, gerenciamento de performance e gerenciamento de segurança. Estas funcionalidades são lembradas facilmente pelo mnemônico FCAPS (*Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security*). Analisemos agora cada uma dessas funcionalidades e como que o plano de controle pode contribuir para essas funções.

3.3.1 Gerenciamento de Falhas

Uma falha é qualquer condição que impeça que uma tarefa seja executada de maneira correta. Isto inclui a detecção, isolamento e a correção do problema que ocasionou a falha. O plano de controle pouco tem a ver com o gerenciamento de falhas, porém pode fornecer mecanismos que facilitem a detecção das mesmas. Podemos usar um protocolo de roteamento para distribuir

¹International Telecommunication Union Telecommunications standardization sector - órgão internacional que trabalha na padronização de métodos e sistemas na área das telecomunicações

o estado dos enlaces pelos elementos de rede, de maneira que uma eventual falha possa ser prevista e evitada. Outra forma de auxiliar o gerenciamento de falhas é a restauração, ou seja, o próprio plano de controle tenta corrigir erros nas conexões, evitando assim a existência de erros.

3.3.2 Gerenciamento de Configuração

Qualquer parâmetro que deva ser configurado manualmente faz parte do gerenciamento de configuração. Estes parâmetros vão desde o endereço de cada elemento de rede até as características das conexões efetuadas pela rede óptica. O plano de controle óptico não pode substituir o plano de gerência para automatizar esta tarefa, uma vez que o plano de controle limita-se a descoberta de vizinhança, provisão de conexões e restauração de conexões, e não tem inteligência suficiente para configurar os parâmetros funcionais dos elementos de rede.

3.3.3 Gerenciamento de Contas

Como o plano de controle óptico permite que conexões sejam estabelecidas e removidas dinamicamente, este deverá interagir com a gerência de contas. Não serão todos os usuários que terão direito a estabelecer novas conexões ou destruir as já existentes. É necessário, portanto, que o plano de gerência verifique as permissões de cada usuário antes de mandar a operação requisitada ao plano de controle.

3.3.4 Gerenciamento de Performance e de Segurança

Assim como no caso do gerenciamento de faltas, o plano de controle óptico pouco tem a contribuir para a automatização dessas duas tarefas, que são de extrema importância para a gerência de redes de computadores em geral. Entretanto, com as informações dos estados de enlace, do status das conexões e outras informações que o plano de controle pode fornecer através dos protocolos de roteamento, é possível ajudar o plano de gerência a administrar a performance da rede óptica e a verificar se existe alguma falha de segurança.

Além destas contribuições, o plano de controle óptico exerce mais dois importantes papéis que auxiliam a gerência. Um deles é a descoberta da topologia da rede. A descoberta automática de vizinhança combinada com a funcionalidade do sistema de gerenciamento de rede pode fornecer a topologia completa da rede óptica. Este conceito é ilustrado na figura 2. Na parte (a), o EMS ² (sistema de gerenciamento) possui o endereço apenas do elemento B. Com a descoberta automática de vizinhança do plano de controle óptico, o EMS é capaz de descobrir os endereços dos elementos A e C. Consultando os elementos A e C, pode-se descobrir os endereços dos seus respectivos vizinhos (b), e assim sucessivamente até que toda a topologia da rede esteja definida (c).

O outro importante papel do plano de controle que auxilia a gerência é o estabelecimento de conexões a partir de sinalização. Sem a sinalização, o EMS deve enviar uma mensagem para cada elemento de rede que fará parte da conexão. Com a sinalização, o EMS necessita somente acessar o nó de origem e dizer qual é o nó destino. A sinalização entre os nós do caminho será responsável pelo estabelecimento da conexão até o nó de destino. As figuras 3 e 4 ilustram estes cenários descritos acima.

Observamos que o conceito de sinalização descentraliza as decisões de rota de conexão no plano de controle. Sem a sinalização, o sistema de gerenciamento deveria configurar e estabelecer uma rota em cada elemento de rede. A sinalização permite com que cada nó da rede seja capaz

²Element Management System

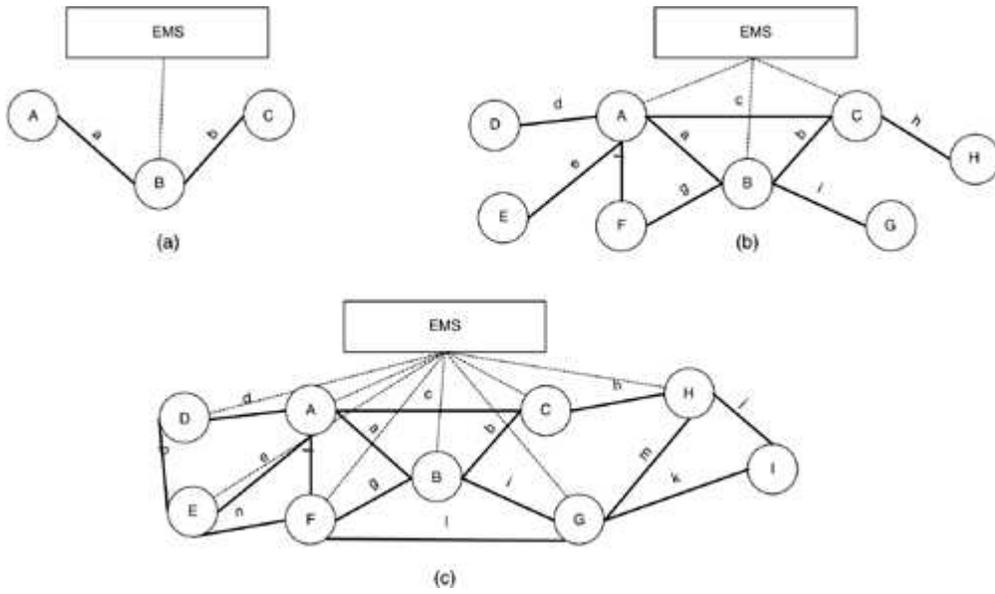


Figura 2: Descoberta automática da topologia da rede

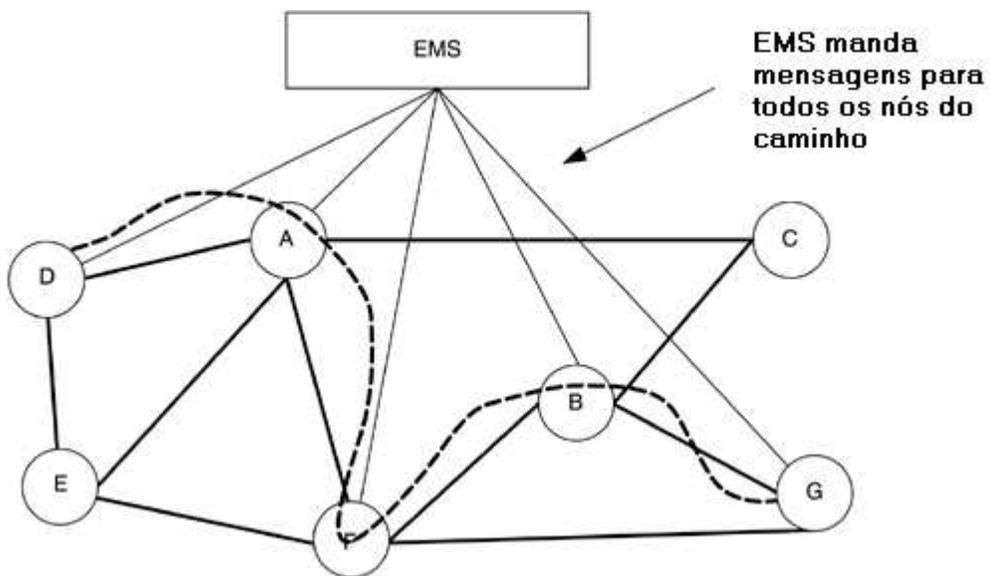


Figura 3: Estabelecimento de conexão sem uso da sinalização

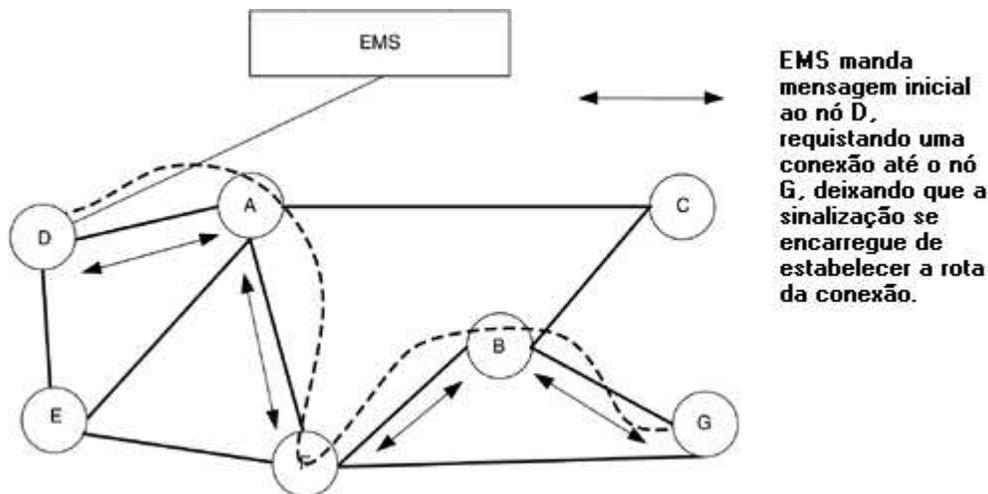


Figura 4: Estabelecimento de conexão com sinalização

de decidir qual será o próximo nó que fará parte da conexão. Esta característica permite uma maior escalabilidade e performance do que o método centralizado.

4 Um modelo de plano de controle de redes ópticas modernas: GMPLS

Nesta seção descreveremos um dos modelos de plano de controle mais utilizados para o plano de controle de redes ópticas: o GMPLS (*Generalized Multi-Protocol Label Switching*). Para um melhor entendimento, vamos primeiro verificar como funciona o plano de controle nas redes IP. Logo após, apresentaremos o MPLS GMPLS (*Multi-Protocol Label Switching*), modelo de plano de controle que originou o GMPLS. Finalmente, descreveremos os aspectos gerais do GMPLS, mostrando porque ele é o modelo de controle mais usado nas redes ópticas atualmente.

4.1 Controle nas redes IP

O funcionamento do plano de transporte de dados nas redes IP é relativamente simples³. Um roteador, dispositivo capaz de receber pacotes⁴ e enviá-los para outro destino, tem acesso a uma tabela de roteamento, ou tabela de encaminhamento, que descreve qual o endereço do próximo hop em direção a um destino. Entendemos como próximo hop o endereço IP que o pacote deverá ser encaminhado até que finalmente chegue ao seu destino final. A tabela de roteamento de um roteador é determinada basicamente através de informações de alcançabilidade e de topologia. Portanto, quando um pacote chega a um roteador, este verifica o endereço de destino do pacote, consulta em suas tabelas de roteamento qual o próximo hop em direção ao destino do pacote e encaminha o pacote para este endereço.

Existe um plano de controle por trás do funcionamento deste plano de transporte, que possibilita o encaminhamento destes pacotes. Este plano de controle possui três atributos que é de nosso interesse: endereçamento, descoberta de vizinhança e roteamento. Descreveremos breve-

³Simplicidade a qual fez o IP ser o protocolo mais usado hoje, principalmente com a explosão da Internet nos últimos anos. A Internet nada mais é do que um grande conjunto de redes IP independentes interconectadas.

⁴Definindo de maneira grosseira, pacote é a unidade de transporte utilizada nas redes IP. Um arquivo é dividido em um ou mais pacotes antes de ser transportado.

mente estas características a seguir. Maiores detalhes podem ser encontrados em (())(referencia do TAnenbaum)()).

4.1.1 Endereçamento

Cada pacote IP possui seu endereço de origem e o endereço de destino. Em uma rede IP, cada nó deve ter um endereço IP único dentro do domínio de roteamento. Estes endereços podem ser atribuídos aos elementos de rede de maneira manual ou automática, por exemplo, usando o protocolo DHCP.

Um endereço IP pode ser classificado através do seu prefixo. Através desta classificação, aumenta-se a escalabilidade e eficiência do roteamento, uma vez que um prefixo representa um conjunto de endereços IP que pertencem a uma mesma rede ou a um mesmo domínio. Quando um endereço IP pertence a mais de um prefixo, o prefixo mais longo (com maior número de bits) é considerado o mais específico. Um roteador, ao encontrar um pacote com endereço IP de destino que encaixa em vários prefixos, encaminha o pacote para o hop equivalente ao prefixo mais longo.

Outro critério usado pelo roteador ao encaminhar um pacote é a natureza do endereço IP de destino. Este endereço pode ser *unicast* ou *multicast*. Um endereço *unicast* refere-se a um único destino físico, enquanto que o *multicast* é um endereço lógico que diz que o pacote deve ser entregue para mais de um destino físico.

4.1.2 Descoberta de vizinhança

A descoberta de vizinhança tipicamente é parte integrante dos protocolos de roteamento. Cada roteador manda uma mensagem de *keep-alive* para cada uma de suas interfaces. Esta mensagem contém o IP do roteador que originou a mensagem e é endereçada a um endereço especial *multicast* para todos os roteadores do seu domínio. O objetivo desta mensagem *keep-alive* é alertar a existência do roteador para os seus vizinhos.

4.1.3 Roteamento

Com o auxílio da tabela de roteamento, o roteador deve saber se um endereço IP é alcançável e, caso o seja, qual o próximo hop para este endereço. Percebemos então que a construção desta tabela de roteamento é fundamental para que o roteamento seja conciso. Esta tabela de roteamento pode ser construída de maneira manual ou através do uso de um protocolo de roteamento. Este protocolo de roteamento deve permitir que um roteador determine endereços IP que são alcançáveis por ele, propagar esta informação aos outros roteadores e usar esta informação, em conjunto com as outras informações recebidas pelos outros roteadores, para construir sua tabela de roteamento.

Existem protocolos que são responsáveis pelo roteamento dentro de um mesmo domínio, os quais são chamados de IGP (*Interior Gateway Protocol*) e outros que são responsáveis pelo roteamento entre domínios, chamados EGP (*Exterior Gateway Protocol*). Como exemplos de IGP temos o RIP (*Routing Information Protocol*) e o OSPF (*Open Shortest-Path First Protocol*). O RIP é um protocolo do tipo vetor de distância, que só propaga informações de alcançabilidade; o OSPF é um protocolo do tipo estado de enlace, que propaga informações sobre os custos dos enlaces. Como exemplo de EGP temos o BGP (*Border Gateway Protocol*).

4.2 Plano de controle MPLS

O MPLS introduziu um novo modelo de integração IP e ATM, modelo que recebeu o nome de modelo peer. Este modelo se contrapôs ao modelo overlay existente na época, culminando

no grande uso do MPLS. Vejamos com mais detalhes esta evolução.

O ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) foi uma estrutura adotada pelas operadoras de telefonia, de maneira que se pudesse tratar todo o tipo de tráfego, desde tráfego de voz até dados em grande volume. A característica principal do ATM é o seu pacote pequeno e de tamanho fixo, também chamado de célula ATM. Estes pacotes pequenos e de mesmo tamanho proporcionam uma comutação mais simples, podendo ser feita em hardware de maneira extremamente rápida e eficiente. O ATM introduziu também os primeiros conceitos de engenharia de tráfego, uma vez que as células poderiam ter tratamentos diferenciados dependendo do tipo de tráfego que estas carregavam. As operadoras tinham intenção de padronizar o ATM para o uso em todas as redes, inclusive as redes locais, de maneira que o ATM fosse uma rede na qual rodasse todos os tipos de serviços possíveis. Porém, com o avanço fenomenal do uso da Internet, o qual roda em cima do protocolo IP, os serviços passaram a rodar em cima do IP e não do ATM, ou seja, as operadoras teriam que arrumar uma forma de fazer o IP rodar em cima do ATM, de forma que sua estrutura ATM já pronta pudesse ser usada.

O primeiro modelo proposto para esta implementação IP sobre ATM foi o modelo overlay. Neste modelo, admite-se que o vizinho de um roteador será sempre seu próximo hop, mesmo que entre estes dois roteadores exista uma rede de outro tipo. A vantagem deste modelo é a independência dos planos de controle das duas redes, possibilitando que os protocolos do plano de controle evoluam separadamente. As desvantagens são o gerenciamento de duas redes diferentes, redundância de operação dos dois planos de controle e a necessidade de algum mecanismo de sincronismo entre os dois planos de controle. Como propostas de solução seguindo o modelo overlay tivemos o IP Clássico sobre ATM, LAN Emulation e o MPOA.

O modelo peer surgiu como uma alternativa aos problemas de complexidade que o modelo overlay possui. A proposta do modelo peer é retirar a sinalização e o roteamento ATM, de maneira que possamos ter hardware ATM rodando com software IP, ou seja, comutadores ATM atuando como roteadores. Dentre as alternativas que seguem o modelo peer destacou-se o MPLS.

A arquitetura do MPLS baseia-se na separação dos planos de roteamento e encaminhamento. Isto é possível através da distribuição de rótulos (*labels*) para cada fluxo. Esta distribuição de rótulos é feita através das características do tráfego que será gerado pela origem. Estas características variam desde o prefixo do endereço IP do destino até na identidade do roteador de saída e no tipo de fluxo gerado. Pacotes que recebem o mesmo tratamento no encaminhamento são ditos fazerem parte da mesma FEC (*Forwarding Equivalent Class*). A atribuição de um pacote a uma FEC é feita apenas no momento em que o pacote entra na nuvem MPLS. A partir deste momento, é criado um LSP (*Label Switching Path*) e o encaminhamento dos pacotes é feita de maneira independente do roteamento. Vejamos como é feito o estabelecimento de LSPs.

Cada LSR⁵ deve negociar um rótulo para cada FEC com seu vizinho *downstream*. Chamamos de vizinho *downstream* o LSR vizinho que está na direção do fluxo. A figura 5 ilustra esta idéia. Quando um pacote chega no LSR de ingresso, este requisita um rótulo para o seu vizinho *downstream*, o qual pedirá um rótulo ao próximo LSR *downstream*, até chegar no LSR de egresso⁶. Este então alocará recursos para o fluxo e mandará um rótulo para o LSR *upstream*, digamos L1, de maneira que este tráfego chegue no LSR de egresso com o rótulo requisitado. O LSR *upstream* ao anterior aloca recursos para o fluxo e manda um rótulo L2 para o LSR *upstream*, aceitando que todo rótulo L2 que vier até ele deve sair com rótulo L1. Este procedimento é repetido pelo LSR *upstream* a este até chegar no LSR de ingresso. A partir desse momento, o pacote é encaminhado a partir dos mapeamentos que os LSRs criaram durante a atribuição dos

⁵*Label Switching Router*, roteadores capazes de comutar através de rótulos

⁶LSR de ingresso é o primeiro LSR que o pacote encontra ao entrar na rede MPLS, enquanto que o LSR de egresso é o LSR pelo qual o pacote vai sair da rede MPLS em direção ao seu destino.



Figura 5: Ilustração do conceito de nó *downstream* e *upstream*

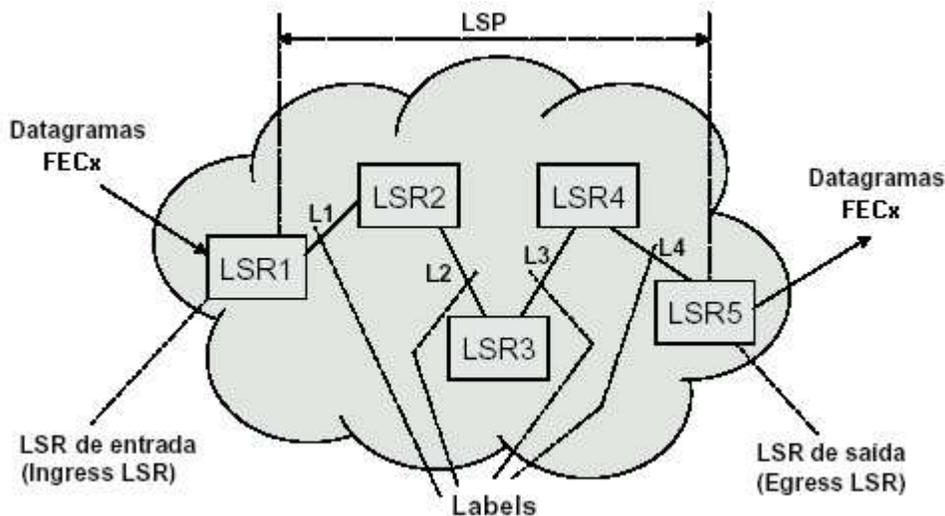


Figura 6: Estabelecimento de LSP no MPLS

rótulos, estabelecendo assim o LSP.

A figura 6 nos fornece um exemplo de como o LSP é estabelecido. Quando os datagramas chegam no LSR de ingresso, este pede um rótulo para o LSR *downstream* (LSR2), que solicita um rótulo do próximo *downstream*, até chegar no LSR5, o LSR de egresso. Este então manda um rótulo L4 para o LSR *upstream* LSR4, que mandará um rótulo para o próximo *upstream*, até chegar no LSR1. O LSP então é estabelecido, contendo os seguintes mapeamentos:

LSR1: datagramas da FECx são mandados com rótulo L1.

LSR2: datagramas que chegam com rótulo L1 saem com rótulo L2.

LSR3: datagramas que chegam com rótulo L2 saem com rótulo L3.

LSR4: datagramas que chegam com rótulo L3 saem com rótulo L4.

LSR5: datagramas que chegam com rótulo L4 pertencem a FECx e vão para seu respectivo destino.

Podemos então resumir as características do MPLS da seguinte maneira:

- Simplificação do encaminhamento de pacotes
- Desacoplamento das funções de encaminhamento e roteamento

- Empilhamento de rótulos promove o tunelamento e a hierarquia de roteadores
- Existência de roteamento explícito e roteamento baseado em restrições - suporte a mecanismos de engenharia de tráfego

Os protocolos usados para a sinalização e distribuição de rótulos mais comumente usados são o LDP (*Label Distribution Protocol*) e o RSVP (*Resource Reservation Protocol*). Ambos possuem extensões para engenharia de tráfego, fornecendo mais mecanismos de qualidade de serviço (RSVP-TE⁷ e CR-LDP⁸). Estas extensões, quando usadas, estendem a própria funcionalidade do MPLS, o qual passa a se chamar MPLS-TE (*MPLS Traffic Engineering*).

4.3 Plano de controle GMPLS

O MPLS, como foi definido originalmente, aplica-se a redes de pacotes. Um LSR recebe um pacote de uma interface, troca o rótulo que veio com o pacote por um novo rótulo e encaminha o pacote para outra interface de saída. Podemos perceber que existe uma capacidade de circuito virtual que o MPLS implementa em uma rede de pacotes. Porém, em redes comutadas por circuitos, esta operação de comutação pode ser diferente.

As redes comutadas por circuito podem realizar comutação por divisão no tempo, onde um nó comuta dados vindos em um *slot* de tempo de uma interface para outro *slot* de tempo em outra interface. Existe a comutação em portas, onde um nó comuta dados de uma porta de entrada para uma porta de saída. Finalmente, temos a comutação em λ ⁹, onde um nó comuta dados que chegam em um determinado comprimento de onda para outro comprimento de onda em alguma interface de saída. Estes três tipos de comutação são usados nas redes ópticas, cada um com seus usos específicos.

Percebemos que existe uma certa similaridade das comutações descritas no parágrafo anterior com a troca de rótulos que o MPLS define. Se este rótulo for generalizado, ou seja, se este rótulo puder ser um *slot* de tempo, uma porta ou um comprimento de onda, podemos usar a mesma idéia do MPLS para o plano de controle dessas redes comutadas por circuitos. Desta idéia surgiu o *Generalized MPLS*, ou GMPLS. Esta sigla passou a significar a generalização do plano de controle MPLS para suportar múltiplos tipos de redes comutadas por circuito.

No GMPLS, os protocolos do plano de controle executam três funções principais: gerenciamento de link, o qual envolve descoberta de vizinhança e manutenção dos canais de controle; descoberta de topologia e recursos, função também chamada de roteamento GMPLS; sinalização, capacidade de prover e restaurar conexões. Os protocolos usados para a descoberta de topologia e recursos e roteamento GMPLS são adaptados dos usados no MPLS-TE, entretanto o gerenciamento de link é uma função nova que foi definida no GMPLS. A seguir vamos ver mais detalhes destas funcionalidades.

4.3.1 Gerenciamento de link

Ao contrário dos LSRs, nós ópticos podem ter dezenas ou centenas de links entre dois nós adjacentes. Normalmente, em redes MPLS, a descoberta de topologia é feita através dos protocolos de roteamento, os quais verificam a existência de vizinhos a um nó em todas as interfaces deste nó. Em redes nas quais a quantidade de links entre dois nós é muito grande, este processo torna-se ineficaz, pois faz com que o protocolo de roteamento percorra centenas de vezes links que pertencem ao mesmo par de nós. Dessa forma, o GMPLS possui uma

⁷Resource Reservation Protocol Traffic Engineering

⁸Constraint-based Routing Label Distribution Protocol

⁹Comutação em comprimento de onda.

função de gerenciamento de link que é separada da descoberta de topologia, ou seja, permite descoberta de vizinhança como uma pré-etapa da descoberta de topologia, realizando verificação de conectividade para cada link entre um par de nós.

4.3.2 Roteamento GMPLS

Assim como acontece no MPLS-TE, o roteamento GMPLS permite a classificação dos atributos dos links e a propagação destes atributos por todos os nós da rede. Este roteamento permite também que os vários links entre um mesmo par de nós sejam agrupados em um único link lógico, chamado link TE, de maneira a simplificar a descrição da topologia da rede. Além destes dois aspectos, é importante citar também a capacidade que o roteamento GMPLS oferece de dividir os links em grupos de riscos chamados SRLG (*Shared Risk Link Group*), de maneira que possa se identificar com mais rapidez quais links podem ser afetados por uma mesma falha na rede.

4.3.3 Sinalização GMPLS

A sinalização no GMPLS segue os mesmos conceitos da sinalização usada no MPLS-TE, entretanto com extensões que permite o uso do GMPLS em múltiplos tipos de tecnologias de comutação. As extensões mais significantes são:

- Rótulo generalizado, de maneira que o conceito de rótulo possa incluir diferentes tecnologias de comutação, tanto de pacotes quanto de circuitos;
- Rótulo comum fim-a-fim, recurso útil em redes totalmente ópticas, ou seja, sem conversão de comprimento de onda, onde um mesmo comprimento de onda (rótulo) deve ser usado em todo o caminho; bidirecionalidade, que permite que as conexões sejam tanto unidirecionais quanto bidirecionais, ao contrário do MPLS-TE, que só suporta conexões unidirecionais;
- Separação do plano de controle do plano de dados, permitindo que um simples link de controle comande vários links de dados e permitindo que falhas no plano de controle não afete o transporte de dados em conexões previamente estabelecidas;
- Procedimentos de re-início do plano de controle, fazendo com que os elementos de rede possam recuperar seus status na sinalização de controle após alguma falha no nó ou no link.

5 Projeto Canarie

O Canarie é uma organização canadense sem fins lucrativos, suportada pelos seus membros, parceiros e o governo federal canadense, dedicada ao desenvolvimento de tecnologias para a Internet. Com sede na cidade de Ontário, o Canarie emprega um time de 27 pesquisadores, os quais trabalham no avanço tecnológico das redes de computadores e aplicações que podem usufruir destas redes.

A rede mantida por este projeto chama-se CA*net. Trata-se de uma rede composta de mais de 20 redes regionais no Canadá, as quais passam por universidades, empresas e instituições de pesquisa.

O objetivo atual do projeto Canarie é desenvolver uma arquitetura de redes ópticas que atendam a grande demanda dos grupos de pesquisas que usufruem a estrutura da CA*net. Esta arquitetura de rede óptica proposta por eles é diferente do modelo visto anteriormente, em especial no plano de controle da rede óptica. Apresentaremos esta arquitetura a seguir.

5.1 Arquitetura da CA*net

A característica mais marcante da CA*net é a ausência de um plano de controle centralizado. A proposta baseia-se no UCLP (*User Controlled LightPath*), que consiste resumidamente em deixar o usuário configurar e controlar as conexões da rede óptica. Esta idéia inovadora tem como fundamento duas idéias:

Os usuários terão condições de iluminar¹⁰ suas fibras ópticas, graças à queda dos preços dos equipamentos ópticos.

Surgimento de novas aplicações (especialmente de caráter científico) que consistem na transferência de enormes quantidades de dados, em velocidades na ordem de gigabits/seg a terabits/seg¹¹.

Mesmo com os avanços alcançados para aumentar as taxas de transferências na Internet, ainda existem gargalos que são intrínsecos ao sistema de transporte baseado no melhor esforço, o qual é característica do plano de controle IP. Entretanto, para atingir a qualidade de serviço necessária para atender a estas aplicações e-science, é necessário o provimento fim-a-fim garantido pela rede. Isto pode ser alcançado utilizando-se algum mecanismo de comutação de pacotes, como o próprio MPLS, porém em taxas tão elevadas um mecanismo baseado somente na comutação de circuitos ópticos é mais eficiente.

Busca-se também, com um sistema no qual o usuário é responsável por controlar e gerenciar suas conexões, eliminar o gasto adicional com o provedor de serviços. Mesmo que um equipamento capaz de trabalhar com fibras ópticas tenha um custo, não pagar a mensalidade de um provedor de acessos compensa este custo. Além disso, o provedor de acessos não fornece uma conexão tão rápida quanto àquela criada fim-a-fim pelo usuário, pois devemos considerar os custos do próprio provedor de serviços na conexão.

Esta proposta do Canarie consiste na utilização de uma arquitetura de software, chamada Web-Service, que permite que um usuário requisiute um serviço da rede a partir de uma interface padrão e independente de plataforma. Ou seja, o Web-Service atuaria nas pontas da rede, requisitando a abertura e ruptura de *light-paths*¹².

O uso dos Web-Services abre uma grande quantidade de possibilidades no desenvolvimento de uma arquitetura de redes ópticas, não somente no contexto do Canarie, mas em outros cenários onde o plano de controle é mais centralizado e caracterizado. Trata-se de um recurso de software poderoso e versátil, que foi alvo de estudo neste trabalho de pesquisa. A seguir, descreveremos os conceitos mais gerais estudados sobre Web-Services, os quais serão utilizados para a implementação do protótipo citado no relatório introdutório deste trabalho.

6 Atividade 1: Estudo dos Web-Services

O Projeto Canarie nos dá uma idéia de como o Web-Service pode colaborar ou influenciar no plano de controle de redes ópticas, tanto para redes controladas por usuários como para planos de controle mais centralizados. Tudo isso é consequência direta da própria definição e estrutura dos Web-Services, o que nos leva ao interesse no estudo dessa tecnologia.

O Web-Service (WS) é um sistema de software que, associado a uma URL, provê àqueles que o acessa serviços ou funções. Ele permite que diferentes aplicações de software, rodando em diferentes sistemas operacionais, possam se intercomunicar. Ele possui uma interface descrita em um formato específico chamado WSDL (Web-Service Description Language) e outros sistemas

¹⁰ Iluminar uma fibra óptica significa ter um hardware capaz de utilizar a fibra óptica para mandar informações; em outros termos, iluminar a fibra.

¹¹ Estas novas aplicações emergentes científicas são conhecidas como e-science.

¹² *Light-path*, ou caminho de luz, é um outro nome dado a uma conexão em uma rede óptica.

interagem com este WS através de mensagens do protocolo SOAP, que são carregadas através do protocolo HTTP.

O WS deve ser implementado por um agente concreto. Entendemos por agente um software ou um hardware que tem a capacidade de receber e de enviar mensagens e pode realizar alguma tarefa. A partir desse conceito podemos introduzir a idéia de provedor de serviços e cliente. O provedor de serviços é uma pessoa, uma empresa ou mesmo uma instituição que possui um agente que fornece determinado serviço. O cliente, por sua vez, é uma pessoa, uma empresa ou uma instituição que deseja usufruir o serviço prestado por um provedor de serviços. O mecanismo de funcionamento de um WS ocorre entre essas duas entidades, que devem comunicar-se através de mensagens para negociar os parâmetros deste serviço.

Para que esta conversa entre o provedor de serviços e o cliente seja realizada, ambos devem aceitar e concordar com o modo pelo qual as mensagens serão trocadas e a semântica que será utilizada para interpretá-las. O mecanismo de troca de mensagens é documentado pelo descritor de um WS (WSD), o qual é escrito em WSDL. Este descritor informa o formato das mensagens, tipo de dados e protocolos de transporte que devem ser utilizados entre o cliente e o provedor. Nele também são descritos outros possíveis locais na rede nos quais é possível requisitar o serviço. A semântica de um WS representa as expectativas do cliente e do provedor sobre o comportamento do serviço, mais especificadamente nas mensagens que são recebidas e enviadas pelo WS. A semântica representa um acordo entre o cliente e o provedor sobre o propósito e a consequência do uso deste serviço.

Existem diversas maneiras de requisitar um WS. Mas geralmente certos procedimentos são necessários. A figura 7 ilustra quais são estes passos.

1. O cliente toma conhecimento da existência do provedor e vice-versa. É o primeiro nível de comunicação entre eles.
2. O cliente e o provedor, de alguma forma, negociam e concordam com o mecanismo de troca de mensagens e a semântica que será usada.
3. O WSD e a semântica são reconhecidos pelo cliente e pelo provedor, os quais configuram seus respectivos agentes de maneira apropriada.
4. O agente cliente e o agente servidor começam a trocar mensagens, de maneira que o agente provedor forneça algum tipo de serviço ao agente cliente. Este serviço é requisitado e fornecido através de trocas de mensagens, as quais seguem as regras definidas nos passos anteriores.

Alguns desses passos podem ser automatizados, enquanto que outros podem ser feitos de maneira manual.

6.1 Arquitetura de Web-Services

A arquitetura de um WS pode ser classificada como uma arquitetura orientada a serviço (SOA Service Oriented Architecture). Esta, por sua vez, trata-se de uma arquitetura de sistemas distribuídos. Vejamos com mais detalhe estes conceitos.

6.1.1 Sistemas distribuídos e SOA

Um sistema distribuído consiste em vários softwares que devem atuar de maneira cooperativa, em busca de um objetivo em comum. Uma vez que cada agente não necessariamente situa-se no mesmo ambiente de processamento, o mecanismo de comunicação em um sistema

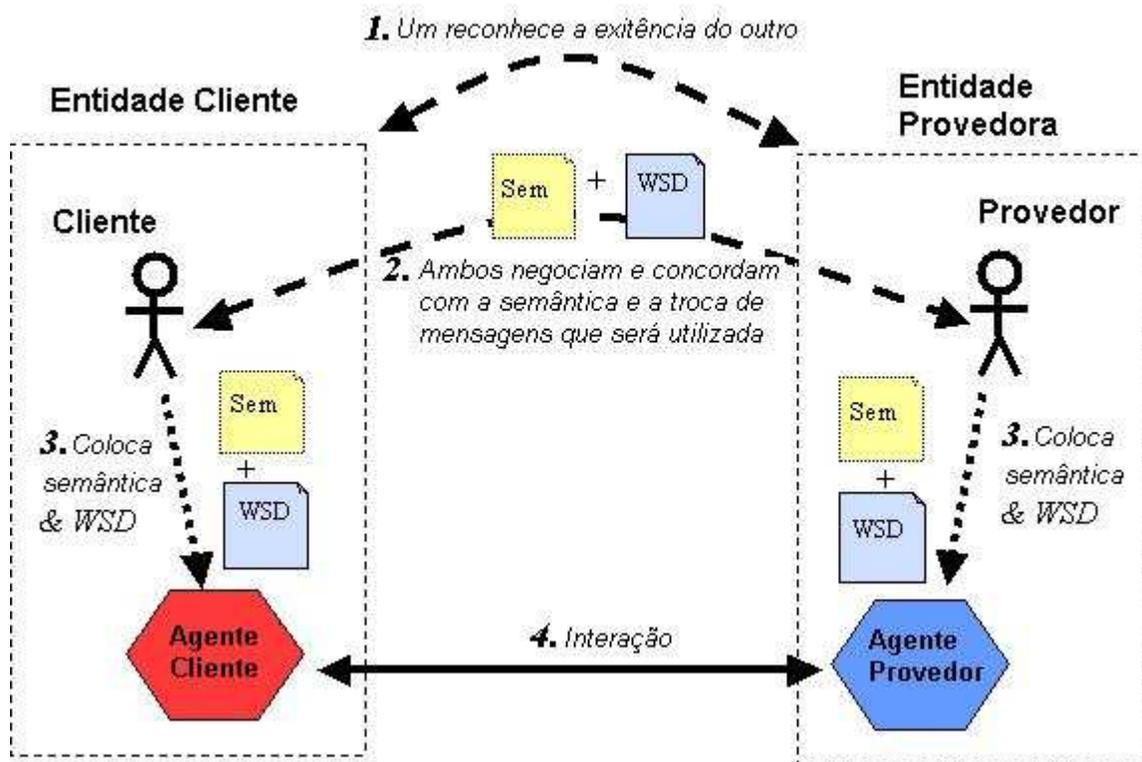


Figura 7: Requisição de um Web-Service

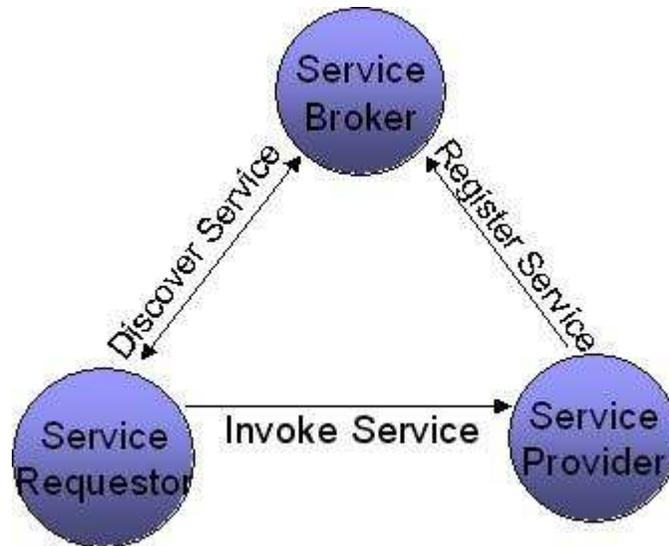


Figura 8: Arquitetura orientada a serviços

distribuído é mais complexo do que sistemas que usam invocação normal de código e memória compartilhada.

Uma SOA é uma arquitetura de sistema distribuído que é caracterizada pelos seguintes atributos:

- Visão lógica: o serviço é uma visão abstrata e lógica dos programas, banco de dados e outros elementos que o compõem, definido em termos do que ele é capaz de fazer.
- Orientação das mensagens: o serviço é formalmente definido pelas mensagens que cliente e provedor trocam, e não pelas propriedades dos agentes em si. A maneira pela qual os agentes são estruturados (linguagem de implementação, estrutura do banco de dados) não é levada em consideração na SOA. A idéia é que não importa como o agente provedor de um serviço o implementa, e sim o serviço prestado.
- Orientação de descrição: um serviço é descrito por meta dados processáveis por hardware. Isto significa que apenas os detalhes que são expostos aos clientes e importantes para o uso do serviço devem ser incluídos na descrição.
- Granularidade: os serviços tendem a usar um número pequeno de operações.
- Indiferença à plataforma: as mensagens são enviadas de maneira independente à plataforma, de maneira que diferentes interfaces operacionais possam se comunicar de maneira padronizada.

A arquitetura orientada a serviços proporciona uma visão mais ampla dos Web-Services, de maneira a facilitar a compreensão do seu funcionamento. Na figura 8 verificamos a arquitetura orientada a serviços. O Service Provider (provedor de serviços), ao criar um serviço, registra-o no Service Broker, onde os serviços são registrados e podem ser localizados. A partir daí, qualquer cliente (Service Requestor) pode interagir com o Service Broker, descobrindo novos serviços e como acessá-los. Uma vez que um determinado serviço foi localizado, o cliente o invoca e executa a partir do provedor.

Dado estas características de arquitetura, os WS são mais apropriados para as seguintes aplicações:

- Aplicações que devem rodar no ambiente da Internet, onde a confiabilidade e a velocidade não podem ser garantidas.
- Onde os componentes de um sistema distribuído rodam em diferentes plataformas e produtos de vendedores diferentes.
- Onde uma aplicação já existente deve ser usada por uma rede e possa ser implementada com um WS.

6.1.2 Implementação

Existem várias formas de se implementar um Web-Service. Porém existem alguns protocolos e linguagens que são mais comumente usados para o uso com Web-Services do que outros. Estes estão relacionados com as diversas etapas do uso de um WS, conforme pode ser verificado abaixo:

- Descoberta de serviço: registro UDDI
- Descrição do serviço: WSDL
- Mensagem XML: SOAP
- Rede de transporte das mensagens: HTTP

O UDDI (Universal Discovery, Description and Integration Protocol) é um modelo de diretórios de WS. Trata-se de uma especificação para o mantimento de diretórios padrões para o armazenamento de informações sobre Web-Services. Estas informações incluem as capacidades, localização e requerimentos de um determinado WS. A WSDL, conforme descrito anteriormente, é a linguagem padrão de descrição de um WS, a qual descreve como acessar o serviço e quais operações este é capaz de realizar. O SOAP (Simple Object Access Protocol) é um protocolo usado para a troca de informações em ambientes descentralizados e distribuídos. Ele é formado por três partes: envelope, regras de codificação e mecanismos de comunicação. Por último, o HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) é um protocolo usado para o transporte de hipertextos pela Internet. Ele necessita de um cliente HTTP e um servidor HTTP. Trata-se do protocolo mais importante da World Wide Web hoje. É um padrão aberto, assim como o SOAP.

Baseando-se nos protocolos e linguagens descritos acima, podemos redefinir com um pouco mais de detalhe as etapas para a requisição e provisão de um serviço baseado em Web-Services. A requisição consiste em:

1. Encontrar serviços (WSs) disponíveis via UDDI
2. Recuperar o arquivo de descrição do serviço escolhido, o qual é especificado em WSDL
3. Criar um cliente SOAP
4. Invocar o serviço remotamente

Já o provimento do serviço possui as seguintes etapas:

1. Criar o serviço
2. Criar a descrição do serviço WSDL
3. Disponibilizar o serviço
4. Registrar o serviço disponibilizado via UDDI

Na figura 9 temos uma visão ampla dos passos descritos acima.

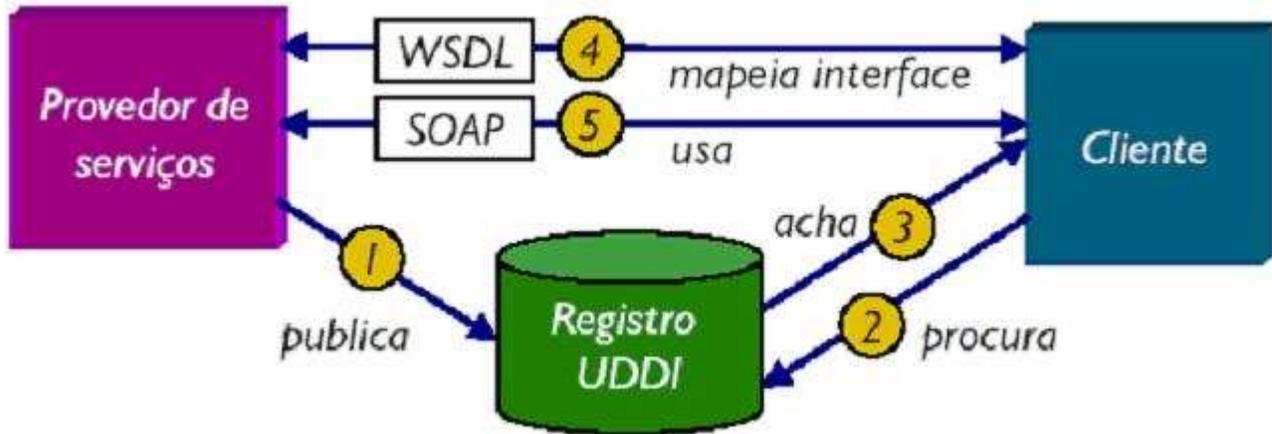


Figura 9: Requisição e provimento de um serviço

6.2 Contribuição dos WSs no controle de redes ópticas

Os WSs são uma opção muito interessante para o plano de controle de redes ópticas. Podemos, por exemplo, realizar a sinalização de um *light-path* através de WSs, onde um nó de origem requisita uma conexão a um determinado destino usando WSs. Extrapolando um pouco, podemos imaginar que todos os elementos de rede poderiam ter um WS, no qual estariam descritos quais serviços estão disponíveis e como acessá-los. Isto representaria um fim à padronização que deve ser imposta para que fabricantes diferentes possam fabricar um hardware. Basta registrar um serviço em um registro que possa ser visto por todos do domínio, descrevendo quais serviços ou tarefas este elemento de rede pode realizar.

Uma visão um pouco menos utópica sobre WSs¹³ seria na sinalização entre domínios. Neste caso, imaginemos que um domínio A requisita um serviço para outro domínio B como, por exemplo, uma conexão que atravessasse B e siga em direção a um outro destino, com determinada qualidade de serviço, utilizando um WS. Não há a necessidade de A conhecer as políticas internas à B, este fornece a conexão ao domínio A, com a qualidade de serviço desejado (ou aproximada), baseado em seus mecanismos internos. Este exemplo mostra a integração entre domínios administrativos diferentes que se torna possível, necessitando apenas que os domínios se comuniquem via Web-Services.

Devido ao grande potencial dos Web-Services para a simplificação da comunicação no plano de controle, e mesmo entre planos de controle distintos, foi feito um estudo sobre suas características e funcionalidades, os quais estão descritos de maneira simplificada neste relatório.

7 Atividade 2 : Modelo de Informação

A segunda atividade prevista neste trabalho de iniciação científica é o estudo de um modelo de informação adequado para o plano de controle de redes ópticas. Temos que optar por um modelo de informação que seja completo, simples, de fácil interpretação e, de preferência, não-proprietário.

Entendemos como modelo de informação como um modelo básico de hardware ou de algum serviço a ser controlado ou gerenciado. A existência de um modelo básico padrão permite

¹³Não existe a possibilidade de todos os elementos de rede possuírem suporte a WS tão logo, pois, além de ser uma tecnologia nova passando por amadurecimento, muitos elementos de rede existentes não possuem capacidade para isso, sendo necessário substituí-los.

que seja possível controlar equipamentos e serviços oriundos de diferentes fabricantes em uma mesma rede óptica.

O modelo de informação já foi associado aos protocolos de gerenciamento e controle, como, por exemplo, o MIB (*Management Information Base*) que é associado ao SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Mudanças no SNMP poderia implicar em mudanças no MIB e vice-versa. Atualmente há a tentativa de separar o modelo de informação dos protocolos de gerenciamento e controle, de maneira que ambos possam evoluir separadamente. Além disso, o uso de um modelo de informação específico não implica em uma maneira específica de controle e gerência. Portanto, buscamos um modelo de informação que não restrinja nossas opções de protocolos.

Os estudos feitos durante este período nesta iniciação científica identificaram um modelo de informação que se torna ideal para as aplicações que propomos: unificar e simplificar o controle e gerência de redes ópticas. Este modelo de informação é o XML.

7.1 XML

XML é a abreviação de *eXtensible Markup Language*. Esta linguagem surgiu originalmente como um complemento ao HTML¹⁴. Trata-se de uma linguagem de marcação, baseado em texto puro, que contém dados autodescritivos. Citaremos a seguir as características desta linguagem que foram decisivas para nossa escolha.

Ao contrário do HTML, o XML não define um conjunto de *tags*¹⁵ padrões. Ele consiste em definir a semântica dos próprios dados através de suas *tags*. Desta forma, um documento XML pode definir qualquer coisa, desde um ficha de cadastro até informações de roteamento ou mensagens de notificação, ou ainda dados de um software específico. Tudo depende apenas da semântica contida nos dados. A figura 10 mostra um exemplo de um documento em HTML e um outro documento em XML, de maneira que se possa perceber a diferença entre as duas linguagens.

Outra característica do XML é sua característica aberta. Isto proporciona independência de plataforma, aplicação e protocolos. Esta liberdade torna o projeto de um plano de controle mais flexível, podendo ser usado em qualquer sistema operacional. Por ser uma linguagem aberta, uma grande quantidade de ferramentas, das mais diferentes utilidades, estão disponíveis abertamente pela Internet. Esta é uma vantagem decisiva entre padrões abertos e proprietários. Algumas das ferramentas mais usadas para o tratamento de documentos XML são:

- DOM (*Document Object Model*) e SAX (*Simple API for XML*): são dois parsers de documentos XML. O DOM permite que um arquivo XML seja lido para dentro da memória e armazenado em estrutura de árvore, o que permite a realização de operações com o documento XML. Já o SAX utiliza somente leitura seqüencial, sendo mais leve e rápido do que o DOM, porém não suporta operações com o documento. Se o arquivo XML é grande e possui poucos elementos¹⁶ recomenda-se o uso do SAX. Se o documento precisa ser lido várias vezes e necessita ser manipulado o DOM é mais apropriado.
- XSLT (*eXtensible Stylesheet Language Transformations*): Esta ferramenta transforma um documento XML para outro formato, como HTML, XHTML, WML e outros.
- XPath: ferramenta que atua como um índice, sendo capaz de referenciar partes específicas de um documento XML.

¹⁴ *Hyper Text Markup Language*.

¹⁵ *Tags* são marcadores de início e fim de um conjunto de dados.

¹⁶ Elementos neste caso são dados delimitados por *tags*.

```

<html>
<head>
<meta http-equiv="content-type" content="text/html; charset=UTF-8">
<title>TÍTULO DA PÁGINA</title>
<style><!-- body,td,a,p,h{font-family:arial,sans-serif;} .h{font-size: 20px;} .q{color:#0000cc;} --></style>
<script><!-- function sf(){document.f.q.focus();} --> </script>
</head>
<body bgcolor=#ffffff text=#000000 link=#0000cc vlink=#651a8b alink=#ff0000 onLoad=sf()>
<center>
TEXTO DA PÁGINA
</center>
</body>
</html>

```

a

```

<Registro de serviço>
  <nome> Fulano da Silva </nome>
  <nascimento> 22 de novembro de 1965 </nascimento>
  <estado civil> casado </estado civil>
  <RG> 1.234.567 </RG>
  <Tipo de serviço> Limpeza de vaso sanitário </Tipo de serviço>
  <Funcionário> Ciclano de Sousa </Funcionário>
  <Valor> R$30,00 </Valor>
  <Forma de pagamento> Dinheiro </Forma de pagamento>
  <Data> 15 de fevereiro de 2005 </Data>
</Registro de serviço>

```

b

Figura 10: Dois exemplos de documentos escritos em HTML (a) e em XML (b). No documento em HTML temos *tags* que possuem significado reservado (como as *tags header e body*), atuando similarmente a comandos. Já no documento em XML, as *tags* são responsáveis por dar sentido aos dados do documento.

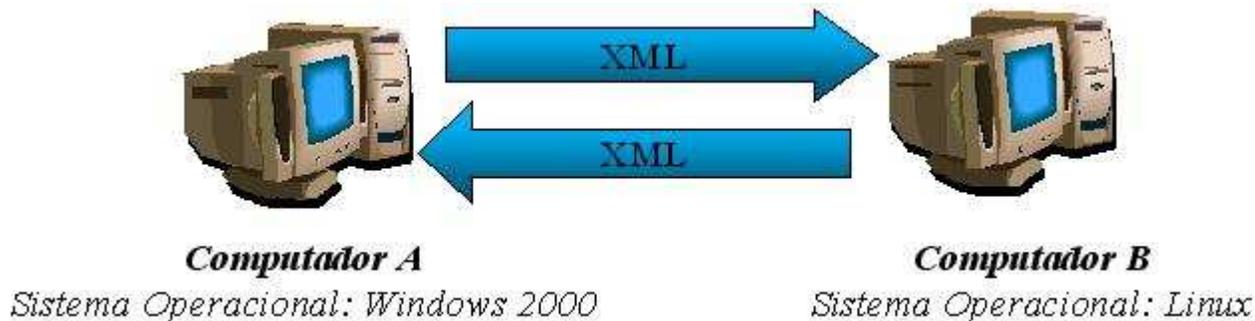


Figura 11: Mecanismo de comunicação entre Web-Services, o qual é baseado em XML.

Por se basear em texto plano, criar ou editar um documento XML são atividades simples, as quais necessitam somente de um editor de texto. Sua característica autodescritiva permite uma facilidade para depurações, não necessitando nenhum conhecimento de significado de *tags* como ocorre no HTML. Possui rápido acesso, graças a sua estrutura hierárquica de armazenar os dados.

Como a semântica de um documento em XML depende somente de seu conteúdo, podemos utilizar o XML de várias maneiras dentro de um projeto de plano de controle. Ele pode ser usado para a configuração, para armazenamento de dados, para a troca de mensagens, para comunicação entre aplicações, além de outros usos.

A última razão que citaremos para justificar a escolha do XML como modelo de informação¹⁷ é a possibilidade do uso de Web-Services em nosso projeto de plano de controle. A arquitetura de comunicação dos WSs é baseada em XML, ou seja, documentos XML são trocados entre as entidades cliente e provedora. Esta é uma das características que permite que os WSs sejam independentes de plataforma. Nossa idéia neste caso é simplesmente usar o XML como modelo de informação padrão para nossa arquitetura, uma vez que já é padrão para a implementação de WSs, não necessitando assim um outro modelo de informação à parte.

Os elementos do plano de controle de redes ópticas que imaginamos então serão modelados a partir do XML. Com isso, existe uma facilidade maior na implementação do protótipo, devido a todo o suporte e as facilidades oferecidas por este modelo de informação.

8 Implementação

A implementação do plano de controle de rede óptica já está em andamento. Agora estamos na fase de definição, onde os detalhes finais sobre os segmentos do plano de controle serão determinados. É uma etapa importante, principalmente porque se define, dentre outros aspectos, como serão as relações entre o plano de controle e o plano de gerência.

O plano de controle que temos em mente será algo mais próximo do plano de controle GMPLS, exibido neste relatório, porém com algumas idéias do Projeto Canarie, como o uso de Web-Services. Planejamos desenvolver um plano de controle que seja o mais automatizado possível, de maneira a maximizar a performance da rede óptica. Nossos testes estão sendo feitos em um simulador chamado GLASS (*GMPLS Lightwave Agile Switching Simulator*). Usaremos o XML como modelo de informação deste plano de controle, devido aos motivos já citados anteriormente.

Esta implementação está sendo feita em conjunto com uma equipe do Laboratório de Engenharia de Computação e Automação Industrial, o LCA, localizado na FEEC - UNICAMP.

¹⁷Existem mais razões para nossa escolha, porém nos limitaremos a citar somente as principais.

9 Conclusão e Comentários

Este trabalho de iniciação científica está sendo bem orientado e bem executado. Foi feito um longo estudo sobre o funcionamento básico das redes ópticas e sobre os diversos modelos de plano de controle para controlar esses novos tipos de rede. Este estudo preliminar proporcionou uma visão mais ampla e crítica do trabalho e da implementação que está sendo feita.

No relatório final pretendemos relatar maiores detalhes da implementação feita, assim como as decisões de projeto, dificuldades encontradas e resultados obtidos, concluindo assim este projeto de iniciação científica.

Referências

- [1] G. Bernstein, *et al.*, *Optical Network Control: Architecture, Protocols and Standards*, Addison Wesley, (2004).
- [2] A. S. Tanenbaum, *Redes de Computadores*, 4^a edição, Editora Campus.
- [3] ITU-T, *TMN Management Functions*, Recommendation M.3400, 2000.
- [4] D. Awduche, *et al.*, *Requirements for Traffic Engineering over MPLS*, IETF RFC2702, 1999.
- [5] Maurício Magalhães e Eleri Cardozo, *Introdução à Comutação IP por Rótulos Através de MPLS*, Maio de 2001.
- [6] <http://www.dataconnection.com/mpls/optical.htm>
- [7] E. Mannie, *et al.*, *Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Architecture*, IETF Internet Draft
- [8] <http://www.calient.net/files/GMPLS.pdf>
- [9] <http://www.labn.net/docs/gmpls-0103.pdf>
- [10] Fabrizzio Cabral de Lacerda e Rafael Luiz Duarte, *XML e Web Services*, apresentação de slides feita em 27 de março de 2004.
- [11] <http://www.w3.org/2002/ws/>
- [12] <http://msdn.microsoft.com/webservices/>
- [13] <http://www.webservices.org/>
- [14] <http://www.webservicesarchitect.com/>
- [15] <http://java.sun.com/webservices/index.jsp>
- [16] ITU-T, *Generic Network Information Model*, Recommendation M.3100, 1995.
- [17] <http://www.w3.org/XML/>
- [18] <http://www.xml.com/>
- [19] <http://www.xml.org/>
- [20] <http://xml.apache.org/>