

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



ANTÔNIO JORGE GOMES ABELÉM

Difusão Seletiva em Inter-Redes IP Baseadas em Redes Ópticas

TESE DE DOUTORADO

DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

Programa de Pós-Graduação em Informática

Rio de Janeiro

abril 2003



Antônio Jorge Gomes Abelém

**Difusão Seletiva em Inter-Redes IP
Baseadas em Redes Ópticas**

Tese de Doutorado

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio.

Orientadores: Prof. Michael Anthony Stanton
Profa. Noemi La Rocque Rodriguez

Rio de Janeiro, abril de 2003



Antônio Jorge Gomes Abelém

**Difusão Seletiva em Inter-Redes IP
Baseadas em Redes Ópticas**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Informática da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Michael Anthony Stanton
Orientador
UFF

Profa. Noemi de La Rocque Rodriguez
Co-orientadora
PUC-Rio

Prof. Luiz Fernando Gomes Soares
PUC-Rio

Prof. Sérgio Colcher
PUC-Rio

Prof. Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte
UFRJ

Prof. Maurício Ferreira Magalhães
UNICAMP

Prof. Ney Augusto Dumont
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 02 de abril de 2003

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Antônio Jorge Gomes Abelém

Graduou-se em Engenharia Elétrica, opção eletrônica, em 1990, pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Obteve o título de mestre em Engenharia Elétrica, área de concentração Sistema de Computação, pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), em 1994. Professor efetivo do Departamento de Informática da UFPA desde abril de 1996. Professor-pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da UFPA desde 2003. Ministrou disciplinas para cursos de especialização em redes de computadores na PUC-Rio, na UNAMA e na UFPA, sendo neste último criador e coordenador do curso no período de 1996 a 1998. Atuou como consultor na área de redes para a RNP e para o IDESP-PA. Áreas de interesse incluem arquiteturas de redes de computadores, difusão seletiva, redes ópticas e qualidade de serviço (QoS).

Ficha Catalográfica

<p>Abelém, Antônio Jorge Gomes</p> <p>Difusão seletiva em inter-redes IP baseadas em redes ópticas / Antônio Jorge Gomes Abelém; orientadores: Michael Anthony Stanton, Noemi La Rocque Rodriguez. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Informática, 2003.</p> <p>[16], 114 f. : il. ; 30 cm</p> <p>Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Informática.</p> <p>Inclui referências bibliográficas.</p> <p>1. Informática – Teses. 2. Redes de alta velocidade. 3. Difusão seletiva em redes ópticas. 4. IP sobre WDM. 5. Comutação de rajadas ópticas (OBS). 6. MPLS generalizado (GMPLS). I. Stanton, Michael Anthony. II. Rodriguez, Noemi La Rocque. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. IV. Título.</p>

CDD: 004

À minha esposa Vanuzia,
pela cumplicidade em todos os momentos.

Agradecimentos

- Primeiramente a Deus por ter me abençoado com inspiração e perseverança para conseguir terminar este trabalho.
- Ao meu orientador, prof. Michael Stanton, pelo apoio irrestrito, pela amizade, paciência, dedicação e confiança depositada.
- À minha co-orientadora, profa. Noemi de La Rocque Rodriguez, por sua compreensão, paciência e pelas preciosas contribuições na conclusão da tese.
- Ao prof. Luiz Fernando Gomes Soares, pelas importantes contribuições e pela colaboração ao longo de todo o curso.
- Aos professores Otto Duarte, Maurício Magalhães e Sérgio Colcher, por terem aceitado participar da banca da tese e pelas contribuições na correção da mesma.
- Aos amigos do Departamento de Informática da PUC-Rio, em especial aos amigos do Laboratório Telemídia Sérgio, Rogério, Débora, Tadeu, Alésio, Luciana, Marcelo, Mele, Flávio, Carlos, Cláudia e Marcel pelo carinho, amizade, apoio e paciência durante esses anos de convivência.
- Aos “super-amigos da terrinha”, pelos momentos de alegria e descontração, mesmo que muitas vezes remotamente.
- À PUC-Rio, especialmente ao Departamento de Informática, seus professores e funcionários, por oferecerem todas as condições para que seus alunos realizem seus cursos de pós-graduação com sucesso.
- À Universidade Federal do Pará, UFPA, especialmente aos colegas professores do Departamento de Informática, pela apoio e confiança.
- Em especial aos meus pais, pelo carinho, dedicação e incentivo irrestritos, sempre proporcionado todas as condições para realização deste sonho.
- À RNP, pelo apoio e oportunidade de aprendizado.
- À CAPES, pelo auxílio financeiro durante o curso.

Resumo

Abelém, Antônio Jorge Gomes. Stanton, Michael Anthony (Orientador). **Difusão Seletiva em Inter-Redes IP Baseadas em Redes Ópticas**. Rio de Janeiro, 2003. 114p. Tese de Doutorado - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A difusão seletiva e os recentes avanços na tecnologia de transmissão óptica, mais especificamente na multiplexação por comprimento de onda (“Wavelength Division Multiplexing-WDM”), aliados à consolidação do IP como protocolo dominante das redes convergentes, vêm oferecendo novas perspectivas para as futuras gerações de inter-redes. Este trabalho faz uso da evolução dessas tecnologias para propor um conjunto de adaptações à difusão seletiva, em especial ao IP Multicast, denominado MIRROR (“Multicast IP para Redes baseadas em Rajadas Ópticas Rotuladas”). A proposta MIRROR sugere modificações e adequações para tornar o IP Multicast menos complexo, mais escalável em relação ao número de grupos ativos simultaneamente e mais adequado às redes baseadas em comutação óptica. Basicamente, MIRROR revê a necessidade de todos os roteadores ao longo da árvore de distribuição multiponto manterem informações de estado relacionadas a esta, bem como sugere adequações na forma como os caminhos multiponto são estabelecidos quando se emprega comutação baseada em rótulos na difusão seletiva. Para avaliar a proposta MIRROR, investiu-se em duas frentes distintas, uma baseada na análise comparativa entre a MIRROR e algumas alternativas ao IP Multicast apresentadas na literatura, e outra baseada no desenvolvimento de um protótipo da proposta no simulador NS (“Network Simulator”), com o intuito de referendar os resultados da análise comparativa. Na análise comparativa, confronta-se parâmetros como: requisitos de informações de estado, custo com informações de controle, custo de encaminhamento dos pacotes e custo da árvore de multiponto. O desenvolvimento do protótipo envolveu a criação de uma nova estrutura de nó e a alteração de módulos já existentes no NS, para tornar possível a simulação de redes comutadas por rajadas ópticas rotuladas no contexto da difusão seletiva.

Palavras-chave

Redes de alta velocidade, difusão seletiva em redes ópticas, IP sobre WDM, comutação de rajadas ópticas (OBS), MPLS Generalizado (GMPLS).

Abstract

Abelém, Antônio Jorge Gomes. Stanton, Michael Anthony (Advisor). **Multicast Communication in Optical IP Internetworks**. Rio de Janeiro, 2003. 114p. PhD Thesis - Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Multicast communication and recent advances in optical technology, most specifically in Wavelength Division Multiplexing (WDM), allied with the consolidation of IP as the dominant protocol of convergent networks, offer new perspectives for the next generation Internet. This thesis utilises these technologies to propose a set of adaptations, called MIRROR, to multicast communication, specifically IP Multicast, in labelled burst-switched optical networks. MIRROR proposes modifications to traditional IP Multicast in order to improve its scalability as a function of the number of simultaneously active groups, as well as making it more appropriate for use in optically switched networks. Basically, MIRROR includes new proposals for handling state information about the multicast distribution tree, as well as for the establishment of label-based multicast paths. In order to evaluate this proposal, two approaches are followed, one based on a comparative analysis between MIRROR and a number of other alternatives to IP Multicast proposed in the literature, and the other based on the implementation of a prototype in the simulation environment provided by NS (Network Simulator). The comparative analysis evaluates such parameters as: state requirement information, control overhead, packet processing efficiency and tree cost. The prototype implementation implements a new node structure and alters existing NS modules (OBS e MPLS), to make possible the simulation of labelled burst-switched optical networks in the multicast context.

Keywords

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

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
1.1. DIFUSÃO SELETIVA E A EVOLUÇÃO NAS REDES ÓPTICAS	17
1.2. OBJETIVOS	20
1.3. DESCRIÇÃO DO TRABALHO	21
1.4. ORGANIZAÇÃO DA TESE	23
2 INTER-REDES IP BASEADAS EM COMUTAÇÃO ÓPTICA	24
2.1. INTRODUÇÃO	24
2.2. PARADIGMAS DE COMUTAÇÃO ÓPTICA	25
2.2.1. <i>Comutação de Lambdas</i>	28
2.2.2. <i>Comutação de Pacotes Ópticos</i>	30
2.2.3. <i>Comutação de Rajadas Ópticas</i>	31
2.2.3.1. As Abordagens de Comutação de Rajadas	33
2.2.3.2. Comparação entre as Abordagens de Comutação de Rajadas	34
2.2.3.3. Um Protocolo OBS Eficiente	35
2.3. RÓTULOS GERAIS (GENERALIZED MPLS)	37
2.4. ALTERNATIVAS DE INTEGRAÇÃO ENTRE IP E WDM	40
2.5. INTER-REDES IP BASEADAS EM COMUTAÇÃO ÓPTICA	43
2.5.1. <i>Modelos de Serviços</i>	44
2.5.2. <i>Modelos de interação entre IP e as Redes Ópticas</i>	45
2.5.3. <i>Roteamento</i>	47
2.5.3.1. Possíveis Adaptações no Roteamento para Redes OPS e OBS	48
2.5.4. <i>Sinalização & Controle</i>	49
2.5.4.1. Possíveis Adaptações na Sinalização para Redes OPS e OBS	50
2.5.5. <i>Proteção e Recuperação</i>	51
2.5.5.1. Possíveis Adaptações na Proteção para Redes OPS e OBS	52
3 DIFUSÃO SELETIVA EM REDES IP SOBRE WDM	54
3.1. INTRODUÇÃO	54
3.2. AVALIAÇÃO DO IP MULTICAST	55

3.3. IP MULTICAST NO CONTEXTO DA COMUTAÇÃO BASEADA EM RÓTULOS	59
3.3.1. <i>Formas de Disparar o Estabelecimento de LSPs</i>	60
3.3.2. <i>Controle Independente versus Controle Ordenado</i>	61
3.3.3. <i>Atribuição de Rótulos</i>	63
3.3.4. <i>Outras Questões</i>	64
3.4. IP MULTICAST E A DIFUSÃO SELETIVA EM REDES IP SOBRE WDM	65
3.4.1. <i>Roteamento Multiponto em Redes WDM</i>	67
3.4.2. <i>IP Multicast em Redes WDM</i>	69
4 A PROPOSTA MIRROR	73
4.1. INTRODUÇÃO	73
4.2. MODELO DE REFERÊNCIA ADOTADO	74
4.3. ÁRVORE DE DISTRIBUIÇÃO E ROTEAMENTO MULTIPONTO	76
4.3.1. <i>Compartilhamento das Árvores multiponto</i>	80
4.3.2. <i>Engenharia de Tráfego</i>	82
4.4. SINALIZAÇÃO E CONTROLE	82
4.4.1. <i>Formas de Disparar o Estabelecimento de LSPs</i>	83
4.4.2. <i>Controle Independente versus Controle Ordenado</i>	84
4.4.3. <i>Atribuição de Rótulos</i>	85
4.4.4. <i>Engenharia de Tráfego e Outras Questões</i>	86
4.5. PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO	87
5 ANÁLISE DA PROPOSTA MIRROR	89
5.1. INTRODUÇÃO	89
5.2. TRABALHOS RELACIONADOS	90
5.3. AVALIAÇÃO DO PARADIGMA OBS	92
5.4. ANÁLISE COMPARATIVA DA PROPOSTA MIRROR	95
5.4.1. <i>Requisitos de Informações de Estado</i>	96
5.4.2. <i>Custo de Encaminhamento dos Pacotes</i>	98
5.4.3. <i>Custo com Informações de Controle</i>	99
5.4.4. <i>Custo da Árvore Multiponto</i>	101
5.4.5. <i>Análise Crítica dos Resultados</i>	102
5.5. IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO PARA SIMULAÇÕES	104
5.5.1. <i>Extensões Desenvolvidas para o Simulador NS</i>	104

5.5.2. Resultados e Análise das Simulações.....	108
5.5.2.1. Requisitos de Informações de Estado.....	110
5.5.2.2. Custo de Encaminhamento dos Pacotes.....	111
5.5.2.3. Custo com Informações de Controle.....	112
5.5.2.4. Custo da Árvore de Distribuição Multiponto.....	114
6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	117
6.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	117
6.2. CONTRIBUIÇÕES SECUNDÁRIAS.....	120
6.3. CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS E TRABALHOS FUTUROS.....	121
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 – SISTEMA WDM: MULTIPLEXAÇÃO POR COMPRIMENTO DE ONDA.....	18
FIGURA 2.1 – ESQUEMA BÁSICO DE UM COMUTADOR OEO	25
FIGURA 2.2 – COMUTADORES ÓPTICOS USANDO TECNOLOGIA MEMS: (A) OADM FEITO COM TECNOLOGIA 2-D; (B) OXC FEITO COM TECNOLOGIA 3-D.	26
FIGURA 2.3 – REDE ÓPTICA BASEADA EM COMUTAÇÃO “MANUAL” DE LAMBDA. ...	28
FIGURA 2.4 – REDE ÓPTICA BASEADA EM COMUTAÇÃO “DINÂMICA” DE LAMBDA ..	29
FIGURA 2.5 – ILUSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA COMUTAÇÃO DE PACOTES ÓPTICOS	30
FIGURA 2.6 – ESTRUTURA DOS PACOTES ÓPTICOS ADOTADA NO PROJETO KEOPS.	31
FIGURA 2.7 – REDE ÓPTICA BASEADA EM COMUTAÇÃO DE RAJADAS ÓPTICAS	32
FIGURA 2.8 – FUNCIONAMENTO BÁSICO DO PROTOCOLO JET.....	36
FIGURA 2.9 – FUNCIONAMENTO BÁSICO DO MPLS.	38
FIGURA 2.10 – ALTERNATIVAS DE ARQUITETURAS PARA AS REDES IP SOBRE WDM.	41
FIGURA 2.11 – PLANOS DE CONTROLE E DE ENCAMINHAMENTO	44
FIGURA 2.12 – MODELO DE SOBREPOSIÇÃO (“OVERLAY”).....	46
FIGURA 2.13 – MODELO DE PARES (“PEER”).....	47
FIGURA 2.14 – ILUSTRAÇÃO DOS ESQUEMAS DE PROTEÇÃO PARA REDE IP SOBRE WDM.	52
FIGURA 3.15 – ESTABELECIMENTO DE LSPS ORIENTADO PELO TRÁFEGO COM CONTROLE ORDENADO.	63
FIGURA 3.16 – ALTERNATIVAS DE IMPLEMENTAÇÃO DE SERVIÇOS DE DIFUSÃO SELETIVA EM REDES IP SOBRE WDM: (A) DIFUSÃO SELETIVA NA CAMADA IP; (B) VIA MÚLTIPLOS CAMINHOS DE LUZ NA CAMADA WDM; (C) DIFUSÃO SELETIVA DIRETO NA CAMADA WDM.....	66
FIGURA 3.17 – ILUSTRAÇÃO DO PROBLEMA DE UTILIZAÇÃO DE ÁRVORES COMPARTILHADAS NO CONTEXTO DA COMUTAÇÃO DE LAMBDA. ...	70
FIGURA 3.18 – ILUSTRAÇÃO DO PROBLEMA DE UTILIZAÇÃO DE ÁRVORES COMPARTILHADAS DA FORMA COM SÃO CONSTRUÍDAS NO	

PROCOLO PIM-SM.	71
FIGURA 4.1 – MODELO DE REDE ADOTADO PARA A PROPOSTA MIRROR, COMPOSTO DE MÚLTIPLOS DISPOSITIVOS DE COMUTAÇÃO ÓPTICOS (LSC), INTERCONECTADOS ATRAVÉS DE UMA MALHA ÓPTICA.	74
FIGURA 4.2 – VISÃO GERAL SOBRE O ESQUEMA DE ENCAPSULAMENTO.	77
FIGURA 4.3 – SITUAÇÕES POSSÍVEIS DE OCORRER O COMPARTILHAMENTO DA ÁRVORE MULTIPONTO.	81
FIGURA 5.1 – OCUPAÇÃO DOS CANAIS COM PARADIGMA OBS.	94
FIGURA 5.2 – ESTRUTURA FUNCIONAL DO NOVO NÓ PARA O NS.	106
FIGURA 5.3 – TOPOLOGIA UTILIZADA NAS SIMULAÇÕES.	109
FIGURA 5.4 – REQUISITO DE INFORMAÇÕES DE ESTADOS PARA A MIRROR E DEMAIS PROPOSTAS.	110
FIGURA 5.5 – CUSTO COM ENCAMINHAMENTO DE PACOTES PARA MIRROR E DEMAIS PROPOSTAS.	111
FIGURA 5.6 – CUSTO COM INFORMAÇÕES DE CONTROLE PARA AS PROPOSTAS MIRROR E XCAST.	112
FIGURA 5.7 – COMPARAÇÃO ENTRE O CUSTO COM INFORMAÇÕES DE CONTROLE PARA A PROPOSTA MIRROR, CALCULADO PELA EQUAÇÃO 14, COM O CUSTO MEDIDO NAS SIMULAÇÕES.	113
FIGURA 5.8 – ÁRVORES MULTIPONTO CONSTRUÍDAS A PARTIR DE UMA TOPOLOGIA COM ENLACES SIMÉTRICOS PELAS ABORDAGENS: (A) MIRROR (B) SSM.	114
FIGURA 5.9 – TOPOLOGIA COM ENLACES ASSIMÉTRICOS.	115
FIGURA 5.10 – ÁRVORES MULTIPONTO CONSTRUÍDAS A PARTIR DE UMA TOPOLOGIA COM ENLACES ASSIMÉTRICOS PELAS PROPOSTAS: (A) MIRROR (B) SSM.	115

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 – COMPARAÇÃO ENTRE OS ESQUEMAS DE ENQUADRAMENTO PARA IP SOBRE WDM	42
TABELA 3.1 – SUMÁRIO DAS PRINCIPAIS PROPOSTAS PARA ALTERAR O MODELO TRADICIONAL DO IP MULTICAST.....	58
TABELA 5.1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS PARADIGMAS DE COMUTAÇÃO ÓPTICA.....	92
TABELA 5.2 – ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS PRINCIPAIS OPÇÕES AO IP MULTICAST ATUAL.	103

Lista de Abreviaturas e Siglas

AIM	ADDRESSABLE INTERNET MULTICAST
ARDA	ADVANCED RESEARCH AND DEVELOPMENT AGENCY
AS	AUTONOMOUS SYSTEM
ATM	ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE
BCP	BURST CONTROL PACKET
BER	BIT ERROR RATE
BGMP	BORDER GATEWAY MULTICAST PROTOCOL
BGP	BORDER GATEWAY PROTOCOL
BST	BINARY SEARCH TREE
CANARIE	CANADIAN NETWORK FOR THE ADVANCEMENT OF RESEARCH, INDUSTRY AND EDUCATION
CBT	CORE BASE TREE
CR-LDP	CONSTRAINT ROUTING LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL
DVMRP	DISTANCE VECTOR MULTICAST ROUTING PROTOCOL
FDDI	FIBER DISTRIBUTED DATA INTERFACE
FDL	FIBER DELAY LINES
FDM	FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING
FEC	FORWARDING EQUIVALENCE CLASS
GFP	GENERIC FRAMING PROCEDURE
GMPLS	GENERALIZED MULTI-PROTOCOL LABEL SWITCHING
HBH	HOP BY HOP
HDLC	HIGH-LEVEL DATA LINK CONTROL
IBT	IN BAND TERMINATOR
IEEE	INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
IETF	INTERNET ENGINEERING TASK FORCE
IGMP	INTERNET GROUP MEMBERSHIP PROTOCOL
IGP	INTERIOR GATEWAY PROTOCOL
IP	INTERNET PROTOCOL
IPO	IP OVER OPTICAL
IS-IS	INTERMEDIATE SYSTEM- INTERMEDIATE SYSTEM

ITU	INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION
KEOPS	KEY OPTICAL PACKET SWITCHING
LDP	LABEL DISTRIBUTION PROTOCOL
LIB	LABEL INFORMATION BASE
LSC	LAMBDA SWITCHING CROSSCONNECT
LSP	LABEL SWITCHED PATH
LSR	LABEL SWITCHING ROUTER
LTD	LIGHTPATH TOPOLOGY DESIGN
LOBS	LABELED OPTICAL BURST SWITCHING
LSP	LABEL SWITCHED PATH
LSR	LABEL-SWITCHED ROUTERS
MAAA	MULTICAST ADDRESS ALLOCATION ARCHITECTURE
MBGP	MULTICAST BORDER GATEWAY PROTOCOL
MIRROR	MULTICAST IP PARA REDES BASEADAS EM RAJADAS ÓPTICAS ROTULADAS
MOSPF	MULTICAST EXTENSIONS TO OSPF
MPLS	MULTI-PROTOCOL LABEL SWITCHING
MP λ S	MULTI-PROTOCOL LAMBDA SWITCHING
MSDP	MULTICAST SOURCE DISCOVERY PROTOCOL
NMS	NETWORK MANAGEMENT SYSTEM
NNI	NETWORK NETWORK INTERFACE
NS	NETWORK SIMULATOR
OADM	OPTICAL ADD-DROP MULTIPLEXERS
OBS	OPTICAL BURST SWITCHING
OIF	OPTICAL INTERNETWORKING FORUM
OPS	OPTICAL PACKET SWITCHING
OSPF	OPEN SHORTEST PATH FIRST
OTPN	OPTICAL TRANSPARENT PACKET NETWORK
OXC	OPTICAL CROSSCONNECT
PFT	PARTIAL FORWARDING TABLE
PGM	PRETTY GOOD MULTICAST
PIM	PROTOCOL INDEPENDENT MULTICAST
PPP	POINT TO POINT PROTOCOL

QoS	QUALITY OF SERVICE
REUNITE	RECURSIVE UNICAST TREES
RFD	RESERVE A FIXED DURATION
RLM	RECEIVER-DRIVEN LAYER MULTICAST
RP	RENDEZVOUS POINT
RPF	REVERSE PATH FORWARDING
RSVP	RESOURCE RESERVATION PROTOCOL
RWA	ROUTING AND WAVELENGTH ASSIGNMENT
SDH	SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY
SLA	SERVICE LEVEL AGREEMENT
SM	SIMPLE MULTICAST
SONET	SYNCHRONOUS OPTICAL NETWORK
SPE	SYNCHRONOUS PAYLOAD ENVELOPE
SPT	SHORTEST PATH TREE
SRM	SCALABLE RELIABLE MULTICAST
SSM	SOURCE SPECIFIC MULTICAST
TAG	TELL AND GO
TE	TRAFFIC ENGINEERING
TTL	TIME TO LIVE
UNI	USER NETWORK INTERFACE
VINT	VIRTUAL INTERNETWORK TESTBED
VPN	VIRTUAL PRIVATE NETWORK
XCAST	EXPLICIT MULTICAST
WDM	WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING