



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. <i>As Abordagens de Comutação de Rajadas</i> | 33 |
| 2.2.3.2. <i>Comparação entre as Abordagens de Comutação de Rajadas</i> | 34 |
| 2.2.3.3. <i>Um Protocolo OBS Eficiente</i> | 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. <i>Possíveis Adaptações no Roteamento para Redes OPS e OBS</i> | 48 |
| 2.5.4. <i>Sinalização & Controle</i> | 49 |
| 2.5.4.1. <i>Possíveis Adaptações na Sinalização para Redes OPS e OBS</i> | 50 |
| 2.5.5. <i>Proteção e Recuperação</i> | 51 |
| 2.5.5.1. <i>Possíveis Adaptações na Proteção para Redes OPS e OBS</i> | 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 |