



Pós-Graduação em Ciência da Computação

“O Impacto de Controladores de Banda em Domínios DiffServ e Roteamento Dinâmico”

Por

ANA PAULA SILVA DOS SANTOS

Dissertação de Mestrado



Universidade Federal de Pernambuco
posgraduacao@cin.ufpe.br
www.cin.ufpe.br/~posgraduacao

RECIFE, JANEIRO/2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ANA PAULA SILVA DOS SANTOS

“O IMPACTO DE CONTROLADORES DE BANDA EM
DOMÍNIOS DIFFSERV E ROTEAMENTO DINÂMICO”

*ESTE TRABALHO FOI APRESENTADO À PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO DO CENTRO DE INFORMÁTICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO.*

ORIENTADOR(A): DJAMEL FAWZI HADJ SADOK

RECIFE, JANEIRO/2003

Dedicatória

Dedico este trabalho a Deus que me deu o Dom da perseverança e muita energia para vencer mais esta etapa de vida.

Ao meu marido pelo incentivo, paciência, compreensão e atenção.

Dedico, em especial, aos meus queridos pais que me forneceram todos os motivos para realização deste trabalho e evolução profissional.

A todos os meus parentes, tendo como precursora a minha estimada Avó Alice Santana e aos já ausentes Avós.

Ao meu orientador Djamel Sadok e aos demais professores pelo esforço conjunto para a conclusão desse mestrado.

Aos amigos e aos colegas do grupo de trabalho de Qualidade de Serviço do CIN que me deram o apoio necessário nos momentos de dúvidas e indecisão.

Enfim, dedico a todos que me proporcionaram a realização deste sonho.

Resumo

Qualidade de Serviço (QoS) para redes TCP/IP é um conceito que promete promover a utilização de aplicações que necessitam de garantia e confiabilidade, na maior rede de computadores do mundo, a Internet. Dentre as arquiteturas disponíveis para se implementar QoS, uma baseada em priorização de pacotes ou serviços, denominada Serviços Diferenciados (*Differentiated Service - DiffServ*), define mecanismos e componentes para oferecer mais eficiência na utilização dos recursos da rede. O controlador de banda (*Bandwidth Broker - BB*) é o componente da arquitetura DiffServ que controla e gerencia os recursos disponíveis na rede, como largura de banda e as políticas de serviços entre domínios vizinhos. O perfil bilateral de negociação de serviços do controlador de banda implica na necessidade de manter um caminho ou rota preestabelecida para cada conexão negociada. Em domínios que utilizam roteamento dinâmico tal proposta é insatisfatória. Esta dissertação propõe um modelo de implementação que possibilita a utilização do controlador de banda em Domínios DiffServ com Roteamento Dinâmico. Neste trabalho, são previstos problemas de renegociação e realocação de recursos dentro de um ou mais domínios, avaliando, com simulações, o desempenho desta proposta.

Palavras-chaves: qualidade de serviço, serviços diferenciados, controlador de banda, roteamento dinâmico.

Abstract

Quality of Service (QoS) to TCP/IP networks is a technology that promises to improve applications by guarantying their reliability, in the biggest network of computers in the world, the Internet. Amongst the architectures to implement QoS, there is the Differentiated Service (DiffServ). An architecture based on the prioritization of packets or services that defines mechanisms and components to offer more efficient uses of the features of the network, in accordance with the service and politics of a domain. The Bandwidth Broker (BB) component of the DiffServ architecture controls and manages the resources in the network; such as bandwidth requirements that are negotiated with neighboring domains. The bilateral profile of service negotiation of the *bandwidth broker* implies in a bigger necessity to have a path or route preestablished for each connection what it makes, therefore it is difficult to operate in domains that use dynamic routing. This dissertation proposes a model that makes possible to use the Bandwidth Broker in DiffServ domains with dynamic routing, by foreseeing problems of renegotiating and reallocating resources to services inside one or more domains. The performance of this proposal is then evaluated, using simulations.

Keywords: quality of service, differentiated services, bandwidth broker, dynamic routing.

Sumário

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
GLOSSÁRIO	XI
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	13
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1. MOTIVAÇÃO.....	14
1.2. RESULTADOS PROPOSTOS.....	16
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	16
CAPÍTULO 2 QUALIDADE DE SERVIÇO NA INTERNET	18
2 QUALIDADE DE SERVIÇO NA INTERNET.....	19
2.1. APLICAÇÕES E TIPOS DE TRÁFEGO.....	19
2.2. ENGENHARIA DE TRÁFEGO.....	22
2.3. MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS).....	23
2.4. ROTEAMENTO BASEADO EM RESTRIÇÕES.....	24
2.5. SERVIÇOS INTEGRADOS.....	24
2.5.1. O PROTOCOLO RESERVA DE RECURSOS.....	25
2.6. SERVIÇOS DIFERENCIADOS.....	30
2.6.1. PHB EF.....	32
2.6.2. PHB AF.....	33
2.6.3. O CONTROLADOR DE BANDA.....	35
2.7. RESUMO.....	36
CAPÍTULO 3 DESVENDANDO O CONTROLADOR DE BANDA	37
3 DESVENDANDO O CONTROLADOR DE BANDA.....	38
3.1 ADMISSÃO LOCAL OU ESCOPO INTRADOMÍNIO.....	39
3.2 GERENCIAMENTO DE RECURSOS ENTRE DOMÍNIOS OU ESCOPO INTERDOMÍNIO.....	41
3.2.1 ACORDOS ENTRE DOMÍNIOS.....	42
3.3 SEGURANÇA EM OPERAÇÕES COM O CONTROLADOR DE BANDA.....	44
3.4 ARQUITETURA DO CONTROLADOR DE BANDA.....	45
3.4.2 BANDWIDTH BROKER DATABASE (BBD).....	45
3.4.3 BANDWIDTH BROKER SERVER (BBS).....	46
3.4.4 BANDWIDTH BROKER COMMAND LINE INTERFACES (BBCLI).....	46
3.4.5 BANDWIDTH BROKER AUTHENTICATION TUNNEL SERVER (BBATS).....	47
3.4.6 BANDWIDTH BROKER ADMINISTRATIVE SERVER (BBAS).....	47
3.5 ACORDOS DINÂMICOS ENTRE DOMÍNIOS.....	47
3.6 SINALIZAÇÃO COM RSVP.....	48
3.7 OPERAÇÃO DE UM CONTROLADOR DE BANDA.....	49
3.8 RESUMO.....	52
CAPÍTULO 4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DINÂMICO	53
4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DINÂMICO.....	54
4.1 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO DINÂMICO.....	54
4.2 ROUTING INFORMATION PROTOCOL - RIP.....	55
4.2.1 ALGORITMO BASEADO EM VETOR DE DISTÂNCIA.....	56
4.2.2 ESPECIFICAÇÕES DO PROTOCOLO RIP.....	59
4.3 OPEN SHORTEST PATH FIRST.....	61
4.3.1 ALGORITMO BASEADO NO ESTADO DO ENLACE.....	61
4.3.2 O PROJETO DO OSPF.....	63

4.4 BORDER GATEWAY PROTOCOL VERSION 4 — BGP-4	66
4.4.1 ALGORITMO BASEADO EM VETOR DE CAMINHO	67
4.4.2 ESPECIFICAÇÕES DO PROTOCOLO BGP	68
4.4.3 DETECÇÃO DE ERROS	70
4.4.4 POLÍTICAS E SEGURANÇA DE ROTEAMENTO DO BGP	70
4.5 RESUMO	71
CAPÍTULO 5 UM MODELO PARA O CONTROLADOR DE BANDA COM ROTEAMENTO DINÂMICO	72
5 UM MODELO PARA O CONTROLADOR DE BANDA E ROTEAMENTO DINÂMICO	74
5.1 CONTROLE GERENCIAL DA LARGURA DE BANDA	74
5.2 CONFLITOS DE NEGOCIAÇÃO COM POLÍTICAS DE ROTEAMENTO	77
5.3 CASOS ESPECÍFICOS	79
5.4 CARACTERIZANDO UM NOVO MODELO PARA O CONTROLADOR DE BANDA	80
5.4.1 SINALIZAÇÃO DE ALTERAÇÕES DE ROTAS	81
5.4.2 EXTENSÃO DO RSVP PARA SINALIZAÇÃO DE ROTAS	81
5.4.3 SINALIZAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO	82
5.4.4 CONTROLE DE ROTAS DO BB (BBRC)	83
5.4.4.1 TABELA DE ROTAS DO BB (BBRT)	84
5.4.4.2 FUNCIONAMENTO DO BBRC	85
5.4.5 MECANISMOS DE CONTROLE DE PERDA DE FLUXO RESERVADO	88
5.4.6 LARGURA DE BANDA DISPONÍVEL	88
5.4.7 CONTROLE DE POLÍTICAS	89
5.5 UMA NOVA ARQUITETURA PARA O BB	90
5.6 RESUMO	92
CAPÍTULO 6 ESTUDOS DE CASOS	93
6 ESTUDOS DE CASOS	94
6.1 TOPOLOGIA IMPLEMENTADA	94
6.2 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO	96
6.2.1 DESENVOLVIMENTO DO CONTROLADOR DE BANDA	98
6.2.2 CENÁRIOS	102
6.3 RESULTADOS	103
6.3.1 PRIMEIRO CENÁRIO — RIP EM AMBOS MODELOS SEM QUEDA DE ENLACE	104
6.3.2 SEGUNDO CENÁRIO — OSPF EM AMBOS MODELOS SEM QUEDA DE ENLACE	105
6.3.3 TERCEIRO CENÁRIO — RIP EM AMBOS MODELOS COM QUEDA DE ENLACE	107
6.3.4 QUARTO CENÁRIO — OSPF EM AMBOS MODELOS COM QUEDA DE ENLACE	110
6.3.5 QUINTO CENÁRIO — RIP VERSUS OSPF NO NOVO MODELO COM QUEDA DE ENLACE	112
6.3.6 RESULTADOS POR PHB	113
6.4 RESUMO	114
CAPÍTULO 7 CONCLUSÃO	115
7 CONCLUSÃO	116
7.1 CONSIDERAÇÕES	116
7.2 CONTRIBUIÇÕES	118
7.3 TRABALHOS FUTUROS	118
CAPÍTULO 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
8.1 LIVROS E PERIÓDICOS	121
8.2 REQUEST FOR COMMENT (RFCs) E INTERNET DRAFTS	122
8.3 WEB SITES	125
APÊNDICE A SIMULAÇÕES	127
A.1 O SIMULADOR	128
A.2 IMPLEMENTAÇÕES	130

Índice de Figuras

Figura 2.1 - RSVP em Máquinas do Usuário e Roteadores	26
Figura 2.2 - IntServ com RSVP	29
Figura 2.3 - Visão Lógica do Fluxo de Dados no Condicionador de Tráfego.....	31
Figura 2.4 - Domínio DiffServ com Encaminhamento Premium.....	32
Figura 2.5 – Fluxo EF com Balde de Fichas.....	33
Figura 2.6 – Fluxo AF com Balde de Fichas	34
Figura 2.7 - Representação dos SLAs	35
Figura 3.1 – Admissão Local.....	40
Figura 3.2 – Domínios DiffServ controlados por BBs.....	42
Figura 3.3 - Tipos de Sinalização do Controlador de Banda	43
Figura 3.4 - Arquitetura do BB [Nei98] proposta pelo QBone [QBoneBB].	45
Figura 3.5 - Sinalização RSVP em redes finais.....	49
Figura 3.6 - Operação do Controlador de Banda [RFC2475].....	50
Figura 4.1 - Sistemas Autônomos.....	55
Figura 4.2 – Exemplo de Topologia.....	56
Figura 4.3 – Cabeçalho de Pacotes RIP-2	59
Figura 4.4 – Cabeçalho de Pacotes RIP-2 para Autenticação.....	60
Figura 4.5 – Roteadores e Áreas OSPF.....	64
Figura 4.6 - Cabeçalho de Pacotes OSPF.....	65
Figura 4.7 – Sistemas Autônomos Numerados.....	67
Figura 4.8 - Roteadores Vizinhos e Parceiros BGP	69
Figura 4.9 - Cabeçalho de Pacotes BGP.....	70
Figura 5.1 – Solicitação e Estabelecimento de uma mensagem RAR.....	74
Figura 5.2 – Queda de Enlace Durante uma Reserva.....	74
Figura 5.3 – Restabelecimento de Reservas pelas Regras de Roteamento.....	75
Figura 5.4 – Renegociação de uma Reserva pelo BB	76
Figura 5.5 – Conflito entre Políticas de Roteamento e SLAs.....	77
Figura 5.6 – Sinalização de Rotas do BB	85
Figura 5.7 – Nova arquitetura para o BB.....	90
Figura 6.1 – Backbone RNP2.....	95
Figura 6.2 – Representação da Topologia Implementada no NS.....	96
Figura 6.3 - Saída de Dados sem o BB	100
Figura 6.4 - Saída de Dados com o BB	100
Figura 6.5 - Vazão de Dados com o BB e o protocolo RIP.....	105
Figura 6.6 - Vazão de Dados com o NBB e o protocolo RIP.....	105
Figura 6.7 - Vazão de Dados com o BB e o protocolo OSPF	107
Figura 6.8 - Vazão de Dados com o NBB e o protocolo OSPF.....	107
Figura 6.9 - Vazão de dados com o BB, RIP e Queda de Enlace.....	109
Figura 6.10 - Vazão de dados com o NBB, RIP e Queda de Enlace.....	109
Figura 6.11 - Vazão de dados com o BB, OSPF e Queda de Enlace.....	111
Figura 6.12 - Vazão de dados com o NBB, OSPF e Queda de Enlace.....	112
Figura A.1 - Visão Simplificada do NS.....	128
Figura A.2 - Ligações OTcl e C++	129

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Proposta de Codificação para PHB AF	34
Tabela 4.1 – Tabela de Rotas Inicial do Roteador A.....	57
Tabela 4.2 - Tabela de Rotas Parcial do Roteador B.....	57
Tabela 4.3 – Tabela de Rotas Parcial do Roteador D.....	57
Tabela 4.4 - Tabela de Rotas Parcial do Roteador A.....	57
Tabela 4.5 – Tabela de Rotas Parcial do Roteador C.....	58
Tabela 4.6 – Tabela de Rotas dos Roteadores OSPF.....	62
Tabela 4.7- Tipos de Autenticação OSPF.....	65
Tabela 5.1 - Política de Roteamento do nó C.....	77
Tabela 5.2 – Tabela de Rotas do router@nc-rj.....	85
Tabela 5.3 – Tabela de Rotas do BB@nc-rj.....	85
Tabela 5.4 – Tabela de Acordos do Domínio NC-RJ.....	86
Tabela 6.1 - Fontes de tráfego e Tempos de transmissão.....	97
Tabela 6.2 – Características Técnicas dos Enlaces.....	98
Tabela 6.3 - Cenários Modelados para Simulação.....	103

Índice de Gráficos

Gráfico 6.1 – Tráfego de Dados com e sem o BB	99
Gráfico 6.2 – Vazão de dados com o BB e o protocolo RIP	104
Gráfico 6.3 – Vazão de dados com o NBB e o protocolo RIP	104
Gráfico 6.4 – Vazão de dados com o BB e o protocolo OSPF.....	106
Gráfico 6.5 – Vazão de dados com o NBB e o protocolo OSPF.....	106
Gráfico 6.6 – Vazão de dados com o BB, RIP e Queda de Enlace.....	108
Gráfico 6.7 – Vazão de dados com o NBB, RIP e Queda de Enlace	108
Gráfico 6.8 – Vazão de dados com o BB, OSPF e Queda de Enlace.....	110
Gráfico 6.9 – Vazão de dados com o NBB, OSPF e Queda de Enlace	111
Gráfico 6.10 – Vazão de dados com NBB entre RIP e OSPF.....	112
Gráfico 6.11 – Vazão de dados por PHB.....	113

Glossário

AAA – Authentication Authorization Accounting
AF - Assured Forward
AS – Autonomous Systems
ASN – Autonomous Systems Number
ATM – Asynchronous Transfer Mode
BB – Bandwidth Broker
BBAS - Bandwidth Broker Administrative Server
BBATS - Bandwidth Broker Authentication Tunnel Server
BBCLI - Bandwidth Broker Command Line Interfaces
BBD - Bandwidth Broker Database
BBRC - Controle de Rotas do BB
BBRPC - Bandwidth Broker Routing Policy Control
BBRT - Bandwidth Broker Routing Table
BBS – Bandwidth Broker Server
BE – Best Effort
BGP - Border Gateway Protocol
BGP-4 – BGP version 4
CBR – Constant Bit Rate
CIDR – Classless Interdomain Routing
COPS – Common Open Policy Service
CoS - Class of Service
DiffServ – Differentiated Services
DRPD - Domain Routing Policy Database
DS Field - Differentiated Service Field
DSCP - Differentiated Service Code-Point
EF - Expedited Forward
EGP - Exterior Gateway Protocol
ERP - Exterior Routing Protocol
FTP – File Transfer Protocol
ICMP – Internet Control Message Protocol

IGMP – Internet Group Management Protocol
IntServ – Integrated Services
IP – Internet Protocol
IPv4 – IP version 4
IPv6 IP version 6
IPSEC – IP Secure
IRP - Interior Routing Protocol
LDP – Label Distribution Protocol
LSP - Label- Switched Path
MD5 - Message-Digest Algorithm version 5
MPLS - Multiprotocol Label Switching
MRTG - Multi Router Traffic Grapher
NBB – New BB
NS – Network Simulator
OSPF - Open Shortest Path First
PHB – Per Hop Behavior
PoP – Point of Presence
QBone – Quality backbone
QBoneBB - QBone Bandwidth Broker Advisory Council
QoS - Quality of Service
RAR – Resource Allocation Request
RIP – Routing Information Protocol
RIP-2 – RIP version 2
RSVP - Resource Reservation Protocol
RTT – Round-Trip Time
SBM – Subnet Bandwidth Manager
SLA - Service Level Agreement
SLSs – Service Level Specification
SNMP - Simple Network Management Protocol
SPF - Shortest Path First
TCP – Transport Control Protocol
ToS - Type of Service