

# Aplicações Multimídias com Qualidade de Serviço: Um Ambiente de Testes de Qualidade de Serviço

Marco Dias Dutra Bicudo

Relatório Técnico Final de Bolsa DTI-H

Período da bolsa: de junho/2003 a abril/2004

Projeto:

QUARESMA - QUALidade de Serviço em REdes - Segurança, Mobilidade e Aplicações

Processo CNPq 552121/2001-0

Atividade Associada:

Transmissão de Vídeo em Camadas

Professor Orientador:

Otto Carlos Muniz Bandeira Duarte

Local:

Grupo de Teleinformática e Automação (GTA)

Programa de Engenharia Elétrica, COPPE/UFRJ

Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação - Escola Politécnica

## 1 Resumo

O protocolo IP (*Internet Protocol*), desenvolvido para aplicações tolerantes ao atraso, satisfaz os requisitos das aplicações, onde a entrega do pacote seguindo o modelo do melhor esforço era suficiente. Porém, a popularização cada vez maior de aplicações multimídias, sensíveis a esses parâmetros, requer a diferenciação de serviços para garantir a Qualidade de Serviço (QoS). O protocolo IP não é capaz de fornecer garantia de QoS. Visando suprimir esta deficiência, outros protocolos e arquiteturas foram propostas. Dentre eles estão as arquiteturas de Serviços Diferenciados (*DiffServ*), de Serviços Integrados (*IntServ*) e o protocolo MPLS (*Multiprotocol Label Switching*).

Nesse trabalho é implementado um ambiente de testes com o objetivo de analisar o desempenho de uma rede com suporte a diferenciação de serviços através do MPLS, encaminhando fluxos prioritários para recursos reservados da rede. O MPLS também foi utilizado para realizar engenharia de tráfego tornando mais eficiente o uso da rede. O desempenho da rede foi monitorado

com os protocolos de roteamento RIP e OSPF com a métrica banda passante para comparação do desempenho da rede com MPLS.

## 2 Introdução

Em geral, a maioria das aplicações multimídias precisa de interatividade, e como consequência disso, necessita de atraso e variação de atraso (*jitter*) limitados a faixas de valores bem definidas, e dependendo da aplicação uma banda passante mínima também pode ser requisitado. Como a Internet utiliza o modelo do melhor esforço, esta não é a rede apropriada para as aplicações multimídias sem que modificações sejam realizadas. Esses parâmetros de desempenho são denominados parâmetros de Qualidade de Serviço, e o atual grande desafio da Internet é integrar a garantia desses parâmetros a arquitetura já existente da Internet.

Um roteador que faz o encaminhamento dos pacotes seguindo o modelo do “*store-and-forward*” armazena os pacotes de todos os usuários em um *buffer* compartilhado. Isso significa que quando um usuário enviar uma rajada de pacotes, o próximo usuário terá seu pacote enfileirado após essa rajada, o que acarretará um atraso acima do esperado. Caso o *buffer* do roteador tenha sido todo ocupado pela rajada do primeiro usuário, os pacotes subsequentes serão perdidos. Este é um comportamento natural para o que se chama de um modelo de serviço FCFS (*first-come-first-served*). Em uma rede onde esteja sendo transmitida qualquer aplicação sensível a atraso, como conferências de vídeo ou voz, a qualidade dessas aplicações é degradada caso ocorram essas rajadas.

A Internet pode oferecer qualidade de serviço aos seus usuários se o *buffer* do roteador for compartilhado de maneira justa, ou seja, cada usuário tem a sua parcela de utilização. Para que isso seja realizado, os pacotes não podem ser transmitidos de acordo com a ordem de chegada, uma nova ordem deve ser efetuada pelos algoritmos de escalonamento de filas.

Para oferecer garantia de QoS, é necessária a sinalização para os roteadores do caminho que o fluxo passa. A sinalização é responsável por determinar os recursos que aquele fluxo obterá em cada roteador do caminho. A sinalização determina os recursos de cada fluxo através de classes de serviços pré-definidas. Para o caso de novos fluxos entrantes, é feita a classificação nessas classes de serviço. Antes da aceitação e reserva do recurso, esses fluxos serão admitidos pelo roteador, este é o papel do controle de admissão.

O funcionamento desse mecanismo, que inclui a sinalização, o controle de admissão e o escalonamento de filas, necessita de uma cooperação entre os roteadores que foge à filosofia original da Internet, de comutação de pacotes e de somente prover a conectividade de seus integrantes. Devido a isso, se torna complicado a introdução de mecanismos de QoS na Internet. Essa característica da Internet faz com que os pacotes sejam tratados de acordo com o modelo do melhor esforço (*best-effort*), por isso não há reserva de recursos como acontece na rede telefônica. Para oferecer alguma garantia de QoS é necessário oferecer um tratamento diferenciado para fluxos mais prioritários, reservando recursos para estes, se for o caso. São necessários mecanismos adicionais a Internet, pois o protocolo IP não possui mecanismos de garantia de QoS ou de reserva de recursos, para a diferenciação de serviços.

Além disso, a característica descentralizada da Internet, pode acarretar um uso ineficiente da rede, como será comentado nos próximos capítulos. As causas serão diagnosticadas e soluções para esse uso ineficiente serão apontadas no decorrer do trabalho. A solução mais indicada atualmente é a engenharia de tráfego, que consiste na distribuição dos fluxos entre os enlaces

ou recursos da rede de maneira que estes não se tornem ociosos, acarretando uso ineficiente. O MPLS (*Multiprotocol Label Switching*) é um protocolo que possibilita a aplicação da engenharia de tráfego em uma rede devido, principalmente, a aplicação do conceito de comutação de circuitos em uma rede de comutação de pacotes. Ambos os conceitos serão explicados adiante.

### 3 Objetivo

O objetivo desse trabalho é a construção de um ambiente de testes, onde serão realizados testes com o protocolo MPLS tornando possível a análise de desempenho da rede com e sem QoS e engenharia de tráfego. Através dos resultados obtidos destes testes, são analisadas as vantagens e desvantagens da utilização do MPLS em uma rede ou *backbone* IP.

### 4 Metodologia

Um ambiente de testes é habilitado à engenharia de tráfego se, na topologia da rede, existem pelo menos dois caminhos possíveis até o destino. Cada um desses caminhos teria características diferentes, por exemplo, um teria baixo atraso, enquanto outro teria grande banda passante, baixo custo ou confiabilidade. Através dessas características da rede, que são comentadas adiante na seção da Topologia, é possível a utilização de caminhos distintos que favoreçam parâmetros de QoS diferentes, o que permite a diferenciação de serviço. Além disso, os múltiplos caminhos possibilitam a engenharia de tráfego.

Para a implementação do Ambiente de Testes utilizaram-se ferramentas livres e de código aberto. O sistema operacional utilizado foi o Linux 2.4 [23] e a distribuição foi o RedHat versões 9.0 e 7.3. A escolha do Linux se deve porque este é o sistema operacional livre e aberto mais utilizado, e também devido ao amplo suporte a mecanismos de controle de tráfego. O software que dá suporte a MPLS no Linux é o `mpls-linux` [22]. Para a implementação deste ambiente de testes também foi necessário a utilização de outras ferramentas. Através do `iptables` é possível adicionar linhas na lista de regras de pré-roteamento para que os pacotes que estiverem de acordo com o padrão determinado sejam encaminhados utilizando o LSP especificado pelo administrador. Já a ferramenta `IPRoute2`, contém dois programas, o `ip` e o `tc`. O `tc` vem de *Traffic Control*, e devido a sua aplicabilidade não será utilizado, pois o tratamento diferenciado não será efetuado através da reserva de recursos. O `ip` é uma ferramenta completa para configuração de quase tudo necessário para a camada de rede no Linux, desde a interface de rede até a manutenção da tabela de roteamento. Para a associação do datagrama IP a um LSP foi utilizado justamente a parte referente à manutenção da tabela de roteamento do comando `ip`.

A ferramenta `iperf` foi usada para medir banda disponível nos pares cliente-cliente, cliente-roteador, roteador-cliente e roteador-roteador. Ela também foi utilizada como ferramenta geradora de tráfego para inundar a rede de tráfego e torná-la congestionada quando necessário. A medida do atraso foi feita através de *ICMP echo request/reply*, com o software `ping`, disponível em qualquer distribuição Linux.

Para se realizar os testes é necessário uma topologia de rede que permita múltiplos caminhos entre a origem e o destino e que os caminhos apresentem características diferentes. Nestas condições é possível fazer engenharia de tráfego, realizando balanceamento de carga nos múltiplos caminhos. Desta maneira os enlaces de pequena banda, porém de baixa latência, também serão utilizados, fato que não seria possível tão facilmente sem a engenharia de tráfego disponível em

uma rede MPLS, como é comentado adiante. Esses enlaces de menor banda serão utilizados para aplicações que não requerem muita banda, mas que tenham necessidades de um atraso e  *jitter*  com valores dentro de uma faixa determinada.

A topologia está ilustrada na Figura 1. Existem caminhos entre pares origem-destinos que otimizam um parâmetro de QoS. Assim, dependendo do que se pretende favorecer, seja atraso ou banda passante, o caminho escolhido será diferente.

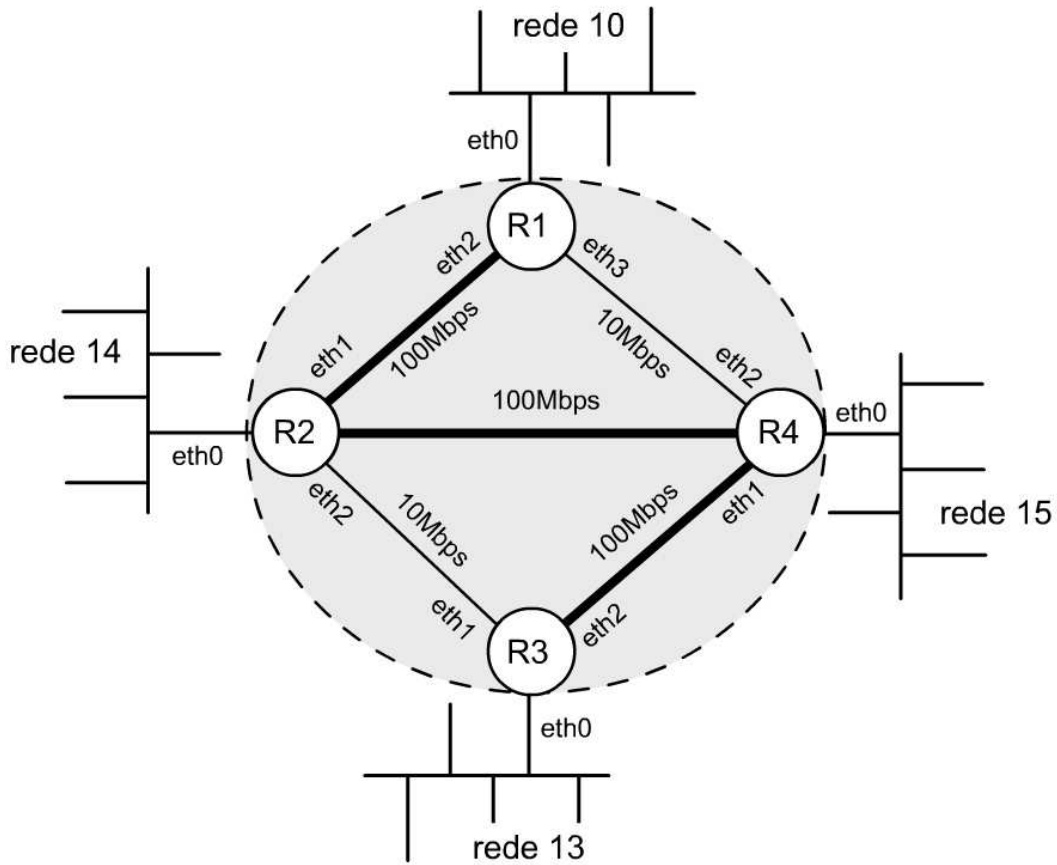


Figura 1: Ambiente de Teste.

## 5 Resultados

### 5.1 Qualidade de Serviço

A situação criada para os testes de QoS consiste em dois PCs na rede cliente 10, Figura 1. O cliente preferencial usa recursos reservados, enquanto o outro usa os recursos padrão, que qualquer outro fluxo também está usando. Pela topologia da rede, e pelas necessidades de banda das redes clientes, mostrada na matriz de demanda de tráfego da Tabela 1, o enlace R2-R4 fica constantemente congestionado, devido a banda requerida de R2 para R4, e de R4 para R2.

Para diminuir os valores do atraso e do  *jitter*  a valores controlados, existe um LSP específico para o tráfego sensível. Os LSPs com esse propósito passam por caminhos na rede que evitem gargalos e congestionamentos. A Tabela 2 mostra o  *jitter*  nas diferentes configurações de rede do fluxo do videosever até o PC cliente da rede 13.

Tabela 1: Matriz de Demanda de Tráfego.

	R1	R2	R3	R4
R1	-	4 Mbps	3 Mbps	4 Mbps
R2	4 Mbps	-	4 Mbps	60 Mbps
R3	3 Mbps	4 Mbps	-	4 Mbps
R4	4 Mbps	60 Mbps	4 Mbps	-
Total	11 Mbps	68 Mbps	11 Mbps	68Mbps

Tabela 2: *Jitter*.

Topologia	<i>Jitter</i>	Ping
IP	0.029 ms	0.547 ms
IP-congest.	0.265 ms	2.984 ms
MPLS	0.031 ms	0.600 ms
MPLS-congest.	0.150 ms	3.743 ms

Pode-se observar que o *jitter* do fluxo encaminhado para o LSP que passa pela seqüência de nós R3-R2-R1 é consideravelmente menor que quando é roteado pelo protocolo IP, passando por R3-R4-R2-R1. Isso se deve aos enlaces utilizados pelo roteamento IP. O protocolo de roteamento OSPF escolhe sempre o caminho de maior banda, gerando uma concentração dos fluxos da rede no enlace R2-R4, ocasionando o congestionamento. Esse congestionamento acarreta maiores tempos de espera em filas nos roteadores, e conseqüentemente maior atraso e maior *jitter*. Por outro lado, se todo o tráfego do cliente preferencial atravessar o enlace reservado para as aplicações sensíveis, as conseqüências serão indesejáveis. O congestionamento do enlace reservado certamente ocorrerá, pois ele é de pouca capacidade. E a falta de banda para aplicações do cliente redirecionado para o enlace reservado pode gerar insatisfação. Os enlaces com maior capacidade, mesmo que com muito tráfego, ainda vão oferecer uma taxa de transferência maior que o de baixa capacidade e com pouca utilização. Nesse sentido, a diferenciação de serviços deve ser bem planejada. Uma associação mal realizada entre um fluxo e recursos da rede acarreta na degradação de outros fluxos e até mesmo no não atendimento dos requisitos desse novo fluxo. Por esse motivo, todos os fluxos do cliente prioritário não são encaminhados para os recursos reservados da rede. O administrador deve ser cauteloso nas associações que faz.

## 5.2 Engenharia de Tráfego

A distribuição do tráfego entre os enlaces da rede, que tem o objetivo de tratar diferenciadamente alguns fluxos é também uma forma de Engenharia de Tráfego. Aliviar o tráfego de enlaces congestionados e redirecionando-os para enlaces livres torna a rede mais eficiente. Como conseqüência, sua capacidade agregada aumenta.

As rotas escolhidas pelo protocolo de roteamento estado de enlace usam os enlaces que tem maior banda nominal. Diz-se banda "nominal", porque a banda usada no cálculo não é necessariamente a banda disponível. Na verdade, é muito improvável que a banda nominal do enlace esteja disponível, já que para isso é necessário a inexistência de outros fluxos.

A rotas escolhidas pelo protocolo de roteamento vetor distância utilizam nessa topologia os enlaces de menor capacidade, porém com menos saltos. Desta maneira o enlace de maior capacidade não fica sobrecarregado, em contrapartida fluxos são limitados pelos enlaces de menor capacidade, gerando sobrecarga agora nesses enlaces.

Tabela 3: Matriz de Tráfego RIP.

	R1	R2	R3	R4
R1	-	3.9 Mbps	2.5 Mbps	3.1 Mbps
R2	2.3 Mbps	-	<b>0 Mbps</b>	39.6 Mbps
R3	3.5 Mbps	3.5 Mbps	-	4.0 Mbps
R4	<b>1.4 Mbps</b>	41.3 Mbps	4.0 Mbps	-
Total	7.2 Mbps	48.7 Mbps	6.5 Mbps	46.7 Mbps

A Tabela 3 mostra a matriz de tráfego efetivo dos fluxos entre os roteadores quando a rede é configurada com o protocolo de roteamento RIP. Verifica-se que os enlaces R3-R2 e R4-R1 ficam congestionados, e devido a isso os valores de transferência de R1 para R4 (1.4 Mbps) e de R3 para R2 (0 Mbps) ficam prejudicados.

Tabela 4: Matriz de Tráfego OSPF.

	R1	R2	R3	R4
R1	-	3.9 Mbps	2.9 Mbps	3.9 Mbps
R2	3.9 Mbps	-	3.9 Mbps	<b>38.0 Mbps</b>
R3	3.0 Mbps	3.9 Mbps	-	4.0 Mbps
R4	3.9 Mbps	<b>33.8 Mbps</b>	3.9 Mbps	-
Total	10.8 Mbps	41.6 Mbps	10.7 Mbps	45.9 Mbps

A Tabela 4 mostra a matriz de tráfego efetivo dos fluxos quando a rede é configurada pelo protocolo de roteamento OSPF. Observe que agora a transferência de R1 para R4, e de R3 para R2 não ficam degradadas. O problema agora é a maneira como o OSPF concentra todos os fluxos no enlace R2-R4, degradando os fluxos de transferência de R2 para R4 (33.8 Mbps) e vice-versa (38 Mbps).

Tabela 5: Matriz de Tráfego MPLS.

	R1	R2	R3	R4
R1	-	3.9 Mbps	2.7 Mbps	4.0 Mbps
R2	3.9 Mbps	-	4.0 Mbps	40.3 Mbps
R3	3.0 Mbps	4.0 Mbps	-	4.0 Mbps
R4	4.0 Mbps	40.7 Mbps	4.0 Mbps	-
Total	10.9 Mbps	48.6 Mbps	10.7 Mbps	48.3 Mbps

O MPLS tem a flexibilidade de configuração que permite exatamente o que nenhum dos dois protocolos de roteamento consegue, encontrar o meio termo. Enquanto o protocolo OSPF que se serve do mecanismo de estado de enlace congestionava a rota de maior capacidade, o RIP que usa

o vetor distância congestionada a rota de menos saltos. Através do MPLS pode-se optar por uma diferenciação de serviço, solucionando o problema da priorização, e ao mesmo tempo solucionar o problema do congestionamento, com a engenharia de tráfego. O resultado é um alívio do enlace R2-R4, que possibilita o aumento da taxa de transferência entre os roteadores R2 e R4. E ao mesmo tempo não congestionada os enlaces de baixa capacidade R2-R3 e R1-R4, possibilitando que os fluxos entre esses roteadores também não sejam prejudicados.

## 6 Conclusão

O objetivo desse trabalho foi comparar o desempenho da comutação de pacotes MPLS com o roteamento IP. Para atingir este objetivo, foi implementada uma rede de testes que consistiu de quatro roteadores. A configuração lógica da rede, incluindo o protocolo de roteamento utilizado, foi modificada para poder comparar os diversos paradigmas de encaminhamento de pacotes.

O MPLS pode ser utilizado para fazer diferenciação de serviços, e não necessariamente precisa estar de acordo com a arquitetura *DiffServ*. Essa diferenciação é essencial para o trânsito de fluxos multimídias na Internet e para que a ela seja no futuro a rede que transportará todas as aplicações: telefonia, videoconferência, transferência de dados, TV digital, etc.

Para atingir este objetivo o MPLS se mostra bastante eficaz, pois através dele é possível fazer diferenciação de serviços e balanceamento de carga simultaneamente. O redirecionamento dos fluxos mais prioritários para enlaces da rede que estão menos congestionados, ou até mesmo reservados, possibilitou o uso mais eficiente dos recursos da rede, aumentando sua capacidade agregada. Ao mesmo tempo, esse tratamento diferenciado possibilitou a garantia da qualidade de serviço, já que esses recursos são usados por um número restrito de usuários, devido ao Controle de Admissão. É importante comentar que não é recomendado que todos os fluxos desses usuários prioritários sejam encaminhados para esses recursos reservados, pois pode acarretar em degradação da QoS de outros fluxos.

Nas medidas da capacidade agregada da rede, o MPLS satisfaz os requisitos de engenharia de tráfego, que o RIP e o OSPF não são capazes de satisfazer. O RIP exagera na quantidade de fluxos desviados do enlace de maior capacidade, tornando os enlaces secundários congestionados. O OSPF faz o oposto, encaminha os fluxos para o enlace de maior capacidade, congestionando este. O MPLS devido a sua flexibilidade de configuração possibilita que somente parte do fluxo de um mesmo par origem-destino seja encaminhado através de um caminho alternativo.

Os resultados obtidos neste projeto indicam que o MPLS é uma alternativa viável e eficaz para controle de tráfego de uma rede, justificando o seu uso nas redes óticas de altíssima velocidade que deverão ser usadas nos próximos anos.

## Referências

- [1] S. Keshav, *An Engineering Approach to Computer Networking: ATM Networks, the Internet, and the Telephone Network*. Addison-Wesley, first ed., 1997.
- [2] A. S. Tanenbaum, *Computer Networks*. Prentice Hall Inc, fourth ed., 2002.
- [3] G. R. Wright e W. R. Stevens, *TCP/IP Illustrated, Volume 2*. Addison-Wesley Publishing Company, first ed., 1995.

- [4] S. Keshav e R. Sharma, “Issues and trends in router design”, *IEEE Communications Magazine*, no. 1, pp. 144–151, maio de 1998.
- [5] B. Bhaniramk, P. Sun e R. Jain, “Quality of Service using traffic engineering over MPLS: an analysis”, *IEEE Conference on Local Computer Networks*, vol. 1, no. 25, pp. 238–241, novembro de 2000.
- [6] D. D. Clark, “The Design Philosophy of the DARPA Internet Protocols”, *ACM Sigcomm*, 1988.
- [7] L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette e B. Thomas, “LDP Specification”, *Internet RFC 3026*, janeiro de 2001.
- [8] B. Jamoussi, E. L. Andersson, R. Callon, R. D. L. Wu, P. Doolan, T. Worster, N. Feldman, A. Fredette, M. Girish, E. Gray, J. Heinanen, T. Kilty e A. Malis, “Constraint-Based LSP Setup using LDP”, *Internet RFC 3012*, janeiro de 2002.
- [9] E. Rosen, D. Tappan, G. Fedorkow, Y. Rekhter, D. Farinacci, T. Li e A. Conta, “MPLS Label Stack Encoding”, *Internet RFC 3032*, janeiro de 2001.
- [10] E. Rosen, A. Viswanathan e R. Callon, “Multiprotocol Label Switching Architecture”, *Internet RFC 3031*, janeiro de 2001.
- [11] A. Mankin, E. F. Baker, B. Braden, S. Bradner, M. O’Dell, A. Romanow, A. Weinrib e Zhang, “Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Applicability Statement Some Guidelines on Deployment”, *Internet RFC 2208*, setembro de 1997.
- [12] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss e J. Wroclawski, “Assured Forwarding PHB Group”, *Internet RFC 2597*, junho de 1999.
- [13] B. Davie, A. Charny, J. Bennet, K. Benson, J. L. Boudec, W. Courtney, S. Davari, V. Firoiu e D. Stiliadis, “An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)”, *Internet RFC 3246*, março de 2002.
- [14] J. Wroclawski, “The Use of RSVP with IETF Integrated Services”, *Internet RFC 2210*, setembro de 1997.
- [15] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang e W. Weiss, “An Architecture for Differentiated Service”, *Internet RFC 2475*, dezembro de 1998.
- [16] K. Nichols, S. Blake, F. Baker e D. Black, “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers”, *Internet RFC 2474*, dezembro de 1998.
- [17] J. Moy, “OSPF Version 2”, *Internet RFC 2328*, abril de 1998.
- [18] G. Malkin, “RIP Version 2”, *Internet RFC 2453*, novembro de 1998.
- [19] *IPerf*. <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>, 2003.
- [20] *IPRoute2*. <http://www.opencontent.org/openpub/>, 2003.
- [21] *Iptables*. <http://netfilter.samba.org/>, 2003.
- [22] *MPLS-Linux Project*. <http://mpls-linux.sourceforge.net/>, 2003.
- [23] *Linux Kernel*. <http://www.kernel.org/>, 2003.
- [24] *Source Forge*. <http://sourceforge.net/>, 2003.