



Raul Wagner dos Reis Velloso Filho

**Disciplina de Serviço Baseada na Satisfação Medida por
Métricas de QoS**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Luiz Alencar da Silva Mello

Co-orientador: Marco Antônio Grivet Mattoso Maia

Rio de Janeiro, 20 de agosto de 2009



Raul Wagner dos Reis Velloso Filho

**Disciplina de Serviço Baseada na Satisfação
Medida por Métricas de QoS**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Dr. Luiz Alencar Reis da Silva Mello
Orientador

Centro de Estudos de Telecomunicações– PUC-Rio

Dr. Marco Antonio Grivet Mattoso Maia
Co-Orientador

Centro de Estudos de Telecomunicações– PUC-Rio

Dr. Marcelo Roberto Baptista Pereira Luis Jimenez
Centro de Estudos de Telecomunicações– PUC-Rio

Dr. Rodolfo Sabóia Lima de Souza
Inmetro

Prof. José Eugenio Leal
Coordenador Setorial do Centro
Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 20 de agosto de 2009

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

Raul Wagner dos Reis Velloso Filho

Graduou-se em Engenharia de Redes de Comunicação pela Universidade de Brasília (UNB) em 2006.

Ficha Catalográfica

Velloso Filho, Raul Wagner dos Reis

Disciplina de serviço baseada na satisfação medida por métricas de QoS / Raul Wagner dos Reis Velloso Filho ; orientadores: Luiz Alencar da Silva Mello, Marco Antonio Grivet Mattoso Maia. – 2009.

99 f. : il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Disciplina de serviço. 3. Escalonamento de pacotes. 4. Qualidade de serviço. 5. Função utilidade. I. Mello, Luiz Alencar da Silva. II. Maia, Marco Antônio Grivet Mattoso. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Agradecimentos

Agradeço à minha família pela confiança e apoio incondicional. Agradeço ao meu pai, Raul Wagner dos Reis Velloso, pelos conselhos e motivação nos momentos decisivos, à minha mãe, Carla Gerber dos Reis Velloso, simplesmente por sempre estar ao meu lado me apoiando e encorajando em todos os momentos da minha vida e à minha irmã, por me apoiar e fazer companhia durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao professor, orientador e amigo, Marco Antônio Grivet, por acreditar e apostar no meu potencial em estudar uma área nova e desafiante.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro.

Aos meus amigos e colegas do CETUC, Rodrigo Bastos, Mauro Lustoza, Davi Guedes e Juliana Valim e a todos os meus professores do CETUC.

Aos amigos Vitor Rolla, Luiz Fernando Salgueiro, Mayra Rocha e Bruno Pauletti, pois sem eles nada disso seria possível.

Resumo

Velloso Filho, Raul Wagner dos Reis; Mello, Luiz Alencar da Silva. **Disciplina de Serviço baseada na Satisfação medida por métricas de QoS**. Rio de Janeiro, 2009. 99p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Redes de comutação em pacotes vêm substituindo gradativamente as redes de comutação em circuitos, unificando assim, a forma como voz e dados são trafegados. Devido a esse novo conceito de redes comutadas por pacotes, novos desafios referentes ao surgimento de novas aplicações necessitando requisitos de qualidade cada vez mais estritos, vêm recentemente atraindo a atenção de pesquisadores da área de redes de computação. Entre os mecanismos existentes para determinar a qualidade de serviço oferecida por tais redes, o mecanismo-chave considerado, dos roteadores que desempenham tal função, é o escalonador de pacotes. O conceito que dita à operação de tais escalonadores é o conceito de disciplinas de serviço. No presente trabalho, é proposta uma nova disciplina de serviço onde os pacotes são escalonados de acordo com um indicador de desempenho que mede a satisfação dos usuários baseado no serviço recebido em relação ao serviço contratado. Esse indicador é trazido da economia e se chama “Função Utilidade”. O sistema considerado no trabalho leva em consideração o funcionamento do roteador de borda de uma provedora de serviços de telecomunicações onde os usuários requerem serviços de VoIP, FTP e HTTP. Os resultados de simulação do sistema mostram que o desempenho da disciplina proposta é comparável, sendo em alguns casos levemente insatisfatória, quando comparada a outras disciplinas existentes na literatura. A lista de trabalhos futuros sugere possibilidades de melhoria deste desempenho, mas que não foram testadas por falta de tempo.

Palavras-chave

Disciplina de Serviço; Escalonamento de pacotes; Qualidade de Serviço; Função Utilidade

Abstract

Velloso Filho, Raul Wagner dos Reis; Mello, Luiz Alencar da Silva (advisor). **Queuing Scheduling Discipline based on User's Satisfaction measured by QoS metrics**. Rio de Janeiro, 2009. 99p. Msc Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Packet-switched networks have recently replaced circuit-switched networks unifying the way voice and data are carried through those networks. Due to such a new switching concept, challenges related to new applications with different quality requirements have arisen and attracted much attention of computer network researchers. Among the mechanisms used to provide quality of service in those networks, the one chosen in this research is the router's packet scheduler. The concept that governs packet schedulers is queuing scheduling discipline. In this research, a new queuing scheduling discipline is proposed where packets are scheduled based on a performance indicator that evaluates the user's satisfaction with the service contracted. That performance indicator is a well-known economic function called "utility function". The system considered on this research is focused on the operation of a telecommunications service provider network's border router where users request FTP, VoIP and HTTP services. Simulation results show that the performance of the proposed service discipline is comparable, but not always to a satisfactory degree, when compared with other service disciplines found in the literature. Some suggestions for future research are added in this dissertation, in order to improve the performance of the proposed service discipline, but they have not been tested due to space and time limitations.

Keywords

Queuing Scheduling Discipline; Packet Scheduling; Quality of Service; Utility Function

Sumário

1	Introdução	13
2	Qualidade de serviço	17
2.1.	Atraso	21
2.2.	Jitter	21
2.3.	Taxa de transmissão de dados	22
3	Comportamento dos usuários em Telecomunicações	23
4	Disciplinas de serviço	25
4.1.	Descrição do sistema:	28
4.2.	Funcionamento do sistema	30
4.3.	Modelagem de tráfego das classes de serviço	33
4.3.1.	VoIP	33
4.3.2.	FTP	35
4.3.3.	HTTP	37
4.4.	Disciplina de Serviço baseada na Satisfação	39
4.4.1.	Função Utilidade	39
4.4.2.	Descrição da disciplina empregada	42
4.5.	Disciplinas “Frame-Based”	49
4.5.1.	Round Robin	50
4.5.2.	Deficit Round Robin	51

4.6. Disciplinas “Sorted-Priority”	54
4.6.1. Self-Clocked Fair Queuing (SCFQ)	55
5 Resultados de simulações	57
5.1. Cenário de simulação	60
5.2. Análise dos resultados	61
5.2.1. Justiça	62
5.2.2. Métricas de Qualidade de serviço	65
5.2.2.1. FTP 1	65
5.2.2.2. FTP 2	69
5.2.2.3. VoIP 1	73
5.2.2.4. HTTP 1	78
5.2.3. Complexidade de implementação	82
6 Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	86
6.1. Conclusões	86
6.2. Sugestões para trabalhos futuros	90
7 Referências Bibliográficas	92
8 Apêndice	96
8.1. Fluid-Flow Fair Queuing (GPS-Generalized Processor Sharing)	96

Lista de figuras

Figura 1 - Evolução das redes de telecomunicações	19
Figura 2 – Requerimentos funcionais de QoS em um roteador IP	20
Figura 3 - Roteador de borda	28
Figura 4 - Escalonador inicial 'k'	29
Figura 5 - Escalonador mestre	30
Figura 6 - Sistema dos roteadores de borda com escalonamento hierárquico	30
Figura 7 - Atualização dos escalonadores iniciais e mestre para cálculo da satisfação por usuários e por tipo/classe de serviço	32
Figura 8 - Tráfego de VoIP teórico	34
Figura 9 - Tráfego de VoIP gerado	35
Figura 10 - Tráfego de FTP teórico	36
Figura 11 - Tráfego de FTP gerado	36
Figura 12 - Tráfego de HTTP teórico	38
Figura 13 - Tráfego de HTTP gerado	38
Figura 14 - Escalonamento no escalonador inicial 'k' (Caso 1)	45
Figura 15- Escalonamento no escalonador inicial 'k' (Caso 2)	46
Figura 16 - Escalonamento no escalonador mestre (caso 1)	48
Figura 17 - Escalonamento no escalonador mestre (caso 2)	49
Figura 18 - Disciplina Round Robin	50
Figura 19 - Disciplina Deficit Round Robin 1	52
Figura 20 - Disciplina Deficit Round Robin 2	53

Figura 21 - Disciplina Deficit Round Robin 3	53
Figura 22 - Disciplina Deficit Round Robin 4	54
Figura 23 - Sequência de eventos do sistema	59
Figura 24 - Satisfação dos usuários	64
Figura 25 - Satisfação dos usuários de FTP 1	66
Figura 26 – Atraso dos usuários de FTP 1	66
Figura 27 - Jitter dos usuários de FTP 1	67
Figura 28 – Taxa de transmissão dos usuários de FTP 1	67
Figura 29 – Tamanho médio das filas de pacotes dos usuários de FTP 1	68
Figura 30 – Satisfação dos usuários de FTP 2	70
Figura 31 – Atraso dos usuários de FTP 2	70
Figura 32 – Jitter dos usuários de FTP 2	71
Figura 33 – Taxa de transmissão dos usuários de FTP 2	71
Figura 34 - Tamanho médio das filas de pacotes dos usuários de FTP 2	73
Figura 35 – Satisfação dos usuários de VoIP 1	74
Figura 36 – Atraso dos usuários de VoIP 1	75
Figura 37 – Jitter dos usuários de VoIP 1	75
Figura 38 – Taxa de transmissão de dados dos usuários de VoIP 1	76
Figura 39 - Delay e Jitter entre 0 e 100 s dos usuários de VoIP 1	77
Figura 40 - Tamanho médio das filas de pacotes dos usuários de VoIP 1	78
Figura 41 – Satisfação dos usuários de HTTP 1	79
Figura 42 – Atraso dos usuários de HTTP 1	80

Figura 43 – Jitter dos usuários de HTTP 1	80
Figura 44 – Taxa de transmissão de dados dos usuários de HTTP 1	81
Figura 45 - Tamanho médio das filas de pacotes dos usuários de HTTP 1	82
Figura 46 - Sistema de referência GPS	96
Figura 47 - Exemplo “Instante Virtual de fim de serviço”	98
Figura 48 - Escala do tempo “Instante Virtual de fim de serviço”	99

Lista de tabelas

Tabela 1 - Parâmetros de tráfego VoIP	34
Tabela 2 - Parâmetros de tráfego FTP	36
Tabela 3 - Parâmetros de tráfego HTTP	37
Tabela 4 - Valores nominais/limites dos parâmetros técnicos da rede	40
Tabela 5 - Janelas de transmissão dos pacotes por classes de serviço	52
Tabela 6 – Perfil dos Usuários	60
Tabela 7 – Perfil do Sistema	60
Tabela 8 - Fatores de utilização	61
Tabela 9 - Complexidade das disciplinas de serviço	84