

# Avaliação de Desempenho de Algoritmos de Escalonamento na Arquitetura de Serviços Diferenciados\*

Tito Lívio Castro , Fernando Luís Dotti

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul  
Av. Ipiranga, 6681, Prédio 16, sala 106 – 90619-900 Porto Alegre, RS / Brasil

titocastro@inf.pucrs.br, fldotti@inf.pucrs.br

**Abstract.** *This paper compares the performance of various packet scheduling algorithms applicable to DiffServ architecture. Three comprehensive simulation experiments using NS-2 simulation tool were carried out. The first experiment analyzes the impact of various traffic parameters on Expedited Forward flows. The second evaluates the behavior of Assured Forward flows when traffic parameters of lower priority flows are changed. Finally, the last experimentation considers the results achieved in the previous experiments and analyzes a complete scenario with Expedited Forward, Assured Forward and Best Effort flows, drawing the influence of several traffic parameters to the various service classes. In all these experiments, a set of packet scheduling algorithms were considered for the implementation of the PHB (Per Hop Behaviors).*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma análise comparativa do desempenho de escalonamento de pacotes aplicáveis para a arquitetura DiffServ. Foram realizados três grandes experimentos de simulação utilizando o NS-2. O primeiro analisa a influência da variação de vários parâmetros de tráfego sobre os fluxos Expedited Forward. O segundo avalia o comportamento de fluxos Assured Forward também na presença de variação de parâmetros de tráfego de menor prioridade. Finalmente, o último experimento leva em consideração os resultados atingidos e analisa um cenário completo, com tráfegos Expedited Forward, Assured Forward e Best Effort, bem como o efeito da variação de parâmetros destes tráfegos nas diversas classes de serviço. Nos experimentos foram consideradas implementações dos PHB (Per Hop Behaviors) conforme vários algoritmos de escalonamento selecionados da literatura para comparação.*

## 1. Introdução

A arquitetura de Serviços Diferenciados (*DiffServ*) [Blake et al., 1998], por ser relativamente recente, necessita de pesquisas que venham a comprovar o seu desempenho para atender as características de Qualidade de Serviço exigidas pelas novas aplicações. Como os PHB (*Per Hop Behavior*) são um dos seus principais componentes, o estudo da avaliação de desempenho dos mecanismos utilizados na sua implementação são importantes para melhorar o desempenho de *DiffServ*.

---

\*Este trabalho é parcialmente financiado pela cooperação PUCRS/HP-Brasil

Dentre os mecanismos para implementação dos PHB, os algoritmos de escalonamento de filas e controle de congestionamento são componentes essenciais para atingir os objetivos dos PHB, uma vez que determinam as disciplinas de serviço que serão aplicadas nos fluxos que ingressam na rede. Existem três documentos oficiais de IETF que descrevem o PHB EF (*Expedited Forwarding*) e sugerem alguns algoritmos que podem ser utilizados na sua implementação. Em [Jacobson et al., 1999] são sugeridos os algoritmos PQ (*Priority Queueing*), WRR (*Weighted Round Robin*) e CBQ (*Class Based Queueing*), em [Davie et al., 2002] são sugeridos PQ e o WRR e em [Charny et al., 2002] são sugeridos os algoritmos WF2Q (*Worst-Case Fair Weighted Fair Queueing*), DRR (*Deficit Round-Robin*), SFQ (*Start-time Fair Queueing*) e SCFQ (*Self Clocked Fair Queueing*).

Para o PHB AF (*Assured Forwarding*), em [Heinanen et al., 1999], recomenda-se que seja utilizado algum mecanismo para gerenciamento ativo de filas para satisfazer os múltiplos níveis de precedência de descarte exigidos pelo PHB AF. O mecanismo mais amplamente utilizado é o RED (*Random Early Detection*). Algumas das variantes do RED que satisfazem os múltiplos níveis de descarte são: WRED (*Weighted RED*), RIO (*RED with In/Out Bit*), RIO-C (*RIO-Coupled*). Porém, os mecanismos de gerenciamento de filas não são suficientes para cobrir todos os requisitos do PHB AF. Uma combinação destes mecanismos com o algoritmo de escalonamento adequado ou uma combinação destes permite um controle flexível e robusto dos recursos dos roteadores [Lefelhocz et al., 1996]. Alguns dos mecanismos de escalonamento que podem ser utilizados para implementar o PHB AF são: WFQ (*Weighted Fair Queueing*), WF2Q, SFQ e SCFQ.

Enfim, pode-se notar na literatura uma série de propostas de algoritmos de escalonamento aplicáveis a *DiffServ*. Neste contexto, nota-se também a falta de uma análise comparativa de tais algoritmos, aferindo seu desempenho na arquitetura *DiffServ*, quando colocados nas mesmas condições de tráfego, através da observação de métricas significativas para cada classe de serviço. O propósito deste artigo é realizar tal análise.

As avaliações de desempenho foram realizadas com o uso do software de simulação de redes NS-2. Os módulos do NS-2 com suporte a *DiffServ* que são utilizados nas avaliações foram implementados em [Andreozzi, 2001].

## **2. Avaliações de Desempenhos dos PHB EF, AF e BE**

O trabalho apresentado neste artigo teve como objetivo avaliar e comparar o desempenho de diversos algoritmos de escalonamento de pacotes quando utilizados para os PHB EF, AF e BE da arquitetura de serviços diferenciados. Os recursos dos roteadores alocados para diferentes agregados de tráfego são alocados pelos PHB, eles são implementados nos nós através de algum mecanismo de gerenciamento de *buffers* e escalonamento de pacotes.

Os algoritmos de escalonamento foram avaliados através da simulação de três grandes experimentos. Os resultados destes experimentos demonstram quais os algoritmos tiveram os melhores e quais algoritmos tiveram os piores desempenhos além de auxiliarem no entendimento de seus funcionamentos e definirem quais são os algoritmos para serem utilizados em cada PHB.

Na avaliação do PHB EF foram utilizados os seguintes algoritmos de escalona-

mento: RR, WRR, WIRR (*Weighted Interleaved Round Robin*), SCFQ, WFQ, WF<sub>2</sub>Q+ (*Worst-Case Fair Weighted Fair Queueing Plus*) e SFQ. Neste artigo os algoritmos baseados em tempo virtual (SCFQ, WFQ, WF<sub>2</sub>Q+ e SFQ) são chamados de VT. Uma ressalva quanto ao algoritmo RR é que ele foi avaliado, em todos os experimentos, com o intuito de ajudar no entendimento do funcionamento dos demais enriquecendo este trabalho com um cunho didático. Além dele, os algoritmos WRR e WIRR possuem implementações muito simplistas no NS-2 que não contemplam o tamanho dos pacotes para disciplinar o tráfego demonstrando que não são adequados para implementar QoS em uma rede com tamanhos de pacotes variados como a Internet. Contudo, foram mantidos na avaliação do PHB EF para demonstrar os problemas acarretados por esta inadequação.

Idealmente, o agregado EF não poderia ser afetado por outros tipos de tráfego que atravessam o roteador. Mas, na prática, verifica-se que o atraso fim-a-fim depende do tamanho dos pacotes das outras classes de tráfego que competem pelos recursos do roteador. Os escalonadores, ao atenderem uma determinada quantidade de tráfego de uma determinada fila, introduzem algum tipo de espera nas demais. O PHB EF necessita de um controle rígido em termos de OWD e IPDV e o algoritmo que apresentou os melhores resultados foi o PQ, devido a sua característica de servir a fila prioritária mantendo-a vazia ou com poucos pacotes. O ganho do PQ cresce com o aumento dos tamanhos dos pacotes EF. Salienta-se que a quantidade de tráfego desta fila deve ser dimensionado adequadamente e seus excessos limitados por algum conformador de tráfego para que não haja a postergação das filas com tráfegos menos prioritários. Os piores desempenhos foram obtidos pelos algoritmos RR, WRR e WIRR. Os algoritmos VT obtiveram um desempenho intermediário.

Para o PHB AF, os algoritmos que lograram os melhores desempenhos e se portaram de maneira mais adequada para os diversos agregados de tráfego avaliados foram os VT (SCFQ, WFQ, WF<sub>2</sub>Q+ e SFQ). A possibilidade da reserva adequada de recursos e o aproveitamento da largura de banda não utilizada ou excedente conferiram a estes algoritmos uma justiça maior na distribuição dos recursos destinados as classes AF. Verifica-se que as diferenças de desempenho entre os algoritmos VT são muito pequenos não sendo possível diferenciá-los nas simulações executadas. Acredita-se que um dos motivos para esta equiparação é que o NS-2 não contabiliza o tempo de processamento de cada algoritmo e suas complexidades. O algoritmo RR obteve os piores resultados porque ele não tem como atender aos requisitos de reserva de recursos ou quaisquer outros parâmetros exigidos pelas classes AF. Já o algoritmo PQ demonstrou um desempenho elevado para as classes de mais alta prioridade no esquema de filas e acabou afetando demasiadamente as classes AF menos prioritárias, assim como o PHB BE. O PHB BE acabou ficando com um desempenho precário com uma perda de pacotes muito elevada.

No experimento mais complexo envolvendo um modelo de serviço completo com a presença dos PHB EF, AF e BE são confirmados os problemas verificados com a utilização dos algoritmos PQ e RR. Eles não conseguem satisfazer as necessidades da reserva de recursos dos diferentes tipos de agregados de tráfego e os valores adequados para parâmetros mais críticos exigidos pelas aplicações, ou ainda, o desempenho muito elevado de uma determinada classe de tráfego interfere demasiadamente no desempenho das demais. Os algoritmos que demonstraram um bom desempenho para todos os PHB foram os LLQ. Eles conseguiram atender os requisitos exigidos em termos de OWD e

IPDV para o PHB EF, a reserva de recursos exigida pelo PHB AF e a disponibilidade de recursos mínimos reservados para o PHB BE. Por serem algoritmos hierárquicos e mesclam dois tipos de algoritmos (o PQ e algum dos VT) eles conseguem aproveitar o bom desempenho alcançado pelo PQ na implementação do PHB EF e a divisão adequada de recursos proporcionada pelos algoritmos VT quando utilizados para implementar os PHB AF e BE.

### 3. Conclusão

Como foi visto, pode-se diferenciar os desempenhos dos algoritmos PQ, RR e dos dois grupos de algoritmos VT e LLQ. Com o PQ sendo o melhor para o PHB EF e os VT para o PHB AF. Porém quando os dois PHB são utilizados no mesmo cenário os algoritmos LLQ logram os melhores desempenhos.

Salienta-se que as simulações para cada experimento foram realizadas mais de duzentas vezes. Durante todas estas repetições observou-se que os algoritmos de escalonamento se dividiam, quanto aos valores de desempenho, em PQ, RR e os dois grupos VT e LLQ. A diferença de desempenho entre o PQ, RR e os dois grupos se manteve nos mesmos patamares em todos experimentos.

Dentre os pontos em aberto está uma análise mais detalhada das diferenças de desempenho dos algoritmos dentro dos dois grupos principais citados neste trabalho que são os algoritmos VT e os algoritmos LLQ. É necessária uma análise mais amíúde identificando, se existirem, as mudanças que se fazem necessárias nos experimentos ou no próprio NS-2 para que se possa diferenciar os desempenhos dos algoritmos dentro de cada grupo. Outro ponto a ser desenvolvido é a implementação de outros algoritmos de escalonamento no NS-2 e sua posterior avaliação de desempenho e comparação com os resultados obtidos neste artigo.

### Referências

- Andreozzi, S. (2001). Diffserv Simulations Using the Network Simulator. *Dissertação de Mestrado, Università Degli Studi di Pisa*.
- Blake, S., Black, D., Carlson, M., Davies, E., Wang, Z., and Weiss, W. (1998). RFC 2475: An Architecture for Differentiated Services. *Internet RFC*. Status: Informational.
- Charny, A. et al. (2002). RFC 3247: Supplemental Information for the New Definition of the EF PHB (Expedited Forwarding Per-Hop Behavior). *Internet RFC*. Status: Informational.
- Davie, B. et al. (2002). RFC 3246: An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior). *Internet RFC*. Status: Standards Track.
- Heinanen, J. et al. (1999). RFC 2597: Assured Forwarding PHB Group. *Internet RFC*. Status: Standards Track.
- Jacobson, V., Nichols, K., and Poduri, K. (1999). RFC 2598: An Expedited Forwarding PHB. *Internet RFC*. Status: Standards Track.
- Lefelhocz, C. et al. (1996). Congestion Control for Best-Effort Service: Why We Need a New Paradigm. *IEEE Network Magazine*, 10(5):10–19.