

# DESENHO E IMPLEMENTAÇÃO DO SERVIÇO CONTROLLED-LOAD DA ARQUITECTURA INTSERV

M. Joana Urbano, M. Gonalo Quadros, Edmundo H. Monteiro  
{stmjaria, quadros, edmundo}@dei.uc.pt

Departamento de Engenharia Informática, Universidade de Coimbra, Portugal  
Telefone: 351-39-790000 Fax: 351-39-701266

## Resumo

Neste artigo é apresentado um estudo do servio *controlled-load* proposto pelo grupo INTSERV<sup>1</sup>. É ainda descrita a implementao de módulos de Controlo de Tráfego para o suporte deste servio e avaliado o seu desempenho em ambiente de teste.

Da análise dos resultados, são extraídas algumas conclusões sobre a utilidade do servio *controlled-load* no transporte de tráfego com necessidades de Qualidade de Servio (QoS).

## 1. Introduo

O número de utilizadores que usam diariamente a Internet tem vindo a aumentar consideravelmente em todo o mundo, ao mesmo tempo que as aplicaes distribuídas disponibilizadas a esses utilizadores vão sendo cada vez mais sofisticadas e exigentes a nível de recursos de comunicao. No entanto, a Internet não foi pensada inicialmente para suportar tal diversidade de informao. Deste modo, para acomodar esta heterogeneidade de tráfegos (e mesmo de sistemas terminais, intermédios e ligaes físicas),  necessário fazer alteraes na estrutura original da Internet, mais particularmente em camadas específicas da arquitectura TCP/IP. Nos últimos tempos têm surgido diferentes estratégias ou tendências, não obrigatoriamente dissociadas, para a evoluo da Internet, todas elas com um objectivo comum: o fornecimento de *qualidade de servio* (QoS).

As principais tendências são: a) desenvolvimento de aplicaes distribuídas *adaptativas*, capazes de ajustar os seus parâmetros de tráfego característicos consoante o estado da rede (por exemplo, a gerao e posterior transmissão de imagens com maior ou menor resoluo de acordo com informao recolhida, ou estatisticamente determinada, sobre o estado de carga da rede); b) diferenciao do tráfego que circula na rede e consequentemente dos servios que lhe são oferecidos, estando normalmente associada a um custo monetário que os utilizadores têm que suportar quando requerem um dado nível de QoS para as suas aplicaes. Esta diferenciao pode, por sua vez, ser conseguida quer ao nível de fluxos de dados,<sup>2</sup> para os quais são reservados recursos do sistema de comunicao (o grupo INTSERV tem trabalhado activamente no desenvolvimento desta estratégia, tendo definido e especificado um conjunto de servios<sup>3</sup> e um modelo de referência geral [1]), quer por esquemas de diferenciao baseados em *classes de servio*, determinadas por bits específicos nos cabealhos dos pacotes IP, às quais são fornecidos diferentes níveis, relativos, de QoS (este esquema foi proposto e está a ser desenvolvido pelo grupo DIFFSERV<sup>4</sup>).

<sup>1</sup> Grupo *Integrated Services Working Group*, da IETF (*Internet Engineering Task Force*).

<sup>2</sup> Considera-se um fluxo como uma seqncia de pacotes relacionados gerados por dada aplicao.

<sup>3</sup> Os servios actualmente especificados são os servios garantido[7] e *controlled-load*[6].

<sup>4</sup> Grupo *Differentiated Services Working Group*, da IETF (<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.htm>).

Além destas, outras tendências de âmbito mais específico têm vindo a surgir. Como exemplo, alguns grupos de investigao defendem a alterao da pilha TCP/IP a nível do transporte e da aplicao; o ponto base desta proposta assenta no facto de que a definio de protocolos de transporte mais flexíveis do que o TCP permite fornecer às aplicaes um servio de transporte menos pesado e mais adequado às suas necessidades, desde que estas sejam capazes de definir os seus requisitos em termos de compromissos entre ordem e fiabilidade dos pacotes dos tráfegos que geram.<sup>5</sup>

O Laboratório de Comunicaes e Servios Telemáticos (LCST) do DEI — UC<sup>6</sup> tem vindo a desenvolver um projecto global ([2][3][4][5]) que visa a integrao de mecanismos de QoS a nível da rede e do transporte, fazendo parte desse projecto o estudo dos servios especificados pelo INTSERV. Este artigo descreve o algoritmo e a implementao de três módulos de controlo de tráfego (Controlo de Admissão, Classificador e Escalonador) num encaminhador para a instalao do servio *controlled-load* [6].

A seco 2 refere sumariamente o modelo de servios integrados proposto pelo grupo INTSERV e as principais características do servio *controlled-load*, assim como alguns pormenores específicos a esta implementao. A seco 3 descreve uma fase de testes preliminares, apresentando os resultados e as primeiras conclusões. Finalmente, são apresentados na seco 4 as conclusões gerais e as referências ao trabalho futuro.

## 2. O modelo *Integrated Services*

Como já foi referido, o modelo de servio da Internet (salvo algumas redes piloto) está a revelar-se insuficiente para responder à quantidade e diversidade de informao que actualmente atravessa a Internet. Adivinham-se dificuldades acrescidas se pensarmos que as aplicaes distribuídas estão a encaminhar-se cada vez mais para a multimedia interactiva em tempo-real e para a realidade virtual. Isto acontece porque o servio disponibilizado pela Internet espelha a filosofia *best-effort* do protocolo IP: cada pacote de informao recebe da rede, *indistintamente*, a mesma qualidade de servio, tendo como única garantia o facto de a rede *tentar* o seu melhor para entregar o pacote no destino correcto e de uma forma correcta. De modo a prover a rede com mecanismos de QoS que lhe permitam a diferenciao dos fluxos (i.e., seqncias de pacotes relacionados gerados por determinada aplicao) que a atravessam e, do mesmo modo, garantir o fornecimento de um dado servio a esses fluxos, o grupo INTSERV estendeu o clássico modelo de servios a um modelo de Servios Integrados (IS, *Integrated Services*). A especificao deste modelo, assim como de um sistema de referência para a sua implementao, encontra-se descrito em [1]. O modelo estendido prevê a especificao de diversos

<sup>5</sup> Refira-se, a título de exemplo, o trabalho desenvolvido pelo grupo PEL da Universidade de Delaware (EUA) (<http://www.cis.udel.edu/~amer/PEL/index.html>).

<sup>6</sup> Departamento de Engenharia Informática da Universidade de Coimbra.

tipos de serviços — neste momento estão especificados os serviços garantido [7] e *controlled-load* [6] — a serem implementados nos elementos intermédios da rede através de três módulos essenciais: Controlo de Admissão, Classificador e Escalonador. No seu todo, estes módulos constituem o Controlo de Tráfego.

## 2.1 Serviço *Controlled-load*

O serviço *controlled-load* é extremamente simples. Resumidamente, um fluxo submetido a um serviço *controlled-load* espera da rede uma qualidade de serviço semelhante àquela que o mesmo fluxo receberia com um serviço *best-effort* através de uma rede *não fortemente* carregada (*unloaded*). Isto é, assumindo um normal funcionamento da rede, poder-se-ão verificar ocasionalmente atrasos por *queueing* ou mesmo perdas. Para não pôr em causa os compromissos assumidos, o serviço requer, por um lado, a existência de um mecanismo de controlo de admissão activo nos elementos da rede por onde o fluxo passa e, por outro, que as aplicações sejam capazes de fornecer uma estimativa do tráfego que vão gerar, sob a forma de um especificador de tráfego (*Tspec*).

Pelas características descritas, este serviço é adequado a aplicações tolerantes a algum atraso por *queueing*, mas extremamente sensíveis ao estado de carga da rede (eg, vídeo comprimido).

## 2.2 Algoritmo

A especificação do serviço *controlled-load* não explicita os algoritmos a adoptar nem torna mandatória nenhuma implementação em particular.

Os algoritmos adoptados neste trabalho são relativamente simples, utilizando um controlo de admissão conservativo e um esquema geral de escalonamento baseado em filas de prioridades individuais (uma por fluxo).

### Controlo de Admissão

O módulo Controlo de Admissão é responsável pela aceitação ou rejeição de novos fluxos numa dada interface do encaminhador. O algoritmo proposto baseia a sua decisão, quando recebe o pedido de admissão de um novo fluxo, no *Tspec* desse fluxo, na largura de banda total requerida pelos fluxos anteriormente admitidos e ainda na disponibilidade de espaço de armazenamento total do sistema. Este algoritmo é considerado *conservativo*, uma vez que não permite a agregação estatística (*statistical multiplexation*) dos fluxos admitidos, sendo adequado às situações nas quais não é possível obter uma estimativa aproximada do tráfego agregado instantâneo da rede. Nos casos em que tal é possível, poderão ser adoptados outros esquemas mais complexos, como aqueles baseados em medições[8][9].

### Classificador

O módulo Classificador é o responsável por separar os pacotes IP de acordo com o fluxo a que pertencem e por os direccionar para as respectivas filas por fluxo; para cada pacote IP recebido, o Classificador analisa o seu cabeçalho e compara a informação contida em cinco dos seus campos (*endereço origem, endereço destino, porto origem, porto*

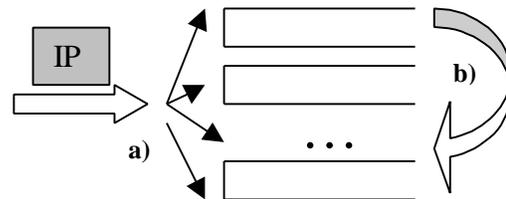
*destino*<sup>7</sup> e *protocolo*) com informação análoga contida numa *tabela de fluxos* mantida pelo Controlo de Admissão. Se houver correspondência de valores, existe na entrada em causa um ponteiro para a fila do fluxo. Caso contrário, o pacote é direccionado para uma fila *best-effort*<sup>8</sup>. Em alguns casos, previstos na especificação do serviço *controlled-load*, o tráfego excedentário<sup>9</sup> de um dado fluxo pode ser redireccionado para uma fila *best-effort*, caso haja disponibilidade de recursos.

### Escalonador

O algoritmo de escalonamento adoptado é do tipo *weighted fair queueing* [10]; o Escalonador verifica periodicamente as filas por fluxo, retirando de cada uma delas um número de *bytes* relacionado com a prioridade da fila. O pacote seleccionado segue depois para processamento *normal*.

Paralelamente a este projecto, está a ser desenvolvido no LCST um esquema de métricas de QoS [5] que irá permitir, por um lado, a alteração dinâmica da atribuição das prioridades às filas, de acordo com os níveis de serviço que os fluxos estão efectivamente a receber e com o estado de carga da rede e, por outro lado, permitir uma implementação mais eficiente do módulo Controlo de Admissão, baseada nos resultados das medições da qualidade de serviço efectivamente fornecida. Pensamos que este é um ponto crucial para o desempenho global do Controlo de Tráfego, podendo em certos casos optimizar a taxa de utilização dos recursos dos elementos da rede.

A figura 1 apresenta um esquema do funcionamento dos módulos Classificador e Escalonador.



**Figura 1** Funcionamento dos módulos Classificador e Escalonador; a) o Classificador direcciona os pacotes para as respectivas filas por-fluxo; b) o Escalonador visita periodicamente as filas de prioridades

## 3. Testes preliminares

Os testes aqui apresentados, embora preliminares, permitem-nos chegar a algumas considerações importantes acerca do desempenho global dos algoritmos propostos.

### 3.1 Ambiente dos testes

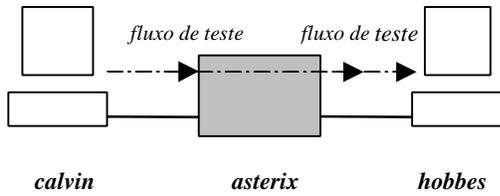
A figura 2 mostra o ambiente de testes realizados. As três máquinas correm o sistema FreeBSD Unix. e o Controlo de Tráfego foi instalado na máquina *asterix* (router). O fluxo de

<sup>7</sup> A informação sobre os portos é obtida por violação de camadas protocolares ao nível do IP.

<sup>8</sup> Existe uma fila *best-effort* por cada interface do sistema, para acomodar o tráfego sem reserva no sistema.

<sup>9</sup> Considera-se que há um excesso de tráfego quando o tráfego gerado cai fora da região definida pelos parâmetros do *Tspec* do fluxo em causa.

teste consiste numa sequência contínua de pacotes de 1000 bytes entre a origem (*calvin*) e o destino (*hobbes*).

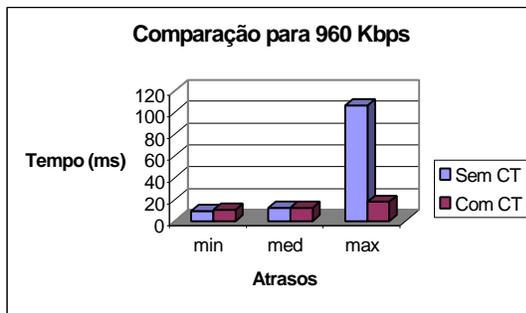


**Figura 2** Ambiente de testes

Foi ainda adoptada uma estratégia a dois tempos: num primeiro passo, foram medidos os atrasos e as perdas de pacotes do fluxo de teste, com o *router* pouco carregado, em duas situações distintas: a) ausência de Controlo de Tráfego (*kernel* original) e b) presença de Controlo de Tráfego (serviço *controlled-load*), tendo sido feita prévia reserva de recursos para o fluxo de teste em causa. Num segundo passo, submeteu-se o fluxo de teste ao serviço *controlled-load* e registaram-se os parâmetros de atrasos e perdas à medida que se aumentava a carga induzida no encaminhador.

### 3.2 Resultados

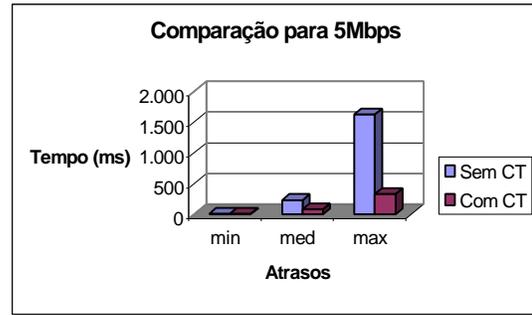
Com uma carga induzida de cerca de 960 Kbps no encaminhador, obtiveram-se os resultados da figura 3.



**Figura 3** Comparação dos atrasos mínimo, médio e máximo sofridos por um fluxo de teste nas duas situações de presença e ausência de Controlo de Tráfego (CT), para uma carga de 960 Kbps no encaminhador.

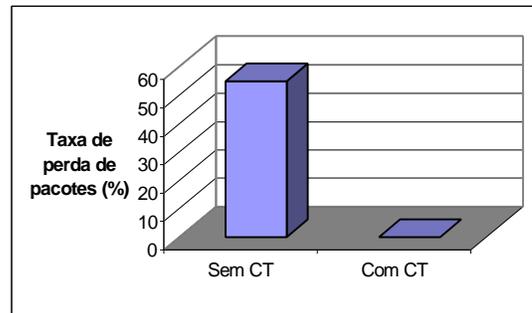
Pode-se concluir da figura que a presença do Controlo de Tráfego aumenta muito sensivelmente os atrasos mínimo e médio verificados, devido ao *overhead* inerente à implementação. No entanto, a enorme diferença verificada a nível dos atrasos máximos, onde o valor verificado na ausência de Controlo de Tráfego é cerca de 4 vezes superior ao atraso sofrido quando o fluxo é submetido ao serviço *controlled-load*, compensa largamente este ligeiro aumento. Embora não esteja ilustrado na figura, os valores registados para a taxa de perda de pacotes foi de 1% para o caso do *kernel* original e de 0% quando utilizados os módulos desenvolvidos.

De seguida, repetiu-se o mesmo procedimento para uma carga induzida no encaminhador de cerca de 5 Mbps, muito perto da saturação da interface. Os resultados são mostrados nas figuras 4a e 4b.



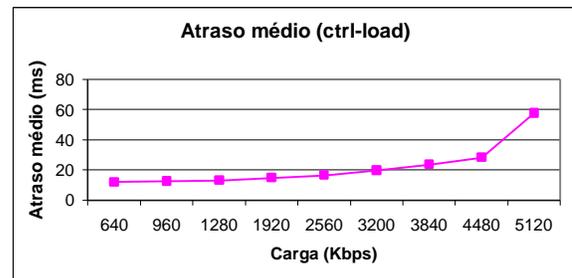
**Figura 4a** Comparação dos atrasos mínimo, médio e máximo sofridos por um fluxo de teste nas duas situações de presença e ausência de Controlo de Tráfego, para uma carga de 5 Mbps no encaminhador.

Nestas condições, verifica-se que o atraso médio sofrido pelos pacotes na ausência do Controlo de Tráfego é significativamente superior àquele observado na presença dos módulos (figura 4a). Em relação à taxa de perdas (figura 4b), observa-se que não só o comportamento dos dois *kernels* em relação a este parâmetro é significativamente diferente como, por outro lado, a taxa de perda de pacotes do fluxo de teste submetido ao serviço *controlled-load* se mantém aproximadamente 0%, mesmo no caso em que o *router* se encontra *muito fortemente carregado*.

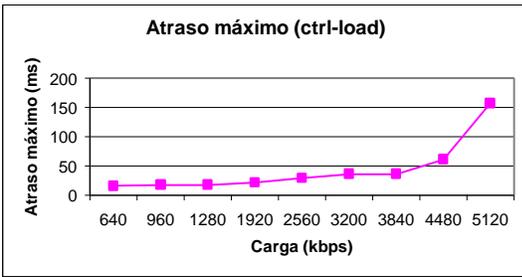


**Figura 4b** Comparação das taxas de perda de pacotes para uma carga induzida no encaminhador de 5 Mbps.

A figura 5 resume os resultados obtidos para o passo 2. A taxa de perda de pacotes verificada foi de 0% para todos os ensaios realizados.



**Figura 5a** Evolução do atraso médio com o serviço *controlled-load* à medida que a carga induzida no encaminhador aumenta.



**Figura 5b** Evolução do atraso máximo com o serviço *controlled-load* à medida que a carga induzida no encaminhador aumenta.

### 3.3 Análise dos resultados

Os resultados obtidos nestes testes permitem-nos tirar uma conclusão importante: os algoritmos implementados são eficazes no controlo da taxa de perda de pacotes: um fluxo submetido a este serviço, com uma adequada prévia reserva de recursos, pode esperar um taxa de perdas residual ou mesmo nula, *independentemente* do estado de carga ou congestão do elemento da rede. Esta garantia é por si só importante para certas aplicações, como aquelas que geram tráfego comprimido ou ainda as aplicações clássicas (ex. transferência de ficheiros) onde a perda de pacotes e as consequentes retransmissões podem baixar o débito efectivo (*goodput*) a níveis pouco desejáveis. Por outro lado, verifica-se igualmente que o atraso sofrido pelos pacotes submetidos ao serviço implementado é controlado e mantido a um nível satisfatoriamente baixo.

Estão previstos outros tipos de testes que permitirão avaliar com maior precisão o desempenho do algoritmo e da implementação destes módulos de Controlo de Tráfego. Esses testes incluirão diversas situações e cenários, tais como: diversos fluxos a concorrerem pelo serviço; co-existência de vários tipos de tráfego; comparação do comportamento de fluxos semelhantes com diferentes *Tspec*; estudo do efeito de rajadas de média e longa duração; avaliação de situações de não conformidade dos fluxos e avaliação da eficiência (em termos de utilização de recursos) dos módulos desenvolvidos.

### 4. Conclusão e trabalho futuro

Neste artigo foram descritos o desenho e a implementação de uma função experimental de Controlo de Tráfego, baseada em filas de prioridades, para a implementação do serviço *controlled-load* (INTSERV) num encaminhador. Foi ainda descrita uma fase preliminar de testes e apresentados os primeiros resultados e conclusões. Da análise dos resultados pode-se concluir que o serviço implementado é bastante eficaz na manutenção da taxa de perda dos pacotes de um fluxo a níveis residuais, mesmo em situações de congestão no *router*; verificou-se igualmente a limitação nos atrasos sofridos pelos pacotes de um fluxo, nas mesmas condições. Vimos ainda que a aplicação dos resultados de adequadas métricas de monitorização de QoS poderá otimizar o esquema de reserva e gestão de recursos adoptado nesta implementação, ao permitir a alteração dinâmica dos níveis de prioridade atribuídos às filas de prioridades.

O próximo passo neste trabalho consistirá na realização dos testes mencionados na secção 3.3 e na integração das métricas acima citadas, prevendo-se a efectuação de ligeiras

alterações e afinamentos no algoritmo e na implementação dos módulos. Está igualmente em curso no grupo CST a realização de experiências em torno da abordagem DIFFSERV e da existência/complementaridade destas duas propostas à escala da Internet, no suporte de tráfego com necessidades especiais de QoS.

### Referências

1. R. Braden, D. Clark, S. Shenker, "Integrated Services in the Internet: Architecture: na Overview", RFC 1633, June 1994.
2. E. Paulo, E. Reis, F. Araújo, J. Urbano, N. Pimenta, P. Mendes, G. Quadros, E. Monteiro, "Reserva de Recursos e Qualidade de Serviço em Redes de Computadores de Débito Elevado", Workshop RCCN, Lisboa, Março 1997.
3. E. Monteiro, G. Quadros, F. Boavida, "A Scheme for the Quantification of Congestion in Communication Services and Systems", Proceedings of the Third International Workshop on Services in Distributed and Networked Environments (SDNE'96), IEEE Computer Society, Macau, Junho 1996, pp 52-60.
4. J. Urbano, "Desenho e Implementação de Módulos de Controlo de Tráfego ao Nível do Protocolo IP", Dissertação de Licenciatura, Relatório Técnico, Departamento de Engenharia Informática, Universidade de Coimbra, Fevereiro de 1998.
5. G. Quadros, E. Monteiro, F. Boavida, "A QoS Metric for Packet Networks", a ser publicado em Proceedings of SPIE's Symposium on Voice, Video, and Data Communications Conference on Quality of Service Issues Related to Internet, Boston, USA, Novembro 1998.
6. J. Wroclawski, "Specification of the Controlled-Load Network Element Service", Internet-draft, August 1996 <draft-ietf-intserv-ctrl-load-svc-03.txt>.
7. S. Shenker, C. Partridge, R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of service", Internet Draft, <draft-ietf-intserv-guaranteed-svc-04.txt>, June 1996.
8. S. Jamin, L. Breslau, "A Measurement Based Admission Control Algorithm for Controlled-Load Service", Internet Draft, <draft-ietf-intserv-control-flow-00.txt>, April 1997.
9. S. Floyd, "Comments on Measurement-based Admission Control for Controlled-Load Services", Lawrence Berkeley National Laboratory Technical Report, July 1996.
10. Demers, S. Keshav, S. Shenker, "Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm", ACM Computer Communications Review, V.1914, pp. 1-12.