

Resultados da avaliação ao PHB-D3 do modelo LCT-QoS

Paulo Loureiro ^{1,2}, Gonçalo Quadros ², Edmundo Monteiro ²
loureiro@estg.iplei.pt, {quadros, edmundo}@dei.uc.pt

¹ Departamento de Engenharia Informática

Instituto Politécnico de Leiria - IPEI

Morro do Lena - Alto do Vieiro - 2410 LEIRIA

<http://www.dei.estg.iplei.pt>

² Laboratório de Comunicações e Telemática

CISUC / DEI – Universidade de Coimbra

Pólo II, Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra

<http://lct.dei.uc.pt>

Resumo

No Laboratório de Comunicações e Telemática (LCT) da Universidade de Coimbra foi desenvolvido um modelo de qualidade de serviço (QoS), designado por *modelo LCT-QoS*, baseado no paradigma *Differentiated Services* (DiffServ) da *Internet Engineering Task Force* (IETF). O modelo desenvolvido inclui funcionalidades para diferenciar tráfego e capacidades para fornecer qualidade de serviço às aplicações que o necessitem.

Integrando o modelo LCT-QoS foi desenvolvido um novo *Per Hop Behavior* (PHB), designado por *Distribuição Dinâmica da Degradação* (PHB-D3). O funcionamento do PHB-D3 baseia-se na distribuição dos recursos da rede de forma dinâmica pelas diferentes classes de tráfego, em função dos requisitos de qualidade de serviço e da sensibilidade à degradação associados a cada classe, sem que, para isso, seja necessário efectuar grandes alterações na tecnologia IP.

Com este artigo pretende-se dar continuidade à avaliação em curso do PHB-D3. Para isso, o PHB-D3 foi sujeito a testes intensivos, procurando abranger o máximo de situações possíveis, às quais um sistema que pretende implementar qualidade de serviço na Internet tem de dar resposta, tais como: capacidade para diferenciar tráfego, tratamento de fluxos pertencentes à mesma classe, aceitação de novos fluxos, entre outros.

Com os resultados apresentados é feita a caracterização do comportamento do PHB-D3 referente aos parâmetros estabilidade, desempenho, eficácia e escalabilidade.

Palavras chave

Qualidade de Serviço, QoS, Arquitectura DiffServ, Modelo LCT-QoS, PHB-D3.

1. Introdução

O modelo de qualidade de serviço desenvolvido no Laboratório de Comunicações e Telemática da Universidade de Coimbra – modelo LCT–QoS – é baseado no paradigma *Differentiated Services* [1] [2] da IETF [3]. O modelo inclui funcionalidades para diferenciar tráfego e capacidades para fornecer qualidade de serviço (QoS) às aplicações que o necessitem.

Integrando o modelo LCT–QoS, foi desenvolvido um novo PHB (*Per Hop Behavior*), identificado por Distribuição Dinâmica da Degradação (D3) [4]. O princípio de funcionamento do PHB–D3 considera que os recursos da rede devem ser redistribuídos de forma dinâmica pelas diferentes classes de tráfego, em função dos requisitos de qualidade de serviço e da sensibilidade à degradação associados a cada classe, sem que, para isso, seja necessário efectuar grandes alterações na tecnologia IP.

A implementação do PHB–D3 já foi sujeita a testes controlados [4], realizados em laboratório, sendo avaliados os principais parâmetros com possível influência no comportamento do modelo. Os resultados obtidos podem considerar-se bons, permitindo concluir que se trata de um modelo capaz de diferenciar tráfego segundo o paradigma das classes IP.

O tráfego na *Internet* possui, no entanto, uma grande diversidade e características bastante diferentes daquelas a que o modelo foi sujeito nos teste preliminares. Para esta diversidade contribui, por exemplo, o grande leque de aplicações, o comportamento dos diferentes protocolos, as situações de congestão, a variabilidade no tamanho dos pacotes. Desejavelmente, a avaliação do PHB–D3 deveria ser realizada em situações de tráfego real, na própria *Internet*. Devido à impossibilidade que é colocar um protótipo em funcionamento neste ambiente, a alternativa adoptada foi construir uma rede de teste, em ambiente fechado, que se aproxime o mais possível da realidade que é a *Internet* no tocante às características e funcionalidade do PHB–D3 a avaliar.

É objectivo do presente trabalho dar continuidade aos testes a que o PHB–D3 foi anteriormente sujeito [5]. Para isso, o PHB–D3 foi objecto de testes intensivos, procurando abranger um grande número de situações possíveis, tais como: capacidade para diferenciar tráfego, tratamento de fluxos pertencentes à mesma classe, aceitação de novos fluxos, entre outros.

Os resultados obtidos permitem tirar conclusões sobre o funcionamento do PHB–D3 relativamente aos parâmetros estabilidade, desempenho, eficácia e escalabilidade.

O artigo tem a seguinte estrutura, na Secção 2, é feito um enquadramento do trabalho, através de uma breve apresentação do modelo LCT–QoS. A Secção 3 apresenta a estratégia de avaliação, que inclui a caracterização dos testes realizados. Na Secção 4 são apresentados e analisados os resultados obtidos. A Secção 5 inclui a conclusão e algumas referências para trabalho futuro.

2. Modelo LCT–QoS

A *Internet* actual fornece um serviço baseado no paradigma “melhor possível” (*Best-Effort*). Todas as aplicações que utilizam a rede partilham os mesmos recursos, sendo, este princípio de funcionamento, suficiente para o suporte de muitas das actuais aplicações de comunicação. Com o surgimento de novas aplicações que esperam da rede algumas garantias de qualidade surgiu a necessidade de novos mecanismos de diferenciação de tráfego. Actualmente existem, no âmbito do IETF, duas arquitecturas para a diferenciação de tráfego na *Internet*: a arquitectura *Integrated Services* (IntServ) [6] e a arquitectura *Differentiated Services* (DiffServ) [7].

No LCT têm sido desenvolvido algum trabalho em torno da problemática da QoS em redes IP. Parte deste trabalho têm sido focado na arquitectura DiffServ onde tem vindo a ser desenvolvido

um conjunto de módulos com funcionalidades para suporte de encaminhamento diferenciado em redes IP (modelo LCT-QoS) no âmbito do qual foi desenvolvido o PHB D3 [4]. O PHB-D3 considera que os recursos da rede devem ser distribuídos dinamicamente pelas classes de tráfego com o objectivo proteger os fluxos das classes mais sensíveis. Esta distribuição é feita em função de dois requisitos: a sensibilidade à degradação das aplicações a perdas; e a sensibilidade das aplicações à degradação associada a atrasos.

Em situações de carga excessiva a degradação de qualidade é distribuída dinamicamente entre as classes de tráfego. O controlo da degradação de qualidade é feito, de forma independente, para os parâmetros atraso e perdas. Estes parâmetros podem dar origem a valores de degradação diferentes quando, por exemplo, o fluxo pertence a que estão associados pertence a classes de tráfego distintas, não devendo, por este motivo, ser interpretados como valores absolutos.

Para tornar possível a comparação da qualidade atribuída a cada classe, o modelo LCT-QoS define um parâmetro designado por *Índice de Congestão* (IC) que representa o impacto da degradação sentido nas aplicações de comunicação, de acordo com uma métrica definida em [8]. Segundo esta métrica, para cada classe é definido um IC relativo ao atraso e um IC relativo a perdas. O calculo destes parâmetros faz uso do valor absoluto das perdas ou atrasos e de um segundo parâmetro, designado por *Declive da Degradação* (DSlope) que traduz o declive da recta que relaciona os valor de IC com o atraso ou perdas sofridas por uma dada classe de tráfego, permitindo quantificar a degradação de uma aplicação de comunicação relativamente a perdas ou atrasos. Uma classe de serviço com um valor elevado de degradação em relação a perdas ou atrasos deverá ter um valor de DSlope elevado associado, respectivamente, a cada uma dessas características.

Fazem ainda parte do modelo LCT-QoS mais dois componentes, um módulo de encaminhamento com QoS (QoS-R-LCT) [9], que efectua o encaminhamento de acordo com o estado de congestão dos nós da rede e com as necessidades de QoS do das classes suportadas, e um módulo de Controlo de Admissão [10], que efectua um controlo aos fluxos de tráfego à entrada da rede.

3. Estratégia de avaliação

Nesta secção é apresentada a parametrização do PHB-D3 para os testes realizados, a descrição do cenário de teste, a caracterização dos testes realizados e a aplicação geradora de tráfego utilizada.

3.1 Parametrização do PHB-D3 e cenário de testes

No modelo LCT-QoS são considerados, para efeitos deste trabalho, quatro classes de tráfego. Estas classes são distinguidas pela sua capacidade para suportar degradação associada a atrasos e a perdas. Esta classificação já foi definida num trabalho anteriormente elaborado no LCT [11]. A Tabela 1 apresenta a parametrização utilizada nas quatro classes consideradas, relativamente aos parâmetros sensibilidade a atraso e sensibilidade a perdas.

Classe	Sensibilidade a atraso	Sensibilidade a perdas
1	Baixa	Baixa
2	Alta	Média
3	Alta	Baixa
4	Média	Alta

Tabela 1. Classes de tráfego consideradas

O parâmetro de medição da degradação, DSlope permite definir a degradação que as aplicações sofrem relativamente a atrasos ou perdas. Apesar deste parâmetro poder tomar valores entre 0° e 90° (embora um declive de 90° implique perda de estabilidade por resultar em índices de congestão infinitos para qualquer valor de atraso ou perdas). Assim, foram realizados testes que permitiram definir gamas de valores específicos para os quais o modelo LCT-QoS apresenta o melhor comportamento. Dos valores experimentados para o parâmetro DSlope foram obtidos os melhores resultados com os valores apresentados na Tabela 2.

Dslope	
Valor qualitativo	Valor quantitativo
Baixo	20°
Médio	40°
Alto	60°

Tabela 2. Valores Dslope usados na avaliação

Os testes foram realizados no cenário representado na Figura 1. Na interligação das máquinas é usada tecnologia *Ethernet* comutada, configurável a 10 ou a 100 Mbps. As redes A e B geram tráfego das quatro classes (uma classe por máquina) com destino à rede C. O encaminhador com capacidade de suporte do PHB-D3 processa os pacotes IP em função da classe de tráfego identificada pelo *Differentiated Service Code Point* (DSCP). As interfaces do encaminhador são configuradas a 10 Mbps.

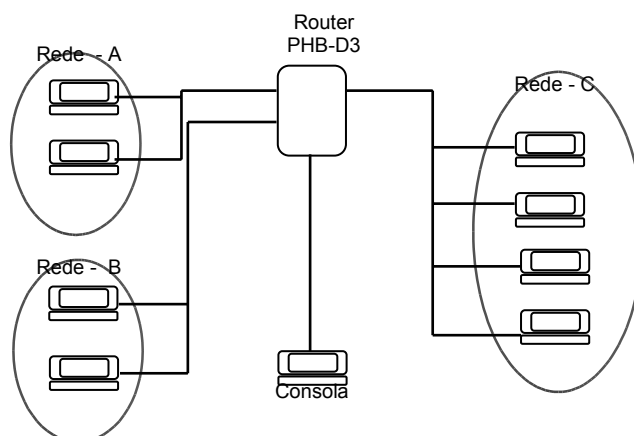


Figura 1. Cenário de teste

A geração de tráfego foi realizada com aplicação *Chariot 4.0* da *NetIQ* [12]. Esta aplicação permite gerar fluxos de tráfego, medir os resultados e avaliar o desempenho dos componentes de uma rede. São utilizados fluxos de dados reais, permitindo a emulação de diversos tipos de aplicações geradoras de tráfego TCP e UDP.

3.2 Caracterização dos testes

Os teste realizados ao PHB-D3 tiveram como motivação global a necessidade de confirmar a existência das capacidades suficientes para provar a sua praticabilidade, mais concretamente: estabilidade, escalabilidade, desempenho e eficácia.

A avaliação da estabilidade do PHB-D3 foi feita mediante a análise do maior número possível de testes, de modo a verificar-se a sua capacidade para manter um comportamento previsível e não oscilatório face a condições muito diversas de tráfego. Para além desta análise, será dada ainda maior atenção aos testes que envolvam condições com particular tendência para um

comportamento não estável, tais como, variação brusca de carga, do número de fluxos e na presença de tráfego impulsivo (*bursts*).

A avaliação da escalabilidade do PHB-D3 será feita através da realização de um conjunto alargado de testes, de modo a abranger o maior número de situações que envolvam variáveis de parâmetros escaláveis, tais como, número de fluxos, tamanho dos pacotes, número de classes com tráfego, entre outros.

A avaliação do desempenho do PHB-D3 será efectuada através da análise as suas capacidades para lidar com as questões relacionadas com a qualidade que deve ser atribuída aos fluxos de uma rede, por outras palavras, deverá ser avaliada a capacidade do PHB-D3 para diferenciar tráfego UDP e TCP, deverá ser verificado o modo como os recursos são distribuídos por fluxos de classes diferentes e por fluxos da mesma classe, deverá ser confirmado se os mecanismos de descarte são mais eficientes do que o actual *Tail Drop*. Deverá ainda ser analisada a capacidade dos mecanismos para aceitar novos fluxos e para reagir a variações de carga na rede.

A avaliação da eficácia do PHB-D3 passa por confirmar se a diferenciação do tráfego é correctamente efectuada, para tráfego UDP e TCP. Para isso, serão efectuados testes que envolvam fluxos de tráfego UDP e testes que envolvam fluxos TCP. Os resultados serão avaliados em relação à capacidade do PHB-D3 para distribuir os recursos pelas diferentes classes.

4. Avaliação do PHB-D3

Nesta secção são apresentados e discutidos os resultados dos testes realizados ao PHB-D3, sendo tiradas conclusões em relação aos aspectos em avaliação: estabilidade, desempenho, eficácia e escalabilidade. Estes aspectos foram, nesta fase, considerados suficientes para aferir a capacidade do PHB-D3 como um sistema que pode vir a fornecer qualidade de serviço em redes IP.

4.1 Avaliação da estabilidade

A avaliação da estabilidade do PHB-D3 foi feita analisando todos os testes realizados e verificando o seu comportamento durante a duração dos mesmos. Verificou-se que o PHB-D3 teve um comportamento estável e previsível em todos os testes realizados, nomeadamente nas situações de variação brusca de carga e número de fluxos que utilizam a rede, assim como em condições de *bursts*. Este comportamento é confirmado pelos resultados apresentados a seguir.

Aceitação de novos fluxos e variação de carga

No teste ilustrado na Figura 2 foram acrescentados dois novos fluxos da classe 4 (linhas iniciadas pela marca circunferência) no instante 120 segundos. Os recursos recebidos da rede por estes dois novos fluxos são iguais aos concedidos aos fluxos já existentes. Neste teste, verifica-se que a percentagem de perdas é próxima para todos os fluxos pertencentes à mesma classe.

A variação da carga, devido ao aparecimento dos novos fluxos, é visível pelo aumento de perdas globais. É de realçar a redistribuição dos recursos de comunicação da rede, visível pelo maior aumento de perdas atribuídas aos fluxos das classes inferiores, sem que isso de origem a comportamentos instáveis.

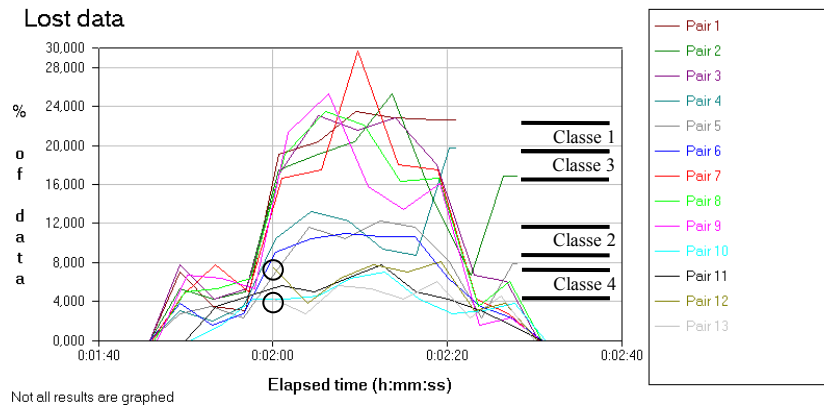


Figura. 2. Quatro classes, tráfego UDP, com variação de fluxos e carga

Comportamento na presença de *bursts*

A Figura 3 e a Figura 4 devem ser analisadas de forma comparativa. Na primeira são representados os resultados obtidos com o encaminhador PHB-D3 e, na segunda, os resultados obtidos sem o encaminhador PHB-D3. Neste teste, apenas foram utilizados fluxos UDP, todos pertencentes à classe 4. Num dado instantes foi gerado um *burst* de tráfego em ambas as situações (com e sem PHB-D3). Verificou-se que as perdas globais diminuem com a presença do PHB-D3. Também é visível que o tempo de estabilização, após o fim do *burst*, é menor com a presença do encaminhador PHB-D3.

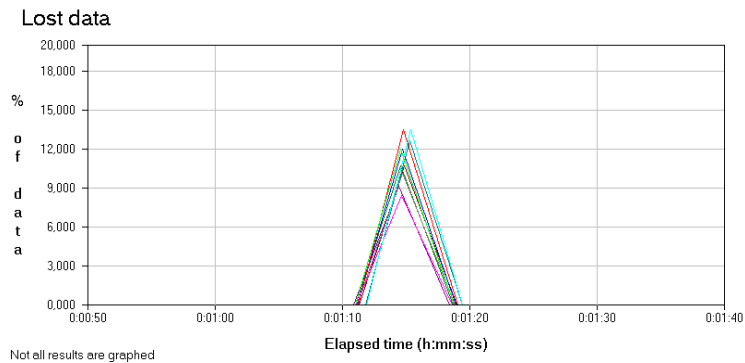


Figura. 3. Com PHB-D3, *bursts*

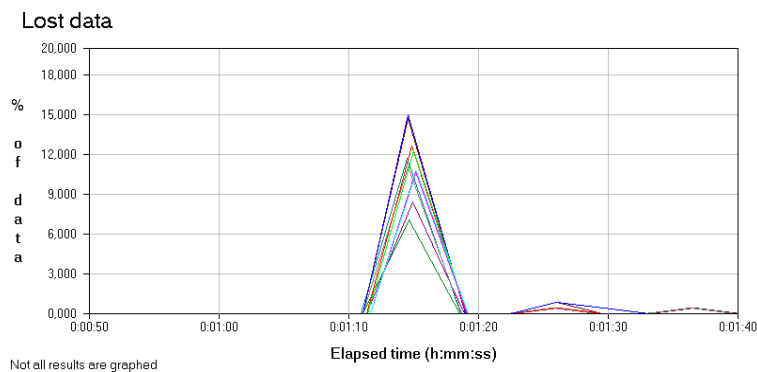


Figura 4. Sem PHB-D3, *bursts*

4.2 Avaliação de desempenho

A avaliação do desempenho do PHB-D3 foi realizada analisando as capacidades do mecanismo para gerir as questões relacionadas com a qualidade atribuída aos fluxos de tráfego de uma rede, nomeadamente, a capacidade para diferenciar tráfego UDP e TCP, a distribuição dos recursos pelos fluxos da mesma classe, o total de perdas de pacotes por fluxo, a capacidade para aceitar novos fluxos e a capacidade para reagir a variações de carga na rede.

Desempenho na diferenciação de tráfego UDP

A Figura 5 mostra os resultados obtidos numa rede com 12 fluxos UDP. Os primeiros três fluxos pertencem à classe 1, os seguintes três fluxos à classe 2, os seguintes à classe 3 e os últimos à classe 4.

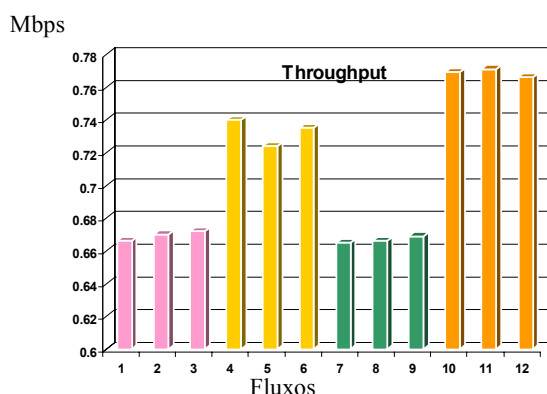


Figura 5. Quatro classes de tráfego UDP

É clara a diferenciação efectuada pelo PHB-D3, atribuindo mais recursos às classes com maior sensibilidade a perdas, que são, por esta ordem: classe 4, 2, 3 e 1. As classe 3 e 1 possuem a mesma sensibilidade a perdas, e, por isso, recebem recursos semelhantes da rede. Foram realizados testes com um número de fluxos superior, os resultados foram semelhantes aos apresentados.

Desempenho na diferenciação de tráfego TCP

A Figura 6 apresenta os resultados de um teste utilizando 48 fluxos TCP, pertencentes a quatro classes. Os primeiros 12 fluxos pertencem à classes 1, os 12 seguintes à classe 2, os 12 seguintes à classe 3 e os últimos 12 à classe 4.

Estes resultados permitem verificar que, de um modo geral, é feita a diferenciação entre fluxos que pertencem a classes distintas. Existem alguns fluxos de classes com menor sensibilidade que recebem mais recursos da rede do que fluxos pertencentes a classes com maior sensibilidades, o que não permite dizer que a diferenciação é feita de forma clara.

Utilização dos recursos por fluxos UDP e TCP da mesma classe

A Figura 5 mostra que fluxos pertencentes a uma mesma classe podem receber diferentes recursos da rede. Um sistema que pretenda implementar qualidade de serviço deve garantir que todas as aplicações com igual sensibilidade a perdas recebem os mesmos recursos da rede. Esta característica não é totalmente confirmada pelos testes efectuados com fluxos UDP.

De igual modo, os fluxos TCP representados na Figura 6 recebem um tratamento diferenciados da rede. É visível, neste teste, que alguns dos fluxos de classes com sensibilidades superiores

recebem menores recursos do que fluxos de classes menos sensíveis. Esta constatação é contrária com um sistema que pretende efectuar diferenciação de tráfego.

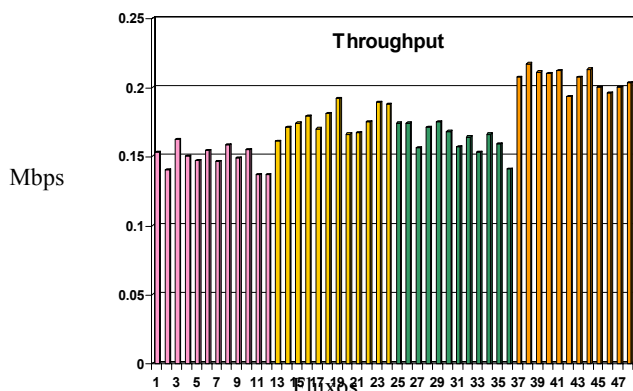


Figura 6. Quatro classes de tráfego TCP

Redução de perdas em fluxos UDP

A presença do PHB-D3 no encaminhador revelou-se capaz de diminuir o número de pacotes descartados no nó da rede. Este facto tem a ver com o modo como os mecanismos de descarte e gestão de filas são implementados. Todos os testes efectuados confirmam esta tendência. A Figura 7 mostra a percentagem de perdas globais num teste com e sem a presença do PHB-D3. É visível a diminuição de perdas conseguida com a introdução do PHB-D3.

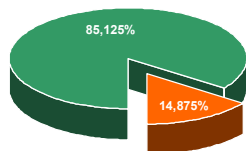
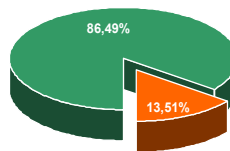


Figura 7. Perdas sem PHB-D3



Perdas com PHB-D3

Aceitação de novos fluxos e variação de carga

A alteração do número de fluxos durante a execução de um teste e a correspondente variação da carga na rede, devido ao aumento do número de fluxos a partir de um determinado instante do teste, não deu origem a perdas de desempenho. A rede adaptou-se às alterações e os recursos da rede foram distribuídos dinamicamente pelas várias classes de tráfego, em função da sua sensibilidade à degradação.

Os resultados da Figura 2 suportam esta conclusão. No instante 120 segundos surgem dois novos fluxos (os fluxos assinalados com a marca circunferência). Neste instante é feita a adaptação dos recursos da rede. Os fluxos das classes 1 e 3 são os mais afectados, porque possuem menor sensibilidade à degradação. Os fluxos da classe 2 e 4 são menos afectados porque a sua sensibilidade à degradação é maior.

4.3 Avaliação de eficácia

A avaliação do PHB-D3 em relação à eficácia consistiu em verificar se o PHB-D3 efectua ou não a diferenciação do tráfego em função das características dos fluxos suportados. Esta

característica foi verificada para tráfego UDP e TCP. Com os testes realizados foi ainda possível avaliar a eficácia com que o PHB-D3 interage com protocolos de transporte UDP e TCP.

Eficácia na diferenciação de tráfego UDP

A Figura 5 mostra que a diferenciação é efectuada quando em presença de fluxos UDP. É visível a menor atribuição de recursos aos fluxos das classes com menor sensibilidade a perdas, classes 1 e 3, por sua vez, os fluxos das classes 2 e 4 recebem maiores recursos da rede. Desta análise pode-se concluir que o PHB-D3 efectua a diferenciação do tráfego UDP de forma eficaz.

Eficácia na diferenciação tráfego TCP

A Figura 6 mostra que existe alguma capacidade de diferenciação para este tipo de tráfego. A diferenciação não é, no entanto, tão clara como no caso de fluxos UDP, ocorrendo situações em que fluxos de classes menos sensíveis recebem mais recursos do que fluxos de classes mais sensíveis. Deste modo, não se pode concluir com clareza pela eficácia da diferenciação do tráfego TCP no PHB-D3. Este comportamento é explicado pela influência dos mecanismos de controlo do fluxo existentes no TCP que fazem com que este protocolo tenha um comportamento adaptativo face às condições da rede, reagindo às perdas com redução da janela de envio e, consequentemente, do débito.

Eficácia no suporte dos protocolo de transporte

Dos resultados as figuras 5 e 6, em que é ilustrado o comportamentos do PHB-D3 em presença de fluxos TCP e UDP, respectivamente, pode concluir-se que os fluxos UDP são diferenciados com maior clareza do que os fluxos TCP. Não se pode concluir que o PHB-D3 seja completamente eficaz no tocante à interacção com o protocolo TCP devido ao funcionamento dos mecanismos de controlo de fluxo deste protocolo, como foi anteriormente referido.

4.4 Avaliação de escalabilidade

A escalabilidade do PHB-D3 foi testada em condições de funcionamento muito diverso. Foram efectuados testes com diferente número de fluxos, pacotes com tamanhos variados e número de classes com tráfego. A seguir são apresentados e discutidos os resultados para cada uma destas situações.

Escalabilidade relativamente ao número de fluxos

O número de fluxos utilizado nos testes variou entre 1 e 48 fluxos, limite imposto pela aplicação geradora de tráfego. Verificou-se que, em todas as situações, o funcionamento do PHB-D3 era o esperado, não ocorrendo situações imprevistas relacionadas com o número de fluxos utilizados. Os resultados contidos na Figura 5 e a Figura 6 suportam esta conclusão. O gráfico da Figura 5 corresponde a um teste com doze fluxos, enquanto que o gráfico da Figura 6 corresponde a um teste com quarenta e oito fluxos. Em ambas as situações foi obtido o resultado esperado para as condições do teste. É de salientar que a diferenciação de tráfego UDP é mais clara do que com fluxos TCP, no entanto, os testes efectuados mostraram que esta característica não se deve à variável número de fluxos utilizados.

Escalabilidade relativamente ao tamanho dos pacotes

O tamanho dos pacotes é um factor importante no comportamento das redes de comunicações por pacotes em geral e das redes TCP/IP em particular. A quantidade de tráfego útil na rede é

afectada pelo tamanho dos pacotes, devido aos *bytes* associados ao cabeçalho das camadas de transporte e de rede.

Na Figura 8 é apresentado o resultado de dois testes em relação às perdas ocorridas por fluxo com tamanhos de pacotes diferentes. Foram utilizados fluxos de duas classes, assinalados no gráfico a cores diferentes. No primeiro teste utilizaram-se pacotes com tamanho de 1460 *bytes*, no segundo utilizaram-se pacotes com tamanho de 351 *bytes*.

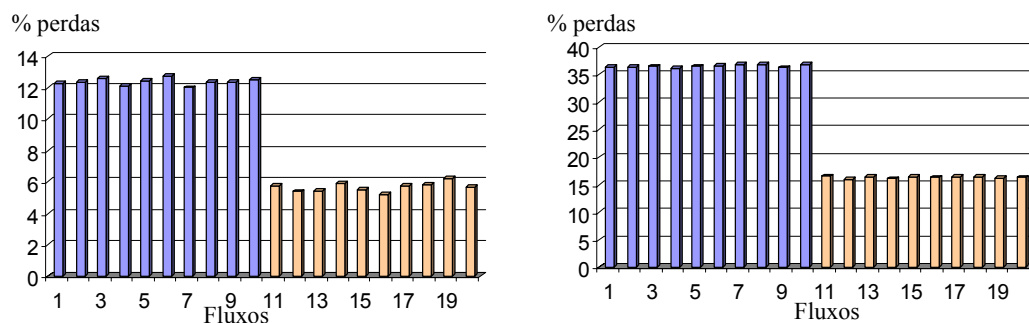


Figura. 8. Perdas com pacotes de 1460 bytes Perdas pacotes de 351 bytes

Verificou-se que as perdas globais aumentam com a diminuição do tamanho dos pacotes. Com este resultado, verifica-se que o PHB-D3 efectua a diferenciação do tráfego para pacotes de tamanhos diferentes embora revele alguma falta de escalabilidade relativamente a este factor.

Número de classes com tráfego UDP

Este teste pretende analisar se o aumento do número de filas de espera com classes de tráfego tem alguma influência nos resultados finais do PHB-D3. Para tal foram realizados três testes, no primeiro deles com os fluxos a pertencerem a duas classes, no segundo a pertencerem a três classes e no terceiro a quatro classes. A Figura 9 ilustra os resultados obtidos.

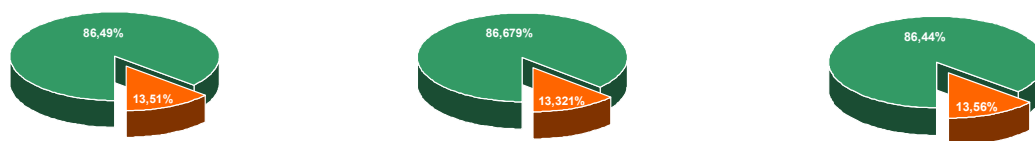


Figura 9. Perdas com 2 classes Perdas com três classes Perdas com quatro classes

Verificou-se que as perdas totais, em cada uma das três situações de teste, foram muito semelhantes. Com estes resultados pode concluir-se que o PHB-D3 apresenta uma boa escalabilidade relativamente ao número de classes de tráfego presentes.

5. Conclusões e trabalho futuro

Com este artigo pretendeu-se dar continuidade à avaliação do PHB-D3 suportado pelo modelo LCT-QoS desenvolvido no Laboratório de comunicações e Telemática da Universidade de Coimbra.

Para tal, o PHB-D3 foi sujeito a um conjunto de testes intensivos, procurando abranger o máximo de situações às quais um sistema que pretenda implementar qualidade de serviço na Internet tem que ser capaz de responder, concretamente: capacidade para diferenciar tráfego, tratamento de fluxos pertencentes à mesma classe, aceitação de novos fluxos, entre outros aspectos.

Os testes realizados permitiram retirar um conjunto interessante de conclusões relativamente às quatro características em avaliação: estabilidade, desempenho, eficácia e escalabilidade.

Em termos de estabilidade, o PHB-D3 mostrou um comportamento estável e previsível na generalidade das situações testadas, nomeadamente naquelas que incluem condições que poderiam conduzir à instabilidade, como é o caso da aceitação de novos fluxos, variação de carga e situações de *bursts* de tráfego.

A avaliação do desempenho do PHB-D3 foi também positiva. O mecanismo revelou uma boa capacidade de diferenciar tráfego UDP reagindo bem a alterações na carga da rede, contribuindo para a redução das perdas totais. Por outro lado, existe um conjunto de situações nas quais o PHB-D3 não apresentou um tão bom desempenho, concretamente, na diferenciação de tráfego TCP e a gerir os mesmos recursos a fluxos que pertencem às mesmas classes para tráfego UDP e TCP. Este comportamento é explicado pela influência dos mecanismos de controlo do fluxo existentes no TCP que fazem com que este protocolo tenha um comportamento adaptativo face às condições da rede, reagindo às perdas com redução da janela de envio e, conseqüentemente, do débito.

Em termos de eficácia, o PHB-D3 mostrou-se eficaz na diferenciação de tráfego UDP. No entanto, quando sujeito a condições de teste que envolviam tráfego TCP, a diferenciação não foi tão eficaz. Este comportamento é explicado pela interferência dos mecanismos de controlo de fluxo do TCP. Em relação à eficácia do protocolo de transporte, os testes mostraram diferenças de tratamento de fluxos quando estes são UDP e quando estes são TCP. A justificação para este comportamento foi também a influência do controlo de fluxo do TCP, anteriormente referida.

Relativamente à avaliação da escalabilidade, os testes realizados mostraram uma boa capacidade de adaptação a variações no número de fluxos activos e no número de classes com tráfego UDP. Já os resultados dos testes de avaliação da influência do tamanho dos pacotes revelaram alguma falta de escalabilidade relativamente a este parâmetro.

Em termos gerais, o trabalho realizado, permite concluir pelas boas características de estabilidade, desempenho, eficácia e escalabilidade do PHB-D3 em cenários em que o encaminhador se encontra isolado, com tráfego UDP e TCP. A avaliação do PHB-D3 em cenários mais complexos que envolvam vários encaminhadores e misturas de tráfego mais variadas é objecto de trabalho em curso do LCT. Estão também em curso desenvolvimentos que visam a avaliação por simulação do PHB-D3 e do modelo LCT-QoS em cenários mais alargados. Como trabalho futuro prevê-se a realização de testes com vista à avaliação comparativa do PHB-D3 com outros PHBs do modelo DiffServ, nomeadamente com o PHB AF que possui algumas características semelhante.

Agradecimentos

Trabalho parcialmente financiado pelo programa de investigação POSI do Ministério da Ciência e Tecnologia (Projectos QoSII e IPQoS).

Referências

- [1] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies Nortel, W. Weiss, “An Architecture for Differentiated Services”, Internet Engineering Task Force, RFC 2475, Dezembro de 1998.
- [2] K. Nichols, S. Blake, F. Baker, D. Black, “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers”, Internet Engineering Task Force, RFC 2474, Dezembro de 1998.
- [3] Internet Engineering Task Force, <http://www.ietf.org/>
- [4] Gonçalo Quadros, António Alves, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, “An Approach to Support Traffic Classes in IP Networks”, in Proceedings of QoS'2000 - The First International Workshop on Quality of future Internet Services, Berlin, Germany, 25-26 de Setembro, 2000.
- [5] Paulo Loureiro, Davide Lourenço, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, “Avaliação ao PHB-D3 do modelo LCT-QoS”, in Actas da 4ª Conferência sobre Redes de Computadores – Tecnologias e Aplicações, CRC'2001, FCCN, Universidade de Aveiro, Covilhã, Portugal, 28-29 de Novembro de 2001.
- [6] R. Braden, D. Clark, S. Shenker, “Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview”, RFC 1633, Internet Engineering Task Force, Network Working Group, Junho de 1994.
- [7] Differentiated Services, <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>.
- [8] Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, “A QoS Metric for Packet Networks”, in Proceedings of SPIE International Symposium on Voice, Video, and Data Communications, Conference 3529A, Hynes Convention Center, Boston, Massachusetts, USA, 01-05 de Novembro, 1998.
- [9] Marília Oliveira, Bruno Melo, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, “Quality of Service Routing in the Differentiated Services Framework”, Proceedings of SPIES International Symposium on Voice, Video, and Data Communications (Internet III: Quality of Service and Future Directions), Boston, Massachusetts, USA, 05-08 de Novembro 2000.
- [10] Davide Lourenço, Marília Oliveira, Gonçalo Quadros, Edmundo Monteiro, "Definição do Mecanismo de Controlo de Admissão para o Modelo de Serviços de LCT-UC", in Actas da 3ª Conferência sobre Redes de Computadores – Tecnologias e Aplicações, CRC'2000, FCCN, Universidade de Aveiro, Viseu, Portugal, 16-17 de Novembro, 2000.
- [11] Marília Oliveira , “Estratégia para Encaminhamento com Qualidade de serviço com base na Métrica do Laboratório de Comunicações e Telemática – Especificação de Testes ao Algoritmo de Selecção de Percursos”, Documento interno do LCT-QoS, Outubro de 1999.
- [12] Chariot Traffic Generator and Analyzer, NetIQ Corporation, <http://www.netiq.com>.