

Fast DCCP: Uma variante do protocolo DCCP para redes de alta velocidade

Carlos A. Froldi¹, Nelson L. S. da Fonseca¹ e Carlos Papotti

¹Instituto de Computação – Universidade Estadual de Campinas
Campinas, SP

{carlos,nfonseca}@ic.unicamp.br, cpapotti@sj.unisal.br

Abstract. *The Internet transport layer protocols, TCP and UDP, do not provide efficient transport for multimedia streams. UDP is usually used for these application, due to its low overhead. A new transport layer protocol, called DCCP, was proposed to meet the demand of multimedia applications, aiming at replacing the UDP protocol. This paper will propose a variant for this protocol, called Fast DCCP, for operating efficiently on high-speed networks.*

Resumo. *Os protocolos da camada de transporte na Internet, TCP e UDP, não oferecem serviços para transmissão eficiente de fluxos multimídia, porém, este último é adotado com maior frequência por essas aplicações. Uma proposta de um novo protocolo da camada de transporte, chamado DCCP, foi elaborada para atender a demanda das aplicações multimídia e substituir o protocolo UDP. O presente artigo propõe uma variante deste protocolo, chamada Fast DCCP, para operar de maneira eficiente em redes de alta velocidade.*

1. Introdução

Nos últimos anos, houve um aumento considerável do número de aplicações multimídia na Internet, que são sensíveis ao atraso e que requerem, de maneira geral, taxas de transmissão mínima. É extremamente desafiador fornecer a qualidade de serviço necessária à estas aplicações, utilizando o tipo de serviço *Best Effort*, apesar do aumento significativo de banda nos enlaces da Internet. Os protocolos atualmente empregados na camada de transporte, *Transmission Control Protocol* (TCP) e *User Datagram Protocol* (UDP), são ineficientes na garantia de condições necessárias para transmissões das aplicações multimídia, porém este último tem sido adotado com mais frequência, uma vez que as aplicações multimídia são sensíveis ao atraso.

O aumento da utilização do protocolo UDP pelas aplicações multimídia pode colocar em risco o bom funcionamento da Internet, sobretudo em redes de alta velocidade, uma vez que este protocolo não efetua nenhum tipo de controle de congestionamento. Por outro lado, algumas funcionalidades do protocolo TCP, como por exemplo, o conceito de conexões, são interessantes para alguns tipos de aplicações multimídia. A proposta, da IETF de um novo protocolo para a camada de transporte, o *Datagram Congestion Control Protocol* (DCCP) [Floyd et al. 2006b] oferece o estabelecimento de conexão para envio não confiável de fluxo de dados e controle de congestionamento. O protocolo fornece dois mecanismos distintos de controle de congestionamento, sendo ambos amigáveis ao protocolo TCP, ou seja, visam garantir uma disputa justa por recursos entre seus fluxos

e os fluxos deste protocolo. Um dos controles, o *TCPLike*, é similar ao controle de congestionamento implementado no TCP e o outro, o *TCP-Friendly Rate Control* (TFRC) [Floyd et al. 2006a] implementa controle baseado em taxas.

Uma avaliação do protocolo DCCP, quando este opera com o controle de congestionamento TFRC em redes de alta velocidade, foi realizada em [Froldi et al. 2010]. Avaliou-se o desempenho deste protocolo e identificou-se algumas limitações que o impedem de operar de maneira eficiente em tais redes, sendo a principal delas a falta de escalabilidade em função do aumento de banda passante.

O presente artigo introduz uma variante do protocolo DCCP para redes de alta velocidade, chamada Fast DCCP, que visa sanar alguns dos problemas apontados em [Froldi et al. 2010]. Utilizou-se simulação, tendo como ferramenta o simulador NS-2, bem como medições, utilizando o sistema operacional Linux. Diferentes cenários foram elaborados para a avaliação da escalabilidade, da convergência, da justiça e da compatibilidade com o TCP-Reno. Todos os cenários seguem as recomendações para análise dos mecanismos de controle de congestionamento em novos protocolos propostas em [Floyd and Kohler 2006]. Constatou-se que o Fast DCCP foi bem-sucedido em sanar a deficiência de escalabilidade em função do aumento de banda passante, sem degradar outras métricas observadas no protocolo DCCP, tais como: justiça, escalabilidade em função do número de conexões e convergência.

Este artigo está organizado da seguinte forma, a seção 2 descreve o protocolo DCCP e o mecanismo de controle de congestionamento TFRC. A seção 3 apresenta a variante do protocolo DCCP para redes de alta velocidade, o protocolo *Fast DCCP* e a seção 4 discute as propriedades avaliadas. A seção 5 apresenta os resultados dos experimentos realizados e a seção 6 deriva algumas conclusões.

2. Protocolo DCCP

O protocolo DCCP foi concebido para fornecer funcionalidades necessárias às aplicações multimídia na Internet, tais como *streaming* e voz sobre IP. O protocolo DCCP visa oferecer controle de congestionamento e reconhecimento da chegada de pacotes (ACK), às aplicações que não toleram o *overhead* introduzido pela entrega confiável provida pelo protocolo TCP. As características principais do protocolo DCCP são: fluxo de datagramas orientado à conexão e não confiável com confirmação de entrega, *handshake* confiável para estabelecimento e término da conexão, negociação confiável de parâmetros a serem utilizados durante a conexão e mecanismos de controle de congestionamento *TCP-Friendly*, que incorporam o mecanismo *Explicit Congestion Notification* (ECN).

Os controles de congestionamento suportados pelo DCCP são definidos através de um CCID (*Congestion Control Identifier*) e podem ser identificados por um número de 0 a 255. Os CCIDs definidos, inicialmente, para o DCCP, de acordo com [Floyd et al. 2006b], são: 0 – Reservado, 1 – Controle de congestionamento não especificado baseado no usuário, 2 – Controle de congestionamento *TCP-Like*, 3 – Controle de congestionamento TFRC.

O controle de congestionamento TFRC (CCID 3) é recomendado para aplicações que precisam transmitir a taxas constantes, pois são sensíveis à mudanças abruptas na taxa de envio. Um exemplo de aplicação que utilizaria o CCID 3 é voz sobre IP em

tempo real. No TFRC, o receptor efetua medições de perdas de pacotes e retorna esta informação ao emissor que utiliza estas mensagens de retorno para medição do *round-trip time* (RTT). As informações sobre perdas enviadas pelo receptor e o RTT estimado são utilizados para atualizar a taxa de transmissão do emissor, calculada através da equação de vazão, que é uma versão simplificada da equação de *throughput* do TCP-Reno, definida por [Floyd et al. 2006a]:

$$X = \frac{s}{R * \text{sqrt}(2 * b * p/3) + (tRTO * (3 * \text{sqrt}(3 * b * p/8) * p * (1 + 32 * p^2)))} \quad (1)$$

onde: X é a taxa de transmissão em bytes/segundo, s é o tamanho do pacote em bytes, R é o RTT em segundos, p é a taxa de ocorrência de perdas, valor entre 0 e 1, que expressa o número de eventos de perda em relação a fração de pacotes transmitidos, $tRTO$ é o valor do *timeout* de retransmissão do TCP em segundos e $b = 1$ e representa o número máximo de pacotes confirmados por um pacote de confirmação.

3. Fast DCCP

A variante do protocolo DCCP, chamada *Fast DCCP*, introduzida neste artigo, tem como objetivo melhorar as deficiências do protocolo DCCP, reportadas em [Froldi et al. 2010], a fim de promover escalabilidade em função do aumento da capacidade de banda passante no enlace.

O protocolo *Fast DCCP* propõe duas mudanças no mecanismo de controle de congestionamento TFRC, do protocolo DCCP. A primeira alteração é a inclusão de um fator de correção no cálculo da taxa de transmissão, que permite ao TFRC aumentar esta taxa de maneira mais eficiente. A segunda alteração trata da modificação da função de atualização da taxa de transmissão do TFRC, quando perdas são detectadas.

O fator de correção proposto para o mecanismo TFRC do protocolo *Fast DCCP* é calculado através do uso de amostragens da variação de atraso, que são utilizadas para realização do cálculo da nova taxa de transmissão. O novo mecanismo proposto, embora seja distinto, foi inspirado em dois mecanismos existentes no protocolo *Fast TCP*, o estimador de banda e o mecanismo para o acréscimo da janela de transmissão.

Conexões do protocolo DCCP contabilizam o valor de duas variáveis: o atraso médio de propagação para a conexão (R) e o atraso atual (R_{sample}), que considera o atraso de propagação verificado na última interação entre emissor e receptor. O cálculo desses valores, definidos em [Floyd et al. 2006a], é realizado de acordo com as expressões abaixo:

$$R_{i+1} = (0.9 * R_i) + (1-0.9) * R_{sample} \quad (2)$$

$$R_{sample} = (t_{now} - t_{recvdata}) - t_{delay} \quad (3)$$

onde t_{now} é o momento em que o pacote é recebido pelo emissor, $t_{recvdata}$ é o timestamp do último pacote de dados recebido pelo receptor e t_{delay} é o tempo decorrido

entre o recebimento do último pacote e a geração do pacote de confirmação observado no receptor.

O fator de correção da taxa de transmissão, denotado por α , proposto para o protocolo *Fast DCCP*, considera a razão entre o atraso médio para a conexão (R) e o atraso atual (R_{sample}), o que possibilita acréscimos multiplicativos da taxa de transmissão, ao invés de aditivos como no DCCP, permitindo que se alcance maior escalabilidade em função do aumento da banda. Valores de α superiores a 1, indicam a existência de recursos na rede, tendo em vista que o atraso de propagação atual (R_{sample}) é inferior ao atraso médio de propagação para a conexão (R).

O fator de correção é utilizado para calcular um novo valor para a taxa de transmissão ($X_{corrigido}$) do protocolo *Fast DCCP*, através de:

$$X_{corrigido} = ((X * \alpha) + X); \quad (4)$$

onde X é o valor atual da taxa de transmissão. De acordo com [Floyd et al. 2006a], o mecanismo TFRC do protocolo DCCP efetua o cálculo da taxa de transmissão, quando não há ocorrência de perdas, da seguinte maneira:

$$X = \max(\min(2 * X, 2 * X_{recv}), s/R); \quad (5)$$

onde X_{recv} é a taxa de transmissão informada pelo receptor e s é o pacote definido para conexão DCCP, conforme descrito em [Floyd et al. 2006a]. O valor da taxa de transmissão do protocolo *Fast DCCP* considera o valor máximo entre as taxas calculadas pelo TFRC do protocolo DCCP ($2 * X$ e $2 * X_{recv}$) e a taxa calculada através do fator de correção ($X_{corrigido}$), conforme a equação:

$$X = \max(\max(X_{corrigido}, 2 * X, 2 * X_{recv}), s/R); \quad (6)$$

Assim, sempre que houver disponibilidade de recursos na rede ($\alpha > 1$), o valor para a taxa de transmissão calculada com o uso do fator de correção ($X_{corrigido}$) será superior aos demais valores das taxas calculados pelo TFRC, o que permite que o protocolo *Fast DCCP* utilize de maneira eficiente os recursos disponíveis.

A falta de escalabilidade do protocolo DCCP em função do aumento de banda nos enlaces reportada em [Froldi et al. 2010], além de evidenciar a necessidade de um estimador de banda para que se possa avaliar o quanto a taxa de transmissão pode crescer, permitiu também verificar que a capacidade de crescimento da taxa de transmissão do protocolo DCCP é significativamente impactada pela ocorrência de perdas na conexão, pois sempre que uma perda é detectada o emissor DCCP reduz a sua taxa de transmissão de acordo com:

$$X = \max(\min(X_{calc}, 2 * X_{recv}), s/t_{mbi}); \quad (7)$$

onde X_{calc} é a taxa de transmissão calculada pela Equação 1 e s/t_{mbi} representa um pacote (s) enviado a cada 64 segundos (valor da constante t_{mbi} definido em [Floyd et al. 2006a]).

O outro aspecto determinante para a escalabilidade é a reação frente a ocorrência de perdas. O mecanismo de controle de congestionamento TFRC foi concebido para ser amigável ao protocolo TCP-Reno, conseqüentemente, diminui, de maneira considerável, sua taxa de transmissão na existência de congestionamento, indicada pela ocorrência de perdas. Assim, espera-se que fluxos TCP-Reno e DCCP possam competir em igualdade de condições pelos recursos disponíveis no enlace. Quando um protocolo opera em redes de alta velocidade, a redução acentuada da taxa de transmissão leva a ineficiência em se utilizar a banda disponível dado o longo tempo necessário para se retornar o valor da taxa de transmissão no momento da perda.

A segunda alteração proposta para o mecanismo TFRC modifica o cálculo da taxa de transmissão descrita na Equação 7, a fim de evitar reduções abruptas da taxa de transmissão. O cálculo da taxa de transmissão, proposto para o protocolo *Fast DCCP*, quando ocorrências de perda são observadas, é definido por:

$$X = \max(\max(X_{calc}, 2 * X_{recv}), s/t_{mbi}); \quad (8)$$

A taxa de transmissão, portanto, será atualizada com o valor máximo e não com o valor mínimo, dentre os valores calculados, pelo TFRC, para nova taxa de transmissão (X_{calc} ou $2 * X_{recv}$). O novo mecanismo de controle de congestionamento disponível no protocolo *Fast DCCP*, contendo as alterações descritas nesta seção, será chamado de *Fast TFRC*.

4. Propriedades Avaliadas

Para avaliar a eficiência do protocolo *Fast DCCP*, quando este opera em redes de alta velocidade, métricas específicas foram medidas, tanto nos experimentos de simulação quanto nos de medição. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados obtidos pelo protocolo *DCCP* original. São elas: escalabilidade, justiça, convergência e compatibilidade com o protocolo TCP-Reno. A avaliação destas métricas são recomendadas em [Floyd and Kohler 2006]. A seguir uma descrição de cada uma destas métricas e sua relevância.

A escalabilidade é definida como a capacidade do protocolo em se adaptar ao crescimento da disponibilidade de recursos de uma rede, sendo fundamental para um protocolo operar nas redes de alta velocidade. Os experimentos avaliaram a escalabilidade em função da capacidade disponível no enlace. Aumentou-se a capacidade de transmissão dos enlaces e avaliou-se a habilidade do protocolo de utilizar, de forma eficiente, a banda disponível. Os experimentos investigaram, também, a escalabilidade, em função do número de conexões; aumentou-se o número de conexões do protocolo e verificou-se a habilidade do protocolo de manter a utilização do enlace estável e justa entre as conexões.

O critério de justiça pode ser avaliado pela capacidade do protocolo em garantir divisão igualitária de banda passante entre as conexões, pelo ajuste indireto da taxa de transmissão. É importante que um protocolo apresente justiça para garantir que as conexões que compartilham o enlace possam aumentar a sua taxa de transmissão de maneira eficiente. Quantifica-se o grau de justiça através do coeficiente *Jain Fairness Index* [Jain 1991], que varia entre 0 e 1. Valores mais próximos de 0 indicam injustiça e valores mais próximos de 1 um sistema justo.

A convergência à justiça é o tempo necessário para que se obtenha divisão igualitária da banda passante. É importante que um protocolo apresente convergência para garantir que conexões recentemente iniciadas possam competir de maneira justa, pela banda passante, com conexões iniciadas há mais tempo.

A compatibilidade com o TCP-Reno é definida como a capacidade dos fluxos de dados do protocolo coexistirem de maneira justa com os fluxos de dados do protocolo TCP, garantindo que ambos os fluxos possam disputar de maneira equilibrada o uso da banda passante.

5. Avaliação de desempenho

Os cenários e métricas utilizados para avaliação do protocolo *Fast DCCP* em redes de alta velocidade foram derivados a partir do proposto em [Floyd and Kohler 2006]. Todos os experimentos utilizam a topologia *Dumbbell* (Figura 1), que contém um único enlace gargalo constituído por dois roteadores por onde passam conexões. O número de conexões varia de acordo com os experimentos realizados.

Para os experimentos de simulação foi utilizado o simulador de redes NS-2 [Network Simulator 2010], versão 2.31. Para os experimentos de medição foi utilizado o sistema operacional Linux, com o kernel da versão 2.6.20. O módulo do DCCP contido no NS-2 e a implementação do protocolo DCCP contida no sistema operacional Linux foram alterados, para corresponder a variante proposta, o protocolo *Fast DCCP*.

Para os experimentos de simulação com o NS-2, os dois roteadores utilizam gerenciamento de fila *droptail* e possuem *buffer* de 2500 pacotes, valor este semelhante ao tamanho de buffers em roteadores reais [Wei et al. 2005]. Para evitar impactos relacionados a sincronização das conexões nas simulações, os instantes dos inícios das transmissões e os atrasos de propagação para cada uma das conexões foram gerados aleatoriamente. Os instantes dos inícios variaram entre 1 e 10s e os atrasos de propagação entre 5 e 15ms. Tráfego *background* foi introduzido, visando refletir composição de tráfego em ambiente de redes reais. O tráfego *background* utiliza 20%, 50% ou 80% da capacidade do enlace de gargalo, no sentido reverso, de acordo com a distribuição: 20% de tráfego UDP, 56% de tráfego Web e 24% de tráfego FTP. O tráfego utilizado pelas conexões foi do tipo CBR, com a taxa de transmissão de cada conexão ajustada para que a mesma faça uso de toda a capacidade de transmissão do enlace de gargalo estipulado no cenário do experimento.

Para os experimentos de medição, foram utilizados dois computadores com interfaces ethernet com capacidade de 1Gbps, interligados através de um *switch router* com capacidade de 1Gbps por porta, sendo que cada uma das portas do *switch* estava com uma rota estática habilitada, emulando dois roteadores, já que as portas possuem um processador de pacotes e filas independentes. Todas as métricas de distribuição de tráfego *background* e limitações da capacidade do enlace físico foram obtidas através do uso da ferramenta *tc*, *Traffic Control* [Traffic Control HOWTO 2010], e para o envio de dados das conexões *Fast DCCP* e TCP foi utilizado a ferramenta *Iperf* [Iperf 2010], sempre com transmissão de tráfego CBR, com tempos para os instantes dos inícios variando entre 1 e 10s.

Os gráficos apresentados mostram o valor médio obtido à partir da execução de 6 replicações para cada experimento. Para o cálculo do intervalo de confiança, foram utilizados o método de replicações independente com nível de confiança de 95%. O tempo de

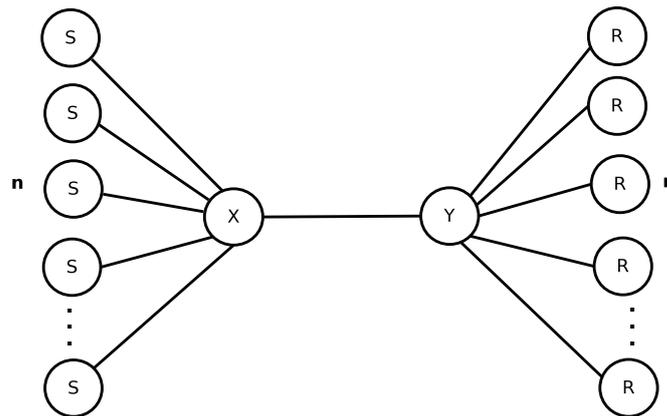


Figura 1. Topologia Dumbbell

simulação de todos os experimentos foi de 600s. Os resultados da avaliação do protocolo DCCP, obtidos anteriormente em [Froldi et al. 2010] serão comentados, para que se possa comparar com os da avaliação do protocolo *Fast DCCP*.

Escalabilidade

Para avaliar a escalabilidade do protocolo *Fast DCCP* foram elaborados dois cenários distintos: um para avaliar a escalabilidade em função do aumento da banda passante dos enlaces e outro em função do número de conexões. Para avaliar a escalabilidade em função da capacidade de transmissão do enlace de gargalo, variou-se a capacidade no seguinte conjunto: [155Mbps, 622Mbps, 1Gbps]. O atraso do enlace foi fixado em 100ms e o número de conexões *Fast DCCP* utilizado foi 16. A Figura 2 e a Figura 3 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para os experimentos simulados e de medição. Em ambos os gráficos pode-se perceber um comportamento semelhante. As 16 conexões *Fast DCCP* utilizam eficientemente o enlace (utilização superior a 0.9) para todas as capacidades de enlaces avaliadas. Analisando os resultados obtidos para a avaliação do protocolo DCCP em [Froldi et al. 2010], pode-se observar que a medida que a capacidade do enlace aumenta, a utilização é reduzida de maneira significativa, chegando a ser 0.6, para a capacidade de 1Gbps nos experimentos de medição, enquanto que para o protocolo *Fast DCCP* esta utilização é superior a 0.9 em todos os cenários. Pode-se concluir que o protocolo *Fast DCCP* é escalável em função do aumento de disponibilidade de banda. O fator de correção para o cálculo da taxa de transmissão empregado pelo mecanismo *Fast TFRC* do *Fast DCCP* permite que a banda disponível seja utilizada de maneira eficiente.

Para avaliar a escalabilidade em função do número de conexões, foram realizados experimentos com o número de conexões *Fast DCCP* variando entre 2 e 32 ($2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^4$), para os experimentos de medição, e variando entre 2 e 256 ($2^1, 2^2, 2^3, \dots, 2^8$), para os experimentos de simulação. A diferença na variação do número de conexões entre os experimentos deve-se às limitações de hardware presente nos dispositivos utilizados para realização dos experimentos de medição. A capacidade de transmissão do enlace foi fixado em 1Gbps e o atraso de propagação em 100ms. A Figura 4 e a Figura 5 apresentam, respectivamente, os resultados da avaliação da escalabilidade em função da variação do número de conexões, para os experimentos de simulação e de medição. Nota-se que na medida que o número de conexões aumenta, até 256, nos expe-

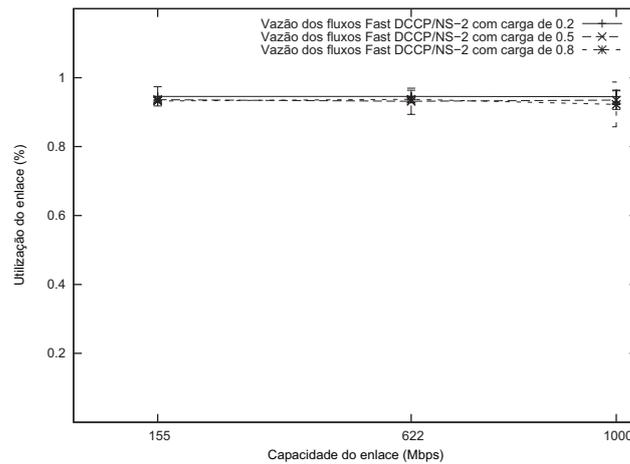


Figura 2. Utilização do enlace em função da variação da banda (NS-2)

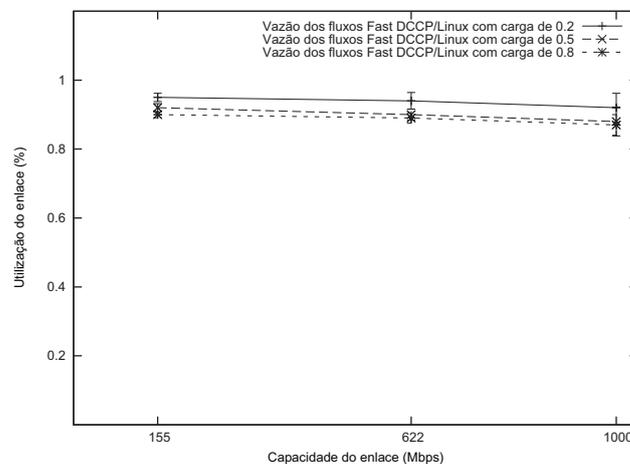


Figura 3. Utilização do enlace em função da variação da banda (Linux)

rimentos de simulação, a utilização do enlace permanece estável e o tráfego *background* implica em apenas mudanças discretas na utilização. Analisando os resultados obtidos para a avaliação do protocolo DCCP em [Froldi et al. 2010], nota-se que valores semelhantes aos do protocolo *Fast DCCP* foram obtidos, no que diz respeito a manutenção da utilização do enlace à medida que o número de conexões aumenta. A única diferença que se nota entre os experimentos do protocolo DCCP e o protocolo *emphFast DCCP*, é que para este último a utilização do enlace observada é superior. O protocolo *Fast DCCP* opera de maneira escalável e eficiente em relação ao aumento do número de conexões, demonstrando que o mecanismo de controle de congestionamento empregado pelo *Fast TFRC* garante a escalabilidade em função do número de conexões.

Justiça

Para avaliar a justiça do *Fast DCCP* foram definidos dois cenários de simulação, ambos com 4 conexões *Fast DCCP* transmitindo no enlace de gargalo, atraso de propagação de 100ms e capacidade do enlace de 1Gbps. No primeiro cenário, os fluxos *Fast DCCP* são iniciados, no mesmo instante de tempo (no instante 1s), enquanto que no segundo cenário

os fluxos *Fast DCCP* são iniciados, em instantes de tempo distintos (aleatoriamente entre 1s e 10s).

A Figura 6 apresenta os resultados da avaliação de justiça para o primeiro cenário proposto, tanto para os experimentos de simulação quanto para os de medição. Nota-se, em ambos os casos, independentemente da intensidade do tráfego *background* os valores do *Jain Fairness Index* ficaram próximos a 0.9, o que indica que o protocolo produz justiça, ou seja, o *Fast DCCP* provê distribuição de banda equilibrada entre os fluxos que competem pelo enlace. A Figura 7 apresenta os resultados da avaliação de justiça para o segundo cenário, tanto para os experimentos de simulação quanto os de medição. Os valores são similares aos obtidos no cenário anterior, reforçando a propriedade de justiça existente no protocolo. Analisando os resultados obtidos para a avaliação do protocolo DCCP em [Froldi et al. 2010], pode-se observar semelhança entre estes gráficos e os obtidos na avaliação do protocolo *Fast DCCP*, indicando que o *Fast DCCP* manteve as propriedades de justiça observadas no protocolo DCCP.

Convergência

Para avaliar a convergência do protocolo *Fast DCCP*, foram realizados experimentos com a seguinte configuração: enlace de gargalo fixado em 1Gbps, duas conexões *Fast DCCP*, o atraso de propagação no enlace de gargalo em 100ms. A segunda conexão *Fast DCCP* inicia a transmissão no instante 50s, tempo suficiente para a primeira conexão alocar toda a banda disponível do enlace de gargalo. A Figura 8 apresenta os resultados da avaliação da convergência, tanto para os experimentos de simulação quanto para os de medição, para diferentes intensidades de tráfego *background*. O tempo de convergência é alto, em ambos os casos, apresentando valores entre 100s e 135s, que são, tipicamente, muito superiores ao tempo de duração médio de uma conexão na Internet. Quando comparamos estes resultados com os resultados obtidos na avaliação do protocolo DCCP [Froldi et al. 2010], nota-se valores similares no tempo de convergência, que para o protocolo DCCP variam entre 90s e 120s. Pode-se dizer que o mecanismo de controle de congestionamento implementado pelo *Fast TFRC*, mesmo produzindo altos graus de justiça, não consegue prover uma resposta rápida a divisão igualitária da banda da rede entre fluxos que competem pelo enlace. Enfatiza-se que estudos anteriores, descritos em [Bansal et al. 2001] e [Vojnovic and Boudec 2003], apontam o problema do tempo de resposta alto do mecanismo de congestionamento provido pelo TFRC. A variante do protocolo DCCP, o protocolo *Fast DCCP*, apresenta as mesmas deficiências, uma vez que seu mecanismo de controle de congestionamento, o *Fast TFRC*, é uma variante do mecanismo TFRC. Nota-se que os valores do tempo de convergência observados para o protocolo *Fast DCCP* são, em média, cerca de 7% maiores do que os valores observados para o protocolo DCCP. Isto se deve ao fato da variante do TFRC, chamada *Fast TFRC*, presente no protocolo *Fast DCCP* possuir um mecanismo mais agressivo para aumento da taxa de transmissão e um mecanismo mais tolerante para diminuição da taxa de transmissão.

Compatibilidade com o TCP-Reno

Para avaliar a compatibilidade do protocolo *Fast DCCP* com o protocolo TCP-Reno, foram realizados experimentos com dois cenários distintos. Em um deles, dois fluxos TCP-Reno, transmitindo tráfego FTP competem pela banda do enlace de gargalo e no outro um fluxo *Fast DCCP* e um fluxo TCP-Reno, com o mesmo tráfego FTP do experimento

		Tráfego Background (%)		
		0.2	0.5	0.8
Utilização do enlace (%)	TCP-1	0.0152	0.0124	0.0061
	TCP-2	0.0022	0.0017	0.0009

Tabela 1. Taxa de utilização obtida pelos fluxos TCP (NS-2)

		Tráfego Background (%)		
		0.2	0.5	0.8
Utilização do enlace (%)	TCP-1	0.3120	0.2210	0.1830
	TCP-2	0.0820	0.0545	0.0433

Tabela 2. Taxa de utilização obtida pelos fluxos TCP (Linux)

anterior, competem pelo enlace de gargalo. A capacidade do enlace usada foi 1Gbps, o tempo de propagação foi de 10ms. O objetivo destes experimentos é avaliar se o TCP-Reno obtém a mesma banda do enlace que seria obtida se o mesmo não estivesse concorrendo com o protocolo *Fast DCCP*. Na Tabela 1, são apresentados os resultados da avaliação de compatibilidade do *Fast DCCP* com o TCP-Reno, derivados nos experimentos de simulação. A utilização do enlace para TCP-1 apresenta os valores obtidos pelo fluxo TCP, quando este concorre com outro fluxo TCP, enquanto que os resultados TCP-2 apresentam os valores obtidos pelo fluxo TCP, quando este concorre com um fluxo *Fast DCCP*. Os diferentes valores de utilização observadas em ambos os fluxos TCP sugerem a incompatibilidade entre o protocolo *Fast DCCP* com o protocolo TCP-Reno, uma vez que o fluxo TCP-2 obtém uma utilização inferior a obtida pelo fluxo TCP-1.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados da avaliação de compatibilidade do *Fast DCCP* com o TCP-Reno, para os experimentos de medição. A utilização do enlace para TCP-1 apresenta os valores obtidos pelo fluxo TCP, quando este concorre com outro fluxo TCP, enquanto que os resultados TCP-2 apresentam os valores obtidos pelo fluxo TCP, quando este concorre com um fluxo *Fast DCCP*. Os diferentes valores de utilização, sugerem a incompatibilidade entre o protocolo *Fast DCCP* com o protocolo TCP-Reno, dado que a utilização do fluxo TCP-2 é inferior a obtida pelo fluxo TCP-1.

Analisando os resultados obtidos para a avaliação do protocolo DCCP em [Froldi et al. 2010], pode-se observar valores similares para a avaliação de compatibilidade entre o protocolo DCCP e o protocolo TCP-Reno. Nota-se a mesma incompatibilidade entre os fluxos de ambos os protocolos. Tal incompatibilidade já havia sido descrita em [Rhee and Xu 2007]. Nota-se, no entanto, que a incompatibilidade entre o protocolo TCP-Reno e o protocolo *Fast DCCP* tornou-se mais acentuada, uma vez que os mecanismos para crescimento da taxa de banda deste protocolo são mais agressivos do que os mecanismos empregados pelo protocolo DCCP. Vale ressaltar que outros protocolos para redes de alta velocidade, como por exemplo *Fast TCP*, apresentam incompatibilidades similares quando seus fluxos disputam pelos recursos junto com fluxos do protocolo TCP-Reno, conforme relatado em [Jamal and Sultan 2008], [Li et al. 2007] e [Hatano et al. 2007].

Resumo dos resultados encontrados

Os resultados da avaliação de escalabilidade em função da variação da capacidade da banda do enlace apontam para a eficiência do protocolo *Fast DCCP* em obter o uso eficiente dos recursos disponíveis no enlace gargalo. Os resultados da avaliação de escalabilidade em função do número de conexões demonstram que o protocolo *Fast DCCP* é eficiente na manutenção da justiça entre fluxos que competem pelo enlace de gargalo, em função do número de fluxos. Os resultados da avaliação de convergência indicam que o protocolo *Fast DCCP*, a exemplo do protocolo DCCP, possui convergência lenta, para um estado de equilíbrio e justiça entre fluxos que disputam o enlace de gargalo, com valores, em média, próximos a 115s.

Os resultados da avaliação de compatibilidade entre os protocolos *Fast DCCP* e TCP-Reno indicam o desbalanceamento nas taxas de transmissão obtidas pelos fluxos de ambos os protocolos que disputam o enlace de gargalo. O desbalanceamento já havia sido reportado em [Froldi et al. 2010], quando fluxos DCCP competiam com fluxos TCP-Reno, porém a intensidade do desbalanceamento ficou mais acentuada quando da utilização do protocolo *Fast DCCP*, pois este emprega mecanismos mais agressivos para aumento da taxa de transmissão.

Os resultados da avaliação de justiça demonstram a eficiência do protocolo *Fast DCCP* em garantir que diferentes fluxos *Fast DCCP* possam competir, de maneira equilibrada e justa, pelos recursos do enlace de gargalo.

6. Conclusão

Com o resultado da avaliação de desempenho foi possível comprovar a eficiência do protocolo *Fast DCCP* em resolver a limitação de escalabilidade em função do aumento de banda dos enlaces, característica mandatória para o sucesso do protocolo em redes de alta velocidade. Fica evidente que o mecanismo que estima banda, baseado nos tempos de atraso amostrados em um conexão *Fast DCCP* vigente, contribui para o uso mais eficiente do enlace.

Para acelerar a convergência, é necessário avaliar de maneira mais detalhada as deficiências descritas em [Bansal et al. 2001] e [Vojnovic and Boudec 2003], a fim de se propor melhorias no mecanismo *Fast TFRC*, adotado no *Fast DCCP*.

Como trabalho futuro sugere-se investigar com mais detalhes os pontos descritos acima, de forma a avaliar potenciais alterações no protocolo *Fast DCCP*.

Referências

- Bansal, D., Balakrishnan, H., Floyd, S., and Shenker, S. (2001). Dynamic behavior of slowly-responsive congestion control algorithms. In *Proceedings of ACM SIGCOMM'01*, pages 263–274, San Diego, CA.
- Floyd, S., Handley, M., Padhye, J., and Widmer, J. (2006a). TcP friendly rate control (tfrc): Protocol specification. In *RFC 3448*.
- Floyd, S. and Kohler, E. (2006). Tools for the evaluation of simulation and testbed scenarios. In *Internet Draft: draft-irtf-tmrg-tools-05*.
- Floyd, S., Kohler, E., and Handley, M. (2006b). Designing dccp: Congestion control without reliability. In *Proceedings of ACM SIGCOMM'06*, pages 27–38, Pisa, Itália.

- Froldi, C., Fonseca, N., and Papotti, C. (2010). Avaliação de desempenho do protocolo dccp para redes de alta velocidade. In *Anais do Wperformance 2010*, pages 1831–1844, Belo Horizonte, Brasil.
- Hatano, T., Shigeno, H., and Okada, K. (2007). Tcp-friendly congestion control for high-speed network. In *Proceedings of IEEE SAINT'07*, pages 1–10.
- Iperf (2010). <http://www.noc.ucf.edu/tools/iperf>.
- Jain, R. (1991). *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*. John Wiley & Sons.
- Jamal, H. and Sultan, K. (2008). Performance analysis of tcp congestion control algorithms. In *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS AND COMMUNICATIONS*, pages 30–38.
- Li, Y., Leith, D., and Shorten, R. (2007). Experimental evaluation of tcp protocols for high-speed networks. In *ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, Vol. 15*, pages 1109–1122.
- Network Simulator (2010). <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- Rhee, I. and Xu, L. (2007). Limitations of equation-based congestion control. *IEEE Transactions on Network*, 15(4):852–865.
- Traffic Control HOWTO (2010). <http://tldp.org/howto/traffic-control-howto/index.html>.
- Vojnovic, M. and Boudec, J. L. (2003). On the long run behavior of equation-based rate control. In *Proceedings of ACM SIGCOMM'02*, pages 103–116.
- Wei, D. X., Cao, P., and Low, S. H. (2005). Time for a tcp benchmark suite? (<http://www.cs.caltech.edu/weixl/research/technical/benchmark/summary.ps>).

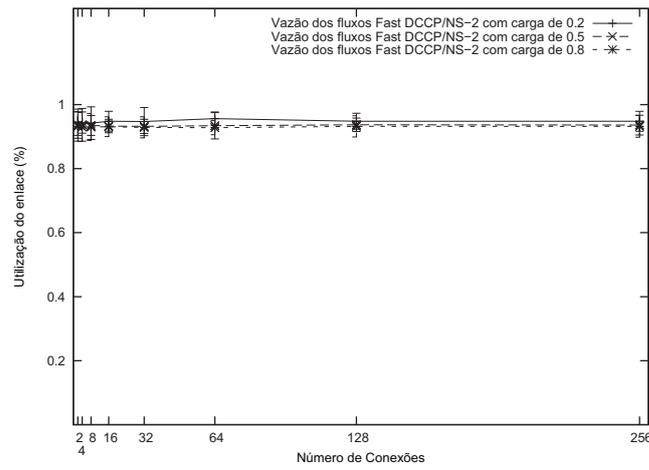


Figura 4. Utilização do enlace em função do número de conexões (NS-2)

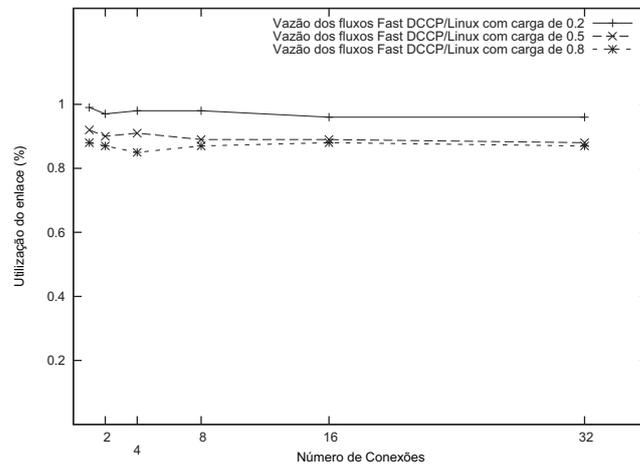


Figura 5. Utilização do enlace em função do número de conexões (Linux)

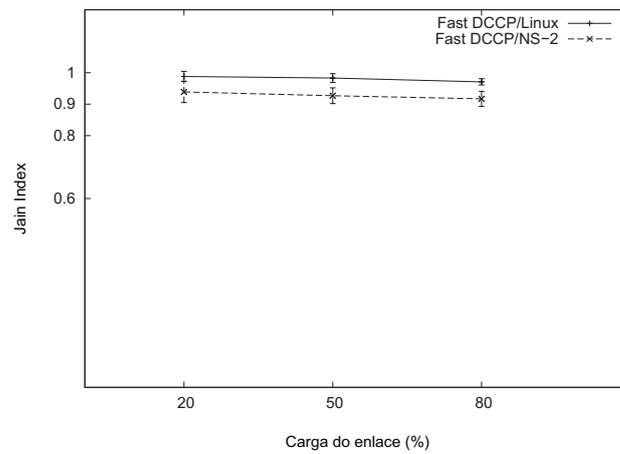


Figura 6. Primeiro Cenário de Justiça

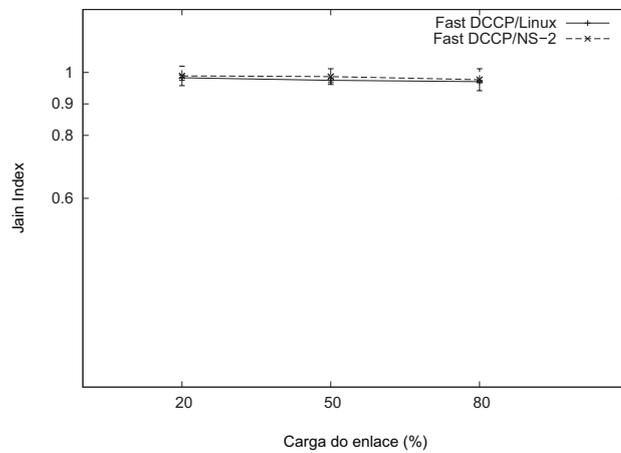


Figura 7. Segundo Cenário de Justiça

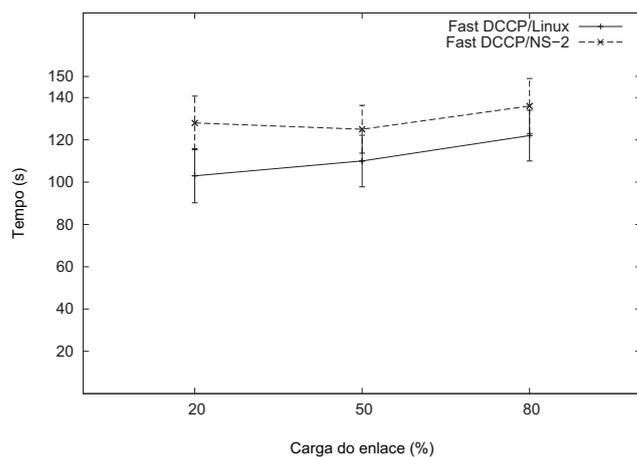


Figura 8. Resultados da avaliação da convergência