UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO MECANISMO DE ACESSO MÚLTIPLO DO PROTOCOLO DOCSIS

Rosa Maria M. Leão ⋆, Edmundo de Souza e Silva ⋆,
Tania Regina Tronco Fudoli ‡, Guilherme Dutra Gonzaga Jaime ⋆

⋆Universidade Federal do Rio de Janeiro, DCC, COPPE/Sistemas e NCE
Cx. P. 2324, Rio de Janeiro, RJ - 20001-970 - Brasil
‡Fundação CPqD
Rodovia Campinas-Mogi-Mirim, km 118,5, CEP 13088-061 Campinas, SP - Brasil

Resumo— **Com a popularização do acesso à Internet, a demanda por serviços de pacotes do tipo faixa larga tem crescido de forma significativa. Serviços de alta velocidade são necessários para prover acesso a Web (WWW) com taxas de dados comparáveis as de uma rede local, e ainda serviços multimídia tais como voz, imagem e vídeo. As companhias de cabo tem explorado novas tecnologias para dar suporte a aplicações interativas multimídia sobre TV a cabo. Neste cenário, o protocolo DOCSIS (Data over Cable Service Interface) foi estabelecido como o principal padrão para a comunicação de dados em redes a cabo. Além disso, este protocolo tem sido proposto também para acesso sem fio de faixa larga.**

O algoritmo de escalonamento de banda é um dos principais fatores que influenciam o desempenho do protocolo. Portanto, é importante que se desenvolvam modelos que permitam predizer o comportamento do protocolo quando submetido às mais variadas condições de tráfego. O objetivo deste artigo é o de desenvolver um modelo para prever a vazão e o retardo de acesso do canal de subida, com o aumento da população de usuários. Uma característica importante do modelo global é o uso de um modelo preciso do comportamento do usuário WWW, e a influência do tráfego isócrono no retardo do tráfego de usuários WWW. É examinado também a influência da variação dos slots alocados às requisições, no desempenho dos usuários do sistema.

I. Introdução

Com a popularização do acesso à Internet, a demanda por serviços de pacotes do tipo faixa larga tem crescido de forma significativa. Os usuários esperam alta qualidade, confiabilidade, fácil acesso e comunicação de alta velocidade em suas casas ou mesmo em pequenas empresas. Serviços de alta velocidade são necessários para prover acesso a Web (WWW) para informação e entretenimento com taxas de dados comparáveis as de uma rede local, e ainda serviços multimídia tais como voz, imagem e vídeo.

Com o advento da tecnologia de *Hybrid Fiber Coax* (HFC), é possível ao usuário de uma rede convencional de TV a cabo (CATV) ter um canal de acesso para enviar dados ao provedor de serviço. Os usuários podem receber ou transmitir sinais conectando o seu equipamento local (*set-top boxes* ou *cable modems*), à rede.

A comunicação em rede HFC é assimétrica, sendo que a taxa do canal de descida é significativamente maior que a do canal de subida, uma vez que, para acessos WWW, a requisição de serviços exige pouca informação a ser enviada em comparação com os dados de retorno que podem incluir imagens. Além disso, a comunicação é do tipo multiponto-ponto para o canal de subida (*upstream channel*) e ponto-multiponto para o canal de descida (*downstream channel*). O canal de subida é do tipo acesso múltiplo, e portanto sujeito a colisões. O protocolo de acesso deve ser eficiente de forma a minimizar as colisões.

Recentemente o protocolo DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) foi aprovado pelo ITU e atualmente é um dos mais usados. O protocolo IEEE 802.14, desenvolvido para a mesma finalidade, permaneceu como uma proposta apenas, mas por outro lado muitas das características do DOCSIS são baseadas no IEEE 802.14. Em [7], é feita uma descrição detalhada de protocolos de acesso múltiplo HFC, ilustrando os mecanismos de acesso de cada um.

Uma outra maneira de se prover ligação à Internet a alta velocidade e serviços multimídia é através de acesso sem fio faixa larga (*Broadband Wireless Access* - BWA). Para prover este serviço, uma rede composta de modems sem fio (BWA CPE Modems), estação base (BWA Base Transceiver Station - BTS) e comutadores de dados, localizados na rede backbone (Wide-Area Network-WAN), deve ser constituída. As vantagens deste sistema são: oferta de serviços Internet residencial e corporativo em regiões remotas e mercados emergentes; baixo investimento inicial para entrar no mercado Internet e alto potencial de retorno; oferta de serviços do tipo VPN (Virtual Private Network); oferta de serviços Internet de alta velocidade a um preço comparável a outras tecnologias de acesso. Embora os sistemas BWA sejam basea-

Este trabalho é financiado em parte pelo projeto de cooperação CPqD-Lucent e pelo CNPq.

dos no conceito de sistemas celulares fixos (não móvel) e utilizem TDMA (Time-Division Multiple-Access), recentemente protocolos do tipo usado para CATV tem sido propostos para a camada MAC, de forma a prover uma alternativa mais eficiente para o acesso a serviços multimídia com qualidade de serviço.

O projeto de uma rede de acesso requer o entendimento das características das demandas do usuário assim como o entendimento do protocolo usado de forma a evitar a degradação de serviço, inevitável caso as demandas ultrapassem a capacidade da rede. Neste artigo, desenvolvemos um modelo para prever a vazão e o retardo de acesso do canal de subida, com o aumento da população de usuários. Uma característica importante do modelo global é o uso de um modelo preciso do comportamento do usuário WWW. Como: (a) o protocolo é complexo; (b) envolve eventos onde tempo entre ocorrência de um pode ter ordens de magnitude diferente de outros e; (c) o modelo do comportamento do usuário WWW envolve o uso de distribuições de cauda longa, cuidados especiais tem que ser tomados no desenvolvimento do modelo de forma a evitar que a simulação seja por demais ineficiente. Introduzindo simplificações, um modelo analítico é proposto, e seus resultados comparados com os da simulação.

A seção II descreve brevemente as características do protocolo DOCSIS para o canal de subida. Na seção III o modelo do usuário e do protocolo de acesso múltiplo do DOCSIS são introduzidos. A seção IV inclui o resultado das simulações, evidenciando a capacidade do modelo desenvolvido. Na seção V, citamos alguns trabalhos relacionados ao estudo aqui apresentado, enfatizando as diferenças principais. Nossas conclusões são apresentadas na seção VI.

II. O Protocolo DOCSIS

O DOCSIS versão 1.0 foi aprovado como um padrão ITU-T em março de 1998 e corresponde à versão atualmente implementada nos equipamentos. O DOCSIS versão1.1 (julho/1999) possui funcionalidades adicionais para prover QoS. Nesta versão, seis categorias de serviço são definidas, além da segmentação e concatenação do tráfego IP. Com relação aos mecanismos MAC, no modo de operação normal, o canal upstream corresponde a um fluxo contínuo de minislots. Um minislot é uma unidade básica de oportunidade de transmissão no canal upstream. No DOCSIS, o tamanho do minislot depende do esquema de modulação adotado e deve ser múltiplo de 6,25 μs. O mecanismo de minislots aumenta a eficiência de transmissão, uma vez que números apropriados de minislots podem ser alocados para diferentes solicitações, tornando a alocação de banda bastante flexível. Nos nossos estudos alocaremos prioritariamente os minislots a tráfego de voz.

A BTS é que coordena o acesso à banda upstream e atribui o uso da banda upstream num mapa de alocação de banda. Alguns minislots do quadro upstream são denominados request minislots e são utilizados para envio de mensagens de solicitação de banda. Os outros minislots são denominados data minislots e os dados de usuário podem ocupar múltiplos minislots contíguos. Para reduzir desperdício do uso da banda, devido a colisões, os modems inicialmente enviam solicitações de banda, sujeitas a colisões, à BTS. A BTS então agenda as solicitações e, através do canal dowstream, passa esta informação aos modems. No período agendado, os dados podem ser enviados, no canal upstream, livres de colisão. No campo de cabeçalho das unidades de dados, há um campo opcional denominado Extended Header Field, que pode ser utilizado para solicitações piggybacking. Através destas solicitações, os modems podem solicitar banda adicional sem passar pelo processo de contenção. Com isto, o atraso de acesso pode ser minimizado uma vez que as solicitações não precisam ser efetuadas através da contenção dos request minislots. Além disto, o número de request minislots diminui. Além dos modos de acesso à banda citados acima, o DOCSIS também provê acesso isócrono, acesso de varredura de solicitação periódica (periodic request polling) e acesso imediato. O modo de acesso isócrono é ideal para o transporte de dados com taxa de bit constante pois as oportunidades de transmissão são alocadas de forma periódica. O modo de acesso periodic request polling é adequado para dados com taxa de bit variável pois as solicitações de banda podem ser feitas sob demanda através das varreduras de solicitações periódicas. No modo de acesso imediato, o modem pode enviar os dados diretamente, sem fazer solicitação de banda. Neste caso, os dados serão transmitidos pela BTS, caso ainda haja banda disponível após o atendimento de todas solicitações. Este modo de acesso possui atraso reduzido. Com relação a QoS, o DOCSIS define seis categorias de serviço: UGS (Unsolicited Grant Service), UGS-AD (Unsolicited Grant Service with Activity Detection), rtPS (real time Polling Service), nrtPS (non-real-time Polling Service), BE (Best Effort) e CIR (Committed Information Rate).

Na categoria UGS, a BTS provê uma quantidade fixa de dados a intervalos periódicos para o fluxo UGS. Esta categoria é adequada para aplicações de videoconferência e vídeo sob demanda (acesso isócrono). No entanto, nesta categoria pode haver desperdício de banda quando o fluxo de dados está inativo. Na categoria UGS-AD, a BTS utiliza um detector de atividade para verificar se o fluxo de dados está inativo. Quando o fluxo está inativo, a BTS reverte o modo de acesso para varredura de solicitações periódicas. As categorias rtPS e nrtPS utilizam o modo de acesso de varredura de solicitações periódicas e são adequadas para aplicações VoIP e high-bandwidth FTP, respectivamente. No entanto, a categoria nrtPS recebe poucas oportunidades de solicitações quando a rede está no estado de congestionamento. A categoria de serviço BE pode utilizar os modo de acesso normal, piggybacking ou imediato. É adequada para aplicações telnet, FTP ou WWW. Por fim, a categoria CIR é proprietária, pode ser definida de diversas formas, dependendo do fabricante. Uma configuração bastante utilizada para CIR é semelhante ao serviço rtPS mas com uma taxa mínima garantida. Para atender aos requisitos de QoS destas diferentes categorias de serviço, a BTS deve possuir um método de controle de admissão e um algoritmo de agendamento (scheduling) para cada uma delas. O DOCSIS adota o algoritmo Bynary Exponential Backoff no processo de resolução de colisões durante a disputa (contenção) por request minislots. Unidades de dados denominadas Data Backoff Start (DBS) e Data Backoff End (DBE) são utilizadas para indicar o tamanho inicial e máximo da janela de backoff. O algoritmo tem início com um tamanho de janela de backoff de 2^{DBS}. A seguir, é escolhido, de forma aleatória, um número x entre 0 e 15 e o tamanho da janela de backoff é modificado para 2^x. O modem não faz nenhuma solicitação até chegar a janela selecionada por este número. Se a disputa não é bem sucedida, a janela de backoff é incrementada por um fator de 2, de forma sucessiva até o tamanho máximo da janela (2^{DBE}) ou até que o número de colisões chegue a 16, onde a solicitação é atendida.

III. Descrição dos Modelos

O modelo usado neste trabalho é para o canal de subida. Especificamente o protocolo de acesso ao meio é modelado, incluindo a contenção por slots de pedidos de acesso e de dados. No modelo supomos que a população de usuários acessa a Internet predominantemente com aplicações de WWW e voz sobre IP. O modelo é dividido em três partes: o modelo do usuário WWW, do tráfego de voz, e o modelo do canal de acesso, dividido em slots de contenção e de dados.

O simulador usado faz parte do ambiente de modelagem TANGRAM-II [1], [2]. Neste ambiente o usuário especifica o modelo através de objetos que se comunicam usando um mecanismo de troca de mensagens, e cada objeto possui um conjunto de eventos a ele associados. A ação associada a um evento (ou mensagem recebida) é especificada através de uma linguagem semelhante à linguagem C. Uma vez o modelo compilado, ele pode ser resolvido analiticamente (se ele é Markoviano ou pertence a uma classe de modelos não-Markovianos) ou pode ser simulado. Duas opções de simulação estão disponíveis para o usuário: *batch* e interativa. Na simulação interativa o valor das variáveis de estado são mostrados ao usuário após a execução de um ou de um conjunto de eventos. Diversas medidas de interesse podem ser automaticamente calculadas, tais como: probabilidade de estar em um subconjunto de estados do modelo, distribuições condicionais e marginais de variáveis de estado, entre outras. A Figura 1 ilustra gráficamente os módulos principais do modelo.

A. Modelo dos Usuários

A parte esquerda da Figura 1 representa o comportamento de acesso de usuário WWW. Este modelo é baseado nas medições feitas em [3]. Naquela avaliação, todo o tráfego WWW entre o Laboratório da GTE e a Internet foi monitorado em duas sessões com duração de 2 1/2 horas na parte da manhã e 2 horas à tarde. O modelo usado para as requisições é do tipo ON-OFF. Quando um usuário WWW clica em uma ligação de hipertexto, várias requisições WWW podem se seguir. A primeira transmite a requisição do usuário ao servidor, e as subsequentes são geradas automaticamente pelo cliente de forma a obter, por exemplo, imagens da página durante o processo de *download* desta. Quando a requisição do usuário é satisfeita, normalmente segue-se um intervalo para que os dados sejam absorvidos antes de uma nova requisição.

A identificação de um período de ON (que pode incluir mais de uma requisição de usuário) depende de algum valor arbitrado durante as medições. Em [3] requisições a intervalos inferiores a 60 segundos foram considerados como pertencentes ao período ON. Consequentemente um intervalo entre requisições maior que 60 segundos é considerado como OFF. Desta forma em [3] foram identificadas três distribuições para o modelo de um usuário WWW: a distribuição Weibull foi usada para o período de ON e a Pareto para o período de OFF. Para representar o intervalo entre requisições durante um período ON, uma distribuição Weibull foi novamente usada, mas com parâmetros distintos da primeira.

A função densidade da variável aleatória Weibull é dada por:

$$f_W(x) = \frac{k}{\theta}\left(\frac{x}{\theta}\right)^{k-1} \mathrm{e}^{-(x/\theta)^k}, \quad (1)$$

e a Pareto por:

$$f_P(x) = \alpha \frac{k^\alpha}{y^{\alpha+1}}. \quad (2)$$

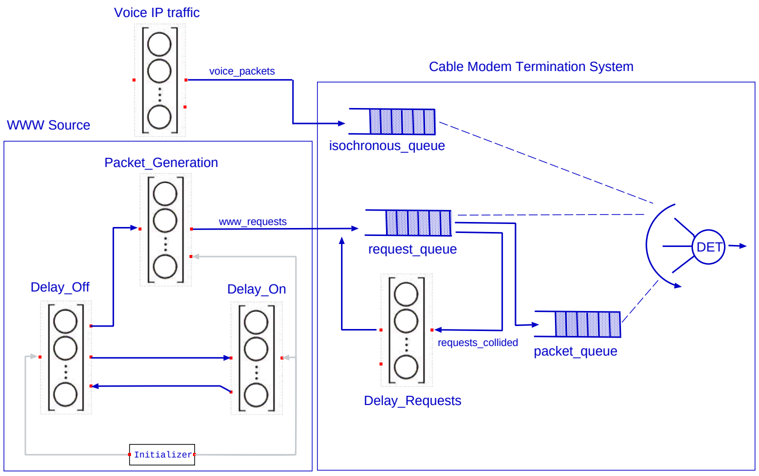

Fig. 1. Modelo de Simulação

	Distribuição	parâmetros
período ON	Weibull	$\theta = 90.01, k = 0.88$
período OFF	Pareto	$k = 60.0, \alpha = 0.9$
tempo entre requisições	Weibull	$\theta = 4.48, k = 0.5$

TABLE I
Parâmetros das distribuições para o tráfego WWW

A Tabela I resume os valores usados nas distribuições do nosso modelo, de acordo com [3]. No nosso modelo, usuários são representados por fichas que circulam entre os objetos *Delay_off* e *Delay_On* da Figura 1, sendo que o tempo de permanência de uma ficha em cada objeto segue a distribuição correspondente. Uma vez em ON, é ativado o módulo *Packet_Generation*, responsável pela geração de pacotes. No nosso modelo consideramos que um pacote ocupa 5 slots de dados (ou 400 bytes) que é um tamanho típico de pedidos de acesso, medido em nossa rede local.

O nosso modelo inclui tráfego isócrono (voz no nossos estudos). Este tráfego é modelado da seguinte forma. O número de ligações de voz é dado por um processo de Poisson cuja taxa é dependente do número de usuários. No modelo supomos que um usuário gera 1 chamada a cada 90 minutos e a duração média da chamada é de 3 minutos (um usuário gera então um tráfego de 0.0333 Erlangs). Uma ligação de voz ativa gera um tráfego de 3 slots a cada 20 mseg, correspondendo a um pacote de voz IP com 160 amostras de áudio.

B. Modelo do Canal de Acesso

Os ícones correspondentes ao modelo do canal de acesso pode ser visto no lado direito da Figura 1. Os pedidos gerados pelo objeto *Packet_Generation* são encaminhados inicialmente para um módulo que simula o mecanismo de reserva de slots. Conforme indicado na seção II, os slots do canal de subida são divididos em slots de contenção e de dados. Utilizamos dois tamanhos para os slots de contenção: 5 e 15. Uma requisição escolhe aleatóriamente um slot para fazer o pedido. Caso não haja colisão, o pedido é encaminhado para a fila de acesso para atendimento. O gerenciamento da banda é feito de forma a que o canal atende alternadamente as reservas e os dados cuja reserva foi realizada com sucesso. Este mecanismo é modelado por um sistema de *polling* do tipo *gated*, cujo servidor alterna entre o atendimento de reservas e de dados. Uma vez alocado ao atendimento de slots de dado, o canal atende apenas as requisições feitas previamente, o que explica o uso da disciplina tipo *gated*. Existe um tamanho máximo para o número de slots de dados, considerado de 3 msec nos nossos estudos. Sendo assim, se o número de reservas feitas for superior a 24 slots (3 mseg), os pedidos só serão atendidos no próximo quadro de dados.

Cada pedido de reserva escolhe aleatoriamente um dentre os slots de contenção disponíveis. Em caso de colisão, as solicitações que colidiram são re-submetidas depois de um atraso aleatório. Como, a princípio, deve ser pequena a probabilidade de uma requisição sofrer mais de duas colisões, o tempo médio de atraso é constante e não variável com o número de colisões conforme o protocolo. Essa suposição é razoável para um sistema bem dimensionado, e pode ser verificada durante a simulação.

O tráfego de voz tem prioridade sobre o tráfego WWW e, de acordo com o protocolo, assumimos que uma vez estabelecida a reserva esta permanece enquanto durar a chamada.

IV. Resultados

Como o modelo é complexo e envolve eventos com taxas muito distintas para cada um dos tipos de eventos, cuidados devem ser tomados na contrução do modelo de forma a aumentar a eficiência da simulação. Por exemplo, o intervalo de tempo para transmitir um slot de dados é de 125 μseg. Por outro lado para 75% dos usuários WWW, a duração do tempo em OFF é de aproximadamente 5 minutos. Uma maneira de minorar o problema é pela agregação de eventos em *batch*. Por exemplo, ao invés de simular eventos de saída a cada slot, o serviço no nosso modelo é feito considerando um *batch* igual ao número de slots pronto para serem servidos em um quadro.

Além do mais, a simulação de distribuições com cauda longa também podem trazer efeitos adversos, como observado em [4]. Em uma simulação contendo tais distribuições pode ser praticamente impossível atingir convergência para o estado estacionário. Este problema pode ser observado, por exemplo, em simulações contendo a distribuição Pareto com $\alpha < 1.7$, o que é o caso dos nossos estudos.

Nas simulações que realizamos, observamos este problema, principalmente com relação ao tempo em OFF. Crovella e Lipsky [4], sugeriram a adoção de "escalas de tempo". No nosso caso, considerando que: (a) as amostras de [3] são finitas, e o casamento feito para se obter os parâmetros da distibuição consideram tais amostras e (b) as amostras foram obtidas de um intervalo de observação finito; as simulações foram feitas durante um tempo igual ao tempo de observação das amostras e a distribuição do tempo em OFF utilizado é truncada para um valor igual ao valor máximo observado neste tempo. Consideramos também o fato de que neste intervalo de observação um número elevado de amostras foi gerado de forma a que houvesse um casamento entre a distribuição gerada e a teórica dentro dos valores observados em [3]. Este procedimento segue na linha das sugestões de Heyman [5] que recomenda o uso de outras medidas que não as de estado estacionário (por exemplo medidas transientes). Heyman [5] mostra que o fator de maior influência nas medidas é a forma da distribuição, na sua maior parte. Além disso, é importante notar que as amostras tem tamanho limitado, e truncar a distribuição deve ser considerado.

Consideramos nos nossos experimentos uma população de usuários WWW igual a 2000 e a 3000. Dentro desta população variamos o número de usuários usando o serviço de voz sobre IP (tráfego isócrono). A medida de desempenho calculada é o tempo médio de acesso que representa o tempo desde que um usuário WWW gera o seu pedido até que ele seja transmitido no canal de acesso.

O gráfico na figura 2 mostra o tempo médio de acesso para uma população de 2000 usuários WWW. Podemos observar que para 15 slots de contenção o tempo de acesso é da ordem de poucos milisegundos até uma população de 1000 usuários telefônicos. A partir de 1100 e até 1200 usuários o tempo de acesso passa a ser da ordem de poucos segundos. A partir de 1200 usuários o tempo cresce tendendo a infinito. Quando consideramos 5 slots de contenção, podemos observar que o tempo de acesso diminui bastante. Se compararmos o tempo de acesso para 1200 usuários, ele é reduzido de 6 minutos para 486 ms.

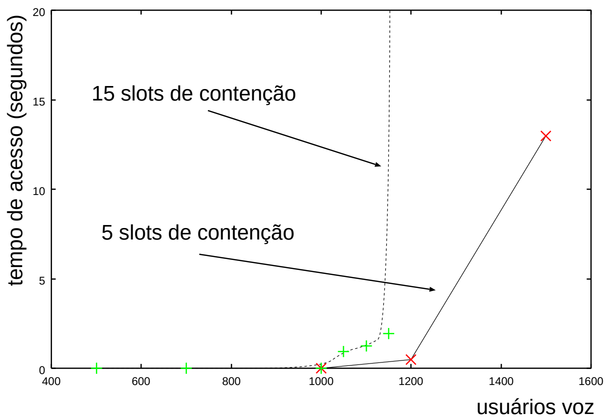

Fig. 2. Tempo de Acesso. População WWW = 2000

O gráfico na figura 3 mostra o tempo médio de acesso para uma população de 3000 usuários WWW. O tempo de acesso para 15 slots de contenção é da ordem de poucos milisegundos até uma população de 700 usuários telefônicos. A partir de 1000 e até 1150 usuários o tempo de acesso passa a ser da ordem de poucos segundos. A partir de 1200 usuários o tempo cresce tendendo a infinito. Já para o caso de 5 slots de contenção, podemos observar uma redução significativa no tempo de acesso. Para uma população de 1200 usuários o tempo de acesso diminui de duas ordens de grandeza.

V. Trabalhos Relacionados

Recentemente alguns trabalhos de avaliação tem aparecido na literatura. O objetivo principal do trabalho de [10] foi o de verificar a influência do tamanho dos pacotes na vazão máxima atingida, e no retardo de acesso do canal de subida. Dois tipos de tráfego foram considerados: isócrono e ON-OFF. Estes tráfegos entretanto não foram considerados em conjunto e não foi feito um modelo detalhado do tráfego de acesso WWW como no caso deste trabalho. Os resultados foram obtidos através de um simulador proprietário, e cada ponto levou

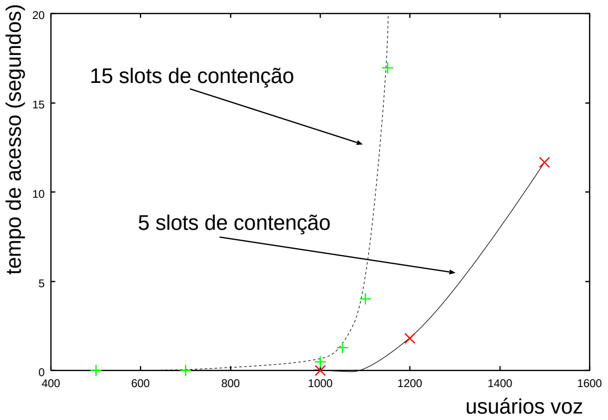

Fig. 3. Tempo de Acesso. População WWW = 3000

5-20 horas de simulação.

O trabalho de [8] comparou os protocolos DOCSIS e IEEE 802.14, usando a plataforma de simulação NIST ATM. O objetivos destes estudos foi o de analisar: os algoritmos de contenção; transferência de tráfego ATM e IP, onde os tráfegos gerados tem distribuição Poisson apenas.

Em [9] o objetivo foi o de verificar a vazão máxima atingida quando tráfego isócrono é injetado no canal de subida do DOCSIS. Taxas de 8 a 64Kbps foram consideradas, sem nenhum outro tráfego. A influência do tamanho dos pacotes também foi estudada, e do *overhead* causado pelo emcapsulamento. Um simulador proprietário foi utilizado.

O objetivo do trabalho de [6] foi o de estudar a adequação de protocolos usados em HFC para redes de acesso celular. Três tipos de tráfego foram considerados em separado, incluindo tráfego WWW. As comparações, semelhante a alguns dos trabalhos acima, levou em conta o efeito do tamanho dos pacotes. Naquele trabalho, pelos resultados apresentados, o tamanho dos pacotes estão bem acima do tamanho típico das requisições de subida de um tráfego WWW, (e usadas nos nossos estudos). Uma explicação provável para o uso de tamanhos atípicos pode ser o de considerar a influência da tamanho dos pacotes no desempenho do protocolo.

No nosso trabalho consideramos em conjunto tráfego isócrono e WWW. O modelo de simulação desenvolvido levou em conta características relevantes do protocolo, mas procurando omitir detalhes irrelevantes para o desempenho global. O fato do simulador TANGRAM-II permitir animação, ajudou a verificar as características menos e mais relevantes, de forma a que o modelo final pudesse ter sido talhado visando aumentar a eficiência da simulação. (Cada ponto durou de pouco mais de 30 mins em um Pentium-III/866.)

VI. Conclusões

Desenvolvemos um modelo do protocolo de subida do DOCSIS de forma a avaliar o seu desempenho e verificar os limites críticos de operação de acordo com a demanda do usuário. O modelo inclui uma mistura de tráfego isócrono e tráfego gerado por uma população de usuários WWW. Como as taxas de eventos são bem distintas e o modelo inclui distribuições com cauda longa, cuidados foram tomados para a obtenção dos resultados da simulação.

Os breves estudos reportados mostraram que a diminuição do número de slots alocados para a reserva de slots de dado pode reduzir significativamente o retardo de acesso dos usuários WWW quando o sistema começa a ficar saturado. Além disso, para o leque de parâmetros usados, o retardo introduzido pelas colisões no período de reserva foi insignificante.

Atualmente estamos desenvolvendo um modelo analítico introduzindo certas simplificações. O modelo de simulação servirá como base do modelo analítico, que deverá ser mais eficiente do que o primeiro.

Agradecimentos – Os autores agradecem ao grupo de alunos do laboratório LAND/UFRJ pela dedicação no projeto. Agradecemos também a Lucent e ao CPqD pelo apoio à pesquisa.

Referências

[1] R.M.L.R. Carmo, L.R. de Carvalho, E. de Souza e Silva, M.C. Diniz, and R.R. Muntz. Performance/Availability Modeling with the TANGRAM-II Modeling Environment. *Performance Evaluation*, 33:45–65, 1998.

[2] Edmundo de Souza e Silva and Rosa M. M. Leão. The Tangram-II Environment. In *Computer Peformance Evaluation - Modelling Techniques and Tools - $11^{\underline{th}}$ International Conference (TOOLS2000)*, volume 1786, pages 366–369. Springer, Março 2000.

[3] Shuang Deng. Empirical model of WWW document arrivals at access link. *IEEE*, 1996.

[4] Mark E.Crovella and Lester Lipsky. Long-lasting transient conditions in simulations with heavy-tailed workloads. In *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference.*

[5] Daniel P. Heyman. Performance implications of very large service-time variances. *Performance Evaluation*, 2000.

[6] M.T.Ali, R.Grover, G.Stamatelos, and David D.Falconer. Performance evaluation of candidate MAC protocols for LMCS/LMDS networks. *IEEE - Selected Areas in Communications*, 2000.

[7] Masahiko Nabe and Masayuki Murata Hideo Miyahara. Analysis and modeling of world wide web traffic for capacity dimensioning of internet access lines. *Performance Evaluation*, 1998.

[8] N.Golmie, F.Mouveaux, and D.Su. A comparison of MAC protocols for hybrid fiber/coax networks: IEEE 802.14 vs. MCNS. *IEEE*, 1999.

[9] P.Tezerefos, V.Sdralia, C.Smythe, and S.Cvetkovic. Delivey of low bit rate isochronous streams over the DOCSIS 1.0 cable television protocol. *IEEE - Transactions on Broadcasting*, 1999.

[10] V.Sdralia, C.Smythe, P.Tzerefos, and S.Cvetkovic. Performance characterisation of the MCNS DOCSIS 1.0 CATV protocol with prioritised first come first served scheduling. *IEEE - Transactions on Broadcasting*, 1999.