

A EFICÁCIA DO PROTOCOLO DSMA/CD COM PRIORIDADE

Nelson L. S. da Fonseca e Vitor Hugo Furtado

Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Computação

Caixa Postal 6176

13083-970 Campinas SP

Brazil

e-mail: {nfonseca, furtado}@dcc.unicamp.br

Resumo

A compatibilidade com os protocolos IP e CNLP, bem como o aproveitamento da infraestrutura existente na rede de telefonia celular fazem da tecnologia CDPD uma tecnologia com potencial sucesso comercial. O oferecimento de serviços diferenciados é de capital importância para atender os requisitos de QoS de usuários heterogêneos. Introduz-se, neste artigo, o protocolo DSMA/CD com prioridade, uma extensão do protocolo de acesso ao meio das redes CDPD. Investiga-se, também, a efetividade do mesmo sob diferentes cenários de tráfego com dependências de longa duração.

Palavras-chave: Redes de Computadores, Telemática, Redes sem Fio

Abstract

The compatibility with IP and with CNLP protocols, as well as the use of already available celular infrastructure, are interesting features of CDPD technology. The introduction of differentiated services in CDPD networks is of paramount importance to support diverse QoS requirements. In this paper, we introduce the prioritized DSMA/CD and evaluate its effectiveness under different long range dependent traffic scenarios.

Keywords: Computer Networks, Wireless Networks

1) Introdução

Cellular Digital Packet Data Networks (CDPD) é uma tecnologia de redes sem fio cujas principais características são: transmissão digital, tecnologia de rádio, *channel hopping* e comutação de pacote [1], [2]. As redes CDPD utilizam a infraestrutura existente das redes de telefonia celular. Na realidade, a principal motivação para definição das redes CDPD é a utilização da ociosidade dos canais da rede celular para a transmissão de dados. Para se ter uma idéia desta ociosidade, cita-se que em uma rede celular baseada no sistema Advanced Mobile Phone System (AMPS), uma célula com 10 canais, tem, em média, cinco canais de rádio ociosos, considerando-se probabilidade de bloqueio de 2%, e tempo médio de duração de chamadas de 90 segundos (chamadas efetivadas ou não).

As redes CDPD devem ser transparentes às redes de telefonia celular, ou seja, o funcionamento das redes de telefonia celular não deve ser afetado pela coexistência com as redes CDPD. Sempre que houver uma solicitação de chamada telefônica e o canal estiver ocupado por uma transmissão de dados (CDPD), a transmissão de dados é interrompida para dar lugar a ligação telefônica. A transmissão de dados, por outro lado, pode mudar para outro canal de rádio, quando existir um disponível.

A arquitetura da rede CDPD foi projetada, de forma a dar suporte aos protocolos IP e CNLP. A incorporação do suporte ao protocolo IP foi uma das metas do projeto CDPD. Pretende-se utilizar as redes CDPD, tipicamente, como uma extensão (sem fio) da atual infraestruturas de comunicação. Como por exemplo, na comunicação entre funcionários itinerantes de uma corporação com a rede local da empresa [3]. Não se pretende, portanto, que as redes CDPD substituam nenhuma tecnologia de redes *com* fio. A compatibilidade com o protocolo IP, e a utilização da ociosidade da rede de telefonia celular são as forças motrizes para a tecnologia CDPD. Além disto, a arquitetura das redes CDPD mantém total compatibilidade com as camadas superiores à camada de rede no modelo ISO. O CDPD funciona com diversas outras tecnologias, tais como X.25, ISDN, Frame Relay, ATM e FDDI.

Os usuários da rede CDPD utilizam o protocolo DSMA-CD, para o acesso ao meio. O DSMA-CD é uma variação do CSMA-CD utilizado nas redes ethernet. No entanto, nas redes CDPD, existe um canal, chamado *reverse*, de uma estação gerenciadora para as estações usuárias para sinalização de eventos.

O oferecimento de serviços diferenciados em redes CDPD é de capital importância para usuários com necessidade de transmissão de “tempo real”, tais como telemetria e segurança pública. Assim sendo, é necessário a introdução de acesso prioritário no protocolo DSMA/CD, a fim de se prover à tecnologia CDPD com a habilidade de dar suporte a usuários com requisitos distintos de QoS. Introduce-se, neste artigo, uma extensão do protocolo DSMA/CD para se permitir acesso preferencial ao meio. O protocolo DSMA/CD com prioridade faz uso do canal *reverse* para definir períodos de transmissão exclusiva para estações de alta prioridade. Investiga-se, também, a efetividade do protocolo DSMA/CD com prioridade à luz das dependência de longa duração, existentes tanto no tráfego de redes locais, quanto no tráfego de redes de longa distância [4].

O presente artigo está organizado da seguinte forma: as entidades de uma rede CDPD e seus relacionamentos são descritos na seção II. Na seção III, descreve-se o protocolo DSMA/CD usado nas redes CDPD. Na seção IV, introduz-se o protocolo DSMA/CD com prioridade e na seção V sua efetividade é analisada. Finalmente, conclusões são tecidas na seção VI.

II) Entidades de uma Rede CDPD

Nesta seção são descritas as funções dos diversos elementos que compõem uma rede CDPD, bem como, os seus relacionamentos.

- **Sistema Final Móvel** - Um Sistema Final Móvel (Mobile End System ou M-ES) é qualquer host móvel da rede. O M-ES usa a interface sem fio para se comunicar com um outro Sistema Final. Como os M-ESs são potencialmente móveis e sua localização física pode mudar com o tempo, o acesso contínuo à rede deve ser mantido.

- **Sistema Final Fixo** - O Sistema Final Fixo (Fixed End System ou F-ES) é um termo genérico aplicado para um sistema final não móvel. Os M-ESs comunicam-se com F-ESs utilizando a rede CDPD.

- **Estação Móvel de Banco de Dados** - A Estação Móvel de Banco de Dados (Mobile Data Base

Station ou MDBS) arbitra atividades na subcamada MAC. O MDBS é um elemento chave no protocolo DSMA/CD.

O sistema de telefonia celular AMPS, não vê a existência das redes CDPD. Os MDBSs, existentes em cada célula, recebem sinais RF (frequência de rádio) da mesma antena que os dispositivos AMPS recebem. O MDBS tem um receptor que rastreia todos os canais AMPS para detectar a presença de tráfego de voz baseado na potência do sinal. Este processo é chamado de *rf-sniffing*.

O MDBS monitora continuamente os canais celulares ociosos e os utiliza para transmissão de dados. Quando o MDBS detecta a presença de uma chamada telefônica, a transmissão de dados libera o canal e salta para um novo canal ocioso (se houver). Este processo é chamado *channel hopping*.

- **Sistema Intermediário Móvel de Dados** - O Sistema Intermediário Móvel de Dados (Mobile Data Intermediate System ou MD-IS) é responsável pela maioria das funções de gerenciamento de mobilidade da rede. Os MD-ISs são, também, responsáveis por rotear todo tráfego de rede aos M-ESs apropriados. Os MD-ISs em uma rede CDPD devem cooperar para assegurar que o roteamento seja realizado independentemente da localização dos M-ESs. As funções de roteamento desempenhadas pelo MD-ISs são baseadas no conhecimento da localização dos M-ESs.

- **Sistema Intermediário** - O Sistema Intermediário (Intermediate System ou IS) é um roteador de rede. Os ISs manipulam pacotes enviados pelos protocolos IP e CLNP, tal como nas redes de dados convencionais. Os roteadores devem lidar com cálculo de rotas, fragmentação, remontagem e congestionamento. Os MD-ISs devem também dar suporte a funcionalidade dos ISs.

III) O Protocolo DSMA/CD

O protocolo DSMA/CD é semelhante ao protocolo CSMA/CD. A diferença fundamental entre eles é que o protocolo DSMA/CD faz uso de um canal de sinalização. São dois os canais utilizados entre um MDBS e um grupo de M-ESs: o canal *forward* e o canal *reverse* (Figura 1).

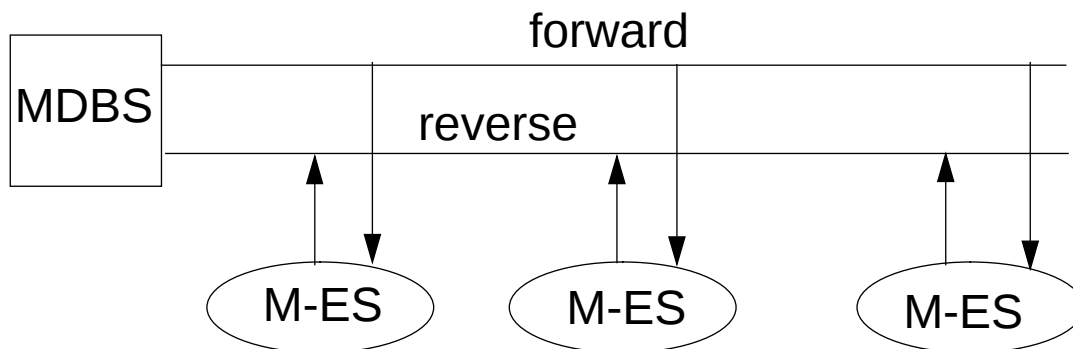


Figura 1: Canais Forward e Reverse

O canal *forward* é um canal sem contenção de difusão do MDBS para as estações (M-ESs ou F-ESs). Estes canais de controle não são fisicamente diferentes dos canais AMPS, exceto pelo modo como são usados, ou seja, somente para controle. Cada célula utiliza um canal *forward* para difundir continuamente informações necessárias para os M-ESs.

Um M-ES pode acessar o canal *reverse* usando o protocolo DSMA/CD. No canal *forward* são transmitidos indicadores de tempo e sincronização para permitir a sincronização dos M-ESs com o

DSMA/CD. Se dois M-ESs transmitirem ao mesmo tempo, eles colidem imediatamente. O MDBS detecta a colisão e atribui o valor erro ao flag *decode status* para indicar que um bloco de dados não foi transmitido com sucesso.

O MDBS usa o flag busy/idle para sinalizar a disponibilidade do canal *reverse*. Quando uma estação (M-ES ou F-ES) deseja transmitir, ela primeiramente deve verificar o valor da flag busy/Idle no canal *forward*. Caso o canal *reverse* esteja ocioso, então a transmissão pode ser iniciada. Caso o canal esteja ocupado, a estação deverá adiar a transmissão por um intervalo de tempo aleatório.

O MDBS deve atribuir o valor *busy* ao flag busy/Idle no canal *forward*, imediatamente após o início de uma transmissão. Desta forma, a duração do intervalo passível à ocorrência de colisões torna-se pequeno, permitindo, assim, valores altos de vazão.

Quando uma estação tenta transmitir e encontra o canal ocupado, ela volta a checar o meio após um intervalo de tempo aleatório entre $[0, \text{MAX_ENTRANCE_DELAY}]$. A estação volta a esperar este tempo aleatório até que consiga transmitir ou até que ocorra uma colisão. No caso de colisão, utiliza-se o algoritmo exponential backoff. A duração do período aleatório de espera é múltiplo de um *microslot*, que é o tempo entre a transmissão de dois flags busy/idle consecutivos. A duração do intervalo é um valor aleatório entre $[0, 2^{\text{COUNT}} - 1]$, tal que $\text{MIN} - \text{COUNT} \leq \text{COUNT} \leq \text{MAX} - \text{COUNT}$.

É permitido um número máximo de tentativas de transmissão, MAX_TX_ATTEMPTS. Se o número máximo de tentativas de transmissão é excedido, a estação participa aos níveis superiores a perda do pacote. Caso a transmissão seja bem sucedida, a estação poderá transmitir uma rajada de no máximo MAX-BLOCKS blocos de 282 bits cada.

Após uma transmissão com sucesso, a estação não pode acessar o canal *reverse* por um período mínimo de MINIMUM_IDLE_TIME *microslots*. Este intervalo de ociosidade forçada tenta evitar a monopolização do meio por uma estação.

IV) O Protocolo DSMA/CD com Prioridade

O protocolo DSMA/CD com prioridade é uma extensão do protocolo DSMA/CD, na qual são considerados dois níveis de prioridade para acesso ao meio. A fim de se prover acesso diferenciado, são definidos dois períodos distintos para transmissão de dados: um período exclusivo para as estações (M-ES ou F-ES) com alta prioridade, e um período comum no qual ambas as classes de prioridade podem transmitir. O acesso ao meio, em ambos os períodos (comum ou com exclusividade) é regido pelo protocolo DSMA/CD.

Um período exclusividade é iniciado sempre ao final de uma transmissão bem sucedida, ou após a detecção de uma colisão durante um período comum. Caso não existam estações de alta prioridade com dados a serem transmitidos, o período de exclusividade é encerrado. Caso contrário, este período estende-se até não haver nenhuma estação de alta prioridade com dados a transmitir. Toda e qualquer estação de alta prioridade que gerar dados, durante um período de exclusividade, está apta a transmitir, isto é, não necessita esperar o próximo período de exclusividade.

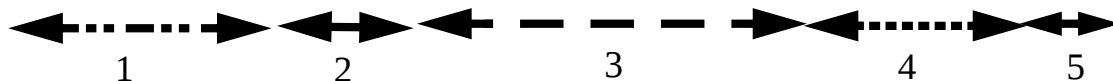
Dado que em um protocolo distribuído de acesso aleatório não se sabe quais estações possuem carga pendente, após cada transmissão bem sucedida em um período de exclusividade, anuncia-se o fim deste período. Caso haja alguma estação de alta prioridade com carga pendente, esta é responsável por evitar o término do período de exclusividade, anunciando o seu desejo de transmitir.

A fim de se implementar o protocolo descrito acima, dois bits de flags são introduzidos: o flag *period* e o flag *backlog*. O valor *on* do flag *period* indica que o período corrente é um período de ex-

clusividade para a transmissão das estações de alta prioridade. O valor *on* do flag backlog indica que existe pelo menos uma estação de alta prioridade com dados a serem transmitidos. Assim sendo, quando ambos os flags *period* e *backlog* estiverem com valor *on*, o período corrente é um período de exclusividade. Por outro lado, quando somente o flag *period* estiver com valor *on*, o MDBS está prestes a encerrar um período de exclusividade, ou seja, o MDBS está a espera de que estações de alta prioridade manifestem seu desejo de transmitir.

Durante um período comum, o bit *period* possui o valor *off*. Após uma transmissão com sucesso ou após uma colisão, o MDBS inicia um período de exclusividade, atribuindo o valor *on* para o bit *period*. Caso hajam estações de alta prioridade com dados a serem transmitidos, estas devem enviar ao MDBS um quadro de controle. Tanto no caso de recebimento de quadro de controle não-corrompido, quanto no caso de colisão, o MDBS atribui o valor *on* para o bit *backlog*. O bit *backlog* permanece com o valor *on* até uma transmissão com sucesso. Após uma transmissão com sucesso durante o período de exclusividade, o MDBS atribui valor *off* ao bit *backlog*. Ao perceber a mudança do valor do flag *backlog* de *on* para *off*, as estações de alta prioridade com dados a transmitir devem enviar quadro de controle ao MDBS, ou seja, devem sinalizar ao MDBS, da mesma forma quando do início de um período de exclusividade. O MDBS deve, então, retornar o valor do bit *backlog* para *on*. Caso o MDBS não receba nenhum quadro de controle, nem perceba uma colisão, ele atribui flag *period* permanece com valor *off*, iniciando-se um novo período comum. A Figura 2 ilustra o uso dos flags pelo DSMA/CD com prioridade.

A máquina de estado do protocolo DSMA/CD com prioridade pode ser encontrada em [5].



1 - Transmissão em período comum, busy/idle = busy, period = off,
backlog = off

2 - MDSB anuncia início de período de exclusividade e recebe confirmação de existência de estações de alta prioridade com dados a transmitir,
Busy/idle = idle, period = on, backlog = off

3 - Período de exclusividade confirmado, meio livre, busy/idle = idle,
period = on, backlog = on

4 - Transmissão de estação de alta prioridade em período de exclusividade,
Busy/idle = busy, period = on, backlog = on

5 - MDBS anuncia fim de período de exclusividade busy/idle = idle,
period = on, backlog = off

Figura 2: Exemplificação do Uso das Flags no Protocolo DSMA/CD com prioridade

V) A Efetividade do Protocolo DSMA/CD com Prioridade

Os exemplos numéricos contidos, nesta seção, enfatizam a capacidade do protocolo DSMA/CD com prioridade de prover serviços diferenciados à classe de alta prioridade.

Sabe-se que tanto o tráfego de redes locais quanto o tráfego de redes de longa distância apresentam dependências de longa duração. Tais dependências existem no tráfego agregado, bem como no tráfego gerado por fontes individuais. Em um fluxo de pacotes com dependências de longa duração, a auto-correlação decresce muito lentamente em função do tempo. O parâmetro de Hurst, ou parâmetro H , expressa o grau de dependência em um fluxo de pacotes. O parâmetro H varia no intervalo $[0, 1]$. Valores acima de 0.5 indicam correlações positivas e quanto mais próximos de 1, mais intensas são as dependências de longa duração. Um aspecto de vital importância na avaliação de protocolos é a determinação do impacto das dependências de longa duração no funcionamento do mesmo.

Os exemplos numéricos exibidos foram derivados via simulação de eventos discretos. O simulador do protocolo DSMA/CD foi desenvolvido na linguagem C. Para representar o tráfego gerado por uma estação, utilizou-se um processo *on-off* cuja duração dos períodos *on* e *off* seguem uma distribuição Pareto. Quanto maior for o parâmetro de Hurst, mais longos são os períodos *on* e *off*, e, consequentemente, maiores são as rajadas de pacotes, e os intervalos entre rajadas. Foram coletadas traces de pacotes gerados nos experimentos de simulação, a fim de se verificar se o parâmetro H do trace estava em acordo com o especificado. Durante um período *on*, pacotes com tamanho de 53 bytes são gerados a cada 0.2 segundos (foram utilizados pacotes de tamanho fixo com o mesmo tamanho de células ATM, dado que os resultados deste artigo são partes de um estudo de interconexão entre redes CDPD e redes ATM).

A carga oferecida a rede é dado por $\rho = N \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} \gamma$, onde N é o número

de estações na rede, T_{on} / T_{off} são, respectivamente, o tempo médio de residência no estado *on* e no estado *off*. γ é a razão entre a taxa de transmissão no estado *on* e a capacidade do canal. A capacidade do canal em redes CDPD é de 19,2 Kbs. Utilizou-se 0.4 e 0.6, respectivamente, para T_{on} e T_{off} .

Os seguintes valores para os parâmetros do DSMA/CD foram usados nos experimentos de simulação: MIN_COUNT = 0, MAX_COUNT = 4, MIN_IDLE_TIME = 1, MAX_BLOCKS = 2, e MAX_TX_ATTEMPTS = 15. Estes valores estão de acordo com as faixas recomendadas no padrão CDPD.

Na Figura 3, mostra-se o retardo médio em função da carga oferecida para uma porcentagem de usuários de 5%. Uma característica extremamente desejável no protocolo DSMA/CD é que os serviços oferecidos à classe com alta prioridade independe das dependências de longa duração. Tal propriedade é facilmente notada pela coincidência das curvas para valores distintos do parâmetro H . No entanto, o retardo médio da classes de baixa prioridade é altamente sensível ao valor de H .

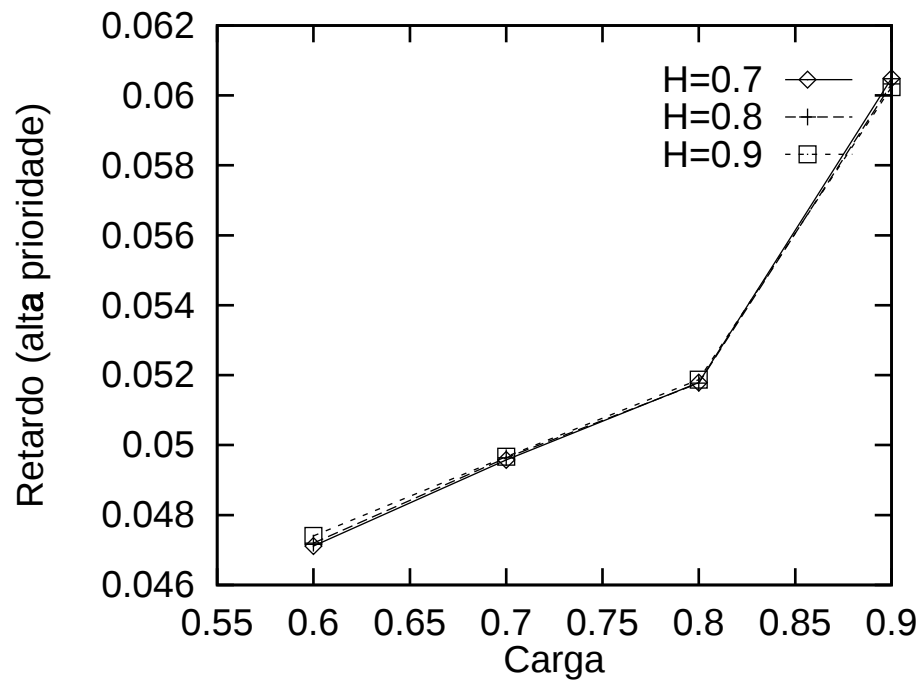


Figura 3: Retardo Médio (em seg) x Carga para Classe de Alta Prioridade e para Diferentes Valores do Parâmetro de Hurst

Na Figura 4, a probabilidade de perda em função da carga é exibida. Nota-se que o protocolo DSMA/CD é capaz de oferecer baixas probabilidade de perdas, mesmo em situações de carga alta. Observa-se, também, que as dependências de longa duração não afetam as perdas da classe de alta prioridade. Por outro lado, enquanto a probabilidade de perda da classe de alta prioridade varia de 0.02 a 0.18, a probabilidade de perda da classe de baixa prioridade varia de 0.5 a 0.7, o que pode ser inaceitável para a classe de baixa prioridade.

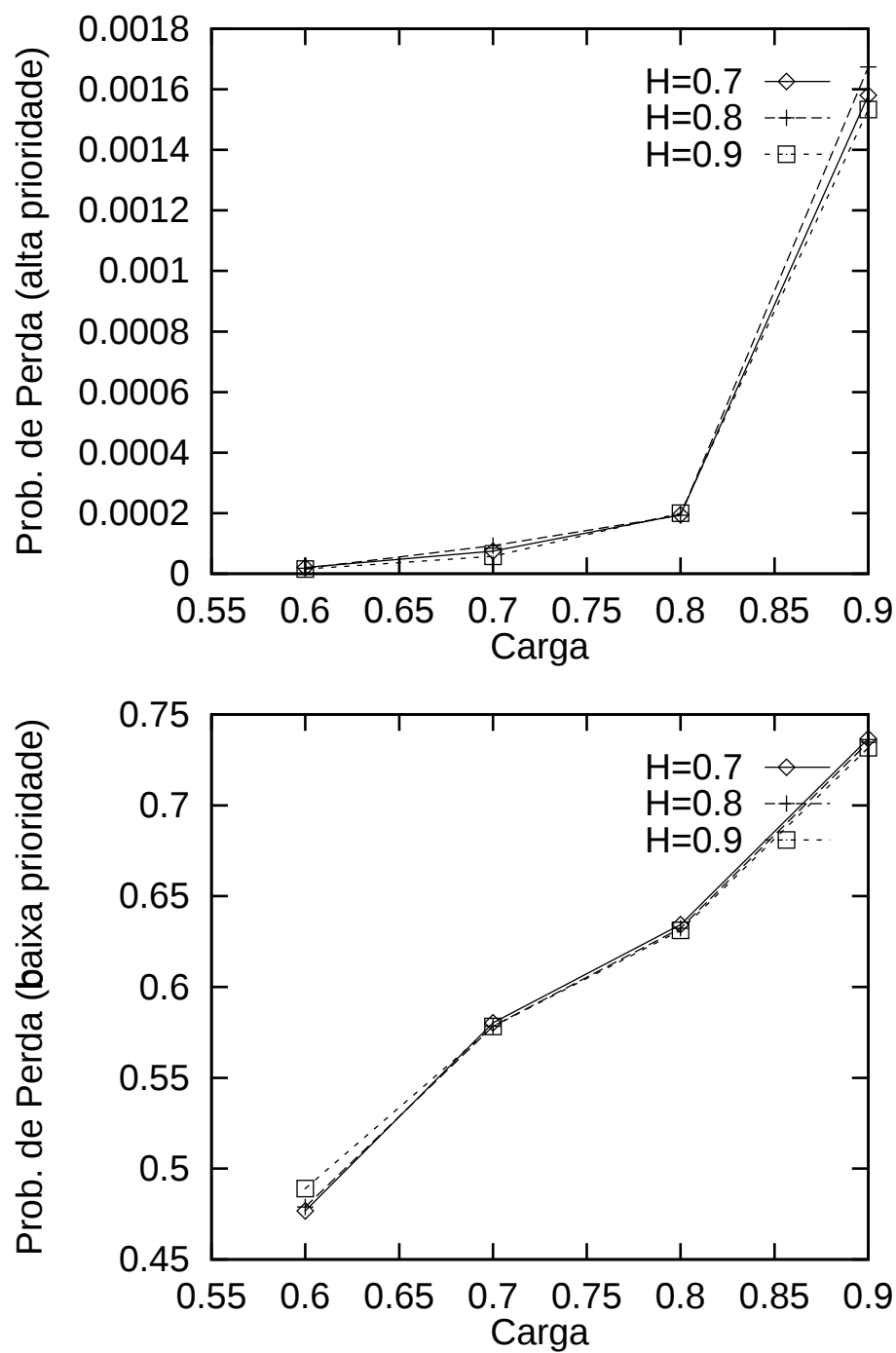


Figura 4: Probabilidade de Perda x Carga para Diferentes Classes de Serviço, considerando-se 5% de Estações de Alta Prioridade e para Diferentes Valores do Parâmetro de Hurst

A determinação da percentagem de usuários com privilégio de acesso (alta prioridade) deve ser feita de forma a preservar os benefícios do uso de mecanismo de prioridade. Em outras palavras, em determinados cenários, a atribuição de privilégios a um elevado percentual de usuários pode levar a valores inaceitáveis de QoS. Nas Figuras 5 e 6, estudam-se, respectivamente, o retardo e a probabilidade de perda, como função da percentagem de usuários com alta prioridade. Os valores são mostrados para diferentes cargas e para parâmetro H igual a 0.8. Nota-se que para percentagens menores que 10% existe uma pequena variação no retardo da classe de alta prioridade, independentemente, do valor da carga.

Observações semelhante ao retardo podem ser feitas a probabilidade de perda. Na Figura 5, pode-se notar que, para valores menores que 10% da percentagem de usuários de alta prioridade e para cargas menores que 0.8, as probabilidades de perda da classe de alta prioridade mantêm-se baixa. Além disto a probabilidade de perda da classe de alta prioridade mantêm-se em níveis aceitáveis para valores de percentual superiores a 10% e para cargas menores que 0.8. Por outro lado, obtém-se uma alta probabilidade de perda para classes de baixa prioridade.

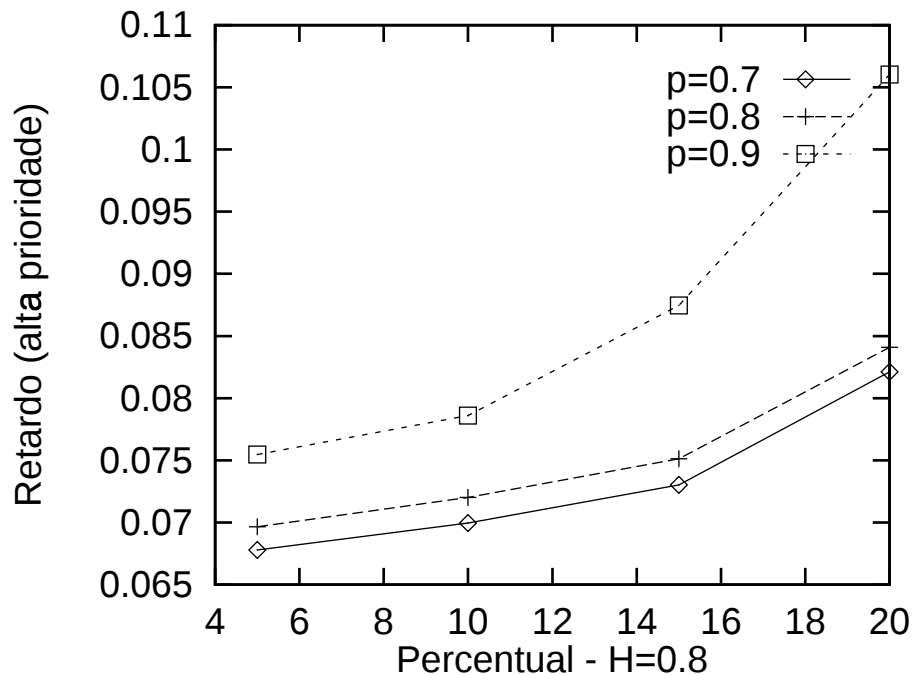


Figura 5: Retardo Médio x Carga para Diferentes Percentuais de Usuários de Alta Prioridade e para Diferentes Cargas, considerando parâmetro de Hurst = 0.8

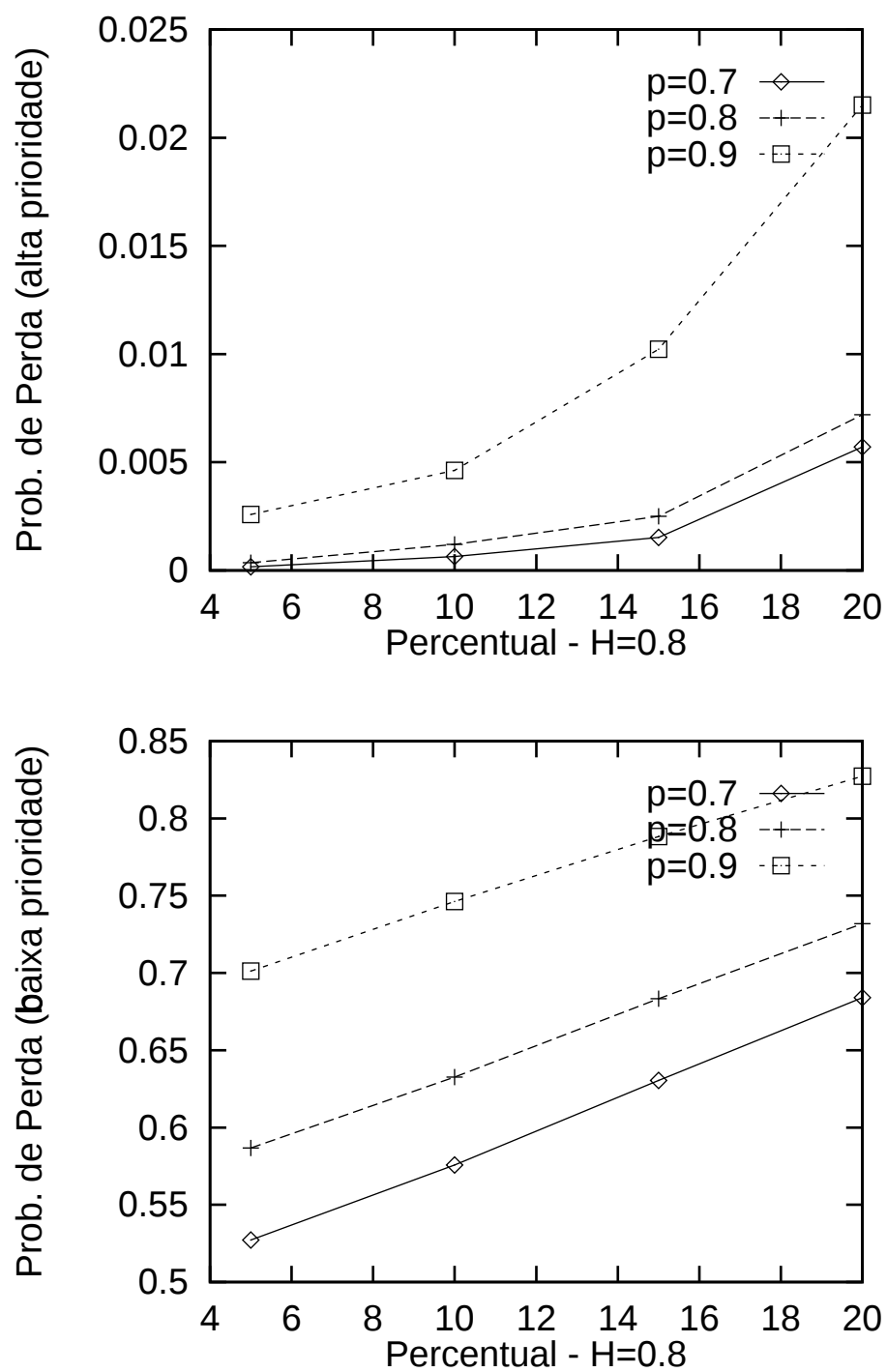


Figura 6: Probabilidade de Perda x Carga para Diferentes Percentuais de Usuários de Alta Prioridade e para Diferentes Cargas Considerando Parâmetro de Hurst = 0.8

Foram realizados diversos experimentos de simulação semelhantes aos das Figuras 5 e 6, para diferentes valores do parâmetro de Hurst. Pode-se notar que o desempenho da classe de alta prioridade não é influenciada pelo parâmetro de Hurst, o que é extremamente desejável em protocolos com prioridade de acesso randômico.

VI) Conclusões

A compatibilidade com os protocolos IP e CNLP, bem como o aproveitamento da infraestrutura existentes na rede de telefonia celular fazem da tecnologia CDPD uma tecnologia com potencial sucesso comercial. O oferecimento de serviços diferenciados possibilitam às redes CDPD a atender uma maior diversidade de usuários, e, conseqüentemente, podem aumentar a aceitação desta tecnologia.

Introduziu-se, neste artigo, o protocolo DSMA/CD com prioridade. O protocolo DSMA/CD com prioridade estende a sinalização das redes CDPD para delimitar períodos exclusivos para transmissão de usuários de alta prioridade.

Avaliou-se o protocolo DSMA/CD, enfatizando-se o impacto das dependências de longa duração na efetividade do mesmo em prover serviços diferenciados. Sabe-se que tais dependências existem em diversos tipos de tráfego, e que podem ter um impacto pervasivo em redes de comunicação, como por exemplo podem provocar perdas maciças em multiplexadores ATM.

Resultados, baseados em simulação de eventos discretos, indicam que o protocolo DSMA/CD com prioridade é capaz de oferecer serviços diferenciados em diferentes cenários de tráfego. Observa-se, também, que o desempenho da classe de alta prioridade não é afetada pelas correlações de longa duração. Pelos resultados analisados, sugere-se que a proporção de usuários de alta prioridade não ultrapasse 10%, a fim de se manter desempenho aceitáveis para classe de alta prioridade.

VII) Referências

- [1] CDPD Forum, Recommendation 1.1, 1995
- [2] Cincinnati Microwave, "A Primer on How CDPD Can Change the Way Your Organization does Business", 1995.
- [3] J. Agosta e T. Russell, Cellular Digital Packet Data Standards and Technology, McGraw-Hill, NY, 1996
- [4] W. Leland, M. Taqqu, W. Willinger and D. Wilson, "On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version), IEEE/ACM Transaction on Networking, vol 2 n 1, pp 1-15, Fev 1994
- [5] V.H. Furtado, "Análise de Desempenho de Redes CDPD", Dissertação de Mestrado, Instituto de Computação, UNICAMP, 2000.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq (processo no 300064/95-0) e PRONEX SAI.