

Uma Análise de Desempenho do Padrão HomePNA

Aurelio Amodei Jr., Daniel de O. Cunha, Luís Henrique M. K. Costa,
Marcelo G. Rubinstein e Otto Carlos M. B. Duarte

Resumo—Este artigo analisa o padrão HomePNA de redes domiciliares através da fiação telefônica. São realizadas análises matemáticas e por simulação, através de um módulo HomePNA implementado para o simulador de redes *ns-2*. As características analisadas são a eficiência do protocolo de acesso ao meio e o mecanismo de prioridade do padrão. Os resultados mostram que na taxa de transmissão típica de 10 Mbps com tamanho de quadro máximo, a eficiência do protocolo chega a 92%. Mesmo quando se aumenta o número de nós transmissores na rede, a vazão tende a se manter constante, com eficiência de quase 80%. Além disso, mostra-se que o mecanismo de prioridade é capaz de garantir um isolamento entre os fluxos de diferentes classes.

Palavras-Chave—Redes domiciliares, fiação telefônica, HomePNA, qualidade de serviço, controle de acesso ao meio.

Abstract—This paper analyzes the HomePNA standard for home phoneline networks by performing mathematical analysis and simulations. We implemented a new HomePNA module for the *ns-2* network simulator. Then, we evaluated the efficiency of the medium access protocol and the priority mechanism used by the standard. The results show that the protocol efficiency can reach up to 92% when we use the typical rate of 10 Mbps and maximum frame size. Even when the number of transmitting nodes is increased, the throughput tends to remain stable, with efficiency of almost 80%. Moreover, we also show that the priority mechanism is able to isolate flows of different priorities.

Keywords—Home networks, phoneline, HomePNA, quality of service, medium access control.

I. INTRODUÇÃO

Uma rede domiciliar tem como objetivo fazer a interconexão dos computadores e dispositivos de rede dentro de nossos lares, fornecendo, entre outros serviços, compartilhamento de acesso à Internet e de recursos como impressoras e *scanners* [1]. Uma forma possível de implementar uma rede domiciliar, sem utilizar novos fios, é reutilizar a fiação telefônica. Esse tipo de rede de dados foi padronizado na norma HomePNA [2] [3] (*Home Phoneline Network Alliance*).

A primeira especificação do padrão, o HomePNA 1.0, possuía taxa de transmissão de 1 Mbps. Neste trabalho, consideramos a especificação HomePNA 2.0 [3], que trata da camada física e da subcamada de acesso ao meio e permite taxas de transmissão de até 32 Mbps. Baseando-se nesta especificação, a ITU-T estabeleceu as recomendações G.989.1 [4], G.989.2 [5] e G.989.3 [6]. O HomePNA utiliza como método de acesso ao meio uma variante do CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*), utilizado no padrão de redes locais IEEE 802.3 (Ethernet). No HomePNA são adicionados mecanismos de prioridade e de resolução de colisão [7] para dar suporte à qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*).

Aurelio Amodei Jr., Daniel de O. Cunha, Luís Henrique M. K. Costa e Otto Carlos M. B. Duarte, Grupo de Teleinformática e Automação, COPPE/Poli - Programa de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Marcelo G. Rubinstein, Departamento de Eletrônica e Telecomunicações - FEN, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil. Este trabalho foi realizado com recursos do CNPq, CAPES/PRODOC, COFECUB, FUJB, FAPERJ e RNP/FINEP/FUNTEL.

Muitos dos trabalhos encontrados na literatura estão relacionados à camada física do HomePNA [8] [9] [10]. A contribuição deste trabalho é fazer uma análise do desempenho da subcamada de acesso ao meio deste padrão. Foram realizadas análises matemáticas e por simulação. Como parte deste trabalho, foi implementado um módulo HomePNA para o simulador de redes *ns-2* (*Network Simulator 2*) [11]. As análises realizadas mediram a eficiência do protocolo de acesso ao meio e a capacidade do mecanismo de prioridade de prover QoS.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. A Seção II descreve o funcionamento do padrão HomePNA. A Seção III apresenta uma análise matemática da eficiência do seu protocolo de acesso ao meio. A Seção IV apresenta os resultados obtidos a partir das simulações utilizando o módulo HomePNA. Por fim, a Seção V apresenta as conclusões do trabalho.

II. O PADRÃO HOME PNA

O HomePNA baseia-se no método CSMA/CD para o controle de acesso ao meio. Ao protocolo de acesso ao meio do HomePNA foi acrescentado um mecanismo de prioridade para dar suporte à QoS. Este mecanismo possui oito níveis de prioridade de acesso ao meio. Assim, diferentes tipos de tráfego podem ser rotulados com diferentes prioridades que variam de 0 a 7, sendo 7 a maior prioridade. Com base na prioridade de cada quadro, sua transmissão é feita no intervalo de tempo (*slot*) correspondente, após o espaçamento obrigatório ao final de cada quadro (*Inter-Frame Gap - IFG*), de 29 μ s. Como mostra a Figura 1, os intervalos de tempo são ordenados em ordem decrescente de prioridade. Desta forma, estações com fluxos de maior prioridade começam a transmitir mais cedo, sem competir com o tráfego de menor prioridade. A duração de cada intervalo de tempo de prioridade, PRI_SLOT, é de 21 μ s.

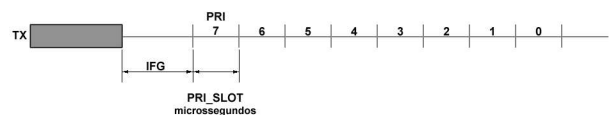


Fig. 1. Slots de prioridade no HomePNA.

Estações que tenham quadros para transmitir devem monitorar a portadora e adiar o uso do canal caso seja detectada a portadora antes do início do intervalo de tempo relativo à prioridade da estação. Caso isto ocorra e outra estação controle o meio antes do início da transmissão, a contagem dos intervalos de tempo deve ser reiniciada.

Todas as estações monitoram o meio para detectar colisões entre transmissões de outras estações. Estações podem detectar uma colisão a partir da duração da transmissão. Enquanto a duração mínima de um quadro válido é de 92,5 μ s, uma estação que detecte a colisão de seu quadro deve parar a transmissão em até 70 μ s após o seu início [7]. A duração máxima

de um quadro não pode ultrapassar $3122 \mu\text{s}$. Transmissões muito curtas, ou muito longas, são consideradas como colisões por estações monitorando a rede.

Caso haja uma colisão, as estações iniciam um procedimento distribuído de resolução de colisão chamado *Distributed Fair Priority Queuing* (DFPQ) [7]. Após a execução do algoritmo, as estações envolvidas na colisão são organizadas em níveis de *backoff* (BL - *Backoff Level*), que indicam a ordem em que as estações vão transmitir. A saída esperada é que apenas uma estação esteja no nível 0, acessando o meio. Após uma transmissão, todas as outras estações decrementam seu BL para que uma nova estação no nível 0 assuma o controle do meio.

Todas as estações, mesmo as que não estão esperando para transmitir, devem monitorar o meio para ter conhecimento do nível de *backoff* máximo (MBL - *Maximum Backoff Level*). Desta forma, estações que não estavam envolvidas na colisão original podem saber quando todas as estações envolvidas na colisão já transmitiram seus quadros. Estações que não estavam envolvidas na colisão só podem transmitir após todas as estações envolvidas terem transmitido.

Como mostra a Figura 2, após uma colisão, são utilizados três *slots* especiais de sinalização (S0 a S2) antes dos intervalos de tempo de prioridade. Os contadores de BL são determinados através destes *slots* de sinalização. Os intervalos de tempo de sinalização têm a duração de $32 \mu\text{s}$ e só são usados após uma colisão, nunca após uma transmissão bem sucedida.

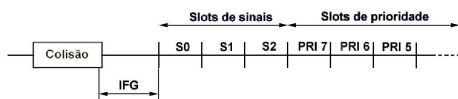


Fig. 2. Sinalização após uma colisão no HomePNA.

Cada estação participando da resolução de colisão escolhe aleatoriamente um dos três intervalos de tempo de sinalização para transmitir o sinal de *backoff* que determinará os BLs. Estações participando da resolução de colisão incrementam seu BL ao receberem um sinal de *backoff* em um intervalo de tempo de sinalização anterior ao escolhido pela estação. As estações no BL 0 iniciam suas transmissões no intervalo de tempo correspondente à sua prioridade, logo após os intervalos de tempo de sinalização, e colidem novamente, até que haja somente uma estação com BL 0. O contador MBL é incrementado a cada sinal de *backoff* recebido e decrementado a cada transmissão bem sucedida [4]. Desta forma, enquanto a resolução de colisão estiver ocorrendo, o MBL será diferente de zero.

Para canais com boa resposta pode ser usada uma taxa de símbolos de 4 Mbaud, que utiliza a modulação adaptativa de amplitude em quadratura (*Adaptive Quadrature Amplitude Modulation* - AQAM) [9]. Esta técnica possibilita variar a codificação de 2 a 8 bits por símbolo, oferecendo transmissões a até 32 Mbps. A taxa básica de símbolos, no entanto, é de 2 Mbaud, e permite a transmissão de dados a taxas entre 4 e 16 Mbps. Quando o sistema opera a 2 Mbaud, é utilizada uma técnica mais robusta chamada de *Frequency Diverse QAM* (FDQAM) [9].

Apesar de se poder atingir taxas de transmissões de até 32 Mbps, como o meio está sujeito a muitos ruídos e in-

terferências, pode-se utilizar taxas mais baixas para garantir uma maior imunidade a estes ruídos e interferências. A especificação define que uma vazão efetiva equivalente à do Ethernet 10BASE-T pode ser alcançada [3]. Portanto, neste trabalho analisa-se o padrão para a taxa máxima de 32 Mbps, e para uma taxa típica de 10 Mbps para comparação com o Ethernet.

O quadro MAC HomePNA é representado na Figura 3 [7]. Este consiste de um preâmbulo de 16 bytes, um campo de controle de quadro (*Frame Control* - FC) de 4 bytes, um campo correspondente ao quadro Ethernet, o campo de CRC de 2 bytes, o campo de enchimento (PAD) de tamanho variável e o campo EOF de 1 byte. O campo de enchimento é utilizado apenas quando parte do quadro é transmitido a 4 Mbaud para que o tempo de transmissão do quadro completo seja pelo menos $92,5 \mu\text{s}$.

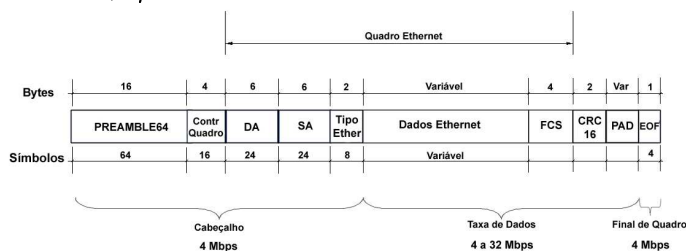


Fig. 3. Quadro do HomePNA.

III. ANÁLISE MATEMÁTICA

Com relação ao MAC IEEE 802.3, o MAC HomePNA possui um mecanismo inovador de resolução de colisões. Desta forma, é interessante a análise da vazão que pode ser obtida por este método de acesso ao meio. Nesta seção é realizada uma análise para 1, 2, 3 e 4 nós transmitindo.

A vazão é calculada supondo-se que cada nó sempre possui um quadro a transmitir quando o meio fica livre. Dessa forma, as estações tentam transmitir um quadro após o outro, ininterruptamente, causando a ocupação máxima da rede sem períodos de ociosidade. Para mais de 1 nó transmitindo, isso acarreta em colisões entre todos os nós transmissores, já que todos tentarão transmitir quando o meio estiver livre. Nesses casos, a vazão obtida considera o pior caso de ocupação máxima da rede. O cálculo da vazão é feito em função do tempo necessário para a transmissão de quadros de um determinado tamanho s , que nessa análise será sempre menor ou igual ao tamanho máximo permitido pela norma, de modo a evitar fragmentação. Além disso, é necessário o uso de enchimento quando o tempo de transmissão do quadro é menor do que $92,5 \mu\text{s}$. O número de bytes de enchimento, e , é o menor número que garanta que o tempo de transmissão seja no mínimo $92,5 \mu\text{s}$. A taxa de transmissão de dados é dada por t . Supõe-se ainda que a prioridade dos quadros é p .

Para o caso de somente um nó transmitindo não há colisões. Portanto, a vazão máxima da rede é alcançada. De acordo com a Figura 3, o cabeçalho e o final do quadro são enviados à taxa básica de 4 Mbps. O cabeçalho contém 34 bytes e o final de quadro 1 byte, logo o envio desses 35 bytes leva $70 \mu\text{s}$. O restante do quadro contém os campos dados, FCS e CRC, que são enviados à taxa t , especificada no cabeçalho do quadro. Os

campos FCS e CRC possuem 6 bytes. O tempo de transmissão do restante do quadro é dado por $\frac{(s+e+6)*8}{t}$. Além disso, após a transmissão de um quadro deve haver um período de silêncio (IFG) de 29 μs . O quadro de prioridade p é transmitido após $(7-p) * 21 \mu s$. Com isso, o tempo total de transmissão de um quadro é dado por:

$$T = 70 + 29 + (7-p) * 21 + \frac{(s+e+6) * 8}{t} \mu s, \quad (1)$$

onde t é dado em Mbps e s e e são dados em bytes. Logo, a vazão máxima é dada por:

$$V = \frac{s * 8}{99 + (7-p) * 21 + \frac{(s+e+6)*8}{t}} Mbps. \quad (2)$$

A Tabela I apresenta a vazão do protocolo de acesso ao meio do HomePNA para quadros de 1500 bytes e taxas de transmissão de dados de 10 e de 32 Mbps.

TABELA I
VAZÃO MÁXIMA DO PROTOCOLO MAC HOME PNA.

Taxa de Dados (Mbps)	Vazão (Mbps) em função da prioridade							
	7	6	5	4	3	2	1	0
10	9,20	9,06	8,92	8,78	8,65	8,52	8,39	8,27
32	25,06	24,01	23,04	22,15	21,32	20,56	19,84	19,18

Pode-se observar na Tabela I que a vazão máxima é alcançada quando a prioridade 7 é utilizada. Por esse motivo, o restante dessa análise considera a utilização da prioridade 7 em todos os casos. Além disso, a queda percentual de vazão entre as prioridades é mais acentuada na taxa de 32 Mbps. Isto ocorre pois o tempo de transmissão dos dados é menor, fazendo com que a duração dos *slots* de prioridade represente uma fração maior do tempo total de transmissão do quadro.

À medida que o número de nós transmitindo aumenta, haverá colisões e o algoritmo de resolução de colisões entrará em ação.

Em seguida, uma análise para os casos de dois, três ou quatro nós transmitindo quadros ininterruptamente é apresentada. Nesses casos, a cada colisão ocorrida deve-se contar o tempo limite de detecção de colisão, 92 μs , o IFG e o tempo dos 3 *slots* de sinalização (S0 a S2). Após esse período considera-se o tempo de transmissão do número de quadros, n , que inicialmente haviam colidido. Como a resolução de colisões é probabilística, podem ocorrer várias colisões até que todos os quadros colididos possam ser transmitidos. Obtendo-se o valor do número médio de colisões, C , para um dado número n de nós transmitindo, pode-se obter a vazão para mais de um nó transmitindo, conforme a Eq. 3.

$$V = \frac{n * (s * 8)}{C * (92 + 29 + 3 * 32) + n * (99 + \frac{(s+e+6)*8}{t})} Mbps. \quad (3)$$

Para o caso de 2 nós transmitindo, tem-se duas possibilidades: os nós conseguem resolver a colisão (sucesso) ou não conseguem resolvê-la e colidem novamente (insucesso), reiniciando o processo. Sendo P_s a probabilidade de sucesso e P_i a probabilidade de insucesso, o número médio de colisões, C , é obtido ponderando o número de colisões necessárias para uma dada configuração de insucessos e sucesso com base na probabilidade de que esta configuração ocorra. Tem-se:

$$C = 1 * P_s + 2 * P_i * P_s + 3 * P_i^2 * P_s + \dots \quad (4)$$

Deve-se destacar que a série mostrada na Eq. 4 possui infinitos termos, pois há uma possibilidade de que os dois quadros colidam indefinidamente. Esta série pode ser representada pelo somatório

$$C = \sum_{j=1}^{\infty} j * P_i^{j-1} * P_s. \quad (5)$$

A probabilidade de insucesso, P_i , é a probabilidade de que ambos os nós escolham o mesmo *slot* de sinalização, ficando desta forma com o mesmo nível de *backoff* e causando uma nova colisão. Como existem três *slots* de resolução de prioridade, dado que um nó escolheu um *slot* de sinalização S_x , a chance de que o segundo nó escolha o mesmo *slot* é igual a $\frac{1}{3}$. Logo, $P_i = \frac{1}{3}$ e $P_s = \frac{2}{3}$. Para estes valores de P_i e P_s , o somatório da Eq. 5 converge para 1,5.

Para o caso de 2 nós, com $C = 1,5$, tem-se:

$$V = \frac{2 * (s * 8)}{1,5 * (217) + 2 * (99 + \frac{(s+e+6)*8}{t})} Mbps. \quad (6)$$

Para o caso de 3 nós, tem-se 3 possibilidades: resolução com sucesso na primeira tentativa, P_s , quando cada nó escolhe um *slot* diferente; um insucesso P_i , quando os 3 nós escolhem um mesmo *slot*, reiniciando o processo; e um sucesso parcial, P_{sp} , quando 2 nós escolhem um mesmo *slot* e o outro escolhe um *slot* diferente. No caso de um sucesso parcial, recai-se no caso anterior de 2 nós, que já é conhecido e a partir deste ponto o número médio de colisões é 1,5. Desta forma, para o número médio de colisões com 3 nós, tem-se:

$$C = 1 * P_s + (1 + 1,5) * P_{sp} + 2 * P_i * P_s + (2 + 1,5) * P_i * P_{sp} + 3 * P_i^2 * P_s + \dots \quad (7)$$

Esta série pode ser representada pelo somatório:

$$C = \sum_{j=1}^{\infty} j * P_i^{j-1} * P_s + (j + 1,5) * P_i^{j-1} * P_{sp}. \quad (8)$$

Observando todas as combinações possíveis de escolha dos 3 *slots* pelos 3 nós, chega-se a um total de 27 possibilidades, onde 6 combinações resultam em um sucesso, 18 resultam em um sucesso parcial e 3 resultam em um insucesso. Chega-se aos valores de probabilidades $P_s = \frac{2}{9}$, $P_{sp} = \frac{2}{3}$ e $P_i = \frac{1}{9}$. Com estes valores, o somatório da Eq. 8 converge para 2,25.

Analogamente, chega-se também ao valor da vazão para o caso de 3 nós, aplicando estes valores na Eq. 3:

$$V = \frac{3 * (s * 8)}{2,25 * (217) + 3 * (99 + \frac{(s+e+6)*8}{t})} Mbps. \quad (9)$$

Observando as Eqs. 6 e 9, nota-se que elas são iguais, pois os valores de C , 1,5 e 2,25, se divididos pelos valores de n , resultam no mesmo valor, 0,75. Ou seja, a vazão para 2 e 3 nós é idêntica, pois a relação C/n é igual. Partindo do mesmo princípio, a partir da Eq. 3 pode-se chegar à Eq. 10, que depende somente do parâmetro C/n , número médio de colisões por quadros que inicialmente haviam colidido.

$$V = \frac{(s * 8)}{\frac{C}{n} * (217) + 99 + \frac{(s+e+6)*8}{t}} Mbps. \quad (10)$$

Com 4 nós, é impossível a resolução da colisão em apenas uma colisão, e a resolução é feita em dois passos. Após a primeira colisão, pode-se ter 4 configurações: os 4 nós escolheram o mesmo *slot*, 3 nós escolheram um mesmo *slot*

e 1 nó escolheu um *slot* diferente, 2 nós escolheram um mesmo *slot* e os outros 2 nós também escolheram um outro *slot*, e 2 nós escolheram um mesmo *slot* e os outros 2 nós escolheram *slots* diferentes. Analisando as combinações possíveis, observa-se que os valores das probabilidades para estes 4 casos são, respectivamente, $\frac{1}{27}$, $\frac{8}{27}$, $\frac{6}{27}$ e $\frac{12}{27}$. Obtém-se assim o número médio de colisões para 4 nós:

$$C = \frac{12}{27} * (1 + 1,5) + \frac{6}{27} * (1 + 1,5 + 1,5) + \frac{8}{27} * (1 + 2,25) + \frac{1}{27} * (\frac{12}{27} * (1 + 1,5) + \frac{6}{27} * (1 + 1,5 + 1,5) + \dots) \quad (11)$$

Esta série pode ser representada pelo somatório:

$$C = (\frac{12}{27} * (2,5) + \frac{6}{27} * (4) + \frac{8}{27} * (3,25)) * \sum_{j=0}^{\infty} 27^{-j}. \quad (12)$$

Resolvendo essa série, chega-se a um valor médio de 3,1155 colisões. Tem-se então a vazão para 4 nós:

$$V = \frac{(s * 8)}{\frac{3,1155}{4} * (217) + 99 + \frac{(s+e+6)*8}{t}} Mbps. \quad (13)$$

Para mais nós, a análise matemática torna-se complexa. Isso levou à criação do módulo de simulação, para que os casos com maior número de nós fossem analisados.

IV. SIMULAÇÕES

Com o objetivo de melhor analisar o desempenho do protocolo de acesso ao meio do HomePNA, foi desenvolvido um módulo para o simulador de redes *ns-2* (*Network Simulator 2*) [11]. O módulo HomePNA é baseado no módulo Ethernet disponibilizado no *ns-2*. Além das diferenças básicas entre os métodos de acesso do HomePNA e do Ethernet, foram implementadas as funcionalidades de prioridade e de resolução de colisão que são específicas do HomePNA. Foi implementado um modelo físico simplificado que transmite um quadro com um atraso de propagação de 4 μs , o mesmo valor utilizado pelo módulo Ethernet do simulador.

As simulações são divididas em três partes. Na primeira parte é apresentada a comparação dos resultados de simulação com os resultados obtidos na análise matemática. A segunda parte analisa a eficiência do protocolo de acesso ao meio, avaliando a vazão em relação à quantidade de nós na rede. A terceira parte avalia o mecanismo de prioridade do padrão HomePNA quanto à provisão de QoS.

A. Módulo HomePNA

De modo a verificar o funcionamento do módulo, foram realizadas simulações com situações de carga alta e constante para até 4 nós transmissores, onde cada nó sempre possuía um quadro para transmitir. Foram utilizados tamanho de quadro de 1500 bytes e prioridade 7. Com isso, pôde-se comparar os resultados das simulações usando o módulo HomePNA com os resultados teóricos obtidos na Seção III.

Para todos os resultados foram calculados intervalos de confiança de 98% relativos à média das amostras. Esses intervalos são representados nos gráficos através de barras verticais.

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 são apresentados os resultados para 1, 2, 3 e 4 nós transmitindo, respectivamente. O resultado teórico é apresentado através de linhas contínuas enquanto

os resultados obtidos por simulação são representados por pontos. Pode-se observar que o modelo de simulação reproduz o modelo teórico, havendo pequenas diferenças quando há mais de um nó transmitindo, principalmente à taxa de dados de 32 Mbps. Isso é devido à influência do tempo de propagação utilizado na simulação, que não foi levado em conta na análise matemática, para efeito de simplificação por ser um tempo muito pequeno. Nota-se assim que esse tempo não invalida o resultado obtido, mantendo válidos o modelo matemático e a simplificação utilizados. Para apenas 1 nó transmissor, esse tempo não influi, pois assim que o nó acaba de transmitir um quadro, ele está pronto para transmitir o próximo. Mas no caso de haver mais de um nó transmissor, ao término da transmissão de um quadro os nós só percebem que o meio está livre após o tempo de propagação do quadro, quando o quadro chega efetivamente aos outros nós da rede. Isso causa uma ligeira diminuição da vazão total da rede, mais perceptível à taxa de 32 Mbps pois o tempo de transmissão de um quadro é menor e o tempo de propagação representa uma fração maior do tempo total de transmissão.

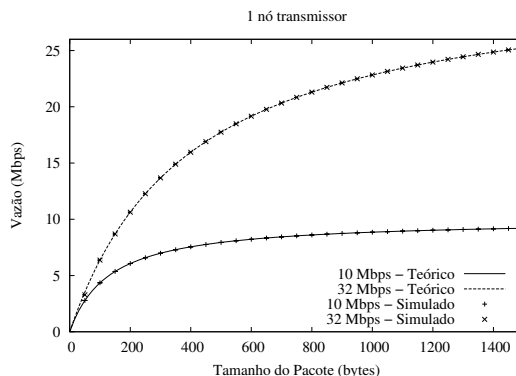


Fig. 4. Vazão para 1 nó transmissor.

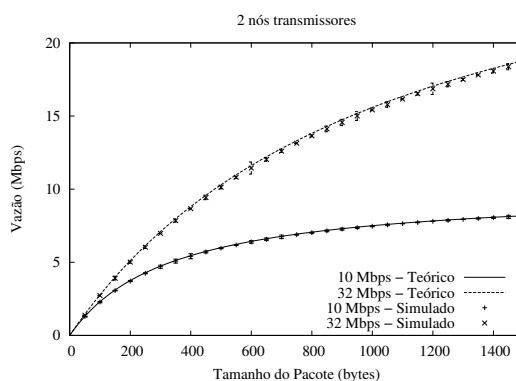


Fig. 5. Vazão para 2 nós transmissores.

B. Eficiência do Protocolo de Acesso ao Meio

Nesta parte das simulações, o objetivo foi avaliar a eficiência do protocolo de acesso ao meio, analisando a vazão obtida quando se varia o número de nós transmissores na rede. Na Seção III essa análise foi feita matematicamente para até 4 nós. No entanto, como o aumento do número de nós torna a análise complexa, utilizou-se a simulação para avaliar a vazão obtida nestes casos.

O cenário de simulação é constituído de um nó receptor para todos os transmissores, e o número de nós transmissores

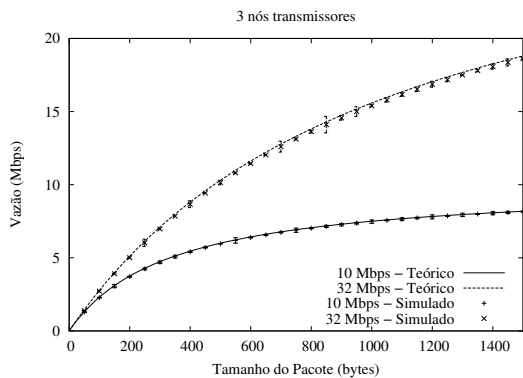


Fig. 6. Vazão para 3 nós transmissores.

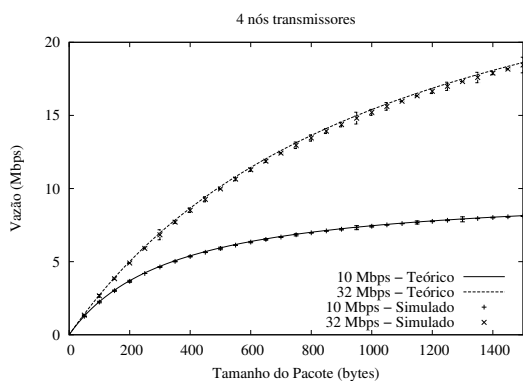


Fig. 7. Vazão para 4 nós transmissores.

na rede varia de 1 a 50. Nestas simulações foram utilizadas taxas de transmissão na camada física de 10 e 32 Mbps. Cada simulação dura 100 segundos. Para todas as medidas, foram calculados intervalos de confiança de 98% relativos à média das amostras. Utilizou-se 4 tamanhos de quadros diferentes, desde quadros pequenos de 160 bytes, típicos de um tráfego de voz [12], até quadros grandes de 1500 bytes, para a obtenção da vazão máxima. Para a ocupação máxima da rede, todos os nós transmitem quadros ininterruptamente, o que garante que sempre que o meio estiver livre, todos os nós irão tentar transmitir causando uma colisão entre eles, iniciando o processo de resolução de colisão.

A Figura 8 mostra a variação da vazão da rede na taxa de 10 Mbps variando-se agora o número de nós para os 4 tamanhos de quadro. É importante notar que a vazão tende a se manter constante para um número elevado de nós, se estabilizando em um valor que independe do número de nós. Observa-se que o algoritmo de resolução de colisão utilizado mantém o número de colisões proporcional ao número de quadros colididos, ou seja, tem-se um valor de C/n constante para um número elevado de nós.

Para quadros de 1500 bytes, por exemplo, observa-se que a vazão se estabiliza em aproximadamente 7,97 Mbps, com 79,7% de eficiência. Aplicando estes valores na Eq. 10, para valores de n de 40 e 50 nós, por exemplo, obtém-se o mesmo valor para C/n , de aproximadamente 0,93. Para um número elevado de quadros colididos esse valor é constante, e representa o número médio de colisões por número de quadros colididos, C/n . Esse valor independe do tamanho do quadro, e poderia ser obtido também a partir das outras curvas. Nota-se que a variação do número de nós influi pouco na vazão obtida, já que a variação da vazão a partir de 2 nós é pequena

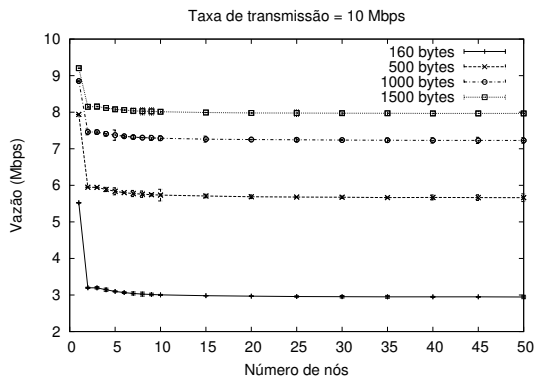


Fig. 8. Vazão com taxa de transmissão de 10 Mbps.

até se chegar a um valor praticamente constante. Isso também é observado a partir da análise matemática, já que para 2 nós transmitindo, obteve-se um valor de C/n de 0,75, e a 10 Mbps obtém-se uma vazão de 8,18 Mbps, próxima dos 7,97 Mbps obtidos para um número elevado de nós. Assim, utilizando este valor de $C/n = 0,93$ na Eq. 10, chega-se a uma equação que pode ser considerada como a vazão mínima obtida na rede, independente do número de nós.

A Figura 9 apresenta os valores de vazão para a taxa de 32 Mbps. O comportamento é análogo ao da figura anterior, e pode-se igualmente chegar ao valor de C/n anterior, válido para qualquer taxa de transmissão. Nota-se também que para uma taxa de transmissão maior há uma maior diminuição da vazão devido às colisões, já que o tempo de transmissão dos dados é menor, e o tempo de resolução de colisão representa uma fração maior do tempo de transmissão total. Para a taxa de 32 Mbps e quadros de 1500 bytes, com um número elevado de nós transmissores tem-se uma vazão de 17,7 Mbps e eficiência de 55,3%, contra 79,7% de eficiência para a taxa de 10 Mbps.

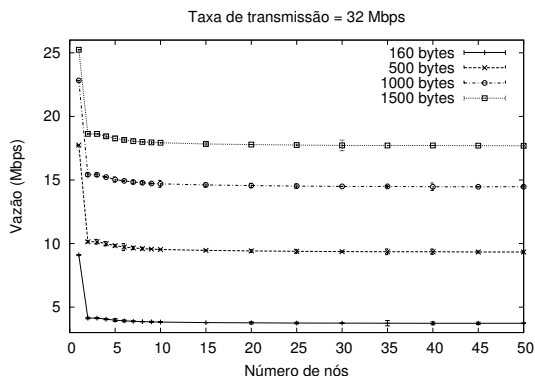


Fig. 9. Vazão com taxa de transmissão de 32 Mbps.

C. Provisão de QoS

Esta seção apresenta os resultados obtidos na utilização do mecanismo de prioridade para provisão de QoS. Foi utilizado um cenário com fluxos de prioridades diferentes. Para simular um tráfego mais prioritário, foi utilizado um modelo simples de fluxo de vídeo, representado por uma fonte de taxa binária constante (CBR - Constant Bit Rate) de 4 Mbps, com prioridade 7. Esta é a taxa típica de um canal de SDTV (Standard Definition Television) [13]. Esse modelo não busca avaliar a utilização da rede para a transmissão de vídeo, mas simplesmente observar a diferenciação entre tráfegos

de prioridades diferentes. Para o tráfego de fundo menos prioritário, foram utilizadas 2 fontes CBR de 3 e 2 Mbps com prioridade 2, definida no HomePNA como serviço de melhor esforço. Utilizou-se taxas diferentes para se observar também a diferenciação entre fluxos de mesma prioridade. Foram utilizados tamanho de quadro de 1500 bytes e taxa de transmissão de 10 Mbps. A simulação tem duração de 80 segundos, começando apenas com os dois fluxos de tráfego de fundo. A cada 20 segundos, é iniciado um novo fluxo de vídeo, terminando assim com 3 fluxos de vídeo.

A Figura 10 apresenta os resultados obtidos, onde os valores representados são as médias das vazões calculadas a cada período de 2 segundos. Nos primeiros 20 segundos de simulação, apenas os dois fluxos de tráfego de fundo ocupam a rede, e obtêm a banda desejada. A partir de 20 segundos o primeiro fluxo de vídeo é iniciado, e nota-se que, por possuir uma prioridade maior, ele ocupa a banda requerida de 4 Mbps. A banda restante é então dividida entre os fluxos de prioridade mais baixa, observando-se que para fluxos de mesma prioridade a banda disponível é dividida igualmente entre os fluxos. Logo, o mecanismo de prioridade não faz nenhuma diferenciação entre fluxos de mesma prioridade.

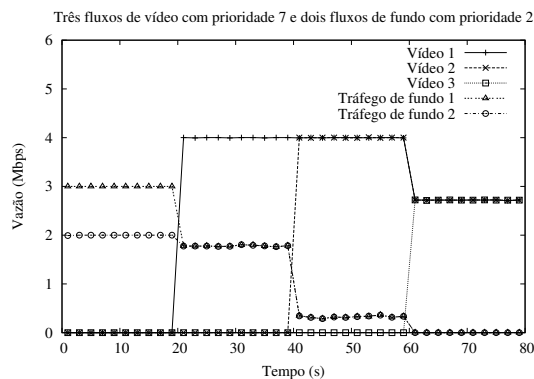


Fig. 10. Vazão da rede utilizando tráfegos de prioridade diferentes.

A partir de 40 segundos, é iniciado o segundo fluxo de vídeo. Os dois fluxos de vídeo conseguem obter a banda requerida, que ainda é menor que a banda disponível. A pequena banda restante é dividida igualmente entre os dois fluxos de tráfego de fundo. Com a entrada do terceiro fluxo de vídeo a partir de 60 segundos, a banda requerida pelos 3 fluxos de vídeo é de 12 Mbps, que está acima da banda disponível na rede. Desta forma, cada fluxo de vídeo obtém um terço da banda disponível, menos do que os 4 Mbps requeridos, não restando nenhuma banda para os tráfegos de fundo.

A redução na banda obtida pelos tráfegos de vídeo mostra que o mecanismo de prioridade do padrão HomePNA isoladamente não é capaz de garantir uma QoS determinística. No entanto, este mecanismo pode ser utilizado para prover uma diferenciação entre serviços com diferentes prioridades.

V. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho do protocolo de acesso ao meio do padrão HomePNA e de seu mecanismo de prioridade. Para isso, foi desenvolvida uma análise matemática para os casos mais simples de 1 a 4 nós transmissores, onde foi avaliada a vazão obtida. Foi implementado também um módulo de simulação do padrão HomePNA

para o simulador de redes *ns-2*. Os resultados obtidos nas simulações se mostraram coerentes com os resultados obtidos na análise matemática. Com os resultados das simulações, pôde-se obter uma equação para a vazão da rede para um maior número de nós transmissores.

Os resultados das simulações mostraram que o desempenho da rede tende a se manter constante com o aumento do número de nós transmissores. Para a taxa de transmissão na camada física de 10 Mbps, com apenas 1 nó transmissor obteve-se uma vazão máxima de 9,2 Mbps, ou seja, eficiência de 92%. Mesmo para um número elevado de nós, observou-se que a vazão tende a um valor constante de aproximadamente 7,97 Mbps, com eficiência de 79,7%. Para a taxa de transmissão de 32 Mbps, alcançou-se uma vazão máxima de 25,06 Mbps, com eficiência de 78,3%, e para um número elevado de nós, uma vazão de 17,7 Mbps, com eficiência de 55,3%. A partir destes resultados, chegou-se a um valor máximo para o parâmetro C/n de 0,93. Com este parâmetro, obteve-se a vazão mínima da rede para uma dada taxa e um dado tamanho de quadro, independente do número de nós.

Por fim, verificou-se que o mecanismo de prioridade garantiu o isolamento de tráfegos de prioridades diferentes. Ele garante uma prioridade absoluta para tráfegos de mais alta prioridade, somente disponibilizando banda para tráfegos de prioridade mais baixa caso ela não esteja sendo utilizada por um tráfego de prioridade mais alta. Esse mecanismo pode ser utilizado para prover diferenciação entre serviços com diferentes prioridades. Entretanto, não é capaz de garantir QoS determinística, pois não oferece nenhuma diferenciação entre tráfegos de mesma prioridade. Para prover QoS determinística o uso de outro mecanismo, como reserva de recursos, torna-se necessário.

REFERÊNCIAS

- [1] P. B. Velloso, D. O. Cunha, A. Amodei Jr., M. G. Rubinstein e O. C. M. B. Duarte, "Redes domiciliares: Desafios das tecnologias sem novos fios", em *Minicursos do XXII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC2004*, pp. 221-269, Gramado, Brasil, maio de 2004.
- [2] <http://www.homepna.org>, 2003.
- [3] Home Phonline Network Alliance, "Interface specification for HomePNA 2.0/2.7 10M8 technology". HomePNA 2.0 Standard, 1999.
- [4] ITU-T, "G.989.1: Phonline networking transceivers - foundation". fevereiro de 2001.
- [5] ITU-T, "G.989.2: Phonline networking transceivers - payload format and link layer requirements". novembro de 2001.
- [6] ITU-T, "G.989.3: Phonline networking transceivers - isolation function". março de 2003.
- [7] E. H. Frank e J. Holloway, "Connecting the home with a phone line network chip set", *IEEE Micro*, vol. 20, no. 2, pp. 27-38, abril de 2000.
- [8] P. Bisaglia, R. Castle e S. H. Baynham, "Channel modeling and system performance for HomePNA 2.0", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 20, no. 5, pp. 913-922, junho de 2002.
- [9] P. Bisaglia e R. Castle, "Receiver architectures for HomePNA 2.0", Relatório Técnico HPL-2001-247, Hewlett-Packard Laboratories, 2001.
- [10] P. Bisaglia e R. Castle, "A comparison of equalizer structures for frequency diverse QAM", Relatório Técnico HPL-2001-186, Hewlett-Packard Laboratories, 2001.
- [11] K. Fall e K. Varadhan, *The ns Manual*. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, abril de 2002. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>.
- [12] P. B. Velloso, M. G. Rubinstein e O. C. M. B. Duarte, "Uma avaliação da capacidade da transmissão de voz em redes 802.11 em modo ad hoc", *Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações*, vol. 18, no. 2, pp. 186-197, outubro de 2003.
- [13] R. Sterenson, "Guaranteed QoS in the home network environment", relatório técnico, CopperGate Communications, 2003.