Uma Análise da Capacidade de Transmissão de Voz em Redes ad hoc *

Pedro Braconnot Velloso[1] , **Marcelo G. Rubinstein**[2] , **Otto Carlos M. B. Duarte**[1]

[1]Grupo de Teleinformática e Automação
PEE-COPPE/DEL-POLI
Universidade Federal do Rio de Janeiro

[2]Depto. de Eng. Eletrônica e Telecomunicações
Universidade Estadual do Rio de Janeiro

pvelloso@gta.ufrj.br, rubi@uerj.br, otto@gta.ufrj.br

Abstract. *This paper analyzes voice transmission capacity on ad hoc networks by performing simulations related to delay and jitter. We evaluate the influence of mobility and QoS provisioning on the number of voice transmitting sources. Results show that we can augment the capacity of voice transmission when medium access time is reduced by service differentiation on the MAC layer. Also, mobility and network load variations degrade the network capacity of voice transmission, mainly on multihop mobile networks, and jitter is the most sensitive parameter to these variations.*

Resumo. *Este artigo apresenta uma análise da capacidade de transmissão de voz em redes ad hoc através de simulações, levando em consideração parâmetros como o atraso e o jitter. A análise permite avaliar a influência da mobilidade e da provisão de QoS no número de fontes transmitindo voz. Os resultados mostraram ser possível aumentar a capacidade de transmissão de voz ao reduzir o tempo de acesso ao meio, através da diferenciação de serviço na camada MAC. Além disso, a variação, tanto da mobilidade quanto da carga da rede, provoca uma degradação na capacidade da rede de transmitir voz, principalmente em redes móveis de múltiplos saltos, e que o jitter é o parâmetro mais sensível a estas variações.*

1. Introdução

A comunicação sem fio possui um baixo custo de instalação se comparado ao custo das redes com fio, além de proporcionar uma maior flexibilidade. Por isso, a utilização de redes locais sem fio (WLANs - *Wireless Local Area Networks*) tem apresentado um grande crescimento nos últimos anos. As redes sem fio são divididas em duas categorias. A primeira abrange as redes com infra-estrutura, nas quais toda a comunicação é realizada através de um ponto de acesso, como é o caso das redes celulares. A segunda categoria engloba as redes sem infra-estrutura, também denominadas redes ad hoc, nas quais as

*Este trabalho foi realizado com recursos da FUJB, CNPq, CAPES, COFECUB e FAPERJ.

estações se comunicam diretamente, não existindo o ponto de acesso. As redes ad hoc podem ainda ser sub-divididas em dois tipos: as de comunicação direta e as de múltiplos saltos. No primeiro, os nós da rede se comunicam única e exclusivamente com os nós que estão dentro do seu raio de cobertura. No outro tipo, as estações da rede comportam-se como roteadores, permitindo a comunicação entre nós da rede cuja distância ultrapassa o raio de cobertura, em conseqüência, tornado-a bem mais complexa.

As redes ad hoc apresentam diversas vantagens como, por exemplo, grande flexibilidade, pois podem ser formadas rapidamente mesmo em lugares ermos; o baixo custo de instalação e a robustez, pois podem resistir a catástrofes da natureza e a situações de destruição por motivo de guerra. Desta maneira, as principais aplicações para redes ad hoc são em ambientes onde não há qualquer tipo de infra-estrutura de comunicação ou esta seja economicamente inviável, ou ainda, caso a infra-estrutura existente não seja confiável, como é o caso de operações militares em território inimigo.

A grande desvantagem das redes ad hoc, sobretudo das redes de múltiplos saltos, é o fato das estações serem mais complexas, isto porque além de ter que implementar um mecanismo de controle de acesso ao meio e mecanismos para evitar os problemas de terminais expostos e escondidos, cada nó deve agir como um roteador. Além disso, adicionam-se todos os problemas relacionados às redes sem fio, como por exemplo, a baixa taxa de transmissão, a alta probabilidade de erro e a grande variação das condições do meio de transmissão. Esta complexidade torna a transmissão de voz em redes ad hoc um grande desafio. Assim, existem algumas propostas para tentar garantir qualidade de serviço para tráfego de voz transmitido em redes IEEE 802.11.

A transmissão de voz em tempo real deve obedecer a certos requisitos de qualidade de serviço (*Quality of Service* - QoS) devido a características intrínsecas a este tipo de tráfego. Assim, o objetivo deste artigo é analisar a capacidade de transmissão de voz em redes ad hoc, levando em consideração parâmetros como atraso e variação do atraso (*jitter*). A análise abrangerá aspectos relacionados ao efeito da mobilidade e à provisão de qualidade de serviço na camada MAC (*Medium Access Control*). Neste artigo será analisada a influência da variação do tamanho da janela de contenção como forma de prover QoS.

Existem alguns trabalhos que analisam a capacidade de transmissão de voz em redes infra-estruturadas baseadas no padrão IEEE 802.11. Wolisz *et al.* [Köpsel et al., 2000] realizaram simulações para avaliar o efeito da taxa de erro binária (BER - *Bit Error Rate*) no atraso do acesso ao meio e no *goodput* em redes com infra-estrutura, mostrando que a elevação da taxa de erro provoca um aumento considerável no atraso de acesso ao meio, devido ao aumento do espaço entre quadros (*Interframe Space*), pois este parâmetro é variável de acordo com a taxa de erro do canal. Em [Köpsel et al., 2000] foi feita uma análise da capacidade do padrão 802.11 em relação ao número de estações transmitindo voz em redes infra-estruturadas. O objetivo do trabalho era avaliar, através de simulações, o ponto ótimo de chaveamento entre o DCF (*Distributed Coordination Function*) e o PCF (*Point Coordination Function*), tendo em vista que o PCF apresenta um melhor desempenho em redes com maior carga. A partir dos resultados obtidos, os autores propuseram um mecanismo híbrido de acesso ao meio que utiliza o DCF e o PCF.

A pesquisa na área de QoS em redes ad hoc abrange quatro tópicos principais. O primeiro investiga problemas relacionados aos modelos de QoS já existentes e como adaptá-los às redes ad hoc. Nesta área, Xiao *et al.* [Xiao et al., 2000] propuseram um modelo flexível de QoS especificamente para redes móveis ad hoc, que consiste em um modelo híbrido entre o DiffServ e o IntServ. O segundo tópico trata da questão da sinalização em redes ad hoc. O INSIGNIA, proposto por Campbell *et al.* [Lee and Campbell, 1998], é um protocolo de sinalização que provê suporte de QoS em redes móveis ad hoc. O terceiro aborda a parte de roteamento com QoS. Bharghavan *et al.* [Sivakumar et al., 1999] propuseram um protocolo de roteamento (CEDAR - Core-Extraction Distributed ad hoc Routing) para redes ad hoc capaz de prover QoS. O CEDAR é baseado na eleição de líderes responsáveis por realizar o roteamento e propagar apenas as rotas mais estáveis. O último tópico estuda mecanismos para fornecer QoS na camada de controle de acesso ao meio. Em [Aad and Castelluccia, 2001, Rubinstein and de Rezende, 2002], foram apresentados os principais problemas referentes à provisão de diferenciação de serviço em redes locais sem fio IEEE 802.11. Também foram avaliadas, por meio de simulações, as principais técnicas de diferenciação de serviço na camada MAC. Os resultados obtidos nestes trabalhos mostraram ser possível prover prioridades no acesso ao meio em redes ad hoc através da modificação do valor do DIFS (*Distributed Inter-Frame Space*), da janela de tempo do *backoff* e do tamanho do quadro a ser transmitido.

A principal contribuição deste artigo é realizar a análise da capacidade de transmissão de voz em redes ad hoc, ao invés de redes infra-estruturadas, revelando aspectos específicos deste tipo de rede. Outro ponto importante é a análise do impacto da diferenciação de serviço em tráfego de voz.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Os requisitos para transmissão de voz são apresentados na Seção 2. Na Seção 3 são apresentadas as principais características da camada MAC do padrão IEEE 802.11 e descreve os principais mecanismos propostos para prover qualidade de serviço em redes IEEE 802.11. Detalhes referentes às simulações e à análise dos resultados são apresentados na Seção 4. Por fim, na Seção 5 são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros.

2. Os requisitos do tráfego de voz

A transmissão de voz em tempo-real deve satisfazer alguns requisitos, como por exemplo, garantir um atraso máximo para o pacote, uma variação máxima deste atraso e a taxa de perda de pacotes. Dentre estes parâmetros, o atraso é o que mais contribui para a perda da interatividade da conversação. O atraso total é composto, basicamente, pela soma de quatro parcelas: o atraso da codificação e decodificação, o atraso da geração de pacotes, o atraso de propagação e o atraso da espera em filas. Em uma rede congestionada, esta última parcela representa a maior parte do atraso total. São apresentados, na Tabela 1, alguns valores de tolerância ao atraso recomendados pelo ITU-T [ITU-T, 1993].

O tráfego de voz, ao contrário do tráfego de dados, admite a ocorrência de perdas de pacotes, contudo, existe um certo limite para a taxa de erro. Outro fator relevante para a taxa de erro é o número de pacotes consecutivos perdidos em um fluxo de voz, pois é evidente que a perda de pacotes consecutivos é mais prejudicial que a perda de pacotes espaçados.

Atraso da voz	Tolerância
até 150ms	Aceitável com boa interatividade
150ms - 400ms	Aceitável, mas o usuário já percebe alguma perda de interatividade
acima de 400ms	Inaceitável. Perda de interatividade

Tabela 1: Tolerância ao atraso em comunicações de voz.

O *jitter* também pode degradar a qualidade da voz transmitida, pois a reprodução de um tráfego de voz deve ser feita de forma cadenciada. Para resolver este problema são utilizados *buffers* no receptor para armazenamento da voz antes de sua reprodução. Portanto, o aumento da variação do atraso implica um aumento do tamanho do *buffer*.

A partir destes requisitos pode-se realizar uma análise da capacidade das redes sem fio baseadas no padrão 802.11 em relação à transmissão de fluxos de voz, que será apresentada na seção 4.

3. QoS em redes ad hoc

O IEEE 802.11, especificado em [iee, 1999], é um padrão para redes locais sem fio que cobre tanto a camada física quanto a camada enlace (MAC - *Medium Access Control*). Na camada física são definidas três técnicas de transmissão: a FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*), a DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) e o infravermelho. A camada MAC possui dois mecanismos de controle de acesso ao meio, o DCF e o PCF. O primeiro é um mecanismo distribuído, no qual cada elemento da rede deve escutar o meio e transmitir apenas quando o meio estiver vazio. O PCF é um mecanismo centralizado onde o ponto de acesso controla o acesso ao meio e, portanto, não aplicável às redes ad hoc que são o foco deste artigo.

O DCF é um mecanismo distribuído (Figura 1), que utiliza o protocolo CSMA/CA (*Carrier-Sense Multiple Access/Collision Avoidance*) para controlar o acesso ao meio, pois em uma rede sem fio os terminais são capazes apenas de detectar a colisão na recepção, devido à atenuação que provoca uma grande diferença de sinal. Assim, torna-se necessária a utilização de um reconhecimento (ACK) para informar que o pacote foi recebido corretamente. Após escutar o meio vazio o terminal deve aguardar um certo intervalo de tempo (IFS - *Inter-Frame Space*) antes de começar a transmissão. O valor deste intervalo de tempo é determinado pelo tipo de pacote a ser transmitido. Os pacotes de ACK utilizam um intervalo de tempo chamado de SIFS (*Short Inter-Frame Space*) e têm prioridade sobre os pacotes de dados, que usam o intervalo DIFS (*Distributed Inter-Frame Space*).

Além disto, para evitar colisão, um terminal deve esperar, além do tempo DIFS, um tempo aleatório (*backoff*). Caso haja vários terminais tentando transmitir ao mesmo tempo, aquele que escolher o menor tempo irá transmitir primeiro. Este tempo é calculado a partir de um fator dependente do número de vezes consecutivas de geração do *backoff*, multiplicado por um número aleatório.

Com o objetivo de evitar o problema do terminal escondido foram definidos o RTS (*Request to Send*) e o CTS (*Clear to Send*), que armazenam informações referentes

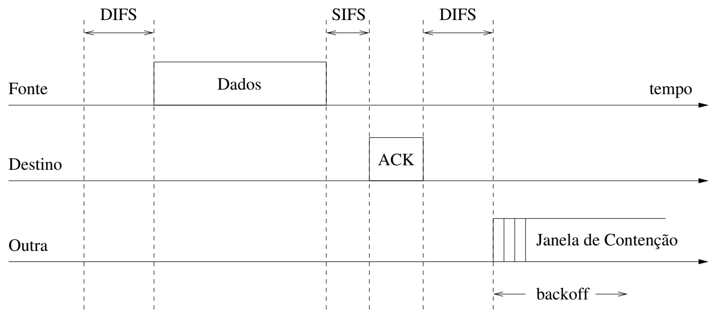


Figura 1: Esquema básico de acesso no DCF.

à duração das transmissões. Desta maneira, as estações devem enviar, antes de cada transmissão, um quadro RTS e esperar pela resposta da estação destino, que por sua vez deve enviar um quadro CTS, sinalizando que o nó fonte pode iniciar a transmissão, como mostrado na Figura 2. Todas as estações que escutarem o RTS ou CTS devem atualizar o valor do seu NAV (*Network Allocation Vector*), que contém o tempo em que o canal estará ocupado. Este mecanismo acrescenta uma sobrecarga (*overhead*) ao DCF, diminuindo a sua eficiência. Por isso, foi proposto um tamanho mínimo de quadro, a partir do qual este mecanismo deve ser utilizado. Crow *et al.* [Crow et al., 1997] analisaram o efeito do RTS na vazão da rede e concluíram que o valor ideal para o tamanho mínimo de pacote é em torno de 250 octetos, ou seja, todos os quadros menores que este valor não precisam ser precedidos de quadros RTS e CTS.

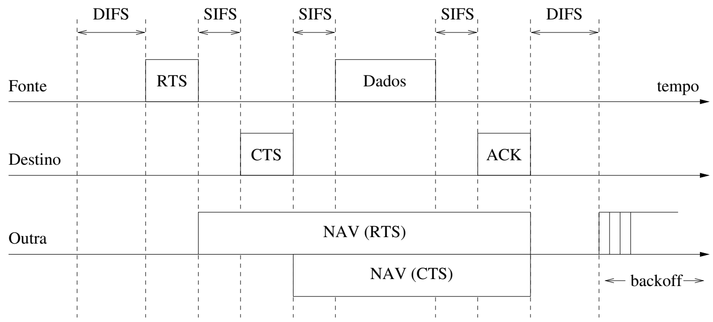


Figura 2: O mecanismo DCF com RTS e CTS.

Existem três técnicas para oferecer diferenciação de serviço em redes sem fio baseadas no IEEE 802.11. Estas técnicas consistem, basicamente, na variação de três parâmetros do mecanismo DCF que podem ser alterados para prover qualidade de serviço estatística ou determinística em redes ad hoc.

O primeiro parâmetro, o atraso aleatório (*backoff*), é composto de três parcelas, como foi mencionado na anteriormente. Esta técnica consiste na variação da função que gera o *backoff*, alterando-se o fator multiplicativo ou a janela de tempo, de maneira que cada terminal possa ter uma função diferente de acordo com a qualidade de serviço requerida. As estações com maior prioridade teriam um fator multiplicativo menor ou uma janela de tempo menor que as estações com menor prioridade, proporcionando um menor tempo de espera para acessar o meio.

O segundo parâmetro é o tamanho do DIFS, que pode ser variado de acordo com a prioridade de cada estação, desta maneira, as estações com maior prioridade de acesso ao meio teriam um DIFS menor. Esta técnica também possibilita um menor tempo de espera para acessar o meio.

A última técnica baseia-se na modificação do tamanho máximo do quadro a ser transmitido. Neste caso, as estações com maior prioridade poderiam transmitir quadros maiores que as demais estações. Esta técnica garante a diferenciação da qualidade de serviço ao permitir a transmissão de uma maior quantidade de informação a cada quadro, ao invés de fornecer prioridade no acesso ao meio, como as duas anteriores.

4. As simulações

Nesta seção serão apresentadas as principais características da modelagem bem como detalhes referentes as simulações com os seus respectivos resultados. As simulações foram realizadas no simulador de redes ns-2 [Fall and Varadhan, 2002] e foram divididas em duas partes: uma referente à mobilidade e outra à provisão de QoS. Em ambas a taxa de transmissão na camada física é de 11Mb/s e o protocolo de roteamento utilizado é o DSR (*Dynamic Source Routing*) [Johnson et al., 2002] por ser um dos protocolos mais estudados na comunidade. Para todas as medidas foram calculados intervalos de confiança de 90% relativos à média das amostras.

Com o objetivo de simular conversas reais, as fontes de voz foram modeladas segundo uma cadeia de Markov de dois estados (*on - off*), representando momentos de silêncio, nos quais nenhum tráfego de voz é gerado, e momentos de atividade, nos quais o tráfego de voz gerado é modelado por uma fonte com taxa de bit constante (CBR - *Constant Bit Rate*). O tempo de permanência em cada estado é representado por uma variável aleatória com distribuição exponencial de média 1,2s para o estado ativo e 1,8s para o estado de silêncio [Brandy, 1965, Markopoulou et al., 2002]. A taxa de transmissão no período ativo é de 64kb/s, simulando uma voz PCM (*Pulse Code Modulation*), com pacotes de 160 octetos [Köpsel et al., 2000].

Para simular o congestionamento da rede foi introduzido um tráfego de fundo modelado a partir de 5 fontes CBR transmitindo pacotes de 500 octetos a taxas de 200kb/s e 250kb/s, referentes à baixa carga e à alta carga na rede, respectivamente. O tempo de simulação foi de 400s e o tempo de início de transmissão de cada fonte é aleatório, uniformemente distribuído em um intervalo de 10s, de modo a considerar a característica de tempo-real da mídia voz nas simulações.

Cada pacote de voz possui um tempo de vida de 250ms, desta maneira, cada pacote que chega com um atraso maior que este limite é considerado como uma perda. Foi definido como parâmetro de qualidade de serviço um limite máximo de 5% de perdas de quadros em cada fluxo de voz [Köpsel et al., 2000]. Assim, variando o número de estações, pôde-se chegar a um número ótimo de estações transmitindo voz em uma rede ad hoc baseada no padrão IEEE 802.11.

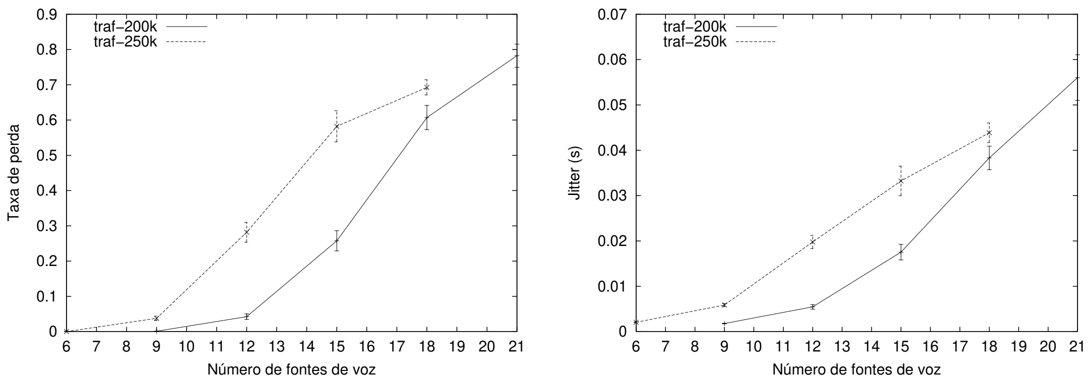
4.1. Resultados relativos à provisão de QoS

Nesta parte das simulações foi utilizada a técnica de variação do tamanho da janela de contenção da camada MAC do IEEE 802.11 a fim de dar prioridade ao tráfego de voz em relação ao tráfego de fundo. Nas simulações foram utilizados dois níveis de prioridade.

Na prioridade baixa a relação entre o tamanho das janelas de contenção das fontes de voz e das fontes de dados é de $1/2$, enquanto que na prioridade média esta relação é de $1/3$.

O efeito desta técnica na redução do tempo de acesso ao meio foi avaliado em um cenário simples, que consiste em uma área de 150m X 150m com a presença de 30 nós fixos com raio de transmissão de 250m, resultando em um cenário onde todos os nós estão diretamente alcançáveis.

As Figuras 3(a) e 3(b) mostram como o aumento do tráfego influência na capacidade de transmissão da rede devido ao tempo de acesso ao meio, visto que todos os nós se comunicam diretamente e como os nós estão fixos, a descoberta de rotas se dá apenas no início da simulação e quando expira a validade das rotas. Os resultados revelam que com um aumento de 25% da carga da rede (de 1Mb/s para 1,25Mb/s) percebe-se uma queda na capacidade da rede, comprovando que o aumento da carga da rede afeta a transmissão de voz em tempo-real. Mais uma vez fica comprovado que o *jitter* é mais sensível à variação da carga da rede que a taxa de perda.

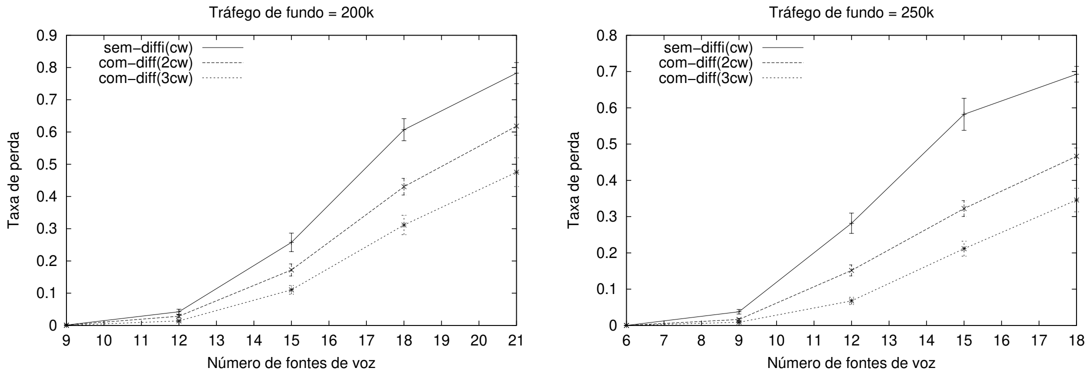


(a) (b)

Figura 3: Influência do carga da rede.

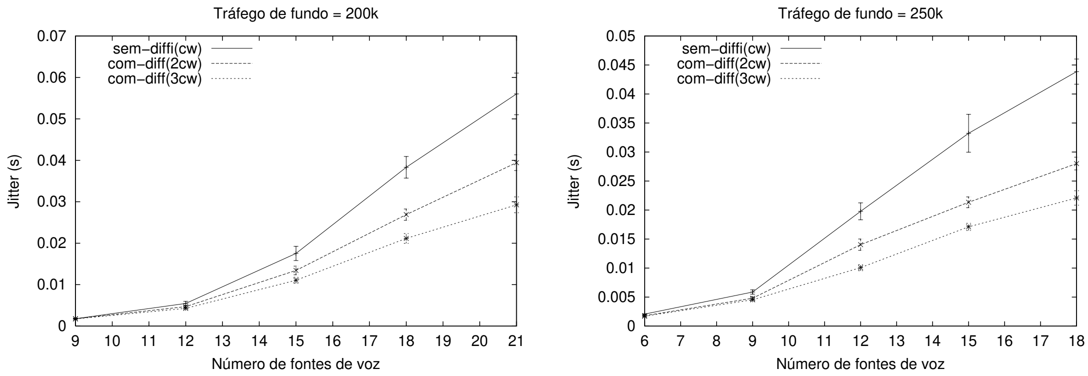
A partir das Figuras 4(a) e 4(b) verifica-se que a variação da janela de contenção possibilita aumentar a capacidade de transmissão de voz e além disto, pode-se perceber que com uma baixa prioridade obteve-se uma melhora de 2 no número de fontes de voz enquanto que com uma prioridade mais alta a melhora foi de 4. Constatou-se também, que esta técnica proporcionou um nível maior de diferenciação quando a rede foi submetida a uma carga maior. Estes dois resultados mostram não existir uma relação direta mais óbvia entre o tamanho da janela de contenção, a carga na rede e o nível de diferenciação de serviço.

Pelas Figuras 5(a) e 5(b), observa-se a relação entre a variação da janela de contenção, para provisão de QoS, e o *jitter*. Os resultados mostram que o *jitter* é menos sensível à utilização desta técnica que a taxa de perdas e que, como nos resultados anteriores (Figuras 5(a) e 5(b)) não há uma relação clara entre o tamanho da janela de contenção, a carga da rede e o nível de diferenciação obtido.



(a) (b)

Figura 4: Provisão de QoS.



(a) (b)

Figura 5: Efeito da provisão de QoS na variação do atraso.

4.2. Resultados relativos à mobilidade

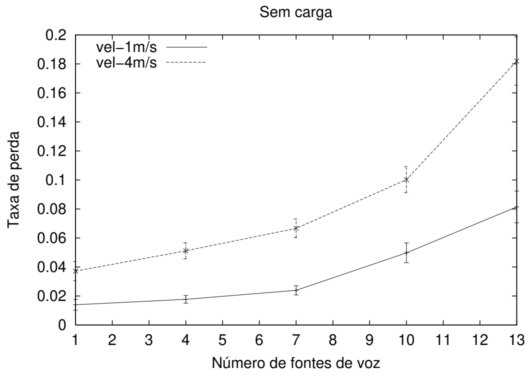
Em seguida foram realizadas simulações para avaliar o efeito da mobilidade na capacidade de transmissão de voz em redes ad hoc.

Os cenários utilizados nas simulações possuem 40 nós com raio de transmissão de 250m em uma área retangular de 800m X 600m. Desta forma, o número máximo de enlaces que um pacote deve percorrer para chegar ao nó destino é igual a seis e com uma densidade de 1/12000m^2, ou seja, um nó a cada área de 120m X 100m, o que proporciona uma grande conectividade.

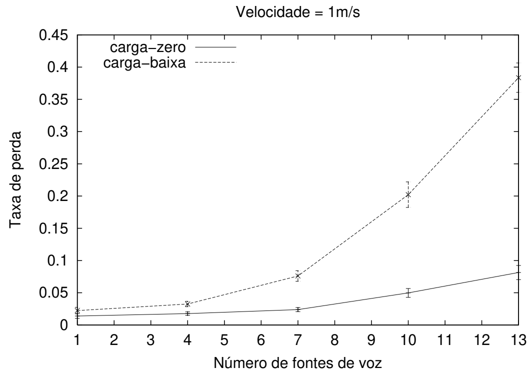
Foram simulados 2 níveis de mobilidade: baixa e média, com tempo de pausa igual zero e com velocidades média de 1m/s e 4m/s, respectivamente. A velocidade de cada nó (v) está distribuída uniformemente no seguinte intervalo: $0.8 * vm <= v <= 1.2 * vm$, onde vm representa a velocidade média. Para cada nível de mobilidade simulou-se o comportamento da rede a carga zero e a alta carga.

Nestes cenários específicos, o tráfego de fundo foi modelado a partir de 20 fontes CBR transmitindo a uma taxa de 6kb/s a fim de minimizar a variância dos resultados. Cada resultado é uma média de diversas medidas realizadas em cenários distintos, com uma confiabilidade de 90%.

As Figuras 6(a) e 6(b) mostram a influência da mobilidade na capacidade da rede em relação ao número de fontes de voz. Conforme o número de fontes aumenta, cresce a taxa de perda. Em uma rede sem carga é possível ter 8 fontes de voz para uma baixa mobilidade e apenas 2 para uma média mobilidade, enquanto que uma rede com baixa carga suporta 4 fontes de voz para um nível de mobilidade baixo, levando-se em consideração a taxa máxima de perda de pacotes de voz de 5%. Assim, pode-se perceber que o aumento da mobilidade prejudica muito a capacidade da rede.



(a)



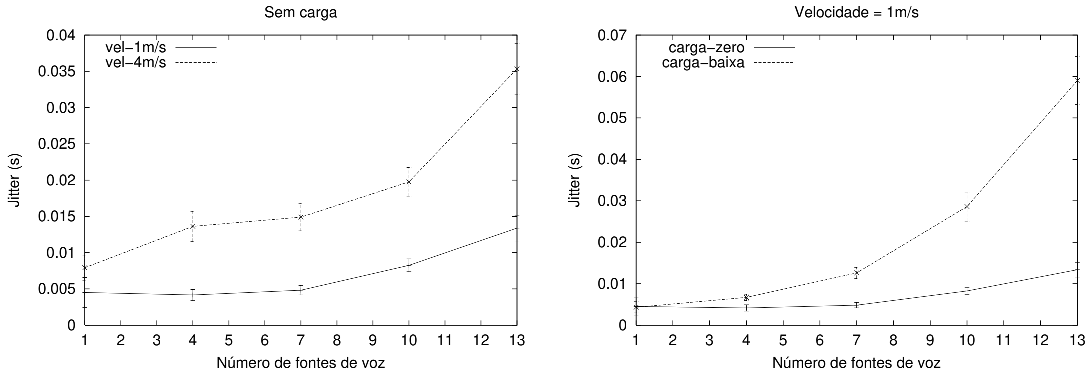
(b)

Figura 6: Efeito da mobilidade na taxa de perda.

Os gráficos 7(a) e 7(b) permitem avaliar o impacto da mobilidade no *jitter*, deixando mais evidente a degradação da capacidade da rede a partir do aumento da mobilidade e do aumento da carga na rede. Nota-se também, que o *jitter* é mais sensível às variações na carga da rede que a taxa de perda, pois apresentou maior variação em relação à mudança deste parâmetro. Por outro lado, a taxa de perda mostrou-se mais sensível a variação da mobilidade que a variação do atraso.

Outro aspecto interessante de ser analisado é a causa das perdas dos pacotes em relação à mobilidade e à carga da rede. Os pacotes perdidos foram separados em dois grupos, de acordo com o motivo que originou a perda. No primeiro grupo (tempo de vida) ficaram todos os pacotes perdidos devido à expiração do tempo de vida do pacote, previamente definido em 250ms. No outro grupo (outros) ficaram todos os outros pacotes que foram perdidos por outros motivos, dentre eles a colisão, a falta de rota, o transbordo da fila da camada MAC, entre outros.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a percentagem de perda referente a estes dois grupos em relação ao total de pacotes perdidos, ao variar a mobilidade e a carga da rede. Verifica-se que ao aumentar a carga da rede, a percentagem de pacotes perdidos devido à expiração do tempo de vida manteve-se quase contante, apesar do aumento do número total de perdas. Por outro lado, quando se aumentou a mobilidade a percentagem de pacotes



(a) (b)

Figura 7: Efeito da mobilidade na variação do atraso.

perdidos por outros motivos aumentou. Isto porque o aumento da mobilidade provoca uma diminuição da taxa de entrega de pacotes do protocolo do roteamento, como mostrou [Das et al., 2000].

	Causa de perdas			
Velocidade	Tempo (%)	Total	Outros (%)	Total
1 m/s	69,14	3315,3	30,86	1270
4 m/s	45,64	3095,4	54,36	3638,5

Tabela 2: Causa das perdas com carga zero.

	Causa de perdas			
Carga	Tempo (%)	Total	Outros (%)	Total
zero	69.14	3315.3	30.86	1270
baixa	68.43	14.434.3	31.57	8614.1

Tabela 3: Causa das perdas com velocidade igual a 1 m/s.

5. Conclusões

As redes sem fio apresentam uma alta taxa de erro, grandes variações nos estados dos enlaces e sérias restrições em relação à banda passante disponível e ao consumo de energia. Além destes problemas que dificultam a provisão de QoS, as redes ad hoc não possuem qualquer tipo de infra-estrutura que forneça suporte à mobilidade ou à qualidade de serviço. Isto implica um aumento da complexidade dos nós da rede, tornando ainda mais difícil a transmissão de tráfego de tempo-real.

A principal contribuição deste trabalho foi analisar a capacidade de transmissão de voz em tempo real em redes ad hoc, mais precisamente a influência da mobilidade e da provisão de QoS na taxa de perda e na variação do atraso nos pacotes de voz. A técnica de diferenciação de serviço utilizada se baseou na variação da janela de contenção do mecanismo de acesso ao meio (DCF) do padrão IEEE 802.11.

Os resultados comprovaram que o aumento, tanto da mobilidade quanto o da carga da rede, implica a degradação da capacidade de transmitir voz de maneiras diferentes. O aumento da carga da rede afeta diretamente o tempo de acesso ao meio, aumentando, por conseqüência, as perdas de pacotes relativas à expiração do tempo de vida. Enquanto que a variação da mobilidade provoca perda de pacotes devido a outros motivos também.

O *jitter* se mostrou mais sensível à variação das condições da rede que a taxa de perda de pacotes, exceto pela variação da mobilidade. No entanto, em relação à provisão de QoS, a variação do atraso sofreu um menor impacto que a taxa de perda.

Outro resultado importante se refere à questão da complexidade das redes móveis ad hoc de múltiplos saltos. A análise revelou que o aumento do tráfego da rede reduz drasticamente a capacidade de transmissão de voz, que já se mostrava bastante limitada.

Apesar dos bons resultados apresentados pela diferenciação de serviço no aumento da capacidade de fontes de voz, ficou claro, a partir deste trabalho, a importância da existência de um mecanismo de controle de admissão distribuído, com o objetivo de limitar o número de estações transmitindo voz, impedindo que o excesso de usuários inviabilize qualquer tipo de transmissão de tráfego de tempo-real.

Referências

(1999). *Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*. IEEE, IEEE Standard 802.11.

Aad, I. and Castelluccia, C. (2001). Differentiation mechanisms for IEEE 802.11. In *IEEE Infocom.*, Anchorage, Alaska.

Brandy, P. (1965). A technique for investigating on/off patterns of speech. *Bell Labs Tech Journal*, 44(1):1–22.

Crow, B. P., Indra Widjaja, F., Kim, J. G., and Sakai, P. T. (1997). IEEE 802.11 wireless local area networks. *IEEE Communications Magazine*, 35(9):116–26.

Das, S. R., Perkins, C. E., and Royer, E. M. (2000). Performance comparison of two on-demand routing protocols for ad hoc networks. In *IEEE Infocom*, pages 3–12.

Fall, K. and Varadhan, K. (2002). *The ns Manual*. UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC. Available at http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html.

ITU-T (1993). One-way transmission time. In *Recomendação G.114*.

Johnson, D. B., Maltz, D. A., Hu, Y.-C., and etcheva, J. G. J. (2002). *The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)*. Internet draft.

Köpsel, A., Ebert, J.-P., and Wolisz, A. (2000). A performance comparison of point and distributed coordination function of an IEEE 802.11 WLAN in the presence of real-time requirements. In *Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC2000)*, Tóquio, Japão.

Lee, S.-B. and Campbell, A. T. (1998). INSIGNIA: In-band signaling support for QoS in mobile ad hoc networks. In *5th International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC98)*, Berlim, Alemanha.

Markopoulou, A., Tobagi, F., and Karam, M. (2002). Assessment of voip quality over internet backbones. In *IEEE Infocom.*, Nova Iorque, EUA.

Rubinstein, M. G. and de Rezende, J. F. (2002). Qualidade de serviço em redes 802.11. In *XX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2002)*, Búzios, RJ, Brasil.

Sivakumar, R., Sinha, P., and Bharghavan, V. (1999). CEDAR: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm. In *IEEE Infocom.*, Nova Iorque, EUA.

Xiao, H., Seah, W. K. G., Lo, A., and Chua, K. C. (2000). A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2000)*, Tóquio, Japão.