

Transmissão de Voz em Redes Ad Hoc *

Pedro B. Velloso¹ Marcelo G. Rubinstein² Otto Carlos Duarte¹

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

² Depto. de Eng. Eletrônica e Telecomunicações
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Resumo

O crescimento da popularidade de aplicações multimídias e das redes sem fio Ad Hoc tornou inevitável a tarefa de fornecer qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) neste tipo de rede. Por este motivo, este artigo apresenta as principais características do padrão IEEE 802.11 e aborda os principais mecanismos para prover QoS em redes locais sem fio que utilizam este padrão. O objetivo deste trabalho é apresentar os requisitos básicos para provisão de QoS em redes Ad Hoc. Além disso, é apresentada uma análise da capacidade de transmissão de voz em redes baseadas no IEEE 802.11 que evidencia a importância da existência de um mecanismo de controle de admissão que permita garantir QoS.

Palavras-chave: Redes Ad Hoc, IEEE 802.11, QoS, Voz.

Abstract

Due to the growing popularity of multimedia applications and wireless Ad Hoc networks, Quality of Service (QoS) support in this kind of network is mandatory. Therefore, this paper presents the main characteristics of IEEE 802.11 standard and shows the main mechanisms to support QoS in wireless networks based on 802.11. The goal of this work is to present the basic requirements needed to provide QoS in Ad Hoc networks. An analysis of the capacity of voice transmission in 802.11 based networks is presented, which shows the importance of an admission control mechanism in order to assure QoS.

Keywords: Ad Hoc Networks, IEEE 802.11, QoS, Voice.

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

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

crescimento nos últimos anos. Atualmente, um dos grandes desafios é transmitir tráfego de tempo-real em redes locais sem fio.

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, que funciona como uma ponte para uma outra rede, como é o caso das redes celulares. A segunda categoria engloba as redes sem infra-estrutura, também denominadas redes Ad Hoc, nas quais as estações se comunicam diretamente, não existindo o ponto de acesso. A partir deste conceito, foram definidos dois tipos de redes, 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, tornando-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 rotear pacotes, cada nó deve implementar um mecanismo de controle de acesso ao meio e mecanismos para evitar os problemas de terminais exposto e escondido. Além disso, adiciona-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 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.* [1] 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.* [2], 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.* [3] 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.

O objetivo deste artigo é apresentar os principais problemas e algumas soluções propostas na literatura para a transmissão de voz em redes baseadas no padrão IEEE 802.11.

Este trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são apresentadas as principais características da camada MAC do padrão IEEE 802.11. A Seção 3 descreve os principais mecanismos propostos para prover qualidade de serviço em redes IEEE 802.11. Os requisitos para transmissão de voz e uma análise da capacidade do IEEE 802.11 são apresentados na Seção 4. Por fim, na Seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho

e os trabalhos futuros.

2 O padrão IEEE 802.11

O IEEE 802.11, especificado em [4], 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.

2.1 O DCF

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 grande diferença de sinal. Assim, torna-se necessária a utilização de um reconhecimento (ACK) para informar que o pacote foi recebido corretamente. Então, 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 é determinado pelo tipo de pacote a ser transmitido. Os pacotes de ACK utilizam um intervalo 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. 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.

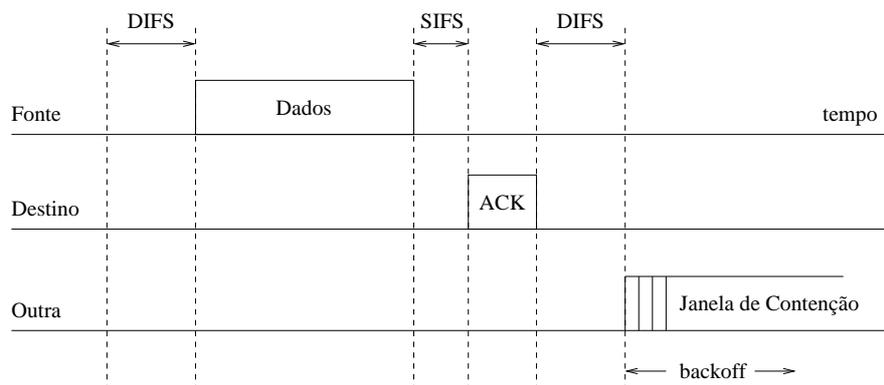


Figura 1: Esquema básico de acesso no DCF.

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 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.* [5] 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 um quadro RTS.

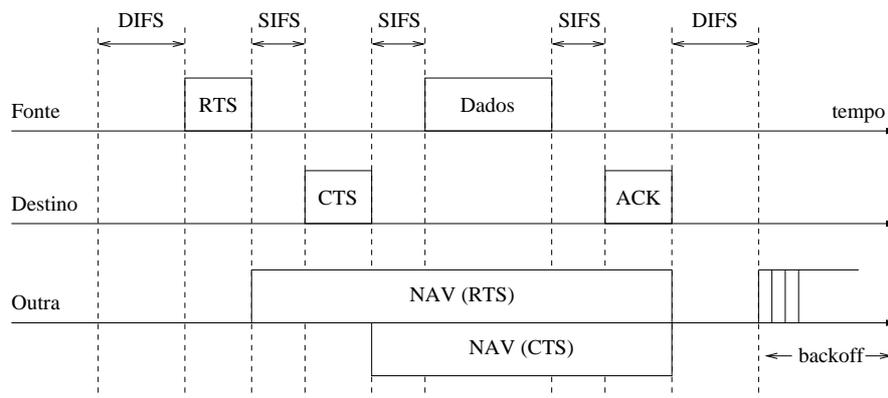


Figura 2: O mecanismo DCF com RTS e CTS.

2.2 O PCF

O PCF foi especificado para permitir a transmissão de tráfego de tempo-real. Neste mecanismo (Figura 3) foi definido um intervalo de tempo, chamado de *superframe*, que divide-se em dois períodos. No período livre de contenção (CFP - *Contention Free Period*) o ponto de acesso faz enquetes (*polling*) e cada estação deve transmitir apenas quando receber uma enquete. Após término do CFP começa o período de contenção (CP - *Contention Period*), no qual é utilizado o mecanismo DCF para o acesso ao meio.

O ponto de acesso deve enviar um sinal (*beacon*) indicando o início de cada *superframe*. Após ouvir este sinal, apenas as estações que receberem enquetes poderão transmitir. As estações que desejam transmitir tráfego de tempo-real devem solicitar ao ponto de acesso para serem incluídas na lista das estações que participarão da enquete. Isto deve ser feito durante o CP.

Existem dois problemas básicos no PCF. O primeiro é a diminuição do CFP devido à ocupação do meio por um estação no final do CP. A limitação da duração máxima do CFP pode provocar, em casos onde o número de fontes de fluxos de tempo-real é muito grande, um adiamento de uma transmissão para o próximo CFP. Ambos os problemas acrescentam atraso indesejado na transmissão. Além disso, o PCF acrescenta uma grande sobrecarga (*overhead*) devido ao *polling*, sobretudo quando este não é respondido, ou seja, a estação não possui pacotes para transmitir. Por estes motivos, surgiram algumas

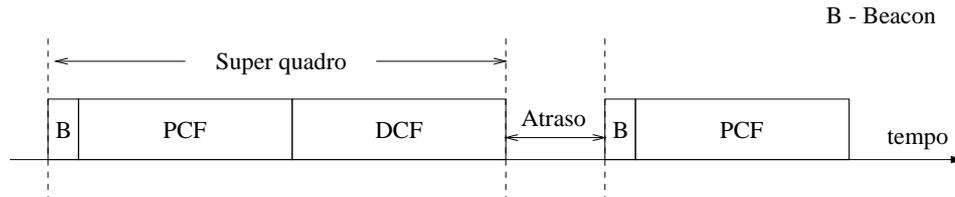


Figura 3: Esquema do mecanismo PCF.

propostas para prover qualidade de serviço utilizando o mecanismo DCF. Estas propostas serão apresentadas na próxima seção.

3 QoS em Redes 802.11

Os trabalhos relacionados à provisão de qualidade de serviço em redes baseadas no padrão IEEE 802.11 estão divididos em duas categorias. A primeira delas engloba propostas referentes ao fornecimento de QoS através do mecanismo PCF e estão ligadas a redes sem fio com infra-estrutura. Na outra categoria, os trabalhos visam prover QoS através do DCF e podem abranger tanto as redes sem fio com infra-estrutura como as redes Ad Hoc. Em seguida serão apresentados alguns trabalhos nestas duas categorias.

3.1 Com infra-estrutura

No trabalho [6] foi proposto um esquema baseado no mecanismo de economia de energia (*Power Saving Mode*) da camada MAC do 802.11 (Figura 4) para transmissão de voz em WLANs com infra-estrutura.

No PSM as estações podem permanecer em dois modos de operação. No modo de economia de energia, o ponto de acesso armazena todos os quadros enviados para a estação e envia *broadcasts* periódicos informando se existem quadros a receber ou não. A estação, por sua vez, deve ouvir essas mensagens de *broadcast* e, quando tiverem alguma informação a receber, fazer um pedido para receber os quadros (*polling*). As estações são identificadas através de um mapa de indicação de tráfego (TIM - *Traffic Indication Map*), que contém informações relacionadas ao tráfego das estações que estão no modo de economia de energia. O TIM é enviado periodicamente pelo ponto de acesso.

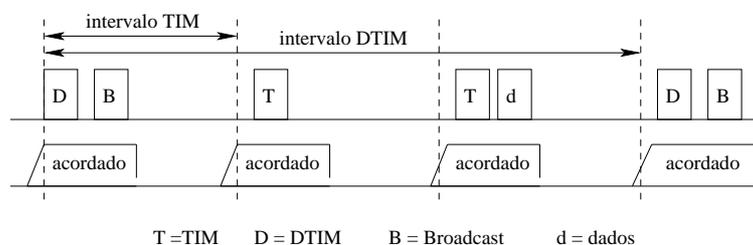


Figura 4: Mecanismo de economia de energia (PSM).

Desta forma, este trabalho propõe uma adaptação ao mecanismo de economia de energia, na qual os usuários que estão transmitindo voz são tratados como estações que

operam no modo de economia de energia, desta maneira, cada um tem um intervalo de tempo específico para transmitir, ou seja, o mecanismo funciona como se fosse um TDM (*Time Division Multiplexing*). Para isso, foi criado o RTIM (Real-time TIM), uma modificação do TIM, de modo a permitir que cada estação saiba a sua hora exata de transmitir. Além disso, existe um período de contenção no qual as máquinas que desejam transmitir voz devem realizar um pedido para serem incluídas no RTIM e, assim, poderem transmitir no próximo intervalo do RTIM. Outro mecanismo importante é o *piggyback* de informações no cabeçalho dos pacotes a fim de permitir que as estações possam avisar ao ponto de acesso que desejam continuar transmitindo no próximo intervalo RTIM, evitando o *polling* desnecessário.

No modelo para as simulações foram utilizadas fontes de voz ON/OFF e fontes de dados, sendo que as fontes de voz se comunicavam apenas com nós que estivessem em outra estação rádio base. O ruído do canal foi modelado a partir de uma fonte ON/OFF, na qual o estado ON representa um canal com uma taxa de erro mil vezes menor que a taxa no estado OFF. Foram também utilizados alguns parâmetros retirados de outros estudos, como por exemplo um valor ótimo para o limiar entre a utilização ou não do RTS/CTS. Foram realizadas simulações apenas utilizando as fontes de dados para observar como o aumento da taxa de transmissão de pacotes afeta a vazão da rede. Em outras simulações foram acrescentadas as fontes de voz.

Os resultados das simulações mostraram que o aumento do número de máquinas transmitindo dados diminui a vazão devido ao aumento do número de colisões. O aumento da carga da rede provoca um aumento considerável no atraso dos pacotes, por isso, conclui-se que o mecanismo DCF tem melhor desempenho para uma baixa carga na rede. Outro resultado importante é o fato do incremento do número de fontes de voz causar um aumento no atraso dos pacotes de dados, mas nada que comprometa o desempenho destas fontes. Além disso, ficou evidente que conforme aumenta-se o número de fontes de voz, deve-se aumentar o período de contenção para que estas fontes possam realizar o pedido de transmissão.

Em [7] a solução proposta para transmissão de voz sobre 802.11 foi dividida em três partes: a arquitetura, o plano do usuário e o plano de controle. Na arquitetura proposta, os pontos de acesso estão ligados a um *Voice Gateway*, que fica responsável pela conversão da pilha de protocolos de voz do 802.11 para voz PCM (*Pulse-Code Modulation*), assim, podendo ser utilizada no PSTN (*Public Switched Telecommunications/Telephone Network*), em voz sobre ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) ou em voz sobre RTP (*Real Time Protocol*) para redes IP (*Internet Protocol*). Tanto os nós móveis quanto o *Voice Gateway* se comunicam utilizando o mecanismo PCF.

O plano do usuário define as ações que devem ser tomadas pelos usuários para transmissão de pacotes de voz, como por exemplo, se o tamanho do pacote será fixo ou variável, o protocolo que será utilizado (em [7] foi escolhido o RTP/LLC/MAC802.11). Outro fator importante a ser definido é como os pacotes serão transmitidos, podendo haver duas possibilidades, o tráfego CBR (*Constant Bit Rate*), no qual é alocada para cada transmissão a taxa de pico e o tráfego VBR (*Variable Bit Rate*), que baseia-se na multiplexação estatística, que permite que o silêncio de uma fonte possa ser aproveitado por outras estações.

O plano de controle define os parâmetros do mecanismo PCF, tais como: a duração máxima do *superframe*, o intervalo entre os *beacons*, além de outros parâmetros relacionados à transmissão de voz. Também é definido um protocolo de sinalização a fim de realizar

um controle de admissão de conexão (CAC - *Connection Admission Control*) para limitar o tamanho da lista de *polling*.

Foi analisada a influência do tamanho do *superframe* no número de transmissões de voz e no atraso máximo dos quadros, bem como a influência do erro do canal no tráfego de voz, visto que este meio apresenta uma taxa de erro elevada em relação as redes com fio. A análise deste sistema mostrou que o padrão 802.11 permite transmitir tráfego de voz quando se utiliza um controle de admissão que limita o número de chamadas. Foi possível observar que utilizando-se o tráfego CBR pode-se transmitir até 26 chamadas com um atraso máximo de 303ms, a 11Mbps.

3.2 Em redes Ad Hoc

Em redes Ad Hoc baseadas no padrão IEEE 802.11, o único mecanismo de acesso ao meio possível de ser utilizado é o DCF, já que o PCF exige a presença de uma infraestrutura.

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 Seção 2.1. 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 informações a cada quadro, ao invés de fornecer prioridade no acesso ao meio, como as duas anteriores.

O trabalho [8] apresentou e analisou, através de simulações e expressões analíticas, três mecanismos de diferenciação de serviço baseados na variação destes parâmetros. A topologia utilizada na simulação continha um ponto de acesso responsável por interligar os terminais sem fio a uma outra estação em uma rede com fio, para a qual eram enviados os pacotes. Apesar de existir um ponto de acesso, este trabalho avalia a diferenciação de serviço a partir da variação de parâmetros do mecanismo DCF.

A análise dos resultados das simulações nas quais foi alterada a função do atraso mostra que houve pouca diferenciação e que conforme são aumentadas as prioridades o sistema se torna instável e aumenta o *jitter*. A alteração do DIFS já se mostrou mais eficaz na diferenciação de serviço tanto no fluxo UDP quanto no TCP. No último caso, onde foi alterado o tamanho máximo do quadro, as simulações mostraram que a taxa de transmissão é proporcional ao tamanho do quadro, pois a estação poderá enviar mais

informação em cada vez que for transmitir.

Em [9], foram apresentados os principais problemas referentes a provisão de diferenciação de serviço em redes locais sem fio IEEE 802.11. Também foram avaliados, por meio de simulações, as duas das principais técnicas de diferenciação de serviço. Neste trabalho, foi utilizada uma topologia com quatro nós, sem a presença de um ponto de acesso, assim, cada estação se comunicava diretamente com todas as estações que estivessem dentro do seu alcance. O protocolo de roteamento DSDV (*Destination-Sequenced Distance Vectoring*) foi utilizado para permitir a comunicação entre estações que estivessem fora do alcance mútuo. O cenário das simulações consistia de três estações transmitindo dados a uma taxa constante (CBR) de 1,7Mbps, para uma quarta estação. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram ser possível prover prioridades no acesso ao meio em redes Ad Hoc através da modificação do valor do DIFS e da janela de tempo do *backoff*.

4 A transmissão de voz

Nesta seção serão apresentados os principais requisitos para transmissão de voz e dois trabalhos que analisam a capacidade do DFC e o PCF em relação a transmissão de tráfego de voz.

4.1 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, a variação deste atraso (*jitter*) e a taxa de perda de pacotes. Dentre estes parâmetros, o atraso é o que mais contribui para manter a 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 [10].

Tabela 1: Tolerância ao atraso.

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

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.

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.

4.2 A análise da capacidade

Em um primeiro trabalho, Wolisz *et al.* [11] realizaram simulações para avaliar o efeito da taxa de erro de bit (BER - *Bit Error Rate*) no atraso do acesso ao meio e no *goodput*. O cenário utilizado nas simulações contém 12 estações, dentre as quais quatro delas transmitem tráfego de voz. 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*).

Os resultados, mostraram que a elevação da taxa de erro provoca um aumento considerável no atraso de acesso ao meio, devido ao aumento do espaço entre quadros (*Inter-frame Space*), pois este parâmetro é variável de acordo com a taxa de erro do canal. O trabalho mostra que o mecanismo DCF pode prover qualidade de serviço para transmissão de voz em termos de atraso de acesso ao meio apenas para taxas a partir de 11Mbps. Por outro lado o mecanismo PCF se mostrou mais eficiente para transmissão de voz, inclusive com uma menor variação do retardo. Além disso é mencionado que pode-se criar um mecanismo para otimização do *polling*, desta forma, melhorando ainda mais o desempenho deste mecanismo.

Em [12] foi feita uma análise da capacidade do padrão 802.11 em relação ao número de estações transmitindo voz. O objetivo do trabalho era avaliar, através de simulações, o ponto ótimo de chaveamento entre o DCF e o PCF, tendo em vista que o PCF apresenta um melhor desempenho em redes com maior carga, como foi mostrado em seu trabalho anterior [11].

Utilizou-se um cenário onde todos os nós transmitiam tanto dados como voz, sendo que a fonte de voz foi modelada da mesma maneira que no trabalho anterior. Foi definido como parâmetro de qualidade de serviço um limite máximo de 5% de perdas de quadros em cada fluxo de voz. Assim, variando o número de estações, pôde-se chegar a um número ótimo de estações transmitindo voz em uma rede IEEE 802.11 na presença do DCF como mecanismo de acesso ao meio. Pôde-se perceber a degradação da comunicação a partir de 12 estações, limite no qual a perda de quadros de voz ultrapassa o valor pré-definido.

A partir deste resultado, os autores propõem um mecanismo híbrido de acesso ao meio que utiliza o DCF e o PCF. Para isto, foi definido um limiar a partir do qual o mecanismo de acesso ao meio seria chaveado entre o DCF e o PCF. Esta solução não é conveniente para redes Ad Hoc, pela impossibilidade da utilização do PCF. Entretanto, este resultado pode ser utilizado para o desenvolvimento de um mecanismo de controle de admissão distribuído para redes Ad Hoc, que permita limitar o número de usuários transmitindo voz, de modo à garantir QoS para um determinado conjunto de nós da rede.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

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 tarefa de prover QoS.

Os principais pontos pesquisados nesta área estão relacionados à adaptação e ao desenvolvimento de arquiteturas de QoS, à sinalização em redes Ad Hoc, ao roteamento com QoS e ao estudo de mecanismos para fornecer QoS na camada de controle de acesso ao meio. Este último ponto foi o foco deste trabalho, que teve como objetivo apresentar os principais problemas relacionados à provisão de QoS em redes Ad Hoc baseadas no padrão IEEE 802.11 e alguns trabalhos propostos na literatura para resolver esta questão.

Alguns trabalhos avaliaram as técnicas de diferenciação de serviço para prover QoS em redes 802.11, deixando claro que apenas a diferenciação no acesso ao meio não basta para garantir QoS na rede como um todo.

Uma análise da capacidade de transmissão de voz em redes 802.11 foi realizada, evidenciando o problema do crescimento do número de fontes de tráfego de voz. O chaveamento entre o DCF e o PCF foi proposto como forma de minimizar este problema. No entanto, esta solução não se aplica a redes Ad Hoc, pois esta não possui um ponto de acesso.

A partir destes trabalhos, pode-se perceber 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.

Como trabalhos futuros pode-se desenvolver um controle de admissão distribuído e realizar uma análise mais profunda do limite de fluxos de voz em uma rede Ad Hoc 802.11 para permitir que o controle seja dinâmico, de acordo com as condições da rede.

Referências

- [1] H. Xiao, W. K. G. Seah, A. Lo e K. C. Chua, “A flexible quality of service model for mobile ad-hoc networks”, in *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring 2000)*, Tóquio, Japão, maio de 2000.
- [2] S.-B. Lee e A. T. Campbell, “INSIGNIA: In-band signaling support for QoS in mobile ad hoc networks”, in *Proc of 5th International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC98)*, Berlim, Alemanha, outubro de 1998.
- [3] R. Sivakumar, P. Sinha e V. Bharghavan, “CEDAR: a core-extraction distributed ad hoc routing algorithm”, in *INFOCOM*, Nova Iorque, EUA, março de 1999.
- [4] *Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications*. IEEE Standard 802.11, 1999.
- [5] B. P. Crow, F. Indra Widjaja, J. G. Kim e P. T. Sakai, “IEEE 802.11 wireless local area networks”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 9, pp. 116–26, setembro de 1997.
- [6] H.-H. Liu e J.-L. C. Wu, “A scheme for supporting voice over IEEE 802.11 wireless local area network”, *Proceedings of the National Science Council, China*, vol. 25, no. 4, pp. 259–268, 2001.

- [7] M. Veeraraghavan, N. Cocker e T. Moors, “Support of voice services in IEEE 802.11 wireless LANs”, in *INFOCOM*, Anchorage, Alaska, abril de 2001.
- [8] I. Aad e C. Castelluccia, “Differentiation mechanisms for IEEE 802.11”, in *INFOCOM*, Anchorage, Alaska, abril de 2001.
- [9] M. G. Rubinstein e J. F. de Rezende, “Qualidade de serviço em redes 802.11”, in *XX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2002)*, Búzios, RJ, Brasil, maio de 2002.
- [10] ITU-T, “One-way transmission time”, in *Recomendação G.114*, março de 1993.
- [11] A. Köpsel e A. Wolisz, “Voice transmission in an IEEE 802.11 WLAN based access network”, in *Workshop on Wireless Mobile Multimedia, (WoWMoM'2001)*, Roma, Itália, julho de 2001.
- [12] A. Köpsel, J.-P. Ebert e A. Wolisz, “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, outubro de 2000.