

# Extensão do Mecanismo RTS/CTS para Otimização de Desempenho em Redes sem Fio

Mauro Fonseca, Edgard Jamhour, Christian Mendes e Anelise Munaretto

**Resumo**—A norma IEEE 802.11 implementa uma variação na taxa de transmissão para se adaptar automaticamente a qualidade do enlace. Essa funcionalidade intrínseca dos produtos IEEE 802.11 reduz progressivamente a taxa de transmissão quando uma estação detectar sucessivas transmissões de quadro sem sucesso. Além disso, o método de acesso CSMA/CA garante que ao longo do tempo todas as estações que compartilham o meio tenham a mesma probabilidade de acesso. Quando uma estação com uma menor taxa de transmissão captura o acesso ao canal, ela penaliza outras estações que tenham uma maior taxa de transmissão e que compartilham o acesso. Isso ocorre devido ao longo período que a estação “lenta” deverá ocupar o meio para transmitir um quadro de dados. Esse maior tempo de ocupação do canal leva a uma degradação geral de desempenho. Nesse artigo, nós propomos uma arquitetura dinâmica e adaptativa para melhorar a utilização dos recursos em uma rede de acesso sem fio. Nossa proposta é baseada no mecanismo de RTS/CTS da norma IEEE 802.11. Através desse mecanismo, nós implementamos um controle de tráfego para minimizar a interferência entre as estações de uma rede, independente das taxas de transmissão dessas estações. Os resultados apresentados mostram a melhora de desempenho e a redução significativa da interferência causada entre estações com diferentes taxas de transmissão.

**Palavras-Chave**—Redes sem fio, Degradação de desempenho, Mecanismo de RTS/CTS.

**Abstract**—To adapt the data rate in accordance with the quality of the link, the IEEE 802.11 standard proposes the variable rate shifting functionality. This intrinsic functionality of the 802.11 products progressively degrades the bit rate when a host detects unsuccessful frame transmissions. Furthermore, the basic CSMA/CA channel access method guarantees that the long-term channel access probability is equal for all hosts. When one host captures the channel for a long time because its bit rate is low, it penalizes other hosts that use higher rate, inciting a performance overall degradation. This article proposes a management architecture to optimize resources shared into wireless access network in a dynamic and adaptive manner. Our proposal is based on the RTS/CTS mechanism according to IEEE 802.11 standard. We implement an extension of RTS/CTS mechanism including a traffic control to avoid the performance anomaly. The presented results show the performance improvement and the interference mitigate due to the different bit rate among stations.

**Keywords**—WLAN, Performance Anomaly, RTS/CTS Mechanism.

## I. INTRODUÇÃO

As redes locais de acesso sem fio (WLANs) devem satisfazer os mesmos requisitos de uma rede local típica, incluindo: altas taxas de transmissão, baixo índice de colisão, mínimo atraso, entre outros. Entretanto, para alcançar esses objetivos, as WLANs devem ser otimizadas considerando alguns problemas específicos do ambiente sem fio, tais como, interferência, insegurança da interface aérea, alto consumo de energia, mobilidade e limitações da taxa de transmissão.

A facilidade de implantação e os baixos custos de instalação da infra-estrutura possibilitaram o desenvolvimento das redes locais sem fio IEEE 802.11, contribuindo com sua adoção como as redes de acesso sem fio *de facto*. O aumento na taxa de transmissão das tecnologias sem fio oferece um

desempenho equivalente às redes de acesso cabeadas. Entretanto, o meio de acesso introduz inúmeros problemas antes pouco encontrados nas redes cabeadas, tais como, interferências de outros usuários, *fading*, potência do sinal que cai com a distância e a detecção de colisão entre diferentes transmissões que são impossíveis através da técnica CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*) [Jakes 1994]. Medidas de uma rede local sem fio são apresentadas em [Duchamp and Reynolds 1992], mostrando que a taxa de erro de pacote (PER) depende fortemente da distância entre o transmissor e o receptor, mas que não cresce linearmente com a distância.

Inúmeros estudos de avaliação de desempenho do método de acesso distribuído (DCF) do IEEE 802.11 [Crow et al. 1997], [Weinmiller et al. 1997], [Bianchi 2000], [Tay and Chua 2001] mostram que o desempenho está relacionado com o número de estações competindo no mesmo canal. Para adaptar a taxa de transmissão à qualidade do enlace de rádio, o padrão IEEE 802.11 [iee 1999] propõe a funcionalidade de adaptação dinâmica da taxa de transmissão. Tal funcionalidade intrínseca dos produtos 802.11 reduz progressivamente a taxa de transmissão quando uma estação detectar sucessivas retransmissões de quadro. O objetivo da variação dinâmica da taxa de transmissão é de melhorar o desempenho da estação. Por outro lado, para garantir coexistência e interoperabilidade entre estações com taxas diferentes, o padrão define um conjunto de regras que deve ser seguido por todas as estações. A degradação de desempenho em uma rede de acesso devido a interferência de uma ou mais estações com uma baixa taxa de transmissão, foi inicialmente analisada em [Heusse et al. 2003]. Os autores examinaram o desempenho do padrão 802.11b, mostrando que a vazão útil experimentada é muito menor que a taxa de transmissão configurada. Eles também analisaram a influência de uma estação com baixa taxa de transmissão na vazão das outras estações que compartilham o mesmo canal de rádio. Isso resulta em uma degradação de desempenho percebida por todas as estações que compartilham o meio.

Nós propomos nesse trabalho um novo mecanismo que permite gerenciar a degradação de desempenho de uma forma dinâmica e adaptativa, capaz de reagir dinamicamente às variações dos recursos de rádio. O algoritmo proposto é baseado na atribuição de *partes* de recursos de rádio para cada estação, a fim de prover uma divisão justa entre as estações que compartilham o acesso. Nossa proposta inclui um mecanismo de *token bucket* no ponto de acesso, a fim de aplicar políticas de gerenciamento e controlar o mecanismo RTS/CTS (*Request*

to *Send/Clear to Send*).

O artigo está dividido nas seguintes seções. A seção 2 apresenta os principais trabalhos relacionados nessa área. Em seguida, a seção 3 introduz o problema e apresenta a plataforma proposta neste artigo. A seção 4 apresenta a avaliação de desempenho realizada e discute os resultados encontrados. A seção 5 conclui o artigo apresentando possíveis trabalhos futuros.

## II. TRABALHOS CORRELATOS

Inúmeros trabalhos foram propostos a fim de evitar a degradação de performance do padrão 802.11, inicialmente descrita em [Heusse et al. 2003]. Em [Munaretto et al. 2004], o protocolo FTS (*Fair Time Sharing*) foi proposto a fim de garantir uma utilização "justa" de recursos entre as estações que compartilham o acesso ao meio, através de políticas de divisão de tempo de acesso, restringindo o acesso das estações com menor taxa de transmissão.

Os autores em [Yoo et al. 2005] apresentaram uma proposta de ajuste do tamanho do quadro proporcional a sua taxa de transmissão. Assim, através da readequação do tamanho do MTU (*Maximum Transmit Unit*) ou MSS (*Maximum Segment Size*) do TCP é possível melhorar em até 70% os problemas de desempenho devido a existência de estações com velocidades diferentes, além de aumentar em até 20% o desempenho total da rede.

Em [Razafindralambo et al. 2006], os autores propõem uma agregação de pacotes usando um intervalo de tempo dinâmico dependente do tempo de ocupação do canal de rádio. Assim é possível analisar as estações que possuem baixas taxas de transmissão baseado nas últimas transmissões. Desta forma o tempo de acesso ao meio é adaptado ao tempo disponível para utilização de cada estação.

Já em [Carvalho and Rezende 2004] foi proposto e avaliado um mecanismo de controle de prioridade que utiliza os parâmetros de QoS (*Quality of Service*) do padrão IEEE 802.11e para solucionar o problema, através da atribuição de probabilidades de acesso ao meio que priorizem as estações de acordo com suas taxas. Desta maneira é possível alterar a parte determinística e estatística relacionada ao tempo de espera de transmissão. Esta solução proposta é uma das poucas que não obriga a modificação nos clientes, apenas nos pontos de acesso. Porém a proposta supõe a utilização da extensão IEEE 802.11e ainda não disponível comercialmente.

Analisando o aspecto focado em um determinado serviço, os autores em [Garroppo et al. 2005] propõem uma solução para aplicações em tempo real, como o VoIP (*Voice over Internet Protocol*). Segundo a proposta, a degradação de desempenho pode ser contornada, adaptando funcionalidades entre a camada de enlace e a camada de rede para dividir o tráfego da rede de acordo com o destino. Além disso são utilizadas filas com reguladores e permissões de transmissão baseados nas transmissões anteriores.

Os autores em [Kim et al. 2005] propõem o controle e o gerenciamento da janela de contenção (CW<sub>min</sub>). Desta forma o tamanho da janela de contenção deverá ser inversamente proporcional a taxa de transmissão da estação, limitando-se a

quatro classes pré-definidas. Para isso é necessária a utilização e adaptação do padrão 802.11e.

Outra solução proposta para o problema de desempenho é descrito em [Cantieni et al. 2005]. Eles propõem a adaptação do tamanho da janela de contenção (CW<sub>min</sub>) e a alteração do tamanho do quadro de dados durante a transmissão. Assim as estações mais lentas devem alterar estes parâmetros para que o desempenho total da rede não seja prejudicado devido a lentidão de algumas estações.

O principal inconveniente da maioria destas propostas é a dependência de uma implementação nas estações clientes, o que dificulta a confiabilidade do sistema e limita a solução às estações previamente configuradas. Essa dependência reduz a escalabilidade e segurança do sistema, limitando as soluções propostas.

A proposta detalhada na seção seguinte apresenta um novo mecanismo que permite gerenciar a degradação de desempenho de uma forma dinâmica e adaptativa garantindo independência das estações.

## III. ARQUITETURA PROPOSTA PARA OTIMIZAÇÃO DE RECURSOS EM REDE SEM FIO

Conforme descrito anteriormente, o método de acesso CSMA/CA prevê que todas as estações tenham a mesma probabilidade de acesso ao canal, o que nos leva à uma degradação no desempenho geral da rede quando estações com taxas de transmissão diferentes disputam o acesso da rede.

Para facilitar a compreensão do problema, vamos considerar o seguinte exemplo: suponha que uma estação utilizando a tecnologia IEEE 802.11b com uma taxa de transmissão de 1 Mbps capture o canal. Nesse caso se analisarmos teoricamente, essa estação irá ocupar o canal durante um período aproximadamente 11 vezes maior que uma estação que estiver a 11 Mbps para transmitir um quadro de mesmo tamanho. Nesse caso, devido ao método de acesso ao canal, uma degradação no desempenho total da rede é detectada, pois o canal será ocupado por um período maior pelas estações com menores taxas de transmissão. Tal procedimento induz, a longo termo, à uma divisão injusta do tempo de ocupação do canal, caracterizando uma degradação geral do desempenho da rede de acesso. A mesma degradação de desempenho irá ocorrer com outros padrões de acesso sem fio que utilizem CSMA/CA como tecnologia de acesso múltiplo, incluindo UWB (*Ultra-wide-band*) (IEEE 802.15.3a) [uwb 2003] ou Zigbee (IEEE 802.15.4) [zig 2003].

O objetivo do artigo é evitar a degradação de desempenho de maneira dinâmica e adaptativa às alterações e características da rede. Para isso, nós propomos uma extensão do mecanismo de RTS/CTS aplicado ao ponto de acesso, sem que seja necessária qualquer alteração nas estações clientes. A única exigência seria que os clientes conectados ao ponto de acesso, devem utilizar o mecanismo de RTS/CTS padrão. Segundo norma IEEE 802.11, o mecanismo de RTS/CTS deve ser utilizado exceto nos casos de comunicação broadcast e multicast além do caso de quadros menores de um determinado limite configurado em (*RTS threshold*). A arquitetura proposta é representada na figura 1.

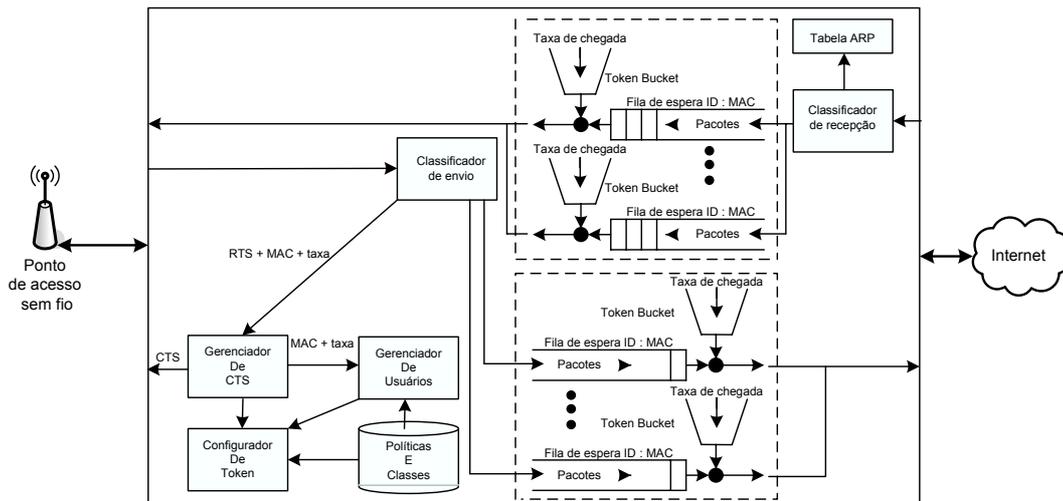


Fig. 1. Arquitetura do mecanismo proposto.

A extensão do mecanismo de RTS/CTS inclui uma arquitetura de controle de acesso, utilizando estruturas de “token bucket” no ponto de acesso e filas de espera para controlar todos os clientes associados ao ponto de acesso. O objetivo é atribuir diferentes classes e políticas (regras) dinâmicas para configurar um “token bucket” e uma fila para cada cliente, adaptando assim os direitos dos usuários às suas respectivas taxas de transmissão. Assim, parâmetros atribuídos à cada classe de serviço poderiam ser configurados para servir um ou mais clientes associados ao ponto de acesso. Cada classe de serviço teria como objetivo definir um conjunto de parâmetros necessários para configuração do “token bucket” associado a cada usuário, variando de acordo com sua taxa de transmissão. Esse mecanismo seria utilizado para medir a quantidade de recursos utilizados pelo usuário e com isso regular seu acesso.

**Classes de parâmetros de serviço:** Uma classe pode ser definida através da especificação de determinados parâmetros, para permitir uma diferenciação de serviços entre clientes. Em nossa arquitetura, uma classe é composta pelos seguintes termos:

- Nome da classe: Especifica o nome da classe.
- Tamanho do bucket (envio): Tamanho do bucket de envio, permite que um usuário guarde créditos para transmitir rajadas de dados com taxa superior a sua taxa média.
- Taxa de Tokens (envio): Especifica a taxa de chegada para enviar dados.
- Tamanho da fila (envio): Tamanho da fila de dados para enviar dados.
- Tamanho do bucket (recepção): Tamanho do bucket de recepção, permite que um usuário guarde créditos para receber rajadas de dados com taxa superior a sua média.
- Taxa de Tokens (recepção): Especifica a taxa de chegada dos tokens para receber dados.
- Tamanho da fila (recepção): Tamanho da fila para receber dados.

**Elementos da Arquitetura Proposta:** Os elementos apresentados na figura 1 propostos nesse artigo são descritos a seguir:

- Classificador de envio: Este módulo é o responsável por receber todos os quadros da interface sem fio. Se o quadro recebido for um quadro de RTS, ele ativa o Gerenciador de CTS e passa o endereço MAC originador do RTS e a taxa que foi feita a transferência. Se o quadro recebido for de dados, ele coloca os dados na fila de envio identificada com o ID igual ao MAC da origem dos dados.
- Classificador de recepção: Este módulo é o responsável por receber todos os quadros da interface de rede cabeada. Os quadros de dados recebidos serão colocados na fila de recepção identificada com o ID igual ao MAC do destino dos

dados. O endereço MAC do destino dos dados é recuperado através do endereço IP destino verificando a tabela ARP.

- Gerenciador de CTS: Este módulo é o responsável por enviar o CTS caso a estação que requisitou tenha direito. Para verificar o direito este módulo verifica a fila de envio e verifica se está vazia. Caso esteja vazia, ele retorna um CTS caso contrário, ele ignora o RTS. Caso seja percebida uma mudança de taxa de transmissão, ele ativa o módulo Configurador de Token e reconfigura o Token Bucket. Se o módulo perceber que não existe uma fila de envio para o endereço MAC, ele ativa o módulo Gerenciador de Usuários e ignora o RTS.
- Gerenciador de usuários: Este módulo é o responsável por criar novas filas para usuários autorizados. Após criar uma nova fila, o módulo Configurador de Token é ativado para configurar o Token Bucket.
- Repositório de Políticas e Classes: Este módulo é o responsável por armazenar as políticas e as classes de parâmetros de serviço, criadas pelo administrador do ponto de acesso.
- Configurador de Token: Este módulo configura as filas de envio e recepção baseado no endereço MAC, na taxa de transmissão recebida, nas políticas e nas classes de parâmetros de serviço armazenadas no Repositório de Políticas e Classes.
- Filas e Token Bucket de recepção: É o módulo que armazena os dados recebidos para um cliente e envia quando o cliente tiver tokens suficiente para receber estes dados. Toda vez que a fila de um cliente estiver cheia os novos dados recebidos serão perdidos.
- Filas e Token Bucket de envio: É o módulo que armazena os dados enviados por um cliente e envia estes dados quando o cliente tiver tokens suficiente para enviar estes dados.

#### A. Funcionamento

Todo o tráfego entrante no ponto de acesso, recebido pela interface sem fio será classificado em uma das classes de serviço através do classificador. Uma vez que o tráfego foi classificado ele entra na fila com um identificador (ID) correspondente ao endereço MAC da estação destino, e é policiado pelo “token bucket” configurado com os parâmetros da classe a qual o usuário pertence, para sair do ponto de acesso para a rede fixa. Este mecanismo permite que o ponto de acesso verifique se os clientes têm ou não direito a mais recurso, simplesmente verificando se existe pacote na fila deste usuário. Toda vez que tiver pacote na fila, significa que este usuário está usando mais recurso do que lhe foi alocado. Com esta informação o ponto de acesso poderá enviar a resposta de CTS permitindo o envio de novos pacotes do usuário. Ou seja, o ponto de acesso somente envia o CTS para estações que não tem pacotes na fila. Desta forma conseguimos evitar que clientes, que estejam trabalhando em taxas de transmissão mais baixas causem grande impacto no desempenho total. Na

verdade este mecanismo permite controlar estações com taxas reduzidas ou simplesmente aplicar regras administrativas com direitos diferentes entre os vários clientes. Esse mecanismo possibilita uma ferramenta poderosa de controle de acesso em uma rede de acesso sem fio, apenas estendendo o mecanismo já implementado de RTS/CTS.

É importante salientar que para conseguirmos evitar que as estações enviem o pacote, somos obrigados a trabalhar com mecanismos da camada de enlace. Assim sendo, este mecanismo consegue fazer classificação por endereços MAC, dado que esta informação está disponível no quadro RTS, e consequentemente cada estação será configurada como pertencente a uma classe. Esta classe será usada para configurar as filas e “token bucket” da estação e depende das políticas (regras) de classificação impostas pelo administrador.

O administrador é responsável por escolher se penalizará as estações que não estejam trabalhando na mesma taxa ou se penalizará todas as estações ou apenas um subconjunto. Este mecanismo serve também para classificar em classes de serviço entre estações que estejam na mesma taxa de transmissão podendo assim ter classes de serviços com diferentes taxas de transmissão.

Cada vez que um usuário se associa ao ponto de acesso, o mecanismo cria uma fila para este usuário com um “token bucket” com as configurações relativas a classe que o usuário pertence. A partir deste momento toda vez que a estação cliente for enviar um quadro de dados, antes ela terá que enviar um RTS que é mandatário para este mecanismo. O ponto de acesso ao receber o RTS, verifica o endereço MAC e a fila relacionada com este endereço de transmissão. Se existir um pacote na fila com este endereço MAC, significa que esta estação enviou mais do que permitido pela sua classe. Assim sendo, o ponto de acesso não retorna o CTS. Senão, se a fila estiver vazia, o ponto de acesso retorna o CTS para a estação. A grande vantagem deste mecanismo é que, mesmo sem fazer qualquer alteração nas estações clientes (permanecem de acordo com o padrão), pacotes UDP, ICMP ou qualquer outro tipo de quadro de dados, não serão enviados para o ponto de acesso a não ser que a estação seja autorizada.

O administrador pode criar regras para não deixar passar pacotes dos usuários que não utilizem o mecanismo ou direcionar à uma página *web* para administração.

Por exemplo, uma classe “ilimited” seria a classe que permite o cliente enviar a quantidade que queira de dados. Para isto basta criar um “token bucket” com parâmetros que reflitam a taxa máxima do ponto de acesso. Assim a fila estará sempre vazia e consequentemente sempre será respondido o CTS para este cliente. Caso haja vários clientes nesta classe o próprio CSMA/CA se encarrega de dividir o recurso entre os clientes desta classe e das outras classes, evitando assim que o recurso fique monopolizado por clientes de uma classe com maior limite.

Seguindo este mesmo processo podemos ter regras administrativas dinâmicas que alterem a configuração do “token bucket” da fila do cliente de acordo com a taxa instantânea. Por exemplo: a classe *silver* é 5,4 Mbps, e o administrador optou por dinamicamente alterar esta taxa provendo a utilização proporcional a 10% da velocidade de comunicação com o

ponto de acesso. Quando a estação transmitir o RTS a 11 Mbps o ponto de acesso altera o “token bucket” do usuário para 1,1 Mbps e verifica se existe fila para este usuário. Caso a fila esteja vazia, o ponto de acesso envia o CTS. Sendo assim para todos os RTS enviados por esse cliente, verifica-se a taxa de transmissão e caso seja diferente altera-se a taxa do “token bucket” dinamicamente de acordo com a última taxa de transmissão utilizada por esse cliente.

#### IV. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Nesta sessão é apresentada a avaliação de desempenho da arquitetura definida no artigo, contendo os experimentos reais e as simulações. Estes dados foram coletados através da utilização da ferramenta **iperf** [NLANR] para geração de tráfego.

Utilizamos o ambiente de testes real para analisar a vazão de cada estação ao compartilhar o acesso ao ponto de acesso com diferentes taxas de transmissão utilizando interfaces 802.11b. Optamos por utilizar interfaces 802.11b para facilitar os testes e pelo fato do comportamento que está sendo analisado deve-se ao CSMA/CA que é o mesmo do padrão 802.11b. Esta demonstração é válida para qualquer padrão de rede sem fio, que utilize o CSMA/CA como tecnologia de acesso múltiplo, como UWB (IEEE 802.15.3a) [uwb 2003] ou Zigbee (IEEE 802.15.4) [zig 2003]. Nós utilizamos um notebook e uma estação de trabalho (estação1 e estação2) com placas 802.11b. Para conectar o ponto de acesso à Internet foi utilizada um switch 100 Mbps.

Para realizar a simulação com o intuito de analisar o desempenho da arquitetura proposta utilizando o padrão 802.11b, foi implementado um simulador em C++, devido as características específicas da solução.

Os parâmetros definidos para a simulação são os valores pré-definidos no padrão 802.11b. A simulação utiliza o método de acesso CSMA/CA sob tráfego intenso, *i.e.*, presumimos que o canal está sempre ocupado quando alguma estação necessita realizar a transmissão. Consequentemente a arquitetura proposta foi desenvolvida considerando que a rede possui um grande tráfego. Ou seja, todas as estações da rede possuem pacotes para serem transmitidos em seus buffers de saída. Assim podemos analisar o pior cenário possível e onde a degradação é mais acentuada.

Implementamos a arquitetura proposta no simulador e realizamos uma comparação com a utilização clássica de um ponto de acesso real. As informações referentes ao aumento do número de estações, em uma rede local de acesso sem fio utilizando a solução proposta neste artigo, estão previstas em trabalhos futuros.

Primeiramente medimos a vazão em relação a variação da taxa de transmissão. A fig. 2 compara a degradação da vazão para cada taxa de transmissão de uma estação sozinha acessando o ponto de acesso, sem a interferência de outras estações, obtendo assim vazão máxima.

A confiabilidade do simulador é verificada a partir do teste de aderência entre os resultados de simulação e os resultados obtidos em ambiente real. A taxa de transmissão sofre degradação a cada 50s. Observe que quando a estação inicia

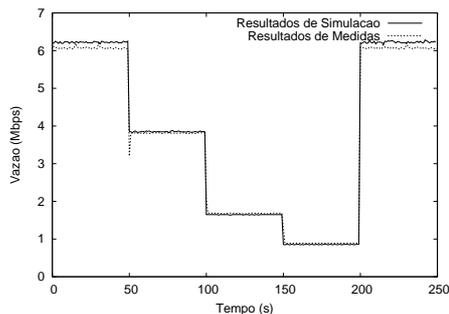


Fig. 2. Medidas da vazão com a variação da taxa de transmissão.

a transmissão, a taxa de transmissão é definida em 11 Mbps e obtemos uma vazão de aproximadamente 6,2 Mbps. Após 50s, nós configuramos a interface para 5,5 Mbps obtendo assim uma vazão de aproximadamente 3,8 Mbps. Assim por diante, a cada 50s configuramos a placa de rede para operar nas velocidades de 2 Mbps e 1 Mbps.

#### A. Resultados da Implementação

Para uma melhor percepção dos resultados começamos a seção analisando um mesmo exemplo sem a arquitetura proposta, seguindo apenas o padrão conforme demonstrado na Fig. 3. O ambiente utiliza duas estações com fluxo UDP. O tempo de duração do experimento é de 400s. A figura demonstra o efeito percebido na vazão quando variamos a distância de uma estação do ponto de acesso.

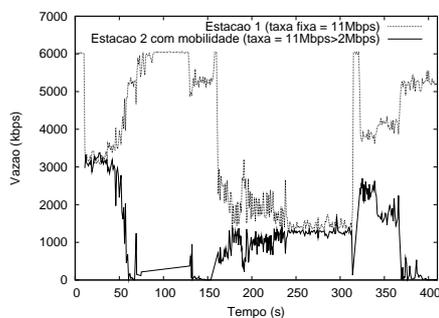


Fig. 3. Degradação da vazão entre duas estações, quando uma está em movimento.

Ao iniciar os testes, apenas uma estação está conectada (estação1) ao ponto de acesso com a taxa de transmissão de 11 Mbps possuindo vazão de aproximadamente 6,2 Mbps. Esta estação permanece fixa e com taxa de transmissão constante em 11 Mbps durante todo o experimento. Após 10s, uma nova estação é conectada ao ponto de acesso (estação2) utilizando também a taxa de transmissão de 11 Mbps. A vazão diminui para aproximadamente 3,2 Mbps para as duas estações. Após 50s de testes, a estação2 começa a se movimentar para longe do ponto de acesso, causando assim uma variação na vazão, apesar de manter a mesma taxa de transmissão, diminuindo também a vazão média da rede. Após 150s até 310s é alterada a taxa de transmissão da estação2 para 2 Mbps. Neste momento a vazão das estações 1 e 2 convergem para

1,2 Mbps aproximadamente, aumentando consideravelmente a vazão da estação2 e deteriorando drasticamente a vazão da estação1 e da rede como um todo.

O próximo teste apresentado na Fig. 4 mostra a vazão de 2 estações fixas acessando um ponto de acesso quando uma delas mantém sua taxa de transmissão fixa em 11 Mbps e a outra estação altera sua taxa de transmissão entre 11, 5,5, 2, e 1 Mbps. Os resultados apresentados na Fig. 4, mostram a vazão das duas estações de acordo com a degradação da taxa de transmissão de apenas uma das estações.

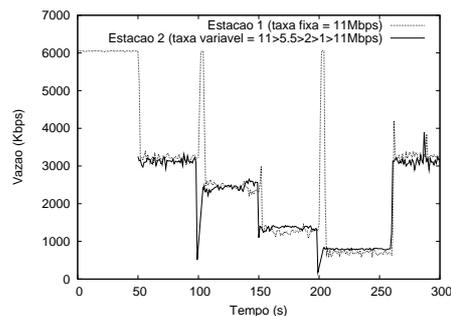


Fig. 4. A degradação da vazão de acordo com a variação da taxa de transmissão.

No início, somente uma estação está associada no ponto de acesso, conseguindo aproximadamente 6,2 Mbps como vazão. Em 50s, a estação2 se conecta ao ponto de acesso, compartilhando a vazão total com a estação1, ficando as duas estações com 3,2 Mbps cada uma. Após 100s, a taxa de transmissão da estação2 é reduzida para 5,5 Mbps. Perceba que a degradação na vazão das duas estações é semelhante durante todo o tempo em que a taxa de transmissão da estação2 é modificada de 11 Mbps à 1 Mbps, apesar de que apenas a estação2 modificou a sua taxa de transmissão. Em 250s, a taxa de transmissão da estação2 é mais uma vez configurada para 11 Mbps. Então, podemos verificar que a vazão de cada uma das duas estações, volta a ser de aproximadamente 3,2 Mbps. Estes resultados foram obtidos através de medidas reais e por simulação, utilizados para o teste de aderência. Como os resultados foram praticamente os mesmos, alcançados pelas duas técnicas, foi suprimido do gráfico os resultados obtidos por simulação e para facilitar a visualização.

Para demonstrar a eficiência da arquitetura proposta os resultados obtidos são demonstrados na Fig. 5. O cenário usado demonstra que a arquitetura proposta pode controlar as variações abruptas da rede, mantendo um nível muito elevado de confiança na taxa de dados transferidos pelos clientes; e preservar os clientes das variações nas taxas de transmissões de seus vizinhos.

As classes definidas pelo administrador e utilizadas nos testes são descritas a seguir:

- Classe "Ouro 11 Mbps"
  - Tamanho do Bucket de envio = MTU.
  - Taxa dos Tokens de envio = 7 Mbps.
  - Tamanho da Fila de envio = MTU.
  - Tamanho do Bucket de recepção = MTU.
  - Taxa dos Tokens de recepção = 64 Kbps.
  - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.
- Classe "Ouro 5.5 Mbps"
  - Tamanho do Bucket de envio = MTU.

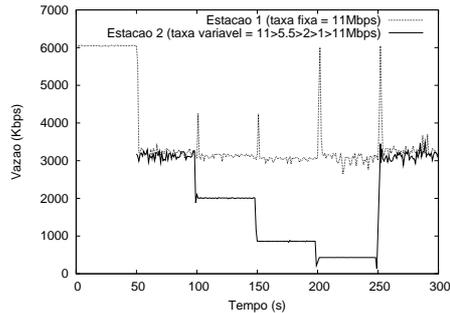


Fig. 5. Resultados da arquitetura proposta.

- Taxa dos Tokens de envio = 2 Mbps.
- Tamanho da Fila de envio = MTU.
- Tamanho do Bucket de recepção = MTU.
- Taxa dos Tokens de recepção = 64 Kbps.
- Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.
- Classe "Ouro 2 Mbps"
  - Tamanho do Bucket de envio = MTU.
  - Taxa dos Tokens de envio = 0,9 Mbps.
  - Tamanho da Fila de envio = MTU.
  - Tamanho do Bucket de recepção = MTU.
  - Taxa dos Tokens de recepção = 64 Kbps.
  - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.
- Classe "Ouro 1 Mbps"
  - Tamanho do Bucket de envio = MTU.
  - Taxa dos Tokens de envio = 0,45 Mbps.
  - Tamanho da Fila de envio = MTU.
  - Tamanho do Bucket de recepção = MTU.
  - Taxa dos Tokens de recepção = 64 Kbps.
  - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

No início dos testes somente uma estação está ativa no ponto de acesso, alcançando aproximadamente 6,2 Mbps como vazão. Em 50s, a estação2 acessa o ponto de acesso, compartilhando a vazão total com a estação1, ficando as duas estações com 3,2 Mbps cada uma. Até este momento o comportamento é o normal, pois as duas estações estão trabalhando na mesma taxa de transmissão. Em 100s, a taxa de transmissão da estação2 é reduzida para 5,5 Mbps. O gerenciador de CTS, verifica a alteração da taxa de transmissão da estação2 e ativa o configurador de token para verificar as políticas para esta nova taxa de transmissão e trocar as configurações do "Token Bucket" caso necessário. Perceba que a degradação na vazão só ocorreu para a estação2 e para a estação1 a vazão permanece constante durante todo o tempo da simulação. Isso ocorre, independente da taxa de transmissão da estação2 que é modificada de 11 Mbps à 1 Mbps. Em 250 s, a taxa de transmissão da estação2 é mais uma vez configurada para 11 Mbps. Então, podemos verificar que a vazão alcançada pelas duas estações é aproximadamente de 3,2 Mbps novamente. Estes resultados foram obtidos por simulação.

## V. CONCLUSÃO

Neste artigo, uma arquitetura foi proposta para melhorar o compartilhamento de recursos entre as estações, evitando assim a degradação de desempenho causada por uma ou mais estações lentas que compartilham o meio e aumentar o controle dos recursos de uma rede sem fio. Através de medidas realizadas, uma estação que possui uma taxa de transmissão

baixa, prejudica a vazão de todas as outras estações que compartilham o mesmo canal de rádio. A arquitetura proposta nesse artigo implementa um mecanismo de compartilhamento de recursos entre estações com diferentes taxas de transmissão baseado no mecanismo padrão do RTS/CTS. Os resultados mostram que a arquitetura proposta reduz a degradação de desempenho do CSMA/CA conforme o interesse do administrador, permitindo assim um melhor controle sobre os recursos. A melhoria obtida pela arquitetura implementada mostra que a estação mais rápida mantém sua vazão inalterada independente da presença de estações concorrentes com baixa taxa de transmissão. Os resultados representam um ganho de desempenho e uma minimização da interferência devido a taxa de transmissão entre estações obedecendo políticas de administração.

## REFERÊNCIAS

- [iee 1999] (1999). IEEE802.11 standard. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>.
- [uwb 2003] (2003). IEEE802.15.3 standard. <http://grouper.ieee.org/groups/802/15>.
- [zig 2003] (2003). IEEE802.15.4 standard. <http://grouper.ieee.org/groups/802/15>.
- [Bianchi 2000] Bianchi, G. (2000). Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function. *IEEE Journal of Selected Areas in Telecommunications, Wireless series*, 18(3).
- [Cantieni et al. 2005] Cantieni, G., Ni, Q., Barakat, C., and Turletti, T. (2005). Performance analysis under finite load and improvements for multirate 802.11. *Elsevier Computer Communications Journal*, 28(7):1095–1109.
- [Carvalho and Rezende 2004] Carvalho, C. and Rezende, J. (2004). Seleção dinâmica de parâmetros de qos na resolução da anomalia de performance do iee 802.11b. In *XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES - SBt*, Belém.
- [Crow et al. 1997] Crow, B. P., Widjaja, I., Kim, J. G., and Sakai, P. T. (1997). IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks. *IEEE Communications Magazine*.
- [Duchamp and Reynolds 1992] Duchamp, D. and Reynolds, N. F. (1992). Measured Performance of a Wireless LAN. In *IEEE LCN*, Minneapolis.
- [Garroppo et al. 2005] Garroppo, R., Giordano, S., Lucetti, S., and Tavanti, L. (2005). Lessening voip capacity degradation in 802.11 networks with a measurement-based channel-aware scheduler. In *EuroNGI Workshop on QoS and Traffic Control*, Paris.
- [Heusse et al. 2003] Heusse, M., Rousseau, F., Berger-Sabbatel, G., and Duda, A. (2003). Performance Anomaly of 802.11b. In *IEEE INFOCOM*, San Francisco.
- [Jakes 1994] Jakes, W. C. (1994). *Microwave Mobile Communications*. Wiley-IEEE Press.
- [Kim et al. 2005] Kim, H., Yoon, S., and Kang, I. (2005). Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation. *IEEE COMMUNICATIONS LETTERS*, 9(7):655–657.
- [Munaretto et al. 2004] Munaretto, A., Fonseca, M., Agha, K. A., and Pujolle, G. (2004). Fair Time Sharing Protocol: a Solution for IEEE 802.11b Hot Spots. In *IFIP IEEE ICT 2004*, LNCS. Springer-Verlag. Fortaleza, Brazil.
- [NLANR ] NLANR. Iperf measuring TCP and UDP bandwidth performance. Available at <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/>.
- [Razafindralambo et al. 2006] Razafindralambo, T., Guérin-Lassous, I., Fdida, S., and Iannone, L. (2006). Dynamic packet aggregation to solve performance anomaly in 802.11 wireless networks. In *MSWIM*, Torremolinos, Malaga, Spain.
- [Tay and Chua 2001] Tay, Y. C. and Chua, K. C. (2001). A capacity analysis for the IEEE 802.11 MAC protocol. *ACM WINET Journal*, 7(2):159–171.
- [Weinmiller et al. 1997] Weinmiller, J., Schlager, M., Festag, A., and Wolisz, A. (1997). Performance Study of Access Control in Wireless LANs IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES 10 HIPERLAN. *ACM MONET Journal*.
- [Yoo et al. 2005] Yoo, S. H., Choi, J.-H., Hwang, J.-H., and Yoo, C. (2005). Eliminating the performance anomaly of 802.11b. In *International Conference on Networking*, Reunion Island.