

Balanceamento de Carga Utilizando Virtualização em Redes IEEE 802.11*

Tibério Menezes de Oliveira¹, Marcel William Rocha da Silva¹,
Kleber Vieira Cardoso¹, José Ferreira de Rezende¹

¹GTA - PEE - COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Caixa Postal 68.504 – 21.945-970 – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

{tiberio,marcel,kleber,rezende}@gta.ufrj.br

Abstract. *In an infrastructured IEEE 802.11 network composed by multiple access points, each station needs to make a decision on which access point to associate with. In the traditional approach, the station uses only the signal strength to support its decision. This type of approach can lead to an unbalanced number of stations in the access points, consequently causing performance and unfairness problems on the distribution. The present article proposes a new approach that combines the signal strength with the load in each access point plus the virtualization of the wireless network. Therefore, the stations establish and switch associations on different access points. This approach allows the load balancing between the access points in order to distribute the available network capacity in a fair way, while keeping the maximum network utilization. The simulation results confirm the improvement obtained with the new approach in comparison to others in the literature.*

Resumo. *Em uma rede IEEE 802.11 infraestruturada composta por múltiplos pontos de acesso, cada estação precisa decidir em qual deles deve associar-se. Na abordagem tradicional, a estação se baseia apenas na relação sinal-ruído para a escolha do ponto de acesso. Esse tipo de abordagem pode levar a um desbalanceamento no número de estações associadas a cada ponto de acesso, trazendo problemas de injustiça e de desempenho. Neste trabalho, é apresentada uma nova proposta que combina a relação sinal-ruído com a carga em cada ponto de acesso e a capacidade de virtualização das redes sem fio. Desta forma, as estações estabelecem e alternam associações em diferentes pontos de acesso. Essa abordagem permite o balanceamento de carga entre os pontos de acesso de forma a distribuir a capacidade disponível na rede, mantendo a ocupação máxima da rede. Resultados de simulação demonstram os ganhos obtidos com a proposta comparada a outras da literatura.*

1. Introdução

Atualmente, há uma grande disponibilidade de pontos de acessos sem fio IEEE 802.11, tanto em redes privadas como em serviços de acesso público. Para ilustrar, um serviço de anúncios em redes WiFi chamado JiWire tem um cadastro de mais de 200.000 *hotspots* espalhados por 135 países, os quais são encontrados em cafeterias, hotéis, restaurantes, livrarias, aeroportos, dentre outros. Outro exemplo da popularidade das redes

*Este trabalho recebeu recursos do CNPq, CAPES, FAPERJ e FINEP.

IEEE 802.11 é o número de equipamentos listados pelo *site* WiGLE.net, o qual ultrapassa 15 milhões. Nesse contexto, é comum encontrar cenários onde dois ou mais pontos de acesso podem ser utilizados a partir de uma mesma localização. Pelo padrão IEEE 802.11 [802.11 1999], o ponto de acesso com maior relação sinal-ruído é o escolhido pela estação, a qual permanece conectada a ele até que a conectividade seja perdida ou o usuário decida encerrar seu acesso. Essa abordagem oferece ao usuário um serviço ruim em vários ambientes.

Em sua implementação tradicional, restrita apenas à sugestão do padrão IEEE, estações 802.11 utilizam a relação sinal-ruído (SINR – *Signal to Interference-plus-Noise Ratio*) de uma resposta de sondagem para escolher em qual ponto de acesso devem associar-se. Conforme mostrado em [Bejerano et al. 2004], esse tipo de associação não garante o uso eficiente dos recursos e pode levar estações a obter baixo desempenho em termos de vazão. Uma abordagem alternativa que foi explorada em outros trabalhos [Bejerano et al. 2004, Villegas et al. 2008, Papanikos and Logothetis 2001, Sheu and Wu 1999] consiste em realizar um balanceamento de carga entre os pontos de acesso. No entanto, o conceito de carga utilizada leva em conta apenas o número de estações e a relação sinal-ruído destas. Ou seja, os trabalhos não avaliam a quantidade de tráfego gerado (ou recebido) pelas estações. A nossa proposta baseia-se no balanceamento de carga, mas leva em consideração a vazão efetivamente utilizada pelas estações.

Para realizar o balanceamento de carga, foi utilizada a virtualização da interface de rede. Apesar de outros trabalhos já aplicarem virtualização em redes IEEE 802.11 [Bahl et al. 2003, Paul and Seshan 2006], os mesmos não o fazem para balanceamento de carga. A virtualização permite que uma única interface física seja utilizada para oferecer às camadas superiores conectividade em mais de um ponto de acesso, de forma transparente. Adicionalmente, pode-se escalonar o uso das interfaces virtuais, balanceando a carga das estações e, por conseguinte, a carga entre os pontos de acesso. Neste trabalho, é mostrado que essa solução traz vantagens sobre uma outra abordagem de balanceamento de carga conhecida como DLBA (*Dynamic Load Balance Algorithm*) [Sheu and Wu 1999].

Esse trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta uma breve revisão de trabalhos importantes sobre o tema. A Seção 3 introduz alguns conceitos importantes sobre o balanceamento de carga e a virtualização em redes IEEE 802.11. A Seção 4 apresenta uma nova proposta para escolha de pontos de acesso, utilizando balanceamento de carga através de virtualização. Na Seção 5, são mostrados os resultados obtidos, comparando a solução proposta com outras abordagens. Por fim, a Seção 6 conclui o trabalho e apresenta as perspectivas futuras.

2. Trabalhos Relacionados

Nos últimos anos, a virtualização voltou a ser bastante abordada na literatura. Houve inúmeras contribuições em diversas áreas de pesquisa, tais como *handoff* em redes sem fio [Wang et al. 2007, Ramine and Savage 2005], tolerância a falhas [Adya et al. 2004], sistemas operacionais [Barham et al. 2003, Singhal et al. 2008], redes *ad hoc* e infraestruturada [Chandra 2006], entre outras.

Devido ao crescimento da disponibilidade de redes de acesso e o fato da abordagem tradicional de associação a um AP (*Access Point*) levar em conta apenas a SINR,

o que não garante o uso eficiente de recursos da rede, recorreu-se a possibilidade da virtualização de interfaces de rede para melhorar a distribuição dos recursos de rede individualmente entre as estações. Visando essa possibilidade, existem esquemas de virtualização de redes IEEE 802.11 que foram padronizadas por [Paul and Seshan 2006].

Alguns estudos relacionados com virtualização de redes foram abordados em [Ramine and Savage 2005, Bahl et al. 2003, Wang et al. 2007]. A principal referência sobre esse tipo de estudo foi feita em [Chandra 2006], onde a virtualização de interfaces de rede sem fio é gerenciada por um *driver* chamado de *Virtual WiFi*. Outros estudos foram feitos em *testbeds*, onde esquemas de virtualização por divisão no tempo e no espaço foram testados [Mahindra et al. 2008] e avaliações de desempenho de redes virtualizadas com divisão no tempo [Smith et al. 2007] foram realizadas.

A proposta deste trabalho é definir um esquema de virtualização para balancear a carga de uma estação entre múltiplas interfaces virtualizadas. O problema de balanceamento de carga já foi bem explorado pela literatura [Villegas et al. 2006, Villegas et al. 2008, Bejerano et al. 2004], porém o seu maior desafio é virtualizar o enlace sem fio, pois a dinamicidade do ambiente é muito grande. Redes IEEE 802.11 podem experimentar variações inconstantes no meio de comunicação, e isso dificulta bastante os algoritmos de balanceamento. Outro problema é o fato do número de estações se modificar com o tempo, assim como o tráfego gerado por elas. Ambos podem variar consideravelmente, criando longos períodos de silêncio ou atividade.

A abordagem tradicional utiliza a SINR como métrica de associação em WLANs (*Wireless Local Area Network*). Essa abordagem, entretanto, é bem conhecida por deixar as redes com baixo desempenho, pois a distribuição de carga é muito desbalanceada [Sheu and Wu 1999, Balachandran et al. 2002, Bejerano et al. 2004, Ramine and Savage 2005, Athanasiou et al. 2007]. Em [Sheu and Wu 1999, Papanikos and Logothetis 2001, Balachandran et al. 2002, Athanasiou et al. 2007], ao invés da SINR ser utilizada como um critério de associação, é proposta uma métrica heurística diferente que associa cada estação com o AP, melhorando essa métrica. Essas métricas normalmente levam em consideração o número de estações associadas com um AP, a média das SINRs das estações associadas a esse AP, a SINR da nova estação e a vazão que a nova estação pode apresentar caso se associe a esse AP.

Alguns algoritmos de balanceamento de carga apresentados na literatura abordaram o problema de balanceamento dinâmico de carga em redes IEEE 802.11 [Sheu and Wu 1999, Papanikos and Logothetis 2001, Villegas et al. 2008]. O algoritmo de [Sheu and Wu 1999] foi o primeiro a tratar do problema de balanceamento dinâmico de carga em redes IEEE 802.11. O foco desse algoritmo é distribuir melhor as estações entre os APs da rede, e será abordado com mais detalhes na Seção 3.2.

3. Conceitos Básicos

Alguns dos conceitos apresentados neste trabalho são novos na literatura, portanto os mais relevantes serão brevemente apresentados nesta seção.

3.1. Balanceamento Dinâmico de Carga

A abordagem tradicional, por apenas utilizar a relação sinal-ruído, não possibilita nenhuma maneira de aplicar balanceamento de carga. As estações não utilizam nenhuma

métrica especial, apenas a maior relação sinal-ruído. Por conta disso, dependendo do ambiente, grande parte das estações podem associar-se apenas a um AP. Entretanto, se há três APs no ambiente e apenas um tem estações associadas o desempenho da rede como um todo cairá drasticamente. Porém, na literatura há métricas que se baseiam em uma relação entre a SINR e a quantidade de estações associadas ao AP [Bejerano et al. 2004, Villegas et al. 2008, Papanikos and Logothetis 2001, Sheu and Wu 1999].

3.2. Algoritmo DLBA

O algoritmo DLBA (*Dynamic Load Balance Algorithm*) [Sheu and Wu 1999] utiliza a SINR do AP_x em relação a uma estação y ($E_x(y)$) e a média das SINRs das estações associadas ao AP_x (ME_x). Com essas medidas, a estação define a qual AP irá se conectar utilizando a comparação descrita pela relação definida na Equações 1 e 2.

$$\begin{cases} \text{se } E_x(y) > ME_x, & \text{a contribuição da nova estação é positiva;} \\ \text{caso contrário } E_x(y) \leq ME_x, & \text{a contribuição da nova estação é negativa.} \end{cases} \quad (1)$$

$$ME_x = \frac{\left[\sum (\text{SINR das estações associadas}) + R_x \right]}{[(\text{N}^\circ \text{ de Estações associadas}) + 1]} \quad (2)$$

A escolha do AP é baseada em um peso associado a cada AP assim como mostram as Equações 3 e 4.

$$D_x(y) = (E_x(y) - ME_x) \quad (3)$$

$$\begin{cases} D_x(y) > 0, & W_x(y) = D_x(y) \times \left(1 + \frac{ME_x}{\text{SINR}_{\max}} \right) ; \\ D_x(y) \leq 0, & W_x(y) = D_x(y) \times \left(1 - \frac{ME_x}{\text{SINR}_{\max}} \right) . \end{cases} \quad (4)$$

Onde $D_x(y)$ representa a diferença da SINR do AP_x em relação à estação y com a média das SINRs das estações associadas ao AP_x . Já $W_x(y)$ é o resultado do peso associado, e dessa forma, a escolha está levando em consideração a influência da estação em relação a cada AP e a qualidade do sinal.

O DLBA tenta garantir uma boa distribuição das estações entre os APs, e para isso é necessário fazer o recálculo do valor de $D_x(y)$. O recálculo é feito apenas pelas estações que estão associadas ao AP que recebe um novo associado. Após o recálculo, caso o valor $D_x(y)$ represente uma contribuição negativa para o AP_x , um contador chamado de *HC* (*Hold Counter*) é incrementado. Para o caso contrário, não é feito nada, ou seja, a estação possui uma contribuição positiva para o AP. Quando o contador *HC* de uma estação atinge um limiar chamado de *MH* (*Max Hold Counter*), essa estação precisa fazer uma nova varredura a procura de um AP melhor. A Equação 5 representa esse processo.

$$\begin{cases} \text{se } HC \geq MH, & \text{recalcula pesos;} \\ \text{caso contrário } HC < MH, & \text{continua no mesmo AP.} \end{cases} \quad (5)$$

O algoritmo DLBA quebra o padrão IEEE 802.11 para poder receber as informações de $E_x(y)$ e o somatório das SINR das estações associadas. Essas informações

são incluídas no pacote de resposta que um *AP* envia a uma estação no processo de varredura.

A proposta do presente artigo utiliza uma nova abordagem para balancear dinamicamente a carga das estações entre os *APs* associáveis por elas, que é utilizar um esquema de virtualização denominado *FH* (*Frequency Hopping*), e priorizar o *AP* que tenha menor ocupação do meio.

3.3. Virtualização de redes IEEE 802.11

A principal idéia da virtualização é disponibilizar para um único substrato a possibilidade de executar múltiplos experimentos virtuais de maneira eficiente. Na virtualização de redes sem fio são apresentados desafios únicos não observados em redes cabeadas.

A virtualização de uma interface física IEEE 802.11 permite a associação de uma estação cliente a múltiplos *APs* simultaneamente. Essa associação múltipla pode ser explorada para melhorar o desempenho de redes infraestruturadas, acelerando o processo de *handoff* [Ramine and Savage 2005, Wang et al. 2007], em caso de mobilidade das estações, ou aplicando um balanceamento de carga entre esses múltiplos *APs* [Sheu and Wu 1999, Papanikos and Logothetis 2001, Balachandran et al. 2002, Athanasiou et al. 2007, Villegas et al. 2008]. Neste trabalho é proposto um mecanismo de balanceamento de carga em redes infraestruturadas com múltiplos *APs* baseado na virtualização de interfaces físicas IEEE 802.11.

O maior desafio desse domínio é virtualizar o enlace sem fio. O meio sem fio pode ser virtualizado seguindo vários esquemas [Paul and Seshan 2006], os mais comuns são:

- **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*): O substrato é virtualizado particionando as frequências, ou seja, faz-se a troca de canais em um único dispositivo físico, ou utiliza-se múltiplos dispositivos físicos em diferentes canais. Isto é feito por um substrato que emula múltiplos dispositivos virtuais.
- **TDMA** (*Time Division Multiple Access*): Esse esquema virtualiza um substrato particionando-o em relação ao tempo, ou seja, diferentes experimentos utilizam uma dada frequência do substrato em diferentes “fatias” (*slots*) de tempo.
- **TDMA combinado com FDMA**: Um substrato pode ser virtualizado permitindo que diferentes experimentos utilizem uma dada frequência particionada em diferentes fatias de tempo. Assim, um experimento virtualizado é identificado por uma única combinação de frequência particionada e fatia de tempo.
- **FH** (*Frequency Hopping*): Um substrato pode ser virtualizado de forma a permitir que diferentes experimentos usem diferentes frequências particionadas em diferentes fatias de tempo. O esquema *FH* foca o particionamento de um experimento por alocação de uma sequência única de frequência e fatia de tempo para cada experimento. Diferentemente do esquema *TDMA* combinado com *FDMA*, o *FH* permite que o mesmo experimento possa utilizar diferentes sequências.
- **CDMA** (*Code Division Multiple Access*): Virtualiza o substrato particionando-o em codificações. Esse esquema faz a troca de códigos dentro de um experimento para emular múltiplos experimentos virtuais.

Existem também as técnicas de fatiamento (*slicing*), que se caracterizam pelo processo de alocar subconjuntos de experimentos separados “espacialmente”. Esta técnica não faz virtualização, o substrato é totalmente alocado para o experimento. O esquema

de fatiamento utilizado é o SDMA (*Space Division Multiple Access*) que, associado às técnicas de virtualização, dão origem a outros esquemas de virtualização.

O esquema CDMA não pode ser implementado em dispositivos IEEE 802.11 convencionais. O esquema TDMA combinado com FDMA pode ser visto como um “superconjunto” dos esquemas TDMA e FDMA. Por fim, o esquema FH é uma versão dinâmica do esquema TDMA combinado com FDMA, sendo o esquema mais flexível e completo para uso com a tecnologia IEEE 802.11. Portanto, este trabalho utiliza o esquema de virtualização FH. Além desse esquema, é necessária uma métrica que decida como será feita a escolha das sequências, ou seja, determinar os canais e o tamanho das fatias de tempo. Para realizar o cálculo dessa sequência é proposta uma métrica que se baseia na ocupação do meio pelos APs e na quantidade de estações associadas a esses APs. Essas medidas estão implementadas no padrão IEEE 802.11k e podem ser adquiridas por troca de mensagens [802.11 2008]. Há outras maneiras de obter a ocupação do meio e o número de estações associadas, por exemplo, utilizando o modo monitor da interface IEEE 802.11. No entanto, o padrão IEEE 802.11k apresenta baixa sobrecarga tanto de mensagens de controle na rede, quanto de processamento nos equipamentos e a acurácia necessária para as medições utilizadas na proposta. Além disso, para realizar a mudança de canais e não perder a conexão, o protocolo IAPP (*Inter-Access Point Protocol*) [802.11 2003] pode ser utilizado.

3.4. Padrão IEEE 802.11k e IAPP

O grupo IEEE 802.11k (Medição de Recursos do Rádio – *Radio Resource Measurement*) está desenvolvendo um padrão que pretende aumentar a disponibilidade de dados das camadas físicas e de acesso ao meio, definindo uma série de requisições de medidas e de relatórios que podem ser utilizados pelas camadas superiores. Atualmente, o padrão se encontra na versão *Draft 3.0* [802.11 2008], mas terá uma versão final padrão em breve.

As medições dos parâmetros do rádio em redes sem fio ajuda aplicações a se adaptarem automaticamente ao ambiente dinâmico do rádio. No padrão IEEE 802.11k, medições não são feitas somente de forma local, podendo estender a possibilidade de requisitar medições das estações vizinhas. Esse padrão agrega vários mecanismos que já estão padronizados no padrão IEEE 802.11h [WG 2003]. Algumas das novidades desse novo padrão são os quadros de relatórios de *Neighbor Report*, de *Channel Load Report* e de *STA Statistics*, assim como outros quadros de relatórios e medições.

Uma estação cliente ao trocar de AP em um processo de *handoff* com o IAPP, solicita uma reassociação para o novo AP, e o IAPP se encarrega de trocar a tabela de encaminhamento dos *switches* e/ou roteadores da rede. O mecanismo de reassociação do IAPP é disparado por um quadro do tipo *MLME-REASSOCIATE.indication* (*MLME-MAC Layer Management Entity*), e uma sequência de quadros do tipo *IAPP-MOVE* é utilizada para fazer a reassociação.

- *IAPP-MOVE.request*: Esta primitiva, ao ser ativada pelo recebimento de um quadro *MLME-REASSOCIATE.indication* de uma estação cliente, enviará um quadro *IAPP MOVE-notify* ao AP que a estação estava previamente associada, indicando que essa está sendo reassociada a um novo AP. Além disso, será enviado um quadro *IAPP Layer 2 Update* para os *switches*/roteadores atualizarem as tabelas de encaminhamento do novo AP para a estação.

- *IAPP-MOVE.indication*: Esta primitiva de serviço é utilizada para indicar que uma estação cliente foi reassociada com outro AP.
- *IAPP-MOVE.response*: Esta primitiva envia qualquer informação que seja relevante na definição dos padrões IEEE 802.11.
- *IAPP-MOVE.confirm*: Esta primitiva de serviço é utilizada para confirmar a ação iniciada pela primitiva IAPP-MOVE.request.

O padrão IEEE 802.11k e o protocolo IAPP são tecnologias utilizadas para poder implementar a proposta deste trabalho. A métrica proposta precisa de alguns dados que o padrão IEEE 802.11k coleta, e a virtualização das interfaces utiliza o protocolo IAPP nas trocas de APs. A Seção 4 descreve o algoritmo proposto neste trabalho.

4. Balanceamento de Carga Através de Virtualização

No mecanismo proposto por este trabalho, foi utilizado um processo de escalonamento no tempo com saltos em frequências. Esse mecanismo é realizado pelas estações cliente, entre as suas diversas interfaces virtuais. O processo de escalonamento é realimentado de acordo com medições de ocupação do canal realizadas pelo AP e o número de estações clientes a ele associado. Essas informações são coletadas pelas estações clientes em determinados instantes de tempo e utilizadas no algoritmo de escalonamento.

A virtualização das interfaces de rede é feita em um intervalo de tempo ponderado pelo valor de ocupação do meio e a quantidade de estações associadas ao AP. Como a estação fica apenas uma vez em cada interface virtualizada por ciclo, a soma dos pesos que cada interface permanece ativa, em cada ciclo, é igual a 1, conforme apresentado pela Equação 6.

$$\sum_{i=1}^n P(AP_i) = 1 \quad . \quad (6)$$

Onde n é a quantidade de interfaces virtualizadas e $P(AP_i)$ são os pesos associados a essas interfaces. Cada interface virtual está relacionada com um AP, logo o número de interfaces virtuais de cada estação é referente à quantidade de APs aos quais uma estação pode associar-se.

Na Figura 1, é apresentado um diagrama de como os ciclos do esquema de virtualização FH funcionam. A cada ciclo são coletadas medições do padrão IEEE 802.11k, e ao fim, o cálculo dos pesos dos APs para o ciclo seguinte é refeito. As medições são coletadas no final do tempo ativo de cada interface virtualizada e, no mesmo instante é solicitado que o AP inicie a medição para a coleta do próximo tempo ativo. Como apresentado na Figura 1, os rótulos *coletas 1* (AP_i) representam os valores de coletas referentes ao ciclo anterior, que foram solicitados nos instantes representados pelos rótulos *coletas 0* (AP_i). O rótulo *fatia de tempo* da Figura 1 representa a unidade de tempo do ciclo, que, por exemplo, pode ser o do intervalo de envio dos *beacons* do AP. Cada ciclo possui T fatias de tempo, que representam os tempos ativos das estações em cada AP, ou seja, representam o tempo ativo de cada interface virtualizada nos APs. Para evitar eventuais problemas de sincronização entre os tempos ativos nos ciclos de diferentes estações, cada uma delas adiciona uma variação aleatória no tamanho do ciclo de 10% para mais ou para menos.

Com relação ao encaminhamento do tráfego de descida (*downlink*), a comutação entre interfaces virtuais se assemelha ao processo de *handoff*. Uma estação cliente, ao

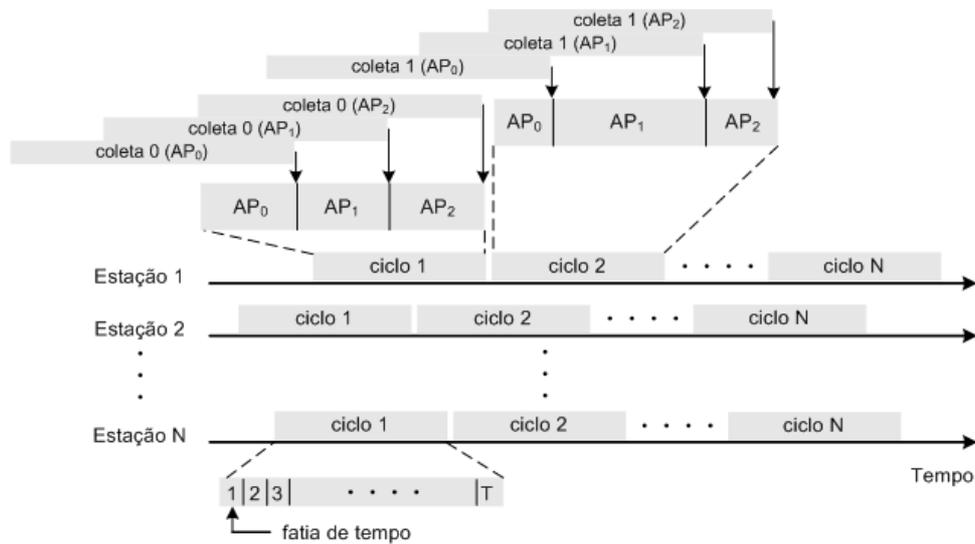


Figura 1. Representação do esquema de virtualização FH utilizando fatias de tempo ponderadas para cada AP.

comutar para um AP, deve reassociar-se a ele, enviando um quadro do tipo *Reassociate Request*, representado pelo número 1 na Figura 2. Após a reassociação do cliente, o novo AP atualiza as tabelas de encaminhamento de nível 2 dos equipamentos do sistema de distribuição pelo envio do mesmo quadro que foi recebido em difusão utilizando o endereço MAC da estação cliente, representado pelo número 2 na Figura 2. O AP envia, logo em seguida, um quadro de *Reassociate Notify* para o AP antigo da estação e termina o processo de reassociação, representado pelo número 3 na Figura 2. Isso introduz um determinado atraso para que os pacotes passem a ser encaminhados ao AP ao qual o cliente acabou de associar-se. Além disso, existe um atraso associado à comutação de canal entre os APs que consiste no tempo necessário para a mudança de frequência e na resincronização no novo canal. Ambos os atrasos foram incluídos no modelo de simulação desenvolvido e o impacto deles no desempenho foi avaliado [Mishra et al. 2003].

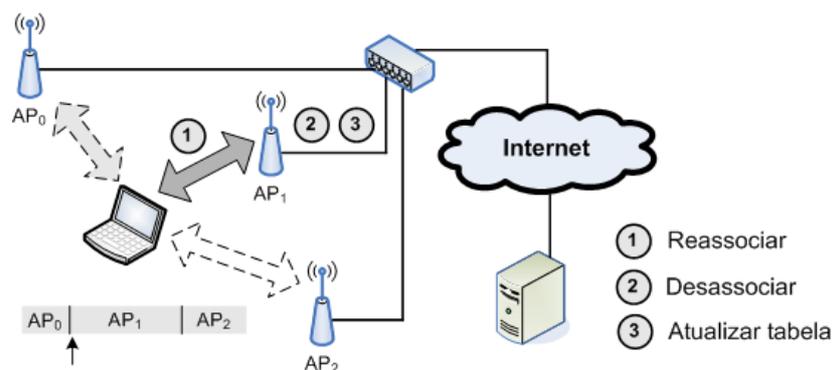


Figura 2. Escalonando entre APs utilizando o protocolo IAPP

4.1. Esquema de Virtualização FH

A virtualização proposta por este trabalho utiliza o esquema FH, que permite utilizar várias instâncias de dispositivos virtuais em um mesmo dispositivo físico. Portanto, para

se aproveitar desse esquema de virtualização, este trabalho baseia-se na ponderação de fatias de tempos que são disponibilizadas para cada dispositivo virtual. A estação tem um ciclo de escalonamento entre os dispositivos que é dividido em pequenas fatias de tempo, cada fatia representa uma unidade de tempo para o escalonador. O tempo em que um dispositivo virtual fica ativo é da ordem dessa unidade de tempo.

4.2. Suporte do padrão IEEE 802.11k

O padrão IEEE 802.11k disponibiliza um relatório das estatísticas de ocupação do canal através do quadro *Channel Load Report*, e o número de associados no AP pelo quadro *Neighbor Report*. O quadro *Channel Load Request* é utilizado para fazer a solicitação ao AP de uma medição em um determinado tempo. A resposta da medição vem em um quadro *Radio Measurement Report* contendo a utilização do canal em porcentagem de ocupação. A medida é dada pela Equação 7.

$$OC_x = \text{Inteiro} \left(\frac{TCO}{TM \times 1024} \right) \times 255 \quad . \quad (7)$$

Onde OC_x é a ocupação do canal do AP_x , TCO é o tempo que o canal permanece ocupado e TM é o tempo de medição. A Equação 7 define a porcentagem do tempo de ocupação linearmente escalado com 255 representando 100%.

Outro valor importante obtido pelo padrão IEEE 802.11k é a medida de quantidade de estações associadas a um determinado AP. Para ter essa medição é preciso requisitar esse valor pelo quadro *Neighbor Report Request*. A resposta é dada por um quadro *Neighbor Report Response* contendo a quantidade de estações associadas nesse AP.

Esse padrão possui um outro tipo de quadro de medição chamado *STA Statistics*. Nesse quadro é possível solicitar um relatório com diversas medições em um mesmo pedido. Portanto, é possível obter as medições de *Channel Load Report* e *Neighbor Report* através de um único quadro *STA Statistic Request*. Os dados são respondidos pelo quadro *Radio Measurement Report* ao final da medição solicitada.

4.3. Algoritmo de Cálculo de Pesos

Como o esquema de virtualização é FH, as estações saltam de frequência, ou seja, mudam de canal, e isso ocorre em um intervalo de tempo determinado pelo peso associado aquele tempo ativo. O cálculo dos pesos é dado pela normalização dos valores da desocupação média, seguindo a Equação 6. A desocupação média é dada pela Equação 8.

$$\begin{cases} y \in AP_x, & DM_x(y) = \frac{1 - OC_x}{NS_x} \\ y \notin AP_x, & DM_x(y) = \frac{1 - OC_x}{NS_x + 1} \end{cases} \quad . \quad (8)$$

Onde $DM_x(y)$ é a desocupação média do AP_x por estação calculada pela estação y , OC_x é o valor da ocupação medido pelo padrão IEEE 802.11k para o AP_x , mas linearmente escalado com 100, e NS_x é a quantidade de estações associadas ao AP_x . O valor de desocupação média é calculado para obter uma aproximação da carga do AP por estação associada. Caso a estação y não pertença ao grupo das estações associadas ao AP_x , o cálculo da desocupação é realizado com essa estação incluída, assim como apresentado

na Equação 8. Os pesos associados para cada tempo ativo entre os APs são calculados pela normalização dessas desocupações médias, assim como representa a Equação 9.

$$P_x(y) = \frac{DM_x(y)}{\sum_{i=1}^N DM_i(y)} \quad (9)$$

Onde $P_x(y)$ são os pesos associados aos tempos ativos em cada AP, que é calculado pela normalização dos valores de desocupação média de cada AP ($DM_i(y)$), e N é a quantidade de APs existentes no processo de virtualização da estação y . A Equação 9 está associada a uma melhor aproximação da carga restante do AP por estação associada. Esta equação procura obter uma medida de desocupação média que leva em conta não somente o percentual de tempo que o AP fica ocupado, mas também o número de estações associadas.

5. Resultados

A avaliação foi realizada utilizando o simulador ns-2 (versão 2.29), o qual recebeu várias alterações para implementar os recursos necessários. As alterações foram realizadas principalmente na camada MAC, tais como acréscimo de uma IFQ (*InterFace Queue*) para cada interface virtualizada, adição das medições de ocupação, de quantidade de estações clientes associados e as medições de SINR também foram acrescentadas. Além disso, os dois outros algoritmos aos quais o esquema proposto neste trabalho foi comparado também foram implementados.

Foram realizadas rodadas de 200 segundos e cada configuração foi executada 30 vezes, sendo utilizado um nível de confiança de 95% no cálculo do intervalo de confiança. Essa avaliação inclui simulações com quatro tipos de estações:

- Estações Legadas: Utilizam o processo de associação tradicional.
- Estações com DLBA: Utilizam o algoritmo de associação DLBA.
- Estações com Virtualização Estática: Utilizam o algoritmo de associação proposto, que é baseado na virtualização, com tempos ativos estáticos.
- Estações com Virtualização Dinâmica: Utilizam o algoritmo de associação proposto com tempos ativos dinâmicos.

É utilizada uma topologia semelhante a apresentada na Figura 2, no qual as estações podem associar-se a qualquer um dos APs. Os experimentos foram feitos com a tecnologia IEEE 802.11b e cada AP se encontra em um dos três canais ortogonais, mas sem criptografia, também é considerado que os APs pertencem ao mesmo BSS (*Basic Service Set*). Em todos os experimentos, há um determinado número fixo de estações legadas recebendo tráfego *web* e é variado o número de estações recebendo tráfego TCP de longa duração (através de uma aplicação FTP). É avaliado então o desempenho das estações que estão utilizando FTP, chamadas de estações especiais, com cada um dos quatro tipos de escolha de AP para associação: Legado, DLBA, Virtualizado estático e dinâmico.

Nos gráficos da Figura 3, é apresentada a vazão agregada das estações especiais à medida em que o número de estações desse tipo aumenta. São avaliados dois cenários, com 10 e 30 estações legadas recebendo tráfego *web*. É possível observar que a vazão agregada do Virtualizado é muito próxima a do Legado. Vale ressaltar que, devido ao

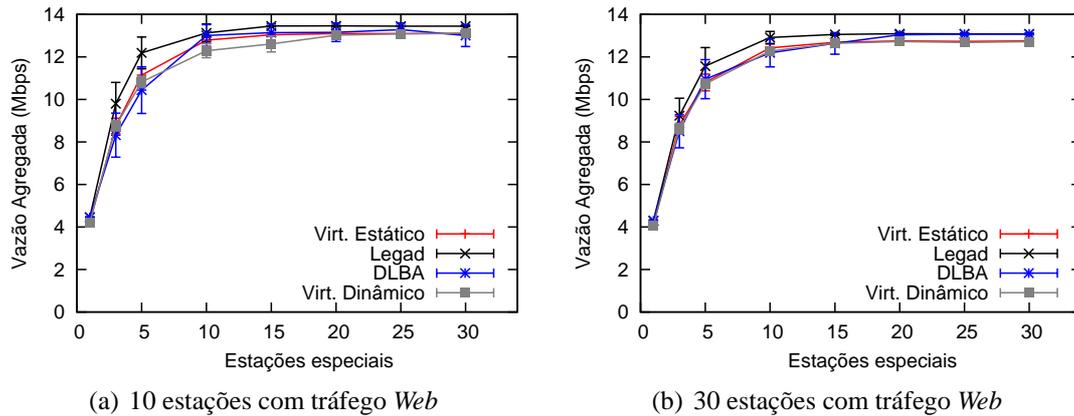


Figura 3. Vazão agregada em função do número de estações especiais.

pequeno número de APs, existe uma alta probabilidade de cada AP ter pelo menos uma estação especial associada. Dado esse fato, mais a característica do TCP de utilizar toda a capacidade disponível, leva-se a uma utilização máxima da rede na maioria dos cenários. Dessa forma, o Virtualizado, mesmo distribuindo e alternando as estações nos APs, não é capaz de obter uma vazão agregada superior às outras abordagens. Portanto, o Virtualizado é pouco penalizado pelo custo da virtualização propriamente dita, ainda assim, obtém um desempenho muito próximo do máximo, assim como o DLBA. De forma geral, os algoritmos de associação apresentaram resultados similares em relação a vazão agregada.

Os gráficos da Figura 4 ilustram que a pequena vantagem do Legado e do DLBA, de fato, esconde uma deficiência significativa. Nesta figura, é apresentado o índice de justiça [Jain et al. 1984] em função do número de estações especiais. O índice de justiça é definido pela Equação 10, onde x_i é a vazão obtida por cada uma das estações, e N é a quantidade de estações. Esse índice representa o quão igualitária é a distribuição de um recurso, que nesse contexto é a capacidade disponível da rede formada pelos três APs. Quanto mais próximo de 1, mais justa é a distribuição. Enquanto os Virtualizados oferecem o maior e mais estável valor de índice de justiça, o Legado e o DLBA apresentam valores menores e com uma grande variância. Isso demonstra como o mecanismo Virtualizado realiza um balanceamento da carga entre os diversos APs, garantindo um compartilhamento mais justo dos recursos da rede. Apesar do Virtualizado estático perder na justiça para o dinâmico por manter más conexões por mais tempo.

$$f_i = \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}{N \times \left(\sum_{i=1}^N (x_i)^2 \right)} \quad (10)$$

Outra métrica importante é mostrada nos gráficos da Figura 5. Essa figura ilustra a latência (ou tempo) média por página *web* observada nas estações legadas à medida em que se aumenta o número de estações especiais. Essa métrica permite avaliar quão amigáveis são as propostas de escolha de AP das estações especiais com relação ao tráfego

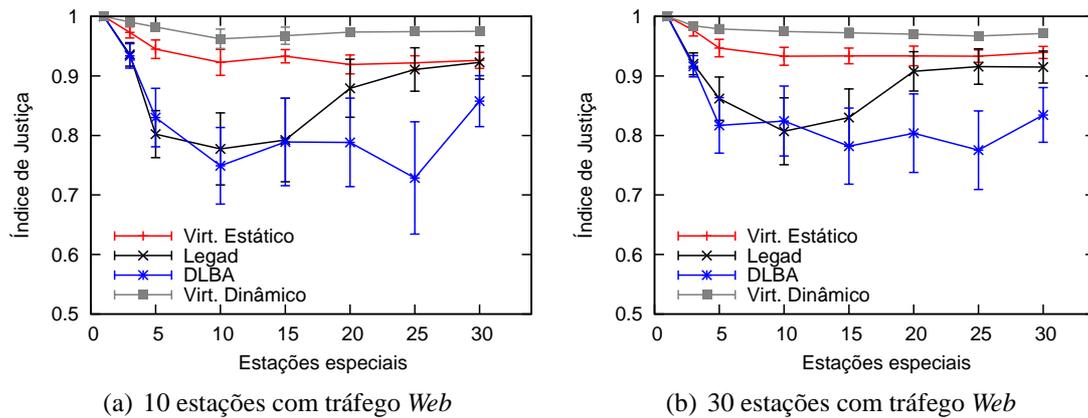


Figura 4. Índice de justiça em função do número de estações especiais.

existente. Novamente, a solução do Legado e do DLBA exibem um desempenho ruim, aumentando de forma significativa o tempo médio para visualização das páginas *web*. Os Virtualizados apresentam o menor impacto nas estações legadas, aumentando sua vantagem para as outras soluções à medida em que cresce o número de estações especiais.

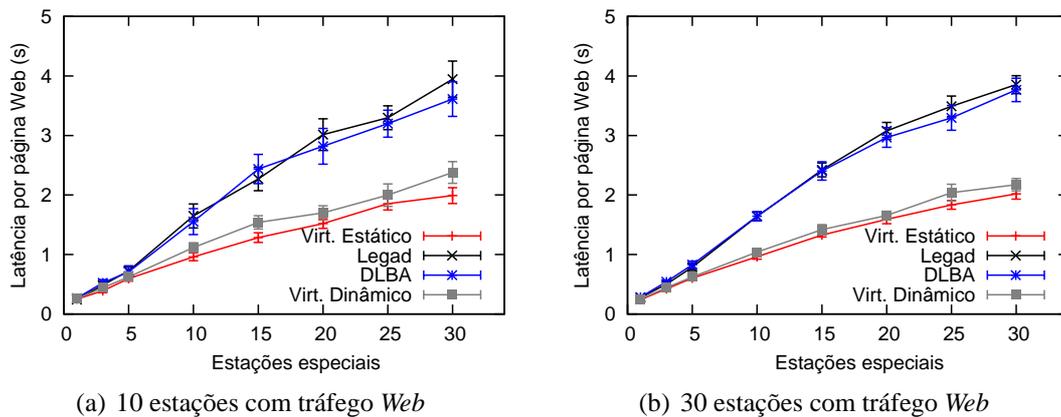


Figura 5. Tempo de latência das páginas Web em função do número de estações especiais.

6. Conclusão

Neste trabalho, foi apresentado um novo mecanismo para balanceamento de carga em redes IEEE 802.11 através do uso de virtualização. Nossa proposta foi avaliada e comparada com a abordagem tradicional e com outra proposta de balanceamento de carga baseada na relação sinal-ruído. A nossa solução apresentou sobrecarga de virtualização negligenciável, obtendo ocupação máxima da capacidade disponível na rede. No entanto, os resultados mais significativos aparecem na distribuição justa dos recursos e na convivência com os dispositivos legados. Ao levar em consideração a vazão gerada pelas estações, nossa proposta consegue oferecer a todos os clientes uma vazão média aproximadamente igual. Além disso, minimiza o impacto em outras estações que não fazem uso da virtualização, evitando a degradação de seu desempenho.

As abordagens do algoritmo de Virtualização se diferenciam apenas pelo índice de justiça, os outros resultados estão iguais. Uma diferença mínima entre os resultados pode apresentar uma má distribuição da carga entre as estações clientes. Então, como o propósito da proposta é distribuir a carga entre as estações clientes da melhor maneira, o algoritmo de Virtualização dinâmico apresenta melhores resultados que os outros algoritmos apresentados.

Como trabalhos futuros, a proposta será comparada a outros mecanismos existentes na literatura e novos cenários de simulação serão criados para a avaliação de desempenho. Além disso, pretende-se implementar o mecanismo de virtualização proposto neste trabalho em interfaces IEEE 802.11 disponíveis comercialmente que utilizem o *driver* MadWifi de código aberto.

Referências

- 802.11, I. (1999). Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Technical report, IEEE Std. 802.11.
- 802.11, I. (2003). Recommended practice for multi-vender access point interoperability via an Inter-Access Point Protocol across distribution systems supporting IEEE 802.11 operation. Technical report, IEEE Std. 802.11f.
- 802.11, I. (2008). IEEE standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems - local and metropolitan area networks - specific requirements part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification amendment 1: Radio resource measurement of wireless LANs. *IEEE Std 802.11k-2008 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007)*, pages c1–222.
- Adya, A., Bahl, P., Chandra, R., and Qiu, L. (2004). Architecture and techniques for diagnosing faults in IEEE 802.11 infrastructure networks. In *MobiCom '04: Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 30–44, New York, NY, USA. ACM.
- Athanasiou, G., Korakis, T., Ercetin, O., and Tassiulas, L. (2007). Dynamic cross-layer association in 802.11-based mesh networks. *INFOCOM 2007. 26th IEEE International Conference on Computer Communications. IEEE*, pages 2090–2098.
- Bahl, P., Bahl, P., and Chandra, R. (2003). MultiNet: Connection to multiple IEEE 802.11 networks using a single wireless card. Technical report, Microsoft Research, Redmond, WA.
- Balachandran, A., Bahl, P., and Voelker, G. M. (2002). Hot-spot congestion relief in public-area wireless networks. In *WMCSA '02: Proceedings of the Fourth IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, pages 70–80, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- Barham, P., Dragovic, B., Fraser, K., Hand, S., Harris, T., Ho, A., Neugebauer, R., Pratt, I., and Warfield, A. (2003). Xen and the art of virtualization. In *SOSP '03: Proceedings of the nineteenth ACM symposium on Operating systems principles*, pages 164–177, New York, NY, USA. ACM.
- Bejerano, Y., Han, S.-J., and Li, L. E. (2004). Fairness and load balancing in wireless LANs using association control. In *MobiCom '04: Proceedings of the 10th annual*

- international conference on Mobile computing and networking*, pages 315–329, New York, NY, USA. ACM.
- Chandra, R. (2006). *A virtualization architecture for wireless network cards*. PhD thesis, Cornell University, Ithaca, NY, USA. Adviser-Kenneth P. Birman.
- Jain, R. K., Chiu, D.-M. W., and Hawe, W. R. (1984). A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Computer System. DEC Research Report TR-301, Digital Equipment Corporation, Maynard, MA, USA.
- Mahindra, R., Bhanage, G. D., Hadjichristofi, G., Seskar, I., Raychaudhuri, D., and Zhang, Y. Y. (2008). Space versus time separation for wireless virtualization on an indoor grid. *Next Generation Internet Networks, 2008. NGI 2008*, pages 215–222.
- Mishra, A., Shin, M., and Arbaugh, W. (2003). An empirical analysis of the IEEE 802.11 MAC layer handoff process. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 33(2):93–102.
- Papanikos, I. and Logothetis, M. (2001). A study on dynamic load balance for IEEE 802.11b wireless LAN. In *8th International Conference on Advances in Communications and Control, COMCON 8*, Rethymna, Crete, Greece.
- Paul, S. and Seshan, S. (2006). Technical document on wireless virtualization. Technical report, GENI: Global Environment for Network Innovations.
- Ramine, I. and Savage, S. (2005). SyncScan - Practical fast handoff for 802.11 infrastructure network. *INFOCOM'05*, 1:675–684.
- Sheu, S.-T. and Wu, C.-C. (1999). Dynamic Load Balance Algorithm (DLBA) for IEEE 802.11 wireless LAN. *Tamkang Journal of Science and Engineering*, 2:45–52.
- Singhal, S., Hadjichristofi, G., Seskar, I., and Raychaudhuri, D. (2008). Evaluation of UML based wireless network virtualization. *Next Generation Internet Networks, 2008. NGI 2008*, pages 223–230.
- Smith, G., Chaturvedi, A., Mishra, A., and Banerjee, S. (2007). Wireless virtualization on commodity 802.11 hardware. In *WinTECH '07: Proceedings of the the second ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization*, pages 75–82, Montreal, Quebec, Canada. ACM.
- Villegas, E. G., Ferre, R. V., and Aspas, J. P. (2006). Load balancing in WLANs through IEEE 802.11k mechanisms. *Computers and Communications, 2006. ISCC '06. Proceedings. 11th IEEE Symposium on*, pages 844–850.
- Villegas, E. G., Ferre, R. V., and Aspas, J. P. (2008). Cooperative load balancing in IEEE 802.11 networks with cell breathing. *Computers and Communications, 2008. ISCC 2008. IEEE Symposium on*, pages 1133–1140.
- Wang, W.-C., Hsu, C.-H., Chen, Y.-M., and Chung, T.-Y. (2007). SCTP-based handover for VoIP over IEEE 802.11 WLAN using device virtualization. *Advanced Communication Technology, The 9th International Conference on*, 2:1073–1076.
- WG, I. . (2003). Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Spectrum and transmit power management extensions in the 5GHz band in Europe. Technical report, IEEE Std. 802.11h, New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers.