

SDCD: Um Novo Mecanismo para a Seleção Automática de Canal em Redes IEEE 802.11 Independentes *

Marcel W. R. da Silva¹, José F. de Rezende¹

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

{marcel, rezende}@gta.ufrj.br

Abstract. *In the last few years, IEEE 802.11 applications have experienced a significant growth. This expansion creates scenarios where wireless networks are managed by distinct administrators. These scenarios lack of a unique authority to perform an adequate channel allocation that minimizes the performance degradation generated by medium access sharing and co-channel interference. This work proposes a new dynamic channel selection mechanism that focuses on the restrictions imposed by scenarios with independent IEEE 802.11 networks and adapts faster to the interference pattern variations. Besides, the performance of the new mechanism is evaluated and compared to other's through simulations.*

Resumo. *Nos últimos anos se percebeu um grande aumento do uso das redes IEEE 802.11, principalmente nos grandes centros urbanos. Esta expansão cria cenários onde as redes são gerenciadas por administradores distintos. Nestes cenários com redes independentes, não existe uma entidade central com autoridade para a realização de uma alocação de canal satisfatória que minimize as eventuais perdas de desempenho ocasionadas pelo compartilhamento do canal e pela interferência co-canal. Este trabalho propõe um novo mecanismo de seleção dinâmica de canal que atende as limitações impostas pelos cenários com redes 802.11 independentes e que procura ser mais rápido na resposta a mudanças nos padrões de interferência entre as redes. Além disso, o desempenho do mecanismo é avaliado e comparado com o de outros através de simulações.*

1. Introdução

Atualmente, as redes sem fio do padrão IEEE 802.11 operando no modo infra-estruturado já podem ser consideradas um grande sucesso, apresentando uma ampla expansão de mercado. De acordo com [Akella et al. 2005], o número de pontos de acesso (*Access Points* - APs) comercializados durante o terceiro trimestre do ano de 2004 foi de 4,5 milhões, e estima-se que a venda de equipamentos deva triplicar até 2009. Estes fatores mostram que o padrão 802.11 está se consolidando como a tecnologia atual de redes sem fio mais adotada em aplicações de redes domiciliares e corporativas. Entretanto, a popularização das redes 802.11 faz surgir problemas até então inexistentes.

A escassez de canais não interferentes disponíveis para o uso, apenas três no caso das redes 802.11b [802.11b 1999] e 802.11g [802.11g 2003], faz com que redes de uma

*Este trabalho recebeu recursos dos projetos Giga/RNP (Taquara e GigaBOT), CNPq e FAPERJ

mesma região utilizem o mesmo canal, ou canais interferentes, para as suas transmissões. Isto pode causar perdas de desempenho nessas redes devido ao aumento da interferência gerada entre elas. Este problema se torna ainda mais grave e comum nos novos cenários criados pelo grande crescimento do número de redes 802.11, que são conhecidos como caóticos [Akella et al. 2005], não-coordenados [Mishra et al. 2006a] ou independentes.

Nestes cenários independentes, redes 802.11, com geralmente apenas um AP e alguns poucos clientes, são utilizadas em aplicações domiciliares ou de pequenas empresas. Estas redes coexistentes são gerenciadas por diferentes entidades administrativas, que nem sempre possuem conhecimento sobre as outras redes existentes na região ou comunicação com os seus administradores. Com isto, a alocação de canal, que poderia ser utilizada para minimizar a interferência entre essas redes, ocorre de maneira desordenada. Isto faz com que as redes sofram problemas de interferência devido à sobreposição de suas áreas de cobertura, causando compartilhamento do acesso ao meio, ou devido à interferência co-canal, causando uma redução da SINR (*Signal to Interference plus Noise Ratio*) e, conseqüentemente, o aumento da taxa de erros de recepção. Estes problemas podem causar uma má utilização dos recursos do meio de comunicação gerando uma diminuição no desempenho das redes independentes coexistentes.

Usualmente, as técnicas de alocação de canal pressupõem a existência de uma administração centralizada que controle todas as células (*Basic Service Sets - BSSs*) existentes em uma determinada região. Neste caso, o administrador único seria capaz de gerenciar o posicionamento dos APs e a sua atribuição de canais de maneira a minimizar a interferência mútua na região. Entretanto, no caso das redes 802.11 independentes, existem restrições que dificultam o uso das técnicas de alocação de canal utilizadas em redes de administração centralizada [Mishra et al. 2006a, Silva and Rezende 2006b, Silva and Rezende 2006a]. Essas técnicas geralmente se baseiam: no controle da associação de clientes aos APs; na atribuição coordenada de canais; e no reposicionamento de APs. No caso das redes independentes, não se pode prever que exista nenhum tipo de controle sobre a associação de clientes aos APs ou sobre o posicionamento dos APs. Nestes cenários, a alocação de canal deve ser feita de maneira distribuída, sem a necessidade de intervenção de uma entidade central ou comunicação entre redes de diferentes proprietários, devendo-se utilizar apenas informações que podem ser obtidas localmente na rede para a alocação de canal.

Na literatura já existem diversos mecanismos e técnicas de alocação de canal visando os cenários de administração centralizada [Rodrigues et al. 1999, Rodrigues et al. 2000, Hills 2001, Hills and Schlegel 2004, Hills and Friday 2004, Leung and Kim 2003, Ling and Yeung 2005, Lee et al. 2002, Park 2004, Mahonen et al. 2004, Mishra et al. 2006b]. Na maioria dos casos, o problema da alocação de canal é modelado como um problema de coloração de grafos, e o que difere um mecanismo de alocação do outro são as restrições impostas ao modelo desenvolvido e as funções objetivo que se deseja minimizar. Já no caso das redes independentes, apenas alguns poucos trabalhos abordaram o problema da alocação de canal [Mishra et al. 2005a, Mishra et al. 2006a, Silva and Rezende 2006b, Silva and Rezende 2006a]. Logo, existe ainda uma demanda por novas técnicas e mecanismos de alocação de canal que operem localmente em redes independentes buscando melhorar a utilização dos recursos oferecidos pelos canais 802.11.

Visando o problema da alocação de canal em redes 802.11 independentes, este trabalho propõe um novo mecanismo para a realização da seleção dinâmica de canal nestas redes. Tal mecanismo é a evolução de uma proposta desenvolvida anteriormente e tem como grande diferencial permitir o ajuste de maneira mais rápida às mudanças nos padrões de interferência que afetam os BSSs, através da detecção mais acurada da interferência que os afeta. Para o seu funcionamento, o novo mecanismo também utiliza informações obtidas localmente através de medições padronizadas pela norma IEEE 802.11k [802.11k 2005], que tem o objetivo de permitir a troca de informações sobre os canais e rádio 802.11, fornecendo ferramentas para o desenvolvimento de novas técnicas e funcionalidades para estas redes.

Na seção 2 serão apresentados os mecanismos já existentes na literatura para a realização da alocação automática de canal em cenários com redes independentes. A seção 3 descreve o novo mecanismo de seleção automática de canal e a seção 4 apresenta as simulações realizadas para avaliar o desempenho de alguns dos mecanismos de seleção automática de canal e os seus resultados. Por fim, a seção 5 traz as conclusões obtidas a partir do trabalho realizado.

2. Trabalhos relacionados

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado, a primeira proposta de mecanismo de alocação de canal aplicável a cenários com redes independentes foi [Mishra et al. 2005a]. Neste trabalho, Mishra *et al.* apresentam um mecanismo que opera de maneira distribuída nos APs, realizando automaticamente a seleção do canal de operação dos BSSs. A proposta, denominada *Hminmax*, é baseada na montagem de uma visão parcial do grafo de interferência entre os BSSs da região, utilizando para isto apenas informações locais do BSS. Para montar o grafo, o AP requisita que todos os seus clientes realizem uma varredura dos canais disponíveis em busca de quadros de outros BSSs. Ao término da varredura, o AP recebe as informações das estações clientes e monta a sua visão local do grafo de interferência. Através das medições dos clientes, cada AP saberá: em quais canais o BSS sofreria interferência; quais BSSs o interferem em qual canal; e a quantidade de estações de seu próprio BSS que sofrem interferência.

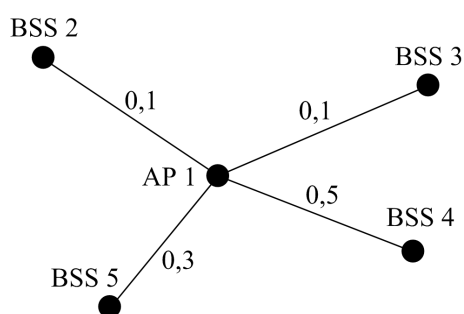


Figura 1. Exemplo de visão parcial do grafo de interferência montado pelo mecanismo *Hminmax*

Essas informações serão suficientes para montar uma visão local do grafo de interferência de cada canal disponível para a alocação de canais. Um exemplo é apresentado na Figura 1, onde os pesos das arestas que saem do vértice do AP que montou o grafo de interferência representam a porcentagem de clientes do BSS que a detectaram. Estas

informações serão utilizadas por um algoritmo de seleção de canal que determinará o melhor canal de operação para o BSS. O algoritmo de seleção de canal é uma heurística que minimiza o máximo de clientes do BSS que sofrem interferência de um mesmo BSS.

Uma característica interessante desta proposta é o fato de utilizar os clientes no processo de detecção da interferência que afeta o BSS, e não somente o AP. Com isto, o BSS seria capaz de detectar interferências que afetam apenas os clientes, como situações em que apenas os clientes compartilham o acesso ao meio com estações de outros BSSs. Outra característica interessante deste trabalho é a possibilidade de se utilizar canais parcialmente sobrepostos para a alocação. Alguns outros trabalhos estudando os efeitos do uso de canais sobrepostos foram publicados por esses mesmos autores [Mishra et al. 2005b, Mishra et al. 2006c]. Segundo estes trabalhos, o nível de sobreposição dos canais pode ser representado por um índice de sobreposição variando de zero a um, que indica a porcentagem de sobreposição entre dois canais de acordo com seu grau de separação. Estes valores podem ser obtidos através de medições da SINR de um sinal recebido nos canais parcialmente sobrepostos ao canal do transmissor (Tabela 1), ou podem ser calculados teoricamente através das máscaras dos filtros de transmissão e recepção do rádio 802.11. [Mishra et al. 2006c] mostra que os valores práticos e teóricos ficam bem próximos.

Canal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Índice de sobreposição	0	0.22	0.60	0.72	0.77	1.0	0.96	0.77	0.66	0.39	0

Tabela 1. Valores para os índices de sobreposição obtidos através de medições para uma transmissão realizada no canal 6

Desta forma, pode-se utilizar o índice de sobreposição para dizer o quanto de potência de um sinal transmitido em um canal é percebido em um canal parcialmente sobreposto. Em [Mishra et al. 2005a], o índice de sobreposição é utilizado para escalar os pesos das arestas do grafo de interferência de cada canal dependendo do nível de separação entre o canal escolhido e o canal do BSS interferente.

Em seu trabalho mais recente [Mishra et al. 2006a], Mishra *et al.* propuseram uma nova abordagem para o problema da alocação de canal visando melhorar a justiça entre os BSSs. Devido à escassez de canais não interferentes disponíveis para a alocação nas redes 802.11 e as altas densidades em cenários com redes independentes, existem casos onde uma alocação de canal estática pode causar injustiça na utilização dos recursos do meio de comunicação. Para solucionar o problema, [Mishra et al. 2006a] propõe um novo mecanismo de seleção automática de canal baseado em mudanças de canal sincronizadas nos BSSs, denominado *MAXchop*. Este mecanismo também monta uma visão parcial do grafo de interferência para procurar seqüências de mudanças de canal para os BSSs que tornem a divisão dos recursos dos canais disponíveis para a alocação mais justa.

Ambas as propostas, *Hminmax* e *MAXchop*, possuem limitações no que diz respeito à montagem do grafo de interferência. Para montar o grafo, as estações realizam a varredura dos canais em busca de tráfego de outros BSSs. Entretanto, esta varredura permite detectar apenas a interferência gerada por estações de outros BSSs que estão dentro do alcance de recepção da estação que realiza a medição, pois a origem dos pacotes

interferentes precisa ser identificada e, para isto, eles precisam ser decodificados. Como já foi explicado em [Silva and Rezende 2006b, Silva and Rezende 2006a], duas estações também sofrem com o problema do compartilhamento do acesso ao meio quando estão dentro dos seus alcances de detecção da portadora. Este problema de interferência é negligenciado durante a montagem do grafo de interferência e pode prejudicar o desempenho desta proposta.

Visando cobrir a demanda por técnicas de alocação de canal ainda existente em cenários com redes independentes, em [Silva and Rezende 2006b] e [Silva and Rezende 2006a] propusemos e avaliamos um mecanismo de seleção automática de canal, que será denominado neste trabalho como SDC (Seleção Dinâmica de Canal). Tal proposta permite ao AP realizar, através de medições com suas estações cliente, a detecção dos níveis de interferência por compartilhamento do meio e interferência co-canal que afetam o seu BSS e escolher o canal de operação da rede utilizando um algoritmo de seleção de canal que escolhe aquele com os menores níveis de interferência. Este processo é repetido periodicamente, com um intervalo de tempo T da ordem de minutos, permitindo que possíveis mudanças nos padrões de interferência sejam detectadas pelo BSS e que sua alocação de canal se ajuste para mitigar os prejuízos gerados pela mudança.

Para obter os níveis de interferência por compartilhamento e interferência co-canal, inicialmente, o AP requisita que suas estações cliente realizem medições do nível de ocupação e do nível de ruído presente em cada canal disponível para a alocação. O nível de ocupação é a porcentagem do tempo em que o canal foi considerado como ocupado de acordo com a detecção da portadora do nó medidor (ocupação absoluta), descontando-se deste tempo a ocupação gerada pelos pacotes originados no BSS do nó medidor (ocupação gerada pelo próprio BSS). Com isto, o nível de ocupação indicará a porcentagem de tempo em que o canal permaneceu ocupado por tráfego gerado em outros BSSs, indicando com isto o nível de compartilhamento do canal em questão. Já o nível de ruído presente no canal irá fornecer uma idéia do nível de interferência co-canal, pois as transmissões de outros BSSs que geram interferência co-canal irão elevar o nível de ruído.

As medições descritas anteriormente, bem como as mensagens utilizadas pelo AP para as requisitar as medições e pelos clientes para reportar os seus resultados, são padronizadas pela nova extensão k da norma 802.11 [802.11k 2005]. Os dispositivos 802.11 que incorporarem as funcionalidades deste novo padrão, serão capazes de realizar medições sobre diversas características do rádio e dos canais utilizados pelo 802.11 como, por exemplo, o nível de ocupação e ruído de uma canal específico. O 802.11k tem como objetivo fornecer ferramentas para o desenvolvimento de novas funcionalidades para as redes 802.11, como é o caso dos mecanismos de seleção automática de canal.

Ao obter as informações descritas anteriormente, o AP pode então montar dois vetores: O_i , com o nível médio de ocupação em cada canal, e R_i , com o nível de ruído presente em cada canal. De posse destes vetores, o AP executa um algoritmo de seleção de canal (Tabela 2), que é uma heurística que busca um canal com baixo nível de compartilhamento e baixo nível de interferência co-canal.

No algoritmo, o AP do BSS i primeiro verifica se o nível médio de ocupação no

Algoritmo de Seleção de Canal do SDC

Notação: i = identificador do BSS c_i = canal do BSS(i) O_i = vetor dos níveis médios de ocupação medidos pelos nós do BSS i R_i = vetor dos níveis médios de ruído medidos pelos nós do BSS i **Algoritmo no BSS i :**

- 1: **se** $\{O_i(c_i) < \alpha\}$ {
- 2: *mantém o canal de operação*
- 3: } **caso contrário** {
- 4: *seleciona os n canais com menor ocupação*
- 5: *seleciona, dentre os n canais, aquele com menor ruído*
- 6: }

Tabela 2. Algoritmo de Seleção de Canal SDC

canal de operação atual do BSS ultrapassa um limiar de tolerância α . Se este nível de ocupação não foi atingido, decide-se por manter o canal atual de operação. Este limiar é um parâmetro ajustável do algoritmo de seleção de canal que define a “agressividade” do algoritmo de seleção de canal, fazendo com que se mantenha o canal de operação se um nível tolerável de ocupação é registrado. Entretanto, se a ocupação no canal ultrapassa o nível de tolerância α , seleciona-se então os n canais com menores níveis de ocupação média e depois disso, dentre estes canais, aquele com menor nível de ruído. Desta forma, o algoritmo procura um canal de operação onde o nível de interferência por compartilhamento e interferência co-canal são baixos, buscando uma configuração para a alocação de canal que permita um melhor desempenho para o BSS.

Se o algoritmo de seleção escolhe um canal de operação para o BSS que é diferente do canal de operação atual, a sua decisão é informada às estações cliente através de uma mensagem de *beacon*. Desta forma, os clientes podem passar a utilizar o novo canal escolhido pelo AP para as suas transmissões.

O mecanismo SDC apresenta melhorias conceituais em relação as propostas *Hminmax* e *MAXchop* por conseguir captar a interferência desprezada na montagem da visão parcial do grafo de interferência que era realizada por esses mecanismos. Entretanto, com o desenvolvimento e a avaliação inicial da proposta foi possível identificar limitações que podem prejudicar o seu desempenho em alguns cenários. A próxima seção descreve tais limitações e propõe um novo mecanismo de seleção automática de canal, que soluciona as limitações apresentadas pelo mecanismo SDC.

3. Seleção Dinâmica de Canal Disparada - SDCD

Este novo mecanismo, denominado SDCD (Seleção Dinâmica de Canal Disparada), é uma evolução do anterior SDC, que foi modificado para obter e utilizar uma maior quantidade de informação sobre o canal de operação do BSS na seleção de canal. A Figura 2 apresenta uma comparação do funcionamento dos mecanismos SDC e SDCD no tempo. Pode-se perceber de acordo com o esquema de funcionamento do SDC irão existir grandes intervalos entre execuções do mecanismo de seleção de canal em que a interferência

que afeta o funcionamento do BSS não é verificada. Apenas quando se inicia a execução do mecanismo, é que se realiza a medição dos canais disponíveis para a alocação em busca de informações sobre a interferência. Desta forma, variações nos padrões de interferência que prejudicam o desempenho do BSS em seu canal de operação não podem ser detectadas e variações que ocorrem logo após a seleção de um canal de operação só serão detectadas na próxima execução do mecanismo de seleção de canal.

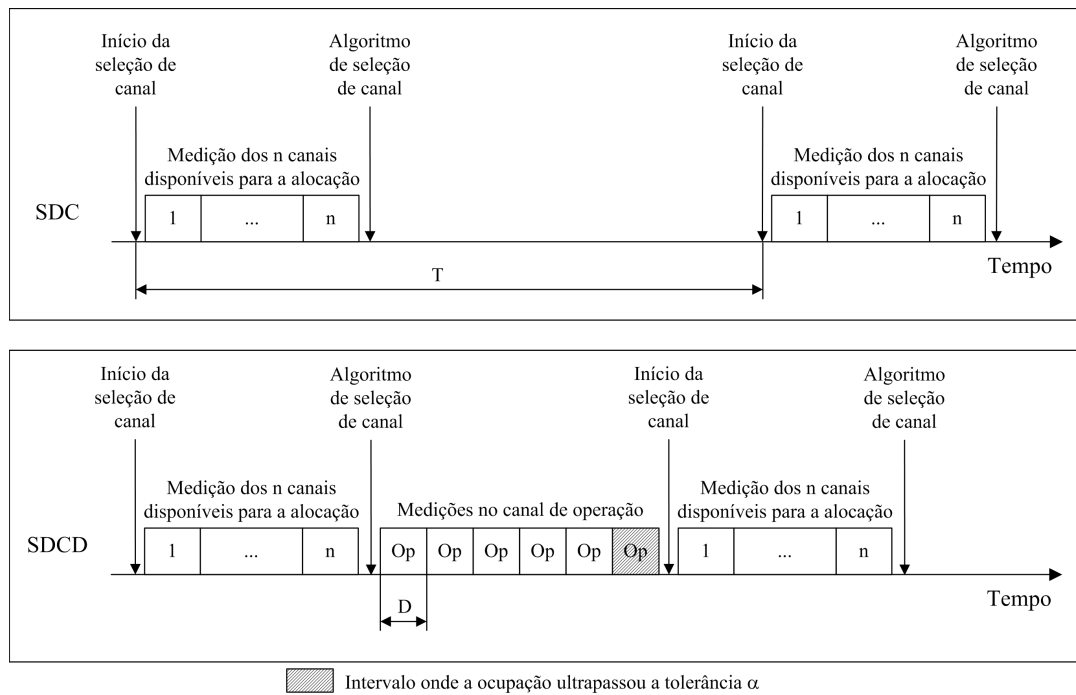


Figura 2. Funcionamento dos mecanismos SDC e SDCD

Variações bruscas nos padrões de interferência são uma característica muito comum em cenários com redes independentes. A entrada de novos BSSs e variações nas suas demandas de tráfego, que geram mudanças repentinas nos padrões de interferência, são problemas muito comuns e que, no caso do SDC, podem levar intervalos de tempo da ordem de minutos para serem detectadas. Com isso, verificou-se a necessidade de uma proposta que permitisse respostas mais rápidas aos problemas de interferência e desenvolveu-se o mecanismo SDCD.

Com o mecanismo SDCD, o AP requisita que suas estações cliente gerem relatórios em intervalos de tempo D , da ordem de segundos, sobre o nível de ocupação no canal de operação do BSS. Estas medições não impedem o funcionamento normal dos nós cliente no canal de operação, uma vez que, de acordo com o padrão 802.11k, não é necessário que os nós interrompam o envio e o recebimento de pacotes para realizar medições sobre o nível de ocupação [802.11k 2005]. Assim, o AP pode verificar, ao receber os relatórios periódicos, se o nível médio de ocupação presente no canal de operação ultrapassou o limiar de tolerância α . Quando o limiar de tolerância α é excedido, o processo de busca por um novo canal de operação é acionado. Com isso, o AP requisita então que suas estações cliente realizem medições sobre o nível de ocupação e ruído nos canais disponíveis para a alocação de canal. De posse destes dados, o AP executa o algoritmo de seleção de canal (Tabela 3), que agora possui apenas dois passos: seleciona-se os n canais

com menor nível médio de ocupação; e em seguida, dentre estes n canais, seleciona-se aquele com menor nível médio de ruído.

Algoritmo de Seleção de Canal do SDCD

Algoritmo no BSS i :

1: *seleciona os n canais com menor ocupação*

2: *seleciona, dentre os n canais, aquele com menor ruído*

Tabela 3. Algoritmo de Seleção de Canal SDCD

O mecanismo SDCD permite que mais informação sobre o canal atual de operação dos BSSs seja obtida. Além disso, permite que mudanças de canal sejam “disparadas” pela elevação do nível de compartilhamento da capacidade do canal de operação do BSS, fazendo com que a alocação de canal se ajuste com maior rapidez as mudanças nos padrões de interferência que afetam o desempenho do BSS.

4. Simulações

Para avaliar o desempenho do mecanismo proposto foram realizados experimentos com o simulador de redes ns-2 [NS-2 2005]. Para a realização dos experimentos com os mecanismos de seleção automática de canal foram necessárias uma série de modificações no código original do simulador ns-2, como foi descrito nos trabalhos anteriores [Silva and Rezende 2006b, Silva and Rezende 2006a]. Entretanto, para este trabalho, dois novos mecanismos foram implementados no simulador: o mecanismo *Hminmax* e o novo mecanismo SDCD.

Além da implementação destes mecanismos no ns-2, também foi desenvolvida uma ferramenta centralizada de alocação de canal. Tal ferramenta, denominada *Benchmark*, foi utilizada nos cenários gerados para os experimentos com o intuito de obter uma alocação de canal que fornecesse o limite superior de desempenho para cada cenário simulado. Com isto, poderão ser obtidas algumas conclusões a respeito do desempenho dos mecanismos de alocação automática de canal com relação a uma técnica de alocação de canal centralizada que utiliza informação sobre todos os BSSs existentes em uma região.

4.1. Ferramenta *Benchmark*

O estudo do problema da alocação de canal em cenários de administração centralizada mostrou que a maioria das soluções se baseia em modelagens do problema da interferência entre BSSs como um grafo, e na busca por configurações que minimizem uma função objetivo em específico. Baseado nesta observação, foi desenvolvida a ferramenta denominada *Benchmark*, que é capaz de ler o posicionamento dos cenários utilizados nas simulações com o ns-2 e fazer uma busca pela alocação de canais que minimiza uma função objetivo. Uma vez que a solução “ótima” é obtida, ela pode ser simulada pelo ns-2 com o cenário em questão.

Pode-se perceber que, na prática, esta ferramenta seria aplicável apenas em casos onde os BSSs possuem administração centralizada, porque ela depende de informações globais de posicionamento dos nós de uma região e, portanto, não poderia ser utilizada em um ambiente com BSSs independentes. Entretanto, como neste trabalho possuíam-se informações globais de posicionamento em todos os cenários com redes independentes

simulados, esta técnica foi utilizada para se buscar o limite superior de desempenho para as métricas avaliadas.

Na sua operação, a ferramenta *Benchmark* realiza a varredura de todas as possíveis alocações de canal e calcula um “custo” para cada configuração de acordo com uma função objetivo. Para a montagem do grafo de interferência utilizamos a modelagem descrita em [Mishra et al. 2005a], onde as arestas do grafo possuem pesos baseados na porcentagem de clientes dos BSSs que sofrem aquela interferência.

Algumas diferentes funções objetivo para a ferramenta *Benchmark* tiveram seu desempenho avaliado através de simulações. Entretanto, a que apresentou melhores resultados foi a função objetivo *Lsum*, proposta em [Mishra et al. 2005a]. Nela, calcula-se o somatório dos pesos das arestas do grafo para cada atribuição de canais possível em um determinado cenário, e escolhe-se aquela alocação onde o somatório é mínimo. Desta forma, com a função objetivo *Lsum*, procura-se uma alocação de canal que minimize o somatório da interferência que afeta os nós dos BSSs de um determinado cenário.

4.2. Ambiente de Simulação e Metodologia

Para avaliar os mecanismos de seleção de canal em cenários com redes 802.11 independentes, foi necessário reproduzir cenários com características típicas dessas redes. Para isto foram gerados 50 cenários diferentes com 4, 6, 8, 10, 12 e 14 BSSs, onde cada BSS era formado por um AP e cinco estações cliente que eram posicionados aleatoriamente dentro de uma área retangular de 1000 metros por 4000 metros. Isto possibilitou a execução de experimentos para cada densidade de BSSs e a apresentação dos resultados obtidos com intervalos de confiança de 95%.

Em todas as simulações, foram utilizados os parâmetros padrão do ns-2 para sensibilidade de recepção, detecção de portadora e potência de transmissão. O modelo de propagação empregado foi o *two-ray-ground*, onde apenas os efeitos de desvanecimento do sinal e reflexão com o solo são considerados. Por isso, o alcance de recepção de uma estação 802.11 fica em torno de 250 metros e o alcance de detecção de portadora em torno de 550 metros. Além disso, no posicionamento dos nós buscou-se criar cenários parecidos com os que ocorrem na prática nos casos onde existem redes independentes. Para isto foram garantidas as seguintes restrições:

- **Distância mínima entre APs** - uma distância mínima de 150 metros entre os pontos de acesso de redes distintas, pois na prática é improvável que APs de diferentes proprietários estejam muito próximos.
- **Distância máxima entre AP e seus clientes** - uma distância máxima de 150 metros entre os clientes e seu AP, evitando que os clientes fiquem fora do alcance de recepção do seu AP. Além disso, evitou-se que os clientes não ficassem posicionados muito próximos dos limites do alcance de recepção do AP, o que na prática geraria instabilidades geradas pelas eventuais variações do nível de sinal.
- **Distância mínima entre clientes** - uma distância de 50 metros entre os clientes evitou que dois clientes fossem posicionados muito próximos uns dos outros.

Foram realizados alguns experimentos variando os três parâmetros de posicionamento citados anteriormente. Entretanto, eles não causaram um impacto significativo nos resultados obtidos. Além dessas características, a taxa de transmissão de dados do 802.11

foi definida em 11 Mbps e a taxa básica em 1 Mbps, já o ruído de fundo presente nos canais foi definido em $10E-13$ Watts. Para a alocação de canal disponibilizou-se 3 canais não interferentes, representando os canais 1, 6 e 11 de uma rede 802.11 b ou g. Foram realizadas simulações com diferentes técnicas e mecanismos de alocação de canal: todos os BSSs no mesmo canal; uma alocação de canal aleatória; a alocação fornecida pela ferramenta *Benchmark*; e a alocação dinâmica gerada pelos mecanismos *Hminmax*, SDC e SDCD.

A duração da medição de cada canal durante o processo de varredura dos canais disponíveis, que é realizado pelo *Hminmax*, SDC e SDCD, foi definido em 150 ms. No caso dos mecanismos *Hminmax* e SDC, o intervalo T entre execuções do processo de seleção de canal foi definido em 1 minuto na média. Já no caso do SDCD, o intervalo D entre relatórios foi definido em 5 segundos. No SDC e SDCD, o limiar de tolerância α foi definido em 20% de ocupação e o parâmetro n definido em 1 canal. A escolha de n igual a 1 faz com que os algoritmos de seleção de canal do SDC e do SDCD selecionem apenas aquele canal com menor ocupação. Foram realizados experimentos com diferentes valores de n nos cenários utilizados neste trabalho, e com n igual a 1 foram obtidos os melhores resultados para os mecanismos SDC e SDCD. Isto indica que, pelo menos nestes cenários simulados, a interferência por compartilhamento do canal foi a que gerou maiores prejuízos no desempenho dos BSSs.

Foram realizados experimentos com dois tipos de tráfego diferentes: FTP e HTTP. No caso do tráfego FTP, simulou-se um *download* de um arquivo grande em cada estação cliente durante todo o experimento. O objetivo de utilizar este tipo de tráfego foi atingir o máximo da capacidade de utilização da rede em cada BSS. Desta forma foi possível maximizar os efeitos de interferência mútua entre BSSs, tornando possível a avaliação do nível de utilização dos recursos dos canais disponíveis. Os experimentos com tráfego FTP tiveram uma duração de 300 segundos cada.

Parâmetros do Tráfego HTTP		
Parâmetro	Distribuição	Características
Tamanho dos Objetos	Lognormal Truncada	Média = 7758 bytes Desvio = 126168 bytes Mínimo = 50 bytes Máximo = 2 Mbytes
Objetos por Página	Pareto Truncada	Média = 5,64 Máximo = 53
Leitura da Página	Exponencial	Média = 30 segundos
Processamento da Página	Exponencial	Média = 0,13 segundos

Tabela 4. Parametrização do tráfego HTTP

No caso do tráfego HTTP, utilizou-se o módulo de geração de tráfego *web cache* do ns-2, que foi parametrizado com os valores obtidos em [802.20 2003] e apresentados na Tabela 4. As simulações utilizando o tráfego HTTP consistiram de uma única sessão por estação cliente durando todo o experimento. Além disso, em cada BSS, uma das estações cliente realizava um *download* de um arquivo por FTP durando toda a simulação, com o objetivo de gerar tráfego de fundo. Os experimentos com tráfego HTTP tiveram

uma duração de 600 segundos cada.

4.3. Comparação dos Mecanismos de Seleção de Canal com Tráfego FTP

A Figura 3(a) apresenta os resultados para a métrica de vazão agregada normalizada com tráfego FTP. A vazão agregada é o somatório de todas as vazões de todos os fluxos de tráfego presentes em cada simulação, e representa o nível de utilização dos canais disponíveis para a alocação. Para a normalização dos resultados obtidos foi utilizada a equação 1, onde: n é o número de BSSs no cenário; V_{BSSi} é a vazão agregada individual do BSS i ; e $V_{BSSisolado}$ é o valor da vazão agregada obtido experimentalmente para um BSS isolado. Desta forma, os resultados de vazão agregada normalizada fornecerão valores entre zero e um, que, quanto mais próximos de um, indicam que o desempenho dos BSSs foi próximo do desempenho de um BSS isolado sem interferência.

$$\text{Vazão Agregada Normalizada} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{BSSi}}{n \times V_{BSSisolado}} \quad (1)$$

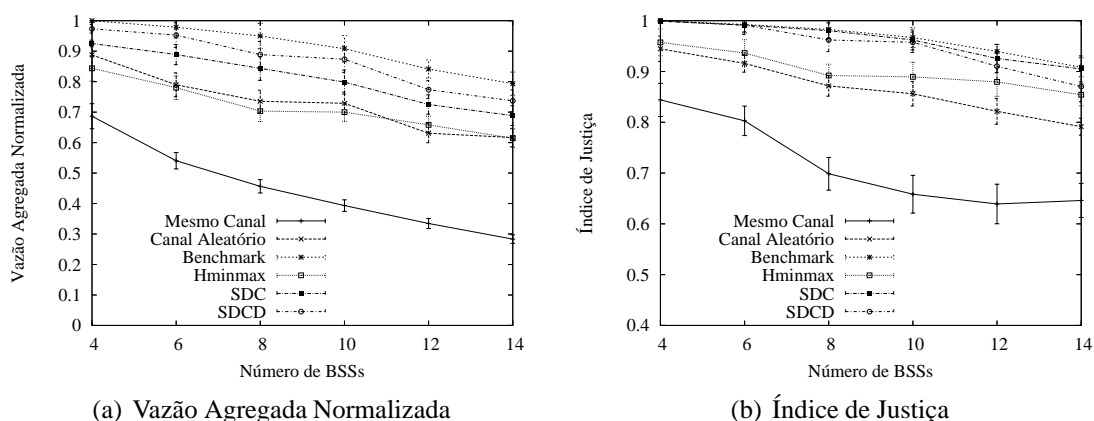


Figura 3. Comparação de desempenho dos diferentes tipos de alocação de canal com tráfego FTP

De acordo com a Figura 3(a), pode-se perceber que o mecanismo SDCD obteve desempenho mais próximo do atingido pela alocação de canal “ótima” fornecida pela ferramenta centralizada *Benchmark*. O SDCD apresentou, na média, ganhos de até 9% em relação ao SDC, 18% em relação ao *Hminmax* e 48% em relação à alocação do mesmo canal nos BSSs. O ganho em relação aos outros mecanismos ocorreu, pois este mecanismo consegue responder mais rapidamente aos problemas de interferência. Além disso, o *Hminmax* ainda apresenta a limitação de não conseguir captar todos os problemas de interferência na montagem de sua visão local do grafo de interferência, o que o fez apresentar desempenho inferior ao SDC e SDCD e semelhante a simples alocação aleatória de canais.

A outra métrica avaliada nos experimentos foi o índice de justiça entre as vazões agregadas dos BSSs. O índice de justiça é uma métrica, proposta em [Jain et al. 1984], que indica o nível de proximidade de um conjunto de valores. O valor do índice de justiça

é dado por $\frac{(\sum x_i)^2}{n \sum (x_i^2)}$, que fornece a justiça entre os n valores x_i . Este cálculo fornece valores entre zero e um, onde, quanto mais próximo de um, melhor é a justiça.

A Figura 3(b) mostra os resultados obtidos para o índice de justiça com o tráfego FTP. Para esta métrica percebe-se que os mecanismos SDC e SDCD foram os que apresentaram melhores resultados, ficando com um desempenho próximo ao obtido pelo *Benchmark*. Portanto, ao mesmo tempo que garante um bom desempenho agregado, o novo mecanismo SDCD é capaz de garantir justiça no compartilhamento da capacidade dos canais disponíveis entre os BSSs. Já o mecanismo *Hminmax* fica com um desempenho um pouco inferior por não ser capaz de detectar todos os tipos de interferência. Assim, alguns BSSs, que sofrem interferência “não-detectável”, ficam com um desempenho inferior a outros BSSs que sofrem apenas interferência “detectável” e, com isto, o compartilhamento dos recursos torna-se injusto.

4.4. Comparação dos Mecanismos de Seleção de Canal com Tráfego HTTP

As Figuras 4(a) e 4(b) apresentam os resultados obtidos para a vazão agregada normalizada e para o índice de justiça entre as vazões agregadas dos BSSs com tráfego HTTP. Neste caso, em ambas as métricas, os mecanismos SDC e SDCD foram superiores ao mecanismo *Hminmax*. Isto pode ser explicado devido à ineficiência do mecanismo *Hminmax* em captar a interferência que atinge os nós do BSS. Além disso, pode-se perceber também que o SDC e o SDCD apresentaram desempenho próximo ao obtido com a ferramenta *Benchmark*, com uma pequena vantagem, na média, para o mecanismo SDCD.

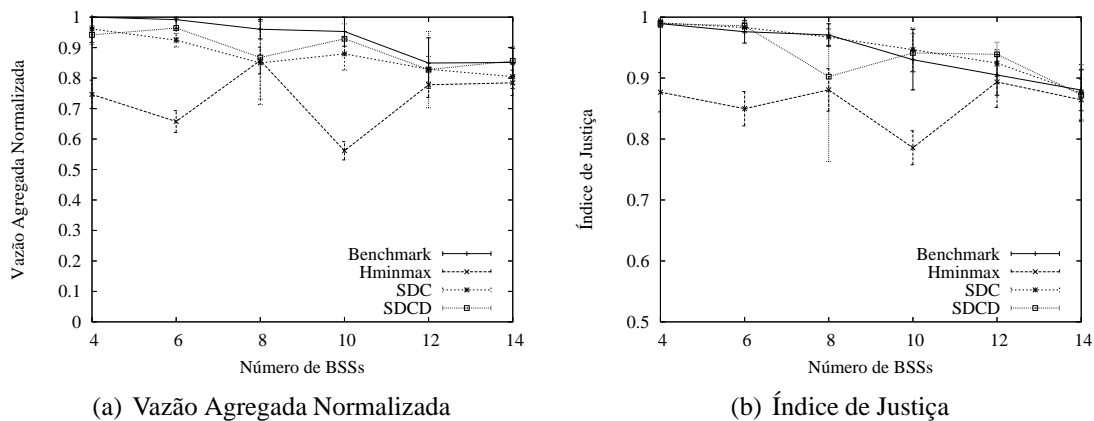


Figura 4. Comparação de desempenho dos diferentes tipos de alocação de canal com tráfego HTTP

5. Conclusão e trabalhos futuros

A alocação de canal em cenários independentes é um problema importante para as redes 802.11 no modo infra-estruturado, pois a falta de planejamento da atribuição de canais aos BSSs pode prejudicar o desempenho dos mesmos. Algumas propostas existentes na literatura procuram resolver o problema da alocação de canal em cenários independentes através de mecanismos de seleção automática de canal para estas redes. Entretanto, estes mecanismos ainda apresentavam limitações que poderiam reduzir seu desempenho. Pensando neste problema foi proposto o mecanismo SDCD, que é uma evolução da nossa

proposta anterior de seleção automática de canal, SDC. O novo mecanismo tem como objetivo ser mais eficiente na identificação das variações de interferência que afetam o desempenho do BSS, “disparando” a busca por um melhor canal de operação quando interferência prejudicial é detectada no canal de operação.

A avaliação do mecanismo SDCD e a comparação de seu desempenho com as propostas anteriores SDC e *Hminmax* mostrou que ele obtém, na maioria dos casos, um desempenho superior para vazão agregada em relação as outras propostas. Já no caso da justiça, o SDCD apresenta desempenho superior ao mecanismo *Hminmax* e semelhante ao mecanismo SDC. Isto mostra que o SDCD atinge o seu objetivo, melhorando a capacidade agregada e a justiça na utilização dos canais disponíveis para a alocação quando comparado com as outras propostas existentes na literatura.

Para dar prosseguimento ao trabalho pretende-se implementar e avaliar o outro mecanismo de seleção automática de canal, MAXchop. Além disso, pretende-se também desenvolver protótipos dos mecanismos de seleção automática de canal que possibilitem experimentos para a avaliação de seu desempenho em ambientes reais, com todas as restrições e características não modeladas pelas simulações.

Referências

- 802.11b (1999). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band. IEEE Standard.
- 802.11g (2003). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz Band. IEEE Standard.
- 802.11k (2005). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Radio Resource Measurement. IEEE Draft Standard.
- 802.20 (2003). Draft 802.20 Permanent Document: Traffic Models for IEEE 802.20 MBWA System simulations. IEEE Draft Document.
- Akella, A., Judd, G., Seshan, S., and Steenkiste, P. (2005). Self-management in chaotic wireless deployments. In *International Conference on Mobile computing and networking (MOBICOM)*.
- Hills, A. (2001). Large-Scale Wireless LAN Design. *IEEE Communications Magazine*, 39.
- Hills, A. and Friday, B. (2004). Radio resource management in wireless LANs. *IEEE Communications Magazine*, 42.
- Hills, A. and Schlegel, J. (2004). Rollabout: a wireless design tool. *IEEE Communications Magazine*, 42.
- Jain, R., Chiu, D., and Hawe, W. (1984). A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems. Technical Report Report TR-301, DEC Research.
- Lee, Y., Kim, K., and Choi, Y. (2002). Optimization of AP placement and channel assignment in wireless LANs. In *Local Computer Networks (LCN)*.

- Leung, K. K. and Kim, B.-J. (2003). Frequency assignment for IEEE 802.11 wireless networks. In *IEEE Vehicular Technology Conference*.
- Ling, X. and Yeung, K. L. (2005). Joint access point placement and channel assignment for 802.11 wireless LANs. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*.
- Mahonen, P., Riihijarvi, J., and Petrova, M. (2004). Automatic channel allocation for small wireless local area networks using graph colouring algorithm approach. In *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*.
- Mishra, A., Agrawal, D., Shrivastava, V., Banerjee, S., and Ganguly, S. (2006a). Distributed channel management in uncoordinated wireless environments. In *International Conference on Mobile computing and networking (MOBICOM)*.
- Mishra, A., Banerjee, S., and Arbaugh, W. (2005a). Weighted coloring based channel assignment for WLANs. In *Mobile Computing and Communications Review*.
- Mishra, A., Brik, V., Banerjee, S., Srinivasan, A., and Arbaugh, W. (2006b). A client-driven approach for channel management in wireless LANs. In *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)*.
- Mishra, A., Rozner, E., Banerjee, S., and Arbaugh, W. (2005b). Exploiting partially overlapping channels in wireless networks: Turning a peril into an advantage. In *Internet Measurement Conference (IMC)*.
- Mishra, A., Shrivastava, V., Banerjee, S., and Arbaugh, W. (2006c). Partially overlapped channels not considered harmful. In *Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems (SIGMETRICS)*.
- NS-2 (2005). The network simulator - ns-2.
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/> - último acesso em 10/10/2006.
- Park, S. (2004). Optimal access point selection and channel assignment in IEEE 802.11 networks. Master's thesis, University of North Texas.
- Rodrigues, R. C., Mateus, G. R., and Loureiro, A. A. F. (1999). Optimal base station placement and fixed channel assignment applied to wireless local area network projects. In *IEEE International Conference on Networks (ICON)*.
- Rodrigues, R. C., Mateus, G. R., and Loureiro, A. A. F. (2000). On the design and capacity planning of a wireless local area network. In *Network Operations and Management Symposium (NOMS)*.
- Silva, M. W. R. and Rezende, J. F. (2006a). A dynamic channel allocation mechanism for IEEE 802.11 networks. In *VI International Telecommunications Symposium (ITS)*.
- Silva, M. W. R. and Rezende, J. F. (2006b). Um mecanismo para a seleção dinâmica de canal em redes IEEE 802.11 infra-estruturadas. In *XIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC)*.