

Alocação de Canais com Utilidade Máxima para Usuários em Redes Locais Sem Fio

Thiago Alcântara Luiz

Departamento de Computação - Universidade Federal de Ouro Preto
Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil
thigoalcantaraluiz@yahoo.com.br

Alan Robert Resende de Freitas

Departamento de Computação - Universidade Federal de Ouro Preto
Morro do Cruzeiro, 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil
alandefreitas@iceb.ufop.br

Frederico Gadelha Guimarães

Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil
fredericoguimaraes@ufmg.br

RESUMO

O problema de alocação de canais consiste em definir a frequência utilizada pelos pontos de acesso (APs) em redes locais sem fio (WLAN). A distribuição equilibrada das velocidades de conexão é um importante fator que afeta a qualidade da rede, uma vez que se relaciona diretamente com a satisfação dos usuários. Por esta razão, propomos um novo modelo de alocação de canal que visa maximizar a qualidade total da conexão do usuário, considerando sua utilidade marginal. Os resultados mostram que um modelo de alocação que não considera a utilidade total de cada conexão tende a dar prioridade a qualidade de conexão de alguns usuários e conduzem a um grande desequilíbrio na distribuição da velocidade de conexão entre os usuários. Assim, o novo modelo pode lidar com a importância da degradação causada pelos níveis de interferência da conexão do usuário separadamente.

PALAVRAS CHAVE. Alocação de canal, Redes Locais Sem Fio, Utilidade Marginal.

Área principal: PO em Telecomunicações e Sistemas de Informação (TEL&SI)

ABSTRACT

The channel allocation problem consists in defining the frequency used by Access Points (APs) in Wireless Local Area Networks (WLAN). A balanced distribution of connection speeds is an important factor affecting the perceived quality of the network, since it is directly related to the satisfaction of users. For this reason, we propose a new model for channel allocation that aims to maximize the total quality of the connection of the user by considering their marginal utility. The results show that an allocation model that does not take the total utility of each connection into account tends to prioritize the quality of connection of a few users and lead to a large unbalance in the distribution of connection speed between users. Thus, the new model can handle the importance of degradation caused by the levels of interference in the user connection separately.

KEYWORDS. Channel Allocation, Wireless Local Area Network, Marginal Utility.

Main area: OR in Telecommunications and Information Systems (TEL&IS)

1. Introdução

O aumento da utilização de redes sem fios seguindo o padrão IEEE 802.11 nos últimos anos pode ser facilmente percebido. Entre os fatores que justificam a crescente utilização, encontram-se a busca por mobilidade, facilidade de instalação e utilização, custos reduzidos e elevadas taxas de transferência de dados. Com esses fatores combinados, as redes locais sem fio (do inglês *Wireless Local Area Network* ou WLAN) tornaram-se atraentes para os mais diversos ambientes, sejam privados ou públicos. Entretanto, permitir que os usuários desfrutem com qualidade dos serviços fornecidos pelas WLANs torna-se um desafio.

A demanda crescente de usuários e APs inseridos na rede, a proximidade de diferentes WLANs, a intensidade do sinal transmitido pelo AP e a intensidade do sinal recebida pelos usuários são alguns exemplos de características que tornam o planejamento eficiente de uma WLAN uma tarefa muito complexa. O problema de alocação de canais para os APs na WLAN (Seção 2) é muito importante, especialmente se a rede é de grande porte. Estes projetos são, em sua maioria, orientados apenas para a minimização do nível de interferência de sinal na rede. No entanto, as soluções orientadas para a redução global de interferência normalmente negligenciam a qualidade de conexão dos usuários individualmente. Isto permite que usuários com baixa velocidade de conexão sejam deliberadamente esquecidos, o que é compensado com um aumento na qualidade de conexão para os usuários já bem atendidos.

Modelos de alocação de canal que focam apenas na soma das velocidades de conexão não contribuem efetivamente para o equilíbrio da qualidade para os usuários da rede. Normalmente, esses projetos não consideram estimativas de utilidade ao se estabelecer uma nova conexão entre um usuário e um AP em um determinado canal. Como consequência, os usuários tendem a se conectar ao AP mais próximo em vez de um AP que maximiza a qualidade de sua conexão.

Neste contexto, apresentamos neste trabalho: (i) um modelo de alocação de canal que maximiza a utilidade total da conexão para cada usuário (Seção 3); e (ii) um Algoritmo Memético (Eiben e Smith, 2010) e operadores genéticos relacionados ao modelo de alocação de canal proposto (Seção 4).

Este trabalho está organizado da seguinte forma. O problema da utilidade para os usuários em redes IEEE 802.11 é discutido pela primeira vez na Seção 2. Na Seção 3, propomos um modelo de alocação de canal em WLAN utilizando a utilidade marginal total da conexão para os usuários. Detalhes sobre o Algoritmo Memético desenvolvido para o experimentos são apresentados na Seção 4. Na Seção 5, comparamos as soluções encontradas utilizando o modelo proposto com os resultados obtidos por um modelo de alocação de canais que não considera a utilidade total das conexões. As soluções obtidas com o modelo proposto geram um maior equilíbrio na distribuição das velocidades de conexão em toda a rede e a qualidade do serviço recebida por todos os usuários. Na Seção 6, apresentamos as conclusões e ideias para trabalhos futuros.

2. A utilidade das conexões

A qualidade da conexão oferecida ao usuário por um AP é altamente influenciada pelo número de usuários conectados ao AP e pela interferência na rede. Atender um usuário envolve o estabelecimento de uma conexão que favoreça a utilização da capacidade da rede. Por esta razão, os mecanismos de alocação de canal devem considerar a utilidade da conexão com o objetivo de equilibrar a distribuição da capacidade da rede. A distribuição equilibrada das velocidades de conexão é um importante fator que afeta a qualidade da rede, uma vez que se relaciona diretamente com a satisfação dos usuários.

Redes IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g, e 802.11n operam em frequências ISM (*Industrial, Scientific and Medical Band*) com 2.4 GHz, sendo 11 canais disponíveis de 22 MHz com uma separação de 3 MHz entre eles. Por esta razão, apenas três canais não interferem entre si (canais 1, 6 e 11).

Em ambientes com muitos usuários, a rede exige dezenas de APs e obter soluções que maximizam a utilidade da conexão para os usuários torna-se uma tarefa não trivial. Em grandes

redes sem fio, é praticamente impossível encontrar uma alocação de canal onde nenhum usuário estará submetido a alguma interferência, dada a restrição severa de canais não sobrepostos e a sobrecarga de AP inseridos na rede. Portanto, o mapeamento de canais em uma WLAN requer estratégias adicionais para maximizar a qualidade das conexões.

2.1. Trabalhos relacionados

Akl e Arepally (2007) propuseram um método no qual cada AP executa periodicamente o mecanismo de alocação. Cada AP determina a interferência máxima a que pode estar submetido. Se a alocação atual provoca uma interferência maior do que esse limite, o método proposto permite que cada AP defina seu canal para tentar minimizar a interferência causada pelos APs vizinhos, utilizando um modelo de perda de percurso. No modelo de alocação de canais proposto, não há usuários no ambiente, ou seja, a interferência é calculada apenas entre APs. Assim, o nível de interferência que afeta os usuários e a perda efetiva na conexão causada pelo posicionamento dos mesmos é desconsiderado. Entretanto, em redes WLAN, é possível que os usuários estejam longe dos APs e se movendo em direção a área de cobertura de outros APs. Estas características podem ser observadas em outros trabalhos, como em Hills (2001), Hills e Schlegel (2004), Mahonen et al. (2005), Vanhatupa et al. (2007) e Drieburg et al. (2007).

Lima et al. (2012) abordou os problemas de localização e cobertura dos APs, balanceamento de carga e alocação de canais. O problema de alocação de canais foi tratado separadamente utilizando uma heurística gulosa que consiste em uma variação ponderada de um algoritmo sequencial, comumente usado para alocação de canais e proposto por Brélaz (1979), conhecido como *Degree of Saturation* (DSATUR). O algoritmo desenvolvido leva em consideração a demanda dos APs e o nível de interferência gerado por aqueles que operam no mesmo canal. No entanto, os autores adotaram um modelo de alocação que estima a interferência através do percentual de usuários afetados por APs que compartilham o mesmo canal de operação. O modelo poderia tornar-se mais realista se adotado um mecanismo para estimar a interferência, como por exemplo, a intensidade de sinal conflitante recebida por um usuário situado em regiões de sobreposição espectral.

Handrizal et al. (2012) propôs um algoritmo de coloração de grafos conhecido como *Vertex Merge* para realizar a alocação de canais. O algoritmo foi projetado para minimizar o número de cores necessárias para colorir um grafo de tal modo que os nós adjacentes utilizem cores diferentes. Esta característica faz com que o algoritmo seja incapaz de resolver algumas instâncias. Outro fator importante é que, no problema de alocação de canais em WLAN, minimizar o número de cores não conduz necessariamente a um cenário com baixa interferência devido à proximidade entre alguns APs. A alocação de canais envolve a reutilização dos canais de uma forma eficiente, obtendo o menor nível de interferência possível ou o maior equilíbrio nas conexões dos usuários.

Uma ferramenta capaz de otimizar problemas críticos relacionados a um projeto de WLAN foi proposta em Yao et al. (2013). Entre estes problemas, o problema de alocação de canais é discutido utilizando uma estratégia baseada no ajuste da potência de transmissão do AP. O objetivo é reduzir a região de sobreposição entre APs vizinhos que operam no mesmo canal. De acordo com esta estratégia, se dois APs utilizam o mesmo canal, ambos devem ajustar a sua potência de transmissão, como recomendado em Bae et al. (2012). Além disso, sugerem que esta estratégia pode se tornar mais eficiente se um mecanismo para forçar a desconexão for adotado. Neste caso, após um ajuste, um usuário é desconectado e, em seguida, reconectado ao AP que possui o sinal mais forte, de acordo com Park et al. (2012). No entanto, este método está voltado apenas em diminuir a probabilidade de colisões dada a redução da região de sobreposição.

O método distribuído com a presença de usuários heterogêneos, proposto por Gong et al. (2014), considera alguns pontos cruciais mencionados anteriormente. No entanto, assim como os demais modelos de alocação de canais apresentados, não relaciona a intensidade do sinal oferecida a um usuário e a perda efetiva de qualidade com o nível de interferência do usuário. Por esta razão, não adotam qualquer mecanismo para verificar se todos os usuários têm qualidade de conexão satisfatória, apenas o índice global é considerado. Nestas abordagens, os usuários podem estar

sujeitos a elevados níveis de interferência e com falhas de conexão, pois desconsideram a utilidade e distribuição da conexão entre os usuários.

Neste artigo, é apresentado um novo modelo de alocação de canais que maximiza a utilidade total da conexão para cada usuário. Deste modo, soluções com um melhor equilíbrio na distribuição das velocidades de conexão podem ser encontradas e a qualidade das conexões para os usuários, individualmente, não é desconsiderada. O modelo proposto é descrito na próxima seção.

3. Modelo de alocação de canais

3.1. Utilidade marginal

O conceito de utilidade está relacionado com a satisfação de um indivíduo após a aquisição de uma unidade de um bem ou serviço. Utilidade não pode ser diretamente observada ou medida, mas sabemos que a utilidade que um bem ou serviço gera para um indivíduo é maior ou menor de acordo com a ação tomada (adquiri-lo ou não). O indivíduo por si só é responsável por definir sua satisfação de acordo com os bens ou serviços que adquiriu. Se um indivíduo entende que sua satisfação aumentou, então a utilidade dos bens ou serviços adquiridos também aumentou. Por esta razão, a utilidade é uma medida relativa utilizada para informar se algo é preferível em relação a outro ao invés de determinar uma medida absoluta de quanto é preferível.

A utilidade que a aquisição de uma unidade extra de um bem ou serviço fornece ao indivíduo é conhecida como utilidade marginal. Devido à escassez dos recursos, não se pode obter uma quantidade ilimitada de um bem ou serviço, assim, deve-se alocar os recursos para atingir os objetivos. Primeiro, os recursos devem ser alocados para atender o objetivo mais desejado. O próximo recurso servirá o segundo objetivo mais desejado e assim por diante. Isso quer dizer que cada unidade adicional de um bem ou serviço irá satisfazer relativamente menos um objetivo e, portanto, nos fornecer menos utilidade marginal. Este comportamento define a Lei da Utilidade Marginal Decrescente (Frank e Bernanke, 2009). Mais detalhes podem ser encontrados em Mankiw (2011).

3.2. Modelo de alocação baseado em utilidade

O modelo de alocação de canais proposto neste trabalho considera critérios que favorecem a utilização da rede por todos os usuários, sem qualquer prioridade devido a sua localização no ambiente ou vazão da rede. O modelo é composto pelas seguintes variáveis:

- n : número de usuários.
- m : número de APs.
- $c_i \in C$: cliente i .
- $p_j \in P$: ponto de acesso j .
- e_{ij} : qualidade da conexão oferecida pelo AP p_j quando conectado a c_i .
- l_{ij} : perda percentual na qualidade de conexão do cliente c_i caso p_j esteja no mesmo canal de seu AP.
- $u(v)$: função decrescente que retorna a utilidade de se ter uma conexão de velocidade v .

A função de utilidade $u(v)$ deve estar relacionada com a Lei da Utilidade Marginal Decrescente discutida anteriormente, de modo que $u(v_1) > u(v_2)$ se $v_1 < v_2$. A utilidade é utilizada no modelo para permitir que um usuário que está sendo servido com velocidade de conexão lenta não seja prejudicado ainda mais, por causa do nível de interferência, para que a conexão total disponibilizada na rede aumente.

As variáveis de decisão do modelo são:

- g_j : canal de operação do AP p_j .
- d_{ij} : 1, se c_i está sendo atendido por p_j , e 0 caso contrário.

A variável de decisão d_{ij} é utilizada para informar se o usuário i está conectado ao AP j e, para garantir que todo usuário está conectado a um AP, temos: $\sum_{j=1}^m d_{ij} = 1; \forall i \in C$.

Seja μ_i o índice do AP que atende o cliente c_i . μ_i pode ser formalmente definido por (1).

$$\mu_i = \{j | d_{ij} = 1\} \quad (1)$$

É possível agora referir-se ao AP que atende o cliente c_i como simplesmente p_{μ_i} . A partir desta definição, a função $h(c_i, p_j)$ em (2) pode ser definida como:

$$h(c_i, p_j) = \begin{cases} 0, & \text{se } d_{ij} = 1 \\ 0, & \text{se } d_{ij} = 0 \wedge g_j \neq g_{\mu_i} \\ l_{ij}, & \text{se } d_{ij} = 0 \wedge g_j = g_{\mu_i} \end{cases} \quad (2)$$

Esta função indica se o cliente c_i está sujeito a algum nível de interferência do AP p_j .

A Equação (2) refere-se a perda efetiva que o AP p_j causa na conexão do cliente c_i . Esta função fornece $h(c_i, p_j) = 0$ se o AP p_j atende o cliente c_i . Do mesmo modo, $h(c_i, p_j) = 0$ se p_j não opera no mesmo canal que p_{μ_i} .

Se o AP p_j não atende o cliente c_i e, ao mesmo tempo, opera na frequência do AP p_{μ_i} que c_i está conectado, então há interferência, que é dado por $h(c_i, p_j) = l_{ij}$.

A Equação (3) corresponde ao fator multiplicador da qualidade final de conexão do cliente c_i devido a interferência de outros APs, ou seja, é a perda de percentual total que o usuário irá experimentar em sua conexão em um determinado mapeamento de canal.

$$q(c_i, P) = \prod_{j=1}^m (1 - h(c_i, p_j)) \quad (3)$$

Finalmente, a Equação (4) representa a função objetivo, que corresponde à maximização da utilidade de se ter uma conexão de velocidade v , considerando um dado mapeamento de canal, a qualidade de conexão entre um cliente i e o AP p_{μ_i} , e as possíveis perdas na conexão dos usuários causadas pelos APs da rede.

$$\max f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} u(e_{ij} q(c_i, P)) \quad (4)$$

4. Algoritmo Memético

4.1. Configuração e parâmetros

Os valores para os parâmetros do Algoritmo Memético foram definidos em 90 segundos para o tempo de execução, 50 indivíduos para o tamanho da população e 0.9 a probabilidade de cruzamento. Os demais valores serão descritos na sequência. O método de seleção utilizado é o Torneio Binário.

4.2. Representação das soluções

No Algoritmo Memético desenvolvido para o problema, uma solução candidata (indivíduo) é representado pelos vetores a e b , que correspondem às variáveis de decisão g_j e d_{ij} , respectivamente. Para obter o valor de g_j (canal utilizado pelo AP p_j), basta acessar a posição j no vetor a e verificar o valor armazenado.

Por outro lado, na representação de d_{ij} , cada posição i do vetor b corresponde a um cliente c_i e o índice j armazenado em cada posição representa um AP p_j .

4.3. Operadores genéticos

No Algoritmo Memético desenvolvido foi adotado o cruzamento uniforme. Neste operador, um vetor aleatório binário com o mesmo tamanho dos vetores a e b é produzido. O valor de cada posição do vetor a é copiado do primeiro pai se no vetor binário a mesma posição corresponde a 0, ou do segundo pai, caso contrário. O cruzamento para o vetor b é análogo.

Além do operador de cruzamento, cada indivíduo está sujeito a mutação. Cada posição j do vetor a tem uma probabilidade $1/m$ de ser alterado. Assumindo uma mutação na posição j , esta modificação consiste em trocar o canal da AP p_j por um outro canal disponível. Se os APs utilizam apenas os canais não sobrepostos, uma modificação na posição j corresponde a trocar o canal 1 pelo canal 6 ou 11.

Ainda considerando o indivíduo sujeito a mutação, cada posição do vetor b tem probabilidade $1/n$ de ser modificado. A modificação na posição i do vetor b consiste na atribuição de outro AP para atender o usuário c_i . O AP é escolhido de acordo com uma distribuição Gaussiana de tal maneira que os APs fisicamente mais próximos têm maior probabilidade de serem escolhidos para a nova atribuição.

4.4. Busca local

Um algoritmo de busca local consiste em, dada uma solução corrente (ou inicial), percorrer a vizinhança desta solução em busca de outra com valor de função objetivo maior. Se for encontrada uma solução vizinha com função objetivo maior que a função objetivo da solução corrente, para um problema de maximização, esta solução vizinha torna-se a nova solução corrente e o processo se repete (estratégia *first-improvement*). Caso contrário, a solução corrente é um ótimo local em relação à vizinhança adotada e a busca encerra. Trocar o canal de um dos APs ou definir outro AP possível para atender um dos usuários, caracteriza a criação de uma solução vizinha. O Algoritmo 1 ilustra as etapas de uma busca local que maximiza uma função objetivo (fx).

```
Entrada: solução inicial
Saída: solução final
1 s ← solução inicial;
2 melhorando ← true;
3 enquanto melhorando faça
4     melhorando ← false;
5     para cada vizinho s' de s, em ordem aleatória faça
6         enquanto melhorando == false faça
7             se  $fx(s') > fx(s)$  então
8                 s ← s';
9                 melhorando ← true;
10        fim
11    fim
12 fim
13 fim
14 retorna s;
```

Algorithm 1: Busca Local

5. Experimentos

5.1. Instâncias

O cenário utilizado nos experimentos tem características de uma WLAN com 400 usuários em um ambiente de $160.000 m^2$. O cenário é criado com duas aglomerações Gaussianas de 100 usuários cada. Os outros 200 usuários estão distribuídos aleatoriamente com uma distribuição uniforme. Todas essas características seguem as orientações fornecidas em Lima et al. (2012). O

algoritmo multi-objetivo proposto pelos autores minimiza a quantidade de APs e o desequilíbrio de carga dos APs. Deste modo, o método proposto por Lima et al. (2012) foi utilizado para determinar o número e localização dos APs no cenário. Assim, a rede é criada com 18 APs. O alcance da comunicação de cada AP é de 100 metros.

Além deste cenário mais representativo, foram geradas outras 300 instâncias com características ligeiramente diferentes de planejamento para serem analisadas nos experimentos. Neste conjunto de instâncias, cada cenário tem um número diferente de aglomerações (entre 1 e 5) e uma proporção de usuários por aglomeração (entre 75 e 125 usuários). Por outro lado, os cenários têm entre 15 e 30 APs e a posição dos APs foi determinada pelo algoritmo de agrupamento K -médias (MacQueen, 1967).

A qualidade de conexão e_{ij} fornecida ao usuário c_i pelo AP p_j foi definida como equivalente a largura de banda do AP, em Mbps (*Megabits per second*), dividida entre os usuários conectados a ele. Entretanto, devido a distância entre o usuário e o AP, a diminuição na qualidade de conexão segue a diminuição da intensidade do sinal recebida pelo usuário. A perda de intensidade do sinal é estimada através do modelo de perda de percurso *Log-Distance*. Mais detalhes sobre o modelo de perda de percurso podem ser encontrados em Gong et al. (2014).

A perda l_{ij} , com $0 \leq l_{ij} \leq 1$, é 0 para as condições apresentadas anteriormente. Além disso, é 0 se a distância entre o usuário c_i e o AP p_j for maior ou igual a 100 metros. Terá valor igual a um se a distância é inferior a 1 metro. Caso contrário, a perda l_{ij} na conexão do usuário c_i causada pelo AP p_j é definida pelo modelo de perda de percurso *Log-Distance*.

A largura de banda do AP varia de 54 Mbps (protocolo 802.11g) até 600 Mbps no melhor dos casos. Contudo, a largura de banda do AP foi definida como 54 Mbps.

5.1.1. Função de utilidade

Como discutido nas seções anteriores, utilizamos o conceito de utilidade marginal para determinar a qualidade da conexão de um usuário. Como uma medida rigorosa de utilidade ordinal não permitiria comparações interpessoais de valor, definimos uma função que fornece a utilidade marginal cardinal de uma solução, ver Equação (5). Esta é uma quantificação possível da utilidade marginal em relação à velocidade de conexão. Nesta equação, $m(v)$ representa a utilidade marginal, u_0 é a utilidade inicial, d é a perda de utilidade nos próximos Mbps e v é a velocidade de conexão.

$$m(v) = u_0 \times (1 - d)^v \quad (5)$$

A utilidade inicial u_0 representa a utilidade de uma conexão para o usuário quando a velocidade é zero. Alterar a constante u_0 simplesmente transforma linearmente a função objetivo e teríamos um problema equivalente. A perda de utilidade $0 < d < 1$ é um parâmetro que indica quanto a utilidade marginal diminui a medida que a velocidade do usuário aumenta 1 Mbps. Quando o parâmetro $d = 0$, este modelo corresponde ao somatório de velocidade de conexão. Quando d aproxima de 1, o modelo se concentra na equidade na distribuição da velocidade de conexão. A perda de utilidade está associada com a velocidade de conexão v , pois quanto maior a velocidade da conexão, menor é o impacto na sua conexão e menor é a utilidade marginal. Por esta razão, os usuários com baixa velocidade de conexão devem ser protegidos de um elevado nível de interferência. A Figura 1 ilustra a utilidade marginal de uma conexão utilizando $u_0 = 100$ e $d = 0,1$.

A utilidade total é a área do ponto que indica velocidade zero até o ponto que indica a velocidade v , e é mostrado na Figura 1. Depois de certo ponto, não há aumento significativo na utilidade total, isto é, atribuir um usuário com alta velocidade de conexão a um AP que oferece ainda mais velocidade, não causa um aumento significativo na utilidade total. Por outro lado, atribuindo um usuário com baixa velocidade de conexão a um AP que oferece melhor serviço causa um aumento significativo na utilidade total. A utilidade total $u(v)$ é dada pela integral da utilidade marginal, conforme a Equação (6).

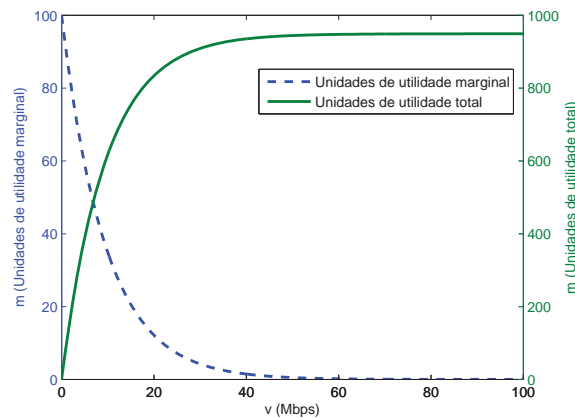


Figura 1: Utilidade marginal e utilidade total de uma conexão.

$$u(v) = \left[\frac{u_0}{\ln(1-d)} \right] \times [(1-d)^v - 1] \quad (6)$$

5.1.2. Canais

Utilizar apenas os três canais não sobrepostos é uma solução geralmente adotada por projetistas e administradores de redes, dada a dificuldade em considerar uma abordagem sistemática para lidar com a interferência entre canais que se sobrepõem. Por esta razão, consideramos os canais $\{1, 6, 11\}$ no problema de alocação de canais como em Manitpornsut et al. (2009), Bae et al. (2012), Balbi et al. (2012), Lima et al. (2012) e Park et al. (2012).

5.2. Modelo usado para comparação

O modelo de alocação proposto na Seção 3 tem como objetivo maximizar a utilidade total da conexão para os usuários. Removendo a função decrescente $u(v)$ da Equação (4) na Seção 3, tem-se um modelo que maximiza a qualidade global de conexão, semelhante aos modelos usualmente encontrados na literatura. Assim, as soluções encontradas pelo modelo de alocação proposto serão comparadas com as soluções obtidas usando o modelo de alocação com a função objetivo apresentada na Equação (7).

$$\max f(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} e_{ij} q(c_i, P) \quad (7)$$

O Algoritmo Memético desenvolvido para os experimentos é formado pelos operadores genéticos e por um algoritmo de busca local, conforme descrito na Seção 4. Utilizando estes componentes separadamente, obtêm-se outros dois algoritmos: um algoritmo de busca local e um Algoritmo Evolutivo (semelhante ao Algoritmo Memético, mas sem a utilização da busca local). Inicialmente nos experimentos, executamos o Algoritmo Evolutivo 33 vezes em cada modelo. A partir dessas execuções, é possível extrair a melhor, pior e média das soluções.

5.3. Resultados

A Figura 2(a) e a Figura 2(b) ilustram, respectivamente, a melhor solução encontrada pelo Algoritmo Evolutivo quando maximizado a qualidade global da rede e quando maximizado a utilidade total da conexão dos usuários. Nas figuras que ilustram as soluções encontradas, as cores azul, verde e vermelho correspondem aos canais 1, 6, e 11, respectivamente. Quadrados e pontos representam os APs e os usuários na rede, respectivamente. A linha que une um ponto a um quadrado indica a conexão entre um usuário e um AP.

É possível observar na Figura 2(a) que a maioria dos APs estão sobrecarregados, enquanto cinco APs fornecem serviço para apenas um usuário. Estes usuários estão recebendo uma qualidade de conexão próxima de 54 Mbps, enquanto os outros usuários têm de compartilhar esta velocidade com outros 40 usuários, além de sofrerem os efeitos da interferência. Este é o comportamento clássico obtido ao adotar modelos de alocação de canais que desconsideram a satisfação do usuário na formulação do problema de otimização.

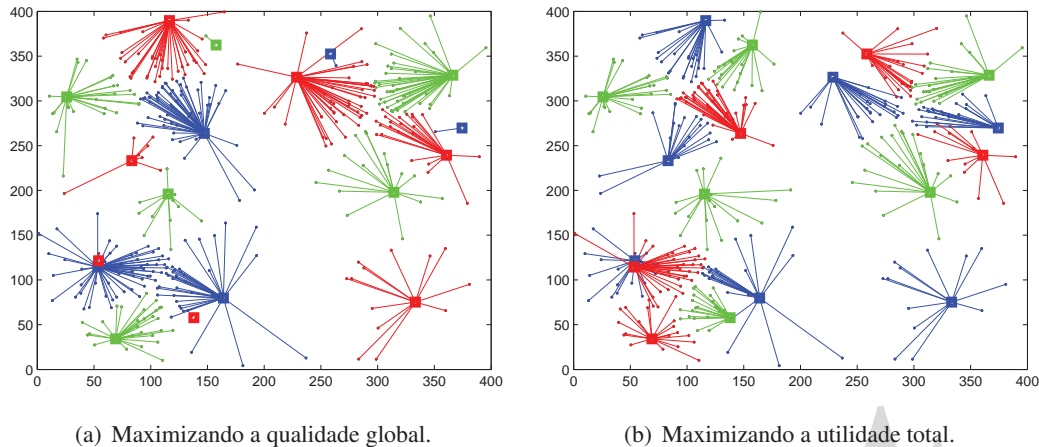


Figura 2: Melhores soluções encontradas pelo Algoritmo Evolutivo.

Os usuários com baixa velocidade de conexão também estão sujeitos a algum nível de interferência, prejudicando ainda mais a utilização da rede e provocando um desequilíbrio em grande escala na distribuição da qualidade de serviço. O mesmo não é observado na Figura 2(b). Utilizando o modelo de alocação proposto, a satisfação de todos os usuários é considerada. Os usuários que estão inevitavelmente sujeitos a altos níveis de interferência devem receber mais largura de banda. Deste modo, o impacto negativo provocado pela interferência nestes usuários é compensado.

A Tabela 1 detalha as soluções encontradas pelo Algoritmo Evolutivo para o cenário de teste quando adotado o modelo que maximiza a qualidade global. Considerando que 18 APs foram criados no ambiente e cada um deles oferece 54 Mbps, temos uma velocidade disponível equivalente a 972 Mbps. Ou seja, cerca de 15% da capacidade disponível foi perdida devido a interferências.

Tabela 1: Soluções encontradas quando maximizado a qualidade global

| | Qualidade (Mbps) | % de usuários com interferência | Utilidade total |
|--------|-------------------------|----------------------------------------|------------------------|
| Melhor | 821.93 | 27.25% | 56977.49 |
| Média | 818.85 | 30.11% | 56083.65 |
| Pior | 814.33 | 33.00% | 53731.78 |

No pior caso, houve uma perda de 16% da capacidade total, afetando um terço dos usuários. No entanto, modelos de alocação de canais com esta visão global do problema não fornecem informações úteis sobre a qualidade de conexão de cada usuário individualmente, nem mesmo se existem usuários sem conexão. Mesmo para as soluções com pequenas perdas na qualidade global disponível, não há garantia de satisfação dos usuários. O percentual de usuários com interferência significa, na prática, a quantidade de usuários sujeitos a algum dano, mas sem nenhuma conclusão sobre o impacto na velocidade de conexão deste usuário.

A Tabela 2 detalha as soluções encontradas pelo Algoritmo Evolutivo quando adotado o modelo proposto. Quando o objetivo é maximizar a utilidade total da rede, pode-se notar que a qualidade global diminui se comparado a Tabela 1. Entretanto, apesar do fato da capacidade utilizada

da rede ser maior quando se maximiza a qualidade global, os usuários estão mais insatisfeitos com as suas conexões. A satisfação de um usuário não está relacionada com a qualidade global da rede, e sim, relacionada com a qualidade da conexão fornecida ao usuário. Dado que a maior parte da capacidade é concentrada em alguns usuários, a maioria dos usuários não está satisfeita.

Tabela 2: Soluções encontradas quando maximizado a utilidade total

| | Qualidade (Mbps) | % de usuários com interferência | Utilidade total |
|--------|-------------------------|----------------------------------------|------------------------|
| Melhor | 785.78 | 25.75% | 69539.76 |
| Média | 781.84 | 29.17% | 69217.51 |
| Pior | 773.79 | 34.25% | 68238.19 |

Com o intuito de demonstrar a variabilidade na distribuição da capacidade da rede, foi calculada a qualidade da conexão, em Mbps, de cada usuário na rede de acordo com a melhor solução encontrada pelo Algoritmo Evolutivo em cada modelo. A Figura 3 apresenta o número de usuários com até uma certa velocidade de conexão. A desvantagem de maximizar a qualidade global é aparente quando comparado com a maximização da utilidade total.

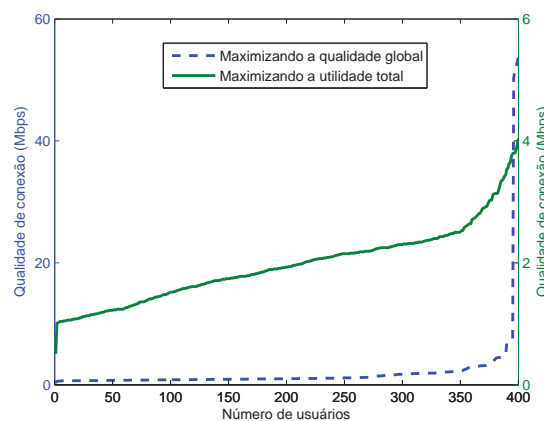


Figura 3: Qualidade de conexão dos usuários.

É possível ver na Figura 3 que cerca de 250 usuários têm uma velocidade de conexão inferior a 1 Mbps quando a qualidade total é considerada. Em outras palavras, poucos usuários recebem altas velocidades de conexão e a maioria dos usuários possui baixa qualidade de serviço. Por outro lado, com o modelo proposto, a distribuição da qualidade de serviço para os usuários é mais homogênea. Não há usuários deliberadamente prejudicados a fim de compensar a satisfação dos usuários já bem servidos.

A satisfação dos usuários está diretamente relacionada com a qualidade da conexão experimentada por cada usuário, por isso, quanto maior for o número de usuários satisfeitos, maior é a satisfação total da rede. Esta característica justifica a satisfação geral dos usuários quando a utilidade total é considerada no problema de otimização, conforme proposto neste trabalho. A Figura 4 apresenta a distribuição das soluções em termos de utilidade total encontrada pelo Algoritmo Evolutivo, busca local e Algoritmo Memético. É possível notar que o Algoritmo Memético obteve a melhor média e melhor solução para a instância de teste quando comparado aos demais algoritmos.

Para cada cenário do conjunto de 300 instâncias, o Algoritmo Evolutivo, a busca local e o Algoritmo Memético foram executados utilizando o modelo de alocação de canais proposto. A média das soluções encontradas pelo Algoritmo Memético foi superior quando comparada a média das soluções encontradas pelos demais algoritmos neste conjunto de instâncias. Com o objetivo de investigar a diferença estatística entre os algoritmos, foi utilizado um teste de Friedman

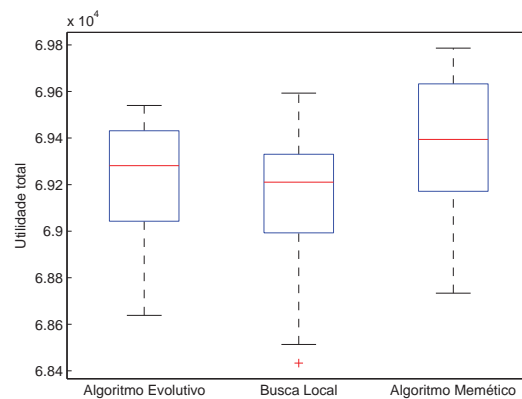


Figura 4: Distribuição das soluções em termos de utilidade total.

(Ramachandran e Tsokos, 2014). O teste teve o valor $p = 0$, indicando que a diferença entre os algoritmos é estatisticamente significativa, conforme apresentado na Figura 5.

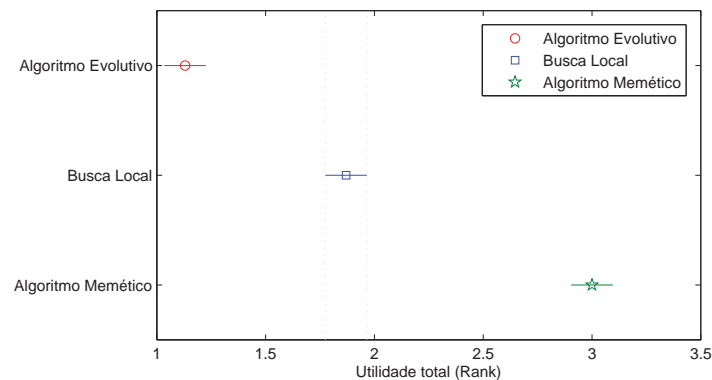


Figura 5: Teste de comparação de grupos.

6. Conclusão

Os modelos de alocação de canais em WLAN geralmente não consideram a qualidade da conexão para cada usuário individualmente. Motivado por isso, propomos neste trabalho um novo modelo de alocação de canais que incorpora a utilidade total da conexão de um usuário. O modelo tem o objetivo de maximizar a satisfação de todos os usuários na rede.

O modelo de alocação de canais proposto estima a utilidade de estabelecer uma conexão entre um usuário e um AP dado o mapeamento de canais. Portanto, o objetivo é encontrar o AP que melhor atenda o usuário além de determinar as frequências nas quais os APs operam. Esta característica é uma contribuição essencial deste trabalho para o equilíbrio da qualidade de serviço na rede, conforme ilustrado nos experimentos.

O cenário testado na simulação tem características reais de uma WLAN mas, em trabalhos futuros, planejamos considerar obstáculos no ambiente, como paredes e pisos. O experimento realizado com Algoritmo Evolutivo mostrou que os modelos que consideram um objetivo global geram desequilíbrio na distribuição da qualidade das conexões, favorecendo alguns usuários em detrimento da maioria. Através de uma análise estatística, mostramos que o Algoritmo Memético apresentou melhores soluções utilizando o modelo de alocação proposto quando comparado ao Algoritmo Evolutivo e busca local. Como trabalho futuro, citamos a comparação entre o modelo proposto com outros modelos de alocação de canais da literatura. Além disso, apenas os canais não sobrepostos foram considerados neste trabalho, sendo interessante avaliar a utilização adicional das frequências disponíveis e o efeito desse arranjo sobre o desempenho.

Referências

- Akl, R. e Arepally, A.** (2007), Dynamic Channel Assignment in IEEE 802.11 Networks, *International Conference on Portable Information Devices*, 1-5.
- Bae, S. J., Choi, B. G. e Chae, H. S.** (2012), Self-configuration Scheme to Alleviate Interference among APs in IEEE 802.11 WLAN, *International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 1025-1030.
- Balbi, H., Fernandes, N., Souza, F., Carrano, R., Albuquerque, C., Muchaluat-Saade, D. e Magalhaes, L.** (2012), Centralized channel allocation algorithm for IEEE 802.11 networks, *Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS)*, 1-7.
- Brélez, D.** (1979), New Methods to Color the Vertices of a Graph, *Communications of the ACM*, 22, 251-256.
- Drieburg, M., Zheng, F.-C., Ahmad, R. e Olafsson, S.** (2007), An improved distributed dynamic channel assignment scheme for dense WLANs, *International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICSP)*, 1-5.
- Eiben, A. E. e Smith, J. E.**, *Introduction to Evolutionary Computing*, Natural Computing, 2010.
- Frank, R. e Bernanke, B.**, *Principles of Economics*, McGraw-Hill Irwin, 2009.
- Gong, D., Zhao, M., e Yang, Y.** (2014), Distributed channel assignment algorithms for 802.11n WLANs with heterogeneous clients, *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 74, 2365-2379.
- Handrizal, Zarlis, M., Noraziah, A. e Abdalla, A. N.** (2012), An improved of channel allocation for wlan using vertex merge algorithm, *International Conference on Computational Science and Information Management (ICoCSIM)*, 1, 205-213.
- Hills, A.** (2001), Large-scale wireless LAN design, *IEEE Communications Magazine*, 39, 98-107.
- Hills, A. e Schlegel, J.** (2004), Rollabout: A wireless design tool, *IEEE Communications Magazine*, 42, 132-138.
- Lima, M. P., Carrano, E. G. e Takahashi, R. H. C.** (2012), WCCI IEEE Congress on Computational Intelligence, *Multiobjective Planning Networks WLAN Using Genetic Algorithms*.
- Luo, H. e Shankaranarayanan, N. K.** (2004), A Distributed Dynamic Channel Allocation Technique for Throughput Improvement in a Dense WLAN Environment, *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 5, 345-348.
- MacQueen, J.** (1967), Some methods of classification and analysis of multivariate observations, *Proc. of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 1, 281-297.
- Mahonen, P., Riihijarvi, J. e Petrova, M.** (2005), Frequency allocation for WLANs using graph colouring techniques, *Proc. WONS'05*.
- Manitpornsut, S., Landfeldt, B. e Boukerche, A.** (2009), Efficient Channel Assignment Algorithms for Infrastructure WLANs Under Dense Deployment, *International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 329-337.
- Mankiw, N. G.**, *Principles of Economics*, Cengage Learning, 2011.
- Park, B. H., Bea, S. J. e Kwon, Y. M.** (2012), Connection Management of Mobile Nodes for Transmission Power Control in WLAN APs, *International Conference on ICT Convergence*, 770-771.
- Ramachandran, K. M. e Tsokos, C. P.**, *Mathematical Statistics with Applications in R*, Academic Press, 2014.
- Vanhatupa, T., Hännikäinen, M. e Hämäläinen, T. D.** (2007), Evaluation of throughput estimation models and algorithms for WLAN frequency planning, *Computer Networks*, 51, 3110-3124.
- Yao, T., Guo, X., Qiu, Y. e Ge, L.** (2013), An Integral Optimization Framework for WLAN Design, *International Conference on Communication Technology (ICCT)*, 360-365.