

Ajuste Dinâmico do Tráfego de Gerenciamento em Redes 802.11 Infraestruturadas com Baixa Mobilidade

Gabriel de Carvalho Ferreira¹, Priscila Solis Barreto¹, Eduardo Alchieri¹

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
Caixa Postal 4466 CEP 70910-900 – Brasília – DF – Brasil

gabrielcarvfer@aluno.unb.br, pris@unb.br, alchieri@unb.br

Abstract. *In recent years wireless networks have been used more widely and their monitoring reveals that there are still key weaknesses in implementing the 802.11 protocol that can be changed to improve efficiency and end-to-end performance. In these networks, where the medium is shared, management traffic is an essential element that among other functions allows to maintain connectivity and promote service quality. However, in the case where the networks have low mobility, the frequent transmissions of beacon frames by the access points causes overhead in the channels which can be characterized as unnecessary traffic, which increases linearly at each additional access point. In this work, we present a proposal to modify the 802.11 protocol to support the dynamic adjustment of the transmission interval between beacon frames in order to increase the efficiency of the network. The proposal is based on the observation of certain geographic movement patterns of stations that share the same channel, patterns that are not common on low mobility networks and may indicate if stations are going to associate or dissociate from an access point in the near future. The simulation results show that dynamic tuning can be effective and increase throughput in networks with low mobility stations.*

Resumo. *Nos últimos anos as redes sem fio vêm sendo utilizadas de forma mais ampla e seu monitoramento revela que ainda existem deficiências chaves na implementação do protocolo 802.11 que podem ser alteradas para melhorar a eficiência e o desempenho de ponta a ponta. Nessas redes, em que o meio é compartilhado, o tráfego de gerenciamento é um elemento essencial que entre outras funções permite manter a conectividade e promover qualidade do serviço. Entretanto, no caso em que as redes apresentam baixa mobilidade, as frequentes transmissões de quadros do tipo beacon pelos pontos de acesso causam uma sobrecarga nos canais que pode ser caracterizada como tráfego desnecessário, que aumenta linearmente a cada ponto de acesso adicional. Neste trabalho é apresentada uma proposta de alteração no protocolo 802.11 para dar suporte ao ajuste dinâmico do intervalo entre transmissões de quadros do tipo beacon, com o objetivo de aumentar a eficiência da rede. A proposta se baseia na observação de certos padrões de movimentação geográfica das estações que compartilhem o mesmo canal, sendo estes padrões incomuns em redes de baixa mobilidade e que podem indicar que estações se associarão ou dissociarão de um ponto de acesso em um futuro próximo. Os resultados de simulações mostram que o ajuste dinâmico pode ser eficaz e aumentar a vazão da rede em ambientes com estações de baixa mobilidade.*

1. Introdução

As redes sem fio são usadas nos mais diversos tipos de dispositivos e não se restringem exclusivamente aos ambientes em que os usuários possuem alta mobilidade. A convivência de diversos padrões e o aumento do número de dispositivos conectados traz desafios quanto a escassez de espectro a ser utilizado de forma compartilhada nesses ambientes. Grande parte das redes em operação é baseada no padrão IEEE 802.11, o qual define um conjunto de protocolos, como por exemplo aqueles que controlam o acesso ao meio e sinalizam transmissões entre os dispositivos. Uma das limitações das redes sem fio desse padrão é o número limitado de canais ortogonais, que resulta em um ambiente com vários pontos de acesso próximos compartilhando um mesmo canal, o que resulta em um maior nível de ruído e de colisões. Essa situação dá origem a vários problemas, como conectividade intermitente, perdas de pacote e aumento de retransmissões, o que pode resultar em uma rede não confiável e com baixa eficiência.

O aumento da eficiência no uso do espectro por parte dos protocolos permite que este seja utilizado não só para aumentar a vazão da rede, como também para dar suporte a outras aplicações, como por exemplo nas redes sem fio passivas [Kellogg et al. 2016], em que dispositivos passivos modulam uma portadora, transmitida por um dispositivo ativo adjacente, com reflexão de sinais feita de maneira digital, economizando energia nesse processo. A redução do consumo energético e aumento de vazão para dispositivos estáticos tem aplicações interessantes em dispositivos com bateria, como celulares, *notebooks* e em redes de sensores, por exemplo. Diversos trabalhos têm abordado essa problemática [Rajagopal 2014, Sati and Graffi 2015, Peng et al. 2016, Bellalta 2016] e em cenários de redes densas e com mobilidade esparsa essas técnicas podem promover uma sinergia interessante e uma maior eficiência no uso dos recursos.

Muitos dos trabalhos que abordam a eficiência em redes sem fio focam na redução dos efeitos de congestionamento, colisões e retransmissões, além da adaptação de taxas de transmissão para reduzir a sensibilidade ao ruído, mas poucos tem focado na redução ou otimização do tráfego de controle e gerenciamento [Wu et al. , Chatzimisios , Sanabria-Russo et al. 2013, Gilani et al. 2013, Zhou et al. 2016, Sanabria-Russo et al. 2017]. A análise do tráfego identificado como desnecessário foi inicialmente apresentada em [Raghavendra et al. 2010], em que este termo foi usado para definir os componentes de tráfego originados direta ou indiretamente por atividades não produtivas tais como aquelas que tentam manter a conectividade agressivamente, ainda quando as estações não apresentam mobilidade em longos intervalos de tempo. Em [Bento 2011] é apresentada uma análise do tráfego na camada de enlace sobre uma série de tráfego real coletada na 67ª Reunião do *Internet Engineering Task Force* (IETF) em San Diego em 2006. As análises mostram que grande parte do tráfego de rede é dominado por troca de informações de controle e gerenciamento vindo das estações e pontos de acesso, transmissões essas muitas vezes desnecessárias nos casos de redes com baixa mobilidade. Dentre os quadros de gerenciamento enviados mais frequentemente, o quadro de *beacon* se destaca pelo seu tamanho e por ser transmitido na menor taxa de transmissão disponível na implementação do padrão no ponto de acesso, de maneira a aumentar seu alcance e reduzir a taxa de erro.

A aliança entre dispositivos com baixa mobilidade e a otimização do tráfego na rede pode promover uma maior eficiência no uso do espectro. A diminuição do volume

de tráfego de gerenciamento, em que parte é transmitida com taxa de transferência mais baixa, em ambientes densos e com baixa mobilidade pode reduzir o tempo de transmissão, liberando espectro para mais transmissões de quadros de dados ou para outros dispositivos. Nesse sentido, o presente trabalho propõe uma modificação ao protocolo 802.11 para diminuir o volume de tráfego de gerenciamento em redes com baixa mobilidade. As contribuições principais deste trabalho são a caracterização da mobilidade dos nós na rede e a definição de um algoritmo de ajuste dinâmico da frequência de transmissão dos quadros *beacons* com base nessa caracterização.

O presente artigo está organizado da forma seguinte: a Seção 2 apresenta os conceitos teóricos e revisão da literatura. Na Seção 3 está contida a proposta deste trabalho quanto à caracterização da mobilidade da rede e ao posterior ajuste do intervalo de transmissão do *beacon*. A Seção 4 apresenta a metodologia utilizada e os resultados de simulações. A Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros desta pesquisa.

2. Conceitos Teóricos e Pesquisa Bibliográfica

2.1. O Gerenciamento da Rede no Padrão IEEE 802.11

O padrão IEEE 802.11 [IEEE] define vários tipos de quadros que as estações usam para comunicação, assim como para gerenciamento e controle do enlace sem fio. Os quadros são agrupados em três tipos: gerenciamento, controle e dados. Os quadros de gerenciamento permitem que as estações estabeleçam e mantenham conexões. Os quadros de controle ajudam a garantir a entrega dos quadros de forma correta. No conjunto de quadros de gerenciamento, os quadros de tipo *beacon* têm como funções principais: divulgar ou não o SSID (*Service Set ID*) da rede, permitindo a descoberta de uma rede pelas estações ao alcance desta, o que resulta em quadros do tipo *Probe Requests* por parte das estações; sincronizar os dispositivos na rede através de um *timestamp*; notificar dispositivos em economia de energia que existem mensagens para eles e que devem acordar para receber; controlar parte da janela de transmissão sem conflito através de mapas de indicação de tráfego [IEEE]. Apesar dessas funções importantes, os quadros do tipo *beacon* causam sobrecarga considerável na rede por serem razoavelmente grandes e ocuparem tempo de uso do espectro ao serem obrigatoriamente transmitidos na menor taxa de transmissão disponível dentre os padrões suportados, ou seja, se um ponto de acesso suportar os padrões 802.11b e 802.11n, a taxa de transmissão do *beacon* será de 1 Mbps, independentemente do ruído do canal e capacidade de dispositivos próximos.

Segundo [Bento 2011], o tráfego de rede relativo aos *beacons* podem responder por mais de 16% do tráfego da rede a depender das configurações dos pontos de acesso e ambiente. A análise do tráfego coletado em ambientes reais também mostra que, no caso de usuários predominantemente estáticos, não existe necessidade de procurar agressivamente novos pontos de acesso, dado que existe uma alta probabilidade do usuário se manter conectado ou se reconectar a um mesmo ponto de acesso, sem grande prejuízo no tempo de resposta das suas aplicações [Raghavendra et al. 2010].

2.2. Distância geográfica dos dispositivos

Existem diversas técnicas de medição da distância geográfica entre dois nós em uma rede sem fio. Dentre essas técnicas, as que têm apresentado os melhores resultados são baseadas em *Time-of-flight* (ToF), que se baseia no atraso de uma transmissão ser iniciada em

um nó e começar a ser recebida no outro nó, que multiplicada pela velocidade da luz resulta na distância entre os nós. Essa medição é bastante complexa visto que a maioria dos atrasos de dispositivos comerciais é ordens de grandeza maior que o típico valor do atraso, e cada nanossegundo de erro na medida do atraso acarreta em um erro de 30 centímetros da distância estimada [Schauer et al. 2013, Amizur et al. 2013, Vasisht et al. 2016]. Outra técnica identificada nas pesquisas recentes é a de *fingerprinting*, apresentada em [He and Chan 2016, Ren et al. 2017]. Nesse trabalho são feitos diversos tipos de análises sobre potência dos sinais recebidos, dos nós ao redor, além do tráfego da rede para se estimar a distância nós da rede e seu posicionamento relativo.

Apesar da precisão das técnicas anteriores, elas requerem múltiplas antenas e/ou troca de mensagens, no caso do ToF e *fingerprinting*, e/ou análises complexas ao longo do tempo. Uma abordagem mais simples, menos precisa e que não gera tráfego adicional na rede se baseia na potência do sinal recebido pelos dispositivos (RSSI) [Parameswaran et al. , Lui et al. 2011], onde um dispositivo em modo promíscuo é capaz de escutar os pacotes transmitidos por outros dispositivos ao alcance, em um dado canal, e com base na potência desses sinais estimar a proximidade do dispositivo transmissor.

2.3. Trabalhos relacionados

Conforme discutido na seção anterior, em redes com baixa mobilidade a transmissão de *beacons* pode causar sobrecarga considerável e reduzir a vazão de dados, além de comprometer a eficiência no uso do espectro disponível [Rodrig et al. , Kwak et al.] e causar ruído para redes próximas que compartilham o mesmo canal [Jun et al. , Duda 2008].

Existem vários resultados observados em outros trabalhos ao alterar as dinâmicas de transmissão do número de *beacons*. Além de comprometer a compatibilidade do protocolo e potencialmente prejudicar os usuários da rede no caso de *roaming*, existe um impacto na economia de energia de dispositivos dependentes de bateria, já que estes precisariam permanecer por mais tempo acordados para receber seus quadros [Hess et al. 2014, Sati and Graffi 2015]. Outro efeito colateral do aumento do intervalo de transmissão é o aumento da latência nas aplicações, que pode afetar aplicações com baixo *round trip time* (RTT) [Nath et al. 2004]. A transmissão de *beacons* mais curtos foi apresentada na proposta do 802.11ah, que tem como alvo conexões sem fio de longo alcance e em outro trabalho a mesma técnica foi aplicada para redes de sensores [Khorov et al. 2015]. Adicionalmente, em [Xie et al. 2009] é definido um protocolo em modo de economia de energia centralizado, que faz ajustes dinâmicos de parâmetros, entre eles o intervalo de transmissão dos *beacons*, com o objetivo de aumentar a economia de energia dos dispositivos da rede. Entretanto, este trabalho não considera as características topológicas da rede e nem a movimentação das estações, mas apenas o fluxo de tráfego.

Já em [Sati and Graffi 2015] é proposta a alteração do intervalo recomendado para transmissão dos *beacons* de 100 ms para 200 ms. Os autores ressaltam a redução da sobrecarga relacionada em 50%, e o conseqüente o ganho de eficiência do espectro aumentando a vazão da rede e reduzindo o consumo energético. Entretanto, observa-se um aumento da latência das transmissões e é utilizado um parâmetro fixo para definir o intervalo de transmissão ao invés de se fazer o ajuste dinâmico que poderia adequar o intervalo entre transmissões quando oportuno. Além da sobrecarga do espectro, estudos como [Peng et al. 2016] sugerem que a redução do número de *broadcasts* desnecessários,

como o de *beacons*, é capaz de reduzir o consumo de energia de dispositivos de 18% até 83%, dependendo do dispositivo e da aplicação.

Em [Raghavendra et al. 2010] são definidos os conceitos de prevalência e persistência, que indicam a probabilidade de uma estação continuar associada ou se desassociar de um ponto de acesso em um intervalo de tempo no futuro. Essas probabilidades podem ser estimadas com base nas distâncias e velocidades calculadas entre a estação e pontos de acesso ao longo do tempo, que podem indicar, por exemplo, que uma estação está saindo do alcance da rede e pode se desassociar num futuro próximo, ou que está se aproximando do ponto de acesso e pode se associar num futuro próximo, ou que está se movimentando dentro da rede e tem baixa probabilidade de se associar a outro ponto de acesso.

Observa-se que uma informação valiosa para o controle da rede é a distância entre nós não só da mesma rede, mas que compartilhem do mesmo canal. A partir das medidas de distância, também é possível calcular a velocidade média em um dado período amostrado. Trabalhos como [Chien et al. 2008, Naeem and Nyamapfene 2011, Khan and Han 2014] usam medidas de RSS (*Received Signal Strength*) para calcular a velocidade de movimentação das estações em relação aos pontos de acesso ao alcance, com o objetivo de prever o momento ideal para executar a troca do ponto de acesso. Os resultados mostram uma redução no tempo de troca de rede e no número de falhas. Os trabalhos citados anteriormente focam meramente na troca do ponto de acesso e o momento em que deve ocorrer para reduzir o tempo e falhas associados, enquanto poderiam se valer do conhecimento das velocidades relativas e distância das estações para ajustar parâmetros da rede dinamicamente quando cabível, sendo um deles o intervalo de transmissão entre *beacons*.

3. Proposta

A proposta deste trabalho consiste em definir um ajuste dinâmico na frequência de transmissão dos *beacons* a partir de um algoritmo que utiliza a medição dos valores RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) para estimar a distância entre o ponto de acesso e as estações ao seu redor. Dessa forma, a rede pode ser caracterizada como de baixa mobilidade ou de mobilidade normal. A proposta apresenta um avanço aos trabalhos elencados na seção anterior ao definir um ajuste dinâmico para o intervalo de transmissão dos *beacons* pelo ponto de acesso, com base na movimentação das estações no mesmo canal e sem qualquer tipo de transmissão adicional para esse controle. O objetivo é reduzir o tráfego de gerenciamento e manter o tempo de associação e desassociação baixos de maneira a evitar a interrupção de serviço nas estações.

A definição do grau de mobilidade da rede está descrita na Eq. 1. As variáveis de posição, velocidade e direção permitem verificar as estações na borda da área de serviço que requerem atenção especial, que podem estar associadas à rede e se afastando do ponto de acesso, ou estações não associadas à rede e se aproximando do ponto de acesso. Em ambos os casos, estas estações possuem maiores probabilidades de se associarem ou desassociarem do ponto de acesso num futuro próximo. Caso não haja estações em um dos casos anteriormente citados, a rede se caracteriza como de baixa mobilidade.

A caracterização quanto à mobilidade das estações no canal é descrita no Algoritmo 1. O processo começa pela amostragem da distância entre o ponto de acesso e

Algoritmo 1 Mobilidade

```
1: procedure MOBILIDADE(i)
2:   for j  $\leftarrow$  0 até #amostras do
3:     for sta in estações do
4:       sta.amostrasDistancia[j]  $\leftarrow$  MEDIRDISTANCIA(sta)
5:   StaAproximando  $\leftarrow$  False
6:   StaAfastando  $\leftarrow$  False
7:   for sta in estações do
8:     sta.dist[i]  $\leftarrow$  MÉDIA(sta.amostrasDistancia)
9:     sta.erroDist[i]  $\leftarrow$  DESVIOPADRÃO(sta.amostrasDistancia, sta.dist[i])
10:    sta.difDist[i]  $\leftarrow$  (sta.dist[i] - sta.dist[i - 1])
11:    sta.erroDifDist[i]  $\leftarrow$  SOMAABS(sta.erroDist[i], sta.erroDist[i - 1])
12:    sta.movendo  $\leftarrow$  ABS(sta.difDist[i]) > ABS(sta.erroDifDist[i])
13:    if sta.movendo then  $\triangleright$  Verifica se a STA se afasta ou aproxima do PA
14:      afastando  $\leftarrow$  sta.difDist[i] - sta.erroDifDist[i] > 0
15:      regiãoHandoff  $\leftarrow$  MaximaDistanciaConhecida  $\times$ 
        regiaoDeInteresse
16:      if sta.associado  $\wedge$  afastando  $\wedge$  sta.dist[i] > regiãoHandoff then
17:        StaAfastando  $\leftarrow$  Verdadeiro  $\triangleright$  STA associada se afastando do PA
18:        break
19:        aproximando  $\leftarrow$  sta.difDist[i] + sta.erroDifDist[i] < 0
20:        if  $\neg$ sta.associado  $\wedge$  aproximando  $\wedge$  sta.dist[i] > regiãoHandoff then
21:          StaAproximando  $\leftarrow$  Verdadeiro  $\triangleright$  STA não associada se
        aproximando do PA
22:          break
23:    if StaAproximando  $\vee$  StaAfastando then
24:      return Verdadeiro
25:    return Falso
```

as estações (linhas 2 e 4), calculada a partir de valores de RSSI medidos pelo ponto de acesso e com base na atenuação do sinal no espaço livre. Na linha 7 inicia-se a varredura da lista de estações ao alcance em busca de uma estação que atenda os critérios propostos de mobilidade. Com as amostras coletadas, são calculadas a distância média da estação e o desvio padrão, (linhas 8 e 9), além da diferença entre as distâncias no intervalo atual e anterior e seu erro (linhas 10 e 11). Se a diferença de distâncias for maior que o erro é verificado o sentido do movimento (linhas 13 a 20), em que caso a estação esteja se aproximando e não esteja associada, é marcada como se aproximando, ao passo que caso esteja se afastando e associada, é marcada como se afastando. Em qualquer um dos casos o canal é marcado como móvel. Caso contrário, é marcado como estático. É importante observar que o algoritmo é executado no ponto de acesso, que normalmente não possui restrições de consumo de energia.

A alteração proposta ao protocolo 802.11 é a definição de um ajuste dinâmico para a frequência de transmissão, ou intervalo entre transmissões, dos *beacons* de acordo com a Eq. 4, baseado na mobilidade da rede (Eq. 1). A frequência de transmissão deverá estar contida entre os intervalo mínimo e máximo recomendados pelo padrão, 100 milissegun-

dos e 6,4 segundos. A Eq. 4 mostra o funcionamento do ajuste ao longo do tempo, o que permite que a frequência seja dobrada a cada intervalo de amostragem n quando houver mobilidade na rede, ou que a frequência seja reduzida pela metade após a transmissão do *beacon* seguinte, ajuste especificado pela Eq. 3. A intensidade da velocidade com que a frequência aumenta é definida na Eq. 1 pelo tamanho do intervalo de amostragem, pelo alcance da rede e pela região de interesse. Esta última é a porcentagem que determina a área central ignorada pelo Algoritmo 1. Os cálculos garantem que o valor da frequência de transmissão média seja limitada superiormente pela frequência do intervalo mínimo de transmissão, dado pela Eq. 2, ou seja espera-se que serão tão ou mais eficientes que a implementação com o intervalo de transmissão fixo em termos do uso do espectro, conforme definido pela Eq. 5.

$$\begin{aligned}
mobilidade[n] = & (\max(estações.veloc[n]) - estação_{maxVeloc}.desvioVeloc > 0 \\
& \wedge estação_{maxVeloc}.dist[n] \geq alcanceAP \times regiãoDeInteresse \\
& \wedge estação_{maxVeloc}.associada) \\
& \vee (\min(estações.veloc[n]) + estação_{minVeloc}.desvioVeloc < 0 \\
& \wedge estação_{minVeloc}.dist[n] \geq alcanceAP \times regiãoDeInteresse \\
& \wedge \neg estação_{minVeloc}.associada)
\end{aligned} \tag{1}$$

$$f_{beacon}[0] = f_{máximaBeacon} = \frac{1}{0.1s} = 10Hz \tag{2}$$

$$beacon_{transmitido}[n] = \begin{cases} 1 & f_{beacon}[n-1] \times (n - n_{últimoBeacon}) = 1 \\ 0 & f_{beacon}[n-1] \times (n - n_{últimoBeacon}) \neq 1 \end{cases} \tag{3}$$

$$f_{beacon}[n] = \frac{f_{beacon}[n-1] \times (1 + mobilidade[n])}{1 + beacon_{transmitido}[n-1]} \tag{4}$$

$$f_{beaconMédio} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f_{beacon}[n] \tag{5}$$

4. Análise Experimental

4.1. Cenários de Simulação

A alteração proposta do ajuste de *beacon* dinâmico foi implementada e testada no simulador ns-3 (*Network Simulator 3*). Em função da estabilidade da implementação das funções de RSSI nessa ferramenta, a simulação foi realizada no padrão 802.11b. Entretanto, os resultados obtidos podem ser estendidos aos padrões mais novos (g/a/n/ac), tendo em vista que a maioria dos pontos de acesso comerciais vem pré-configurados de maneira a terem compatibilidade com todos os padrões e a transmissão do *beacon* é feita na taxa de transmissão mínima suportada. A simulação foi definida com uma estação que se aproxima de um ponto de acesso com objetivo de se associar e depois se afasta do mesmo ponto de acesso com objetivo de se dissociar, e durante o intervalo associado transmite dados para o ponto de acesso. No caso de estações com muita movimentação

nas bordas da área de cobertura do ponto de acesso, os *beacons* deverão exibir o comportamento padrão, transmitindo a cada 100 milissegundos, enquanto no melhor caso, ou seja, com a estação sem algum movimento, os *beacons* serão transmitidos na frequência mínima, ou seja, com maior intervalo entre transmissões de *beacons*.

Foram definidos dois padrões de tráfego, denominados de Tráfego A e Tráfego B. Para o Tráfego A foram colocadas 10 estações estáticas distribuídas de forma aleatória ao redor de um ponto de acesso, ao qual a estação móvel se associa e desassocia ao se movimentar, conforme ilustrado na Fig. 1(a). As estações executam aplicações de eco [Postel 1983] que enviam um pacote de dados de 1 kB a cada 100 milissegundos para o ponto de acesso principal, e recebem o mesmo pacote de volta do ponto de acesso, que resulta em um tráfego máximo de carga útil de aproximadamente 225 kbps. Para o Tráfego B, o tamanho dos pacotes foi aumentado para 10 kB, que resulta em um tráfego máximo de carga útil de aproximadamente 2,25 Mbps.

Foram simulados três cenários. O primeiro cenário ilustrado na Fig. 1(a) representa um ambiente simples, que mostra um único ponto de acesso que pretende avaliar o efeito do ajuste de *beacons* de forma dinâmica com base na distância e velocidade de um conjunto de estações que se afastam ou aproximam. O segundo cenário, ilustrado na Fig.1(b), pretende avaliar o efeito do ajuste, porém com dois pontos de acesso num mesmo canal, de maneira que o número de *beacons* transmitidos nesse canal deixa de crescer linearmente com o aumento do número de pontos de acesso, exceto para o pior caso, onde há movimentação contínua na interseção das regiões de interesse dos dois pontos de acesso. O terceiro cenário ilustrado na Fig. 1(c), procura avaliar o efeito na redução do número de *beacons* em cenários com múltiplos pontos de acesso usando um mesmo canal e com a estação movimentando-se mais rapidamente que nos cenários anteriores, de maneira a cruzar a diagonal da área de cobertura total da rede.

O tempo de transmissão dos quadros foi calculado como a soma do preâmbulo (192 ms), SIFS(50 ms), DIFS(10 ms), *slot*(20 ms) e tempo de transmissão do quadro, sendo o *beacon* transmitido a 1Mbps e os dados a 11Mbps. Para os parâmetros que controlam a frequência de alteração do *beacon*, foram configuradas a região de interesse como 85% da maior distância conhecida pelo ponto de acesso e a frequência de amostragem como uma a cada 10 milissegundos. Este último valor permite que, quando necessário, a frequência de transmissão dos *beacons* possa ser aumentada em até 64 vezes dentro de 70 milissegundos, no caso do intervalo de transmissão se encontrar entre 100 milissegundos e 64.000 milissegundos. Para análise dos resultados foi definido um intervalo de 95% de confiança, com 5% de margem de erro e desvio padrão máximo de 10%. Cada simulação foi definida em um tempo de 20 segundos e foram executadas 100 vezes para cada um dos três cenários com cada um dos padrões de tráfego.

4.2. Resultados

Os dados coletados nas simulações para os três cenários são apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. Para análise dos resultados foi definido o intervalo de transmissão entre *beacons* fixo de 100 ms e o intervalo de transmissão entre *beacons* dinâmico de 100 ms até 6,4 s, conforme mostrado na Tabela 1.

No cenário 1 para o Tráfego A, ao comparar o intervalo fixo e o intervalo dinâmico, houve uma redução de 70% no número de *beacons* transmitidos, reduzindo

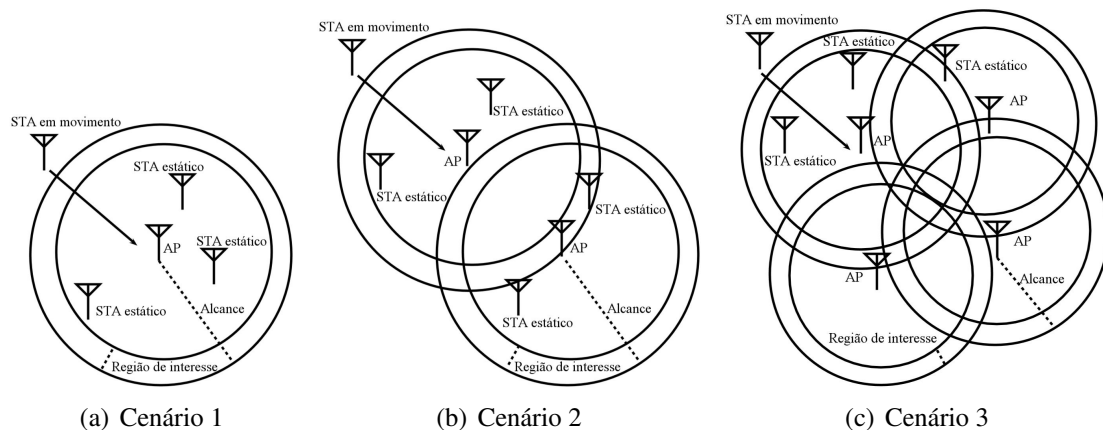


Figura 1. Cenários de testes, para estações (STA) e pontos de acesso (AP)

		Intervalo entre transmissões de <i>beacons</i>		
		Fixo 100 ms	Fixo 200 ms	Dinâmico 100 ms - 6,4 s
Cenário 1	<i>Beacon</i> (s)	5,71	5,80	5,90
	Associação (s)	5,74	5,88	5,90
	Associação - <i>Beacon</i> (ms)	12	82	5
Cenário 2	<i>Beacon</i> (s)	5,61	5,67	5,95
	Associação (s)	5,67	5,79	5,98
	Associação - <i>Beacon</i> (ms)	61	118	28
Cenário 3	<i>Beacon</i> (s)	2,61	2,62	3,11
	Associação (s)	2,64	2,68	3,11
	Associação - <i>Beacon</i> (ms)	32	61	2

Tabela 1. Momento de recepção do primeiro *beacon* e momento de associação da estação móvel ao ponto de acesso

o tempo de transmissão respectivo de 5,5% para 1,5%, o que resultou em um aumento da vazão de 4%. A mesma comparação para o Tráfego B apresentou uma queda de 86% no número de *beacons* transmitidos, reduzindo o tempo de transmissão respectivo de 3,6% para 0,5%, o que resultou em um aumento da vazão de 4%.

No cenário 2 para o Tráfego A, ao comparar o intervalo fixo e o intervalo dinâmico, observa-se que houve uma redução de 62% no número de *beacons* transmitidos e por sua vez uma redução no tempo de transmissão respectivo de 6,5% para 2,6%, o que resultou em um aumento da vazão em 2,5%. A mesma comparação para o Tráfego B mostra uma diminuição de 94% no número de *beacons* transmitidos, assim como uma redução no tempo de transmissão respectivo de 6,7% do total para 0,5%, resultando em um aumento da vazão de 8,5%.

No cenário 3, para o Tráfego A, ao comparar o intervalo fixo e o dinâmico, houve uma redução de 80% no número de *beacons* transmitidos, com a consequente redução no tempo de transmissão de 16,1% para 5,6%, resultando em aumentando da vazão em 6,1%. A mesma comparação para o Tráfego B apresentou uma queda de 93% no número de *beacons* transmitidos, uma redução de tempo de transmissão de 9,8% para 0,7% e um

	Intervalo entre transmissões de <i>beacons</i>	Fixo		Dinâmico
		100 ms	200 ms	100 ms 6,4 s
Tráfego A	Número de beacons transmitidos	1100	660	325
	Tempo de transmissão de beacons (s)	0,83	0,50	2,44
	Tempo total de transmissão (s)	15,07	16,01	16,02
	Parcela do tempo (%)	5,49	3,10	1,52
	Tráfego beacon (MB)	0,07	0,04	0,02
	Tráfego total (MB)	13,93	15,11	15,39
	Parcela do tráfego total (%)	0,47	0,26	0,13
	Vazão média (Mbps)	7,40	7,55	7,69
Tráfego B	Número de beacons transmitidos	1132	663	152
	Tempo de transmissão de beacons (s)	0,85	0,50	0,11
	Tempo total de transmissão (s)	23,40	23,32	22,06
	Parcela do tempo (%)	3,64	2,14	0,52
	Tráfego beacon (MB)	0,07	0,04	0,01
	Tráfego total (MB)	25,75	26,29	25,23
	Parcela do tráfego (%)	0,26	0,15	0,04
	Vazão média (Mbps)	8,80	9,02	9,15

Tabela 2. Resultados do cenário 1

aumento na vazão de 9,6%.

Adicionalmente, para verificar o intervalo máximo sugerido em [Sati and Graffi 2015], foi avaliado na simulação o intervalo fixo de 200 ms para os três cenários e o intervalo dinâmico de 200 ms até 6,4 s, para os cenários 2 e 3. Entretanto, o limite inferior do intervalo em 200 ms pode trazer prejuízos na associação das estações, conforme visto na Tabela 1, em que estão registrados os momentos em que a estação em movimento recebe o primeiro *beacon* antes de tentar se associar e em que recebe a resposta do seu pedido. O valor máximo de atraso do momento da associação da estação foi observado no cenário 3, com atraso de 500 milissegundos entre a implementação com intervalo fixo em 100 ms e o intervalo dinâmico. Apesar disso, a diferença entre o tempo de recebimento do primeiro *beacon* até sua associação é mantida, exceto nos caso de intervalo de 200 ms, o que resulta inviável para certas aplicações.

Conforme os resultados apresentados nas simulações é possível verificar que o aumento da vazão obtido com o algoritmo proposto aumenta juntamente ao número de pontos de acesso e reduz a sobrecarga de tráfego de gerenciamento, o que permite transmissões de dados em taxas maiores e aumenta a taxa de vazão média do canal. Os resultados obtidos nos três cenários avaliados mostram que o ajuste dinâmico do intervalo de transmissão dos *beacons* é capaz de reduzir o tráfego desnecessário, principalmente em redes com maior tráfego, com vários pontos de acesso e com poucas estações em movimento. Os resultados obtidos com a simulação no padrão 802.11b podem ser estendidos aos padrões mais recentes, dado que quanto maior a diferença da taxa máxima e taxa mínima de transmissão, maior o ganho potencial da vazão com a redução do tráfego

resultante dos *beacons*.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho é apresentada a proposta de alteração no protocolo 802.11 para suporte ao ajuste dinâmico do intervalo de transmissão entre quadros do tipo *beacon*, com o objetivo de aumentar a eficiência da rede. A proposta utiliza a movimentação das estações relativas aos pontos de acesso para definir um parâmetro que caracteriza o grau de mobilidade da rede. A proposta foi avaliada em três cenários de simulação com dois tipos de tráfego e estações com diversos graus de mobilidade. Os resultados das simulações mostram que o ajuste dinâmico do intervalo de transmissão dos *beacons* é capaz de reduzir o tráfego desnecessário, principalmente em redes com maior tráfego, com vários pontos de acesso e com poucas estações em movimento. Essas características em uma rede sem fio podem ser encontradas hoje com relativa facilidade em diversos ambientes (escritórios, hotéis, escolas e zonas residenciais, entre outros) em que há intervalos de menor mobilidade dos dispositivos na área de cobertura da rede. A maior eficiência no uso do espectro produzida pela diminuição do volume de tráfego de gerenciamento, aumenta a eficiência da rede e apresenta uma oportunidade para transmissões de outros dispositivos.

Como trabalhos futuros considera-se analisar potenciais modificações ao protocolo 802.11 com o mesmo objetivo de reduzir o tráfego desnecessário, tais como a redução de mensagens de gerenciamento do tipo *probe*. Assim também pretende-se avaliar a implementação do WiFi passivo em redes de baixa mobilidade no sentido de reduzir o consumo energético e aumentar a eficiência do uso do espectro.

	Intervalo entre transmissões de <i>beacons</i>	Fixo		Dinâmico	
		100 ms	200 ms	100 ms 6,4 s	200 ms 6,4 s
Tráfego A	Número de beacons transmitidos	1852	1104	702	159
	Tempo de transmissão de beacons (s)	1,39	0,83	0,53	0,12
	Tempo total de transmissão (s)	21,52	21,73	20,36	21,06
	Parcela do tempo (%)	6,47	3,82	2,60	0,57
	Tráfego beacon (MB)	0,11	0,07	0,04	0,01
	Tráfego total (MB)	20,04	20,41	19,44	20,43
	Parcela do tráfego (%)	0,55	0,32	0,22	0,05
	Vazão média (Mbps)	7,45	7,52	7,64	7,76
Tráfego B	Número de beacons transmitidos	1682	971	187	107
	Tempo de transmissão de beacons (s)	1,27	0,73	0,14	0,08
	Tempo total de transmissão (s)	18,96	25,48	27,34	23,35
	Parcela do tempo (%)	6,67	2,87	0,52	0,35
	Tráfego beacon (MB)	0,10	0,06	0,01	0,01
	Tráfego total (MB)	19,93	28,36	31,18	26,63
	Parcela do tráfego (%)	0,51	0,21	0,04	0,02
	Vazão média (Mbps)	8,41	8,90	9,13	9,13

Tabela 3. Resultados do cenário 2

	Intervalo entre transmissões de <i>beacons</i>	Fixo		Dinâmico	
		100 ms	200 ms	100 ms 6,4 s	200 ms 6,4 s
Tráfego A	Número de beacons transmitidos	3800	2409	744	318
	Tempo de transmissão de beacons (s)	2,86	1,81	0,56	0,30
	Tempo total de transmissão (s)	17,73	11,76	10,08	9,49
	Parcela do tempo (%)	16,12	15,41	5,55	3,11
	Tráfego beacon (MB)	0,23	0,14	0,045	0,02
	Tráfego total (MB)	14,85	9,60	8,95	8,69
	Parcela do tráfego (%)	1,54	1,51	0,50	0,27
	Vazão média (Mbps)	6,70	6,53	7,11	7,32
Tráfego B	Número de beacons transmitidos	4816	1918	340	264
	Tempo de transmissão de beacons (s)	3,62	1,44	0,26	0,20
	Tempo total de transmissão (s)	36,79	36,02	37,37	35,59
	Parcela do tempo (%)	9,84	4,01	0,69	0,56
	Tráfego beacon (MB)	0,29	0,12	0,02	0,02
	Tráfego total (MB)	37,97	39,63	42,28	40,27
	Parcela do tráfego (%)	0,76	0,29	0,05	0,04
	Vazão média (Mbps)	8,26	8,80	9,05	9,05

Tabela 4. Resultados do cenário 3

Referências

- Amizur, Y., Schatzberg, U., and Banin, L. (2013). Next generation indoor positioning system based on wifi time of flight.
- Bellalta, B. (2016). IEEE 802.11ax: High-efficiency WLANs. *IEEE Wireless Communications*, 23(1):38–46.
- Bento, T. F. (2011). Um estudo das propriedades do tráfego em redes sem fio e seu impacto na avaliação de desempenho. Master's thesis, Universidade de Brasília.
- Chatzimisios, A. C. B. P. Optimisation of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11 wireless LANs for maximum performance. In *IEEE Global Telecommunications Conference Workshops, 2004. GlobeCom Workshops 2004*. IEEE.
- Chien, S. F., Liu, H., Low, A. L. Y., Maciocco, C., and Ho, Y. L. (2008). Smart predictive trigger for effective handover in wireless networks. In *2008 IEEE International Conference on Communications*. IEEE.
- Duda, A. (2008). Understanding the performance of 802.11 networks. In *2008 IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. IEEE.
- Gilani, M. H. S., Sarrafi, I., and Abbaspour, M. (2013). An adaptive CSMA/TDMA hybrid MAC for energy and throughput improvement of wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 11(4):1297–1304.

- He, S. and Chan, S.-H. G. (2016). Wi-fi fingerprint-based indoor positioning: Recent advances and comparisons. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1):466–490.
- Hess, A., Hyytia, E., and Ott, J. (2014). Efficient neighbor discovery in mobile opportunistic networking using mobility awareness. In *2014 Sixth International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS)*. IEEE.
- IEEE. 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) specifications.
- Jun, J., Peddabachagari, P., and Sichitiu, M. Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11 and its applications. In *Second IEEE International Symposium on Network Computing and Applications, 2003. NCA 2003*. IEEE Comput. Soc.
- Kellogg, B., Talla, V., Gollakota, S., and Smith, J. R. (2016). Passive wi-fi: Bringing low power to wi-fi transmissions. In *Proceedings of the 13th Usenix Conference on Networked Systems Design and Implementation, NSDI'16*, pages 151–164, Berkeley, CA, USA. USENIX Association.
- Khan, M. and Han, K. (2014). An optimized network selection and handover triggering scheme for heterogeneous self-organized wireless networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014:1–11.
- Khorov, E., Lyakhov, A., Krotov, A., and Guschin, A. (2015). A survey on IEEE 802.11ah: An enabling networking technology for smart cities. *Computer Communications*, 58:53–69.
- Kwak, J., Lee, H., and Lee, K. A study on the airtime occupied by beacon frame in 802.11 hotspot environment.
- Lui, G., Gallagher, T., Li, B., Dempster, A. G., and Rizos, C. (2011). Differences in RSSI readings made by different wi-fi chipsets: A limitation of WLAN localization. In *2011 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)*. IEEE.
- Naeem, B. and Nyamapfene, A. (2011). Seamless vertical handover in wifi and wimax networks using rssi and motion detection: An investigation. 12.
- Nath, S., Anderson, Z., and Seshan, S. (2004). Choosing beacon periods to improve response times for wireless HTTP clients. In *Proceedings of the second international workshop on Mobility management & wireless access protocols - MobiWac '04*. ACM Press.
- Parameswaran, A. T., Husain, M. I., Upadhyaya, S., et al. Is rssi a reliable parameter in sensor localization algorithms: An experimental study.
- Peng, G., Zhou, G., Nguyen, D. T., Qi, X., and Lin, S. (2016). HIDE: AP-assisted broadcast traffic management to save smartphone energy. In *2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*. IEEE.
- Postel, J. (1983). Echo protocol. Technical report.

- Raghavendra, R., Belding, E. M., Papagiannaki, K., and Almeroth, K. C. (2010). Unwanted link layer traffic in large IEEE 802.11 wireless networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 9(9):1212–1225.
- Rajagopal, S. (2014). Power efficiency: The next challenge for multi-gigabit-per-second wi-fi. *IEEE Communications Magazine*, 52(11):40–45.
- Ren, Y., Salim, F. D., Tomko, M., Bai, Y. B., Chan, J., Qin, K. K., and Sanderson, M. (2017). D-log: A WiFi log-based differential scheme for enhanced indoor localization with single RSSI source and infrequent sampling rate. *Pervasive and Mobile Computing*, 37:94–114.
- Rodrig, M., Reis, C., Mahajan, R., Wetherall, D., and Zahorjan, J. Measurement-based characterization of 802.11 in a hotspot setting. In *Proceeding of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Experimental approaches to wireless network design and analysis - E-WIND '05, year = 2005, publisher = ACM Press, doi = 10.1145/1080148.1080150*,.
- Sanabria-Russo, L., Barcelo, J., Bellalta, B., and Gringoli, F. (2017). A high efficiency MAC protocol for WLANs: Providing fairness in dense scenarios. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 25(1):492–505.
- Sanabria-Russo, L., Faridi, A., Bellalta, B., Barcelo, J., and Oliver, M. (2013). Future evolution of CSMA protocols for the IEEE 802.11 standard. In *2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*. IEEE.
- Sati, S. and Graffi, K. (2015). Adapting the beacon interval for opportunistic network communications. In *2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. IEEE.
- Schauer, L., Dorfmeister, F., and Maier, M. (2013). Potentials and limitations of WIFI-positioning using time-of-flight. In *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. IEEE.
- Vasisht, D., Kumar, S., and Katabi, D. (2016). Decimeter-level localization with a single wifi access point. In *Proceedings of the 13th Usenix Conference on Networked Systems Design and Implementation, NSDI'16*, pages 165–178, Berkeley, CA, USA. USENIX Association.
- Wu, H., Peng, Y., Long, K., Cheng, S., and Ma, J. Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: analysis and enhancement. In *Proceedings.Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. IEEE.
- Xie, Y., Luo, X., and Chang, R. K. C. (2009). Centralized PSM: An AP-centric power saving mode for 802.11 infrastructure networks. In *2009 IEEE Sarnoff Symposium*. IEEE.
- Zhou, H., Li, B., Yan, Z., and Yang, M. (2016). A channel bonding based QoS-aware OFDMA MAC protocol for the next generation WLAN. *Mobile Networks and Applications*, 22(1):19–29.