

Localização *Indoor* Baseada na Leitura Bidirecional do RSSI

Ysla Bellecieri, F. C. Jabour, Eugênia Giancoli Jabour

Núcleo de Informática – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais (IF Sudeste MG)– Juiz de Fora – Minas Gerais – Brasil

ybellecieri@yahoo.com.br, {filippe.jabour,
eugenia.jabour}@ifsudestemg.edu.br

Abstract. *This paper discusses a new approach to indoor distance estimating method in a wireless network, considering different types of environment and the degree of interference present in each one. This method is based on the RSSI (Receive Signal Strength Indicator) and aims to minimize the error of distance estimation based on signal strength.*

Resumo. *Este trabalho aborda a elaboração de um método de estimativa de distância em uma rede sem fio, para ambientes internos, considerando a necessidade de adaptação para diferentes tipos de ambiente, devido ao grau de interferência presente no meio. O método é fundamentado na leitura bidirecional do RSSI (Receive Signal Strength Indicator) e visa minimizar o erro das estimativas de distância baseadas na intensidade do sinal.*

1. Introdução

Recentemente, o intenso fluxo de informações tem exigido cada vez mais o uso das redes sem fio. No entanto, esta tecnologia tem sido utilizada como ferramenta para diversos tipos de situação, como monitoramento, controle de segurança, detecção de ataques inimigos, controle de temperatura e em outras áreas de aplicação.

As Redes de Sensores Sem Fio (RSSFs) são, basicamente, um tipo de rede *ad-hoc*, já que possuem como base uma rede de sensores (nodos), que se comunicam entre si através de ondas eletromagnéticas. Esse tipo de rede permite a comunicação direta entre elementos computacionais sem que haja a intermediação de uma estação base. As redes sensoriais possuem, basicamente: a) um fenômeno, que consiste no objeto de estudo do observador; b) sensores, que monitoram os fenômenos presentes e c) o observador, que através do sensor recebe respostas sobre os fenômenos. No entanto, cada RSSF possui características particulares que variam de acordo com o ambiente e com objetivo do estudo, segundo [LOUREIRO et al. 2003] são algumas delas:

Endereçamento dos sensores ou nodos. Em alguns casos é preciso que haja calibração dos nós, afim de que eles reconheçam a localização um do outro. Isso acontece, por exemplo, quando o observador precisa saber a distância entre dois nós sensores. Por outro lado, existem situações em que esta calibração não interfere no monitoramento de um determinado fenômeno.

Mobilidade dos sensores. Quando um sensor é inserido no corpo humano para algum fim medicinal, apesar do indivíduo estar em constante movimento, o sensor está estático em relação ao corpo. Porém, se forem inseridos nodos imersos em um rio, a fim de medirem o nível de poluição ou a chegada de algum fenômeno, estes sensores

estarão em constante movimento e isso não interferirá no monitoramento do objeto em estudo.

Quantidade de sensores. É muito importante calcular o número de sensores necessários para um determinado estudo, pois ele pode variar de 10 a 100 mil, o que pode impactar diretamente nos resultados finais.

Limitação da energia disponível. Em muitos experimentos, os sensores se tornam inacessíveis após serem lançados na área a ser sensoriada, portanto, é essencial que eles tenham o menor gasto de energia possível, para que seu ciclo de vida seja maior. Para tanto, a escolha por algoritmos e protocolos simplificados pode ser crucial para integridade do experimento.

Auto-organização da rede. Os nodos devem estar programados para se reorganizarem caso algum sensor perca o sinal da rede ou sofre destruição por falta de energia ou pelo ambiente.

Apesar de serem aplicadas para diversos fins externos, as RSSF's têm sido muito úteis em aplicações menores, principalmente na otimização de atividades humanas em ambientes *indoor*. Um exemplo disso são os sistemas de localização e cálculo de distância, que utilizam as propriedades do meio sem fio como um recurso para calcular a posição ou a longitude entre dois objetos. As técnicas baseadas no sinal Wireless mais empregadas são *Time Of Arrival (TOA)*, *Angle Of Arrival (AOA)* e *Receive Signal Strength Indication (RSSI)*, que utilizam, respectivamente, o tempo de chegada do sinal a uma ERB (Estação Base), o ângulo de chegada do sinal em relação às ERB's e a intensidade do sinal, para calcular a posição de um objeto.

Todas essas técnicas possuem como alicerce a distância entre seus respectivos pontos de referência para estimar a posição. Entretanto, a grande taxa de erros, presente no cálculo das distâncias, tem influenciado negativamente nos resultados encontrados. No presente trabalho, será apresentado um novo método de cálculo de distância, em ambiente *indoor*, a fim de minimizar os erros obtidos nas estimativas. A técnica fundamentada no RSSI tem por objetivo estudar o comportamento do sinal em relação aos nós transmissores e receptores. Em geral, a leitura dos valores referentes à intensidade do sinal, em decibéis (dBm), é feita a partir de um único nó, podendo ser caracterizada como uma leitura unidirecional do RSSI. Diante da falta de precisão nas estimativas de distância encontradas nesta abordagem, percebeu-se a necessidade de um método mais eficaz, que pudesse otimizar os resultados obtidos. Motivado na melhoria desses resultados, este trabalho apresenta um método baseado na leitura bidirecional, que visa à coleta de valores de RSSI em ambos os lados da rede. Os experimentos que serão apresentados foram realizados a partir da leitura simultânea dos valores de RSSI em ambos os nós da rede *ad-hoc*, usando o padrão IEEE 802.11.

A organização dos capítulos segue uma infraestrutura baseada nos conceitos mais relevantes para o entendimento do novo método e dos experimentos realizados. No capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica em torno da contextualização do método e suas variáveis, como: localização indoor e obstáculos relacionados, padrão IEEE 802.11, técnicas de localização baseadas no Wi-Fi e os métodos de localização utilizados na aplicação dessas técnicas. No capítulo 3 é exposta a proposta e os objetivos principais do trabalho. No capítulo seguinte são apresentados os experimentos e suas especificações como, ambiente, fórmula, ferramentas utilizadas, cenário, de que forma os dados foram manipulados, bem como os resultados esperados. No capítulo 5 é

feita a análise dos resultados obtidos, através da comparação de resultados encontrados e o nível da taxa de erros, a fim de testar a eficiência do método de estimativa de distância baseado na leitura bidirecional do RSSI, em relação à leitura unidirecional. No capítulo seguinte, são apresentadas as conclusões e considerações finais a respeito do trabalho concluído.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Localização *Indoor*

A localização em ambientes internos ainda é um grande desafio para as tecnologias RSSF's. O GPS (*Global Positioning System*), por exemplo, é uma das eficientes descobertas, tratando-se de tecnologias baseadas nas RSSF's. No entanto, os metros quadrados de um ambiente *indoor* estão fora do alcance de seus 28 satélites [LIMA 2001]. Na realidade, estes ambientes não são mapeados para que um sistema de GPS possa localizá-los. Desta forma, o foco de pesquisas associadas à localização de pessoas e objetos têm se baseado na busca por tecnologias apropriadas a ambientes internos. Muitas dificuldades estão relacionadas, já que estes locais apresentam uma estrutura que não se vê externamente, como [COLEMAN e WESTCOTT 2009]:

- alta atenuação e difusão do sinal, devido aos inúmeros obstáculos;
- mudanças temporais relacionadas à movimentação de pessoas e abertura de portas;
- *multipath* causado pela reflexão das paredes e móveis.

Por outro lado, os ambientes internos oferecem algumas facilidades, já que não sofrem interferências de fatores climáticos; podem ser facilmente mapeados e possuem melhor infraestrutura (acesso a internet e energia elétrica). Portanto, neste trabalho, o estudo da localização baseada na leitura bidirecional do RSSI será destinado a ambientes *indoor*.

2.1.1. Obstáculos relacionados à localização *indoor*

2.1.1.1. Reflexão

O sinal de rádio pode ser refletido por alguns tipos de superfícies, devido à polarização do sinal elétrico nas ondas de rádio. Isso pode causar um desvio do sinal, fazendo com que ele não chegue ao destino esperado. [SILVA 2014]

2.1.1.2. Difração

A difração ocorre quando um sinal colide com uma superfície e se divide em dois ou mais sinais de rádio. Estas frações de sinais são refletidas para sentidos diferentes e com uma intensidade menor da do sinal original. Assim, o sinal perde força e sua área de alcance diminui, fazendo com que ele nem sempre chegue a seu destino.

2.1.1.3. Dispersão

A dispersão acontece quando um sinal colide com uma superfície refletiva, que apresente diferentes ângulos de reflexão, como em uma superfície áspera ou enrugada [SILVA 2014]. Com isso o sinal se divide em outros sinais menores e de menos

intensidade, que ao se colidirem com outros sinais presentes no ambiente, se transformam em ruídos.

2.2. IEEE 802.11

Trata-se de um padrão de rede sem fio que pode operar na faixa de frequência conhecida como *Industrial, Scientific and Medical* – ISM (Industrial, Científico e Médico) de 2,4 GHz ou 5 GHz [COLEMAN e WESTCOTT 2009].

Este padrão, comumente encontrado em *desktops, notebooks*, telefones, leitores de código de barra, sensores, entre outros dispositivos, pode operar em duas topologias:

- *Ad-hoc*: onde a comunicação entre os dispositivos é direta;
- Infraestruturada: os dispositivos comunicam-se através de um terceiro dispositivo central, ao qual forma-se uma infraestrutura de rede.

No IEEE 802.11 os dispositivos que se conectam uns aos outros e a uma infraestrutura de redes são chamados *client stations* (estações cliente) e os dispositivos que conectam os *client stations* a uma infraestrutura de redes são os *access point* (ponto de acesso - AP) [FRANCOTI 2013]. Este padrão inclui dois modos de gerenciamento de energia; outros modos foram implementados nos padrões subsequentes 802.11e e 802.11f.

2.3. Técnicas de Localização Baseadas no Wi-Fi

2.3.1. Time Of Arrival (ToA)

A técnica baseada no Tempo de Chegada (*Time Of Arrival-ToA*) estima a distância através do tempo que o sinal leva para sair de um sensor móvel e chegar às estações base (ERB's). Isso exige que ambos os lados possuam um relógio sincronizado, para que o receptor saiba calcular, junto com a velocidade de propagação, já conhecida, a distância do transmissor. Esta sincronização pode ser feita pelos recursos do sistema ou por aparelhos como GPS. Apesar de o sinal variar a diferentes distâncias, no método ToA não há degradação, já que se baseia no tempo. São utilizados três círculos para determinar a posição do sensor móvel [GUEDES 2003], como mostra a Figura 1.

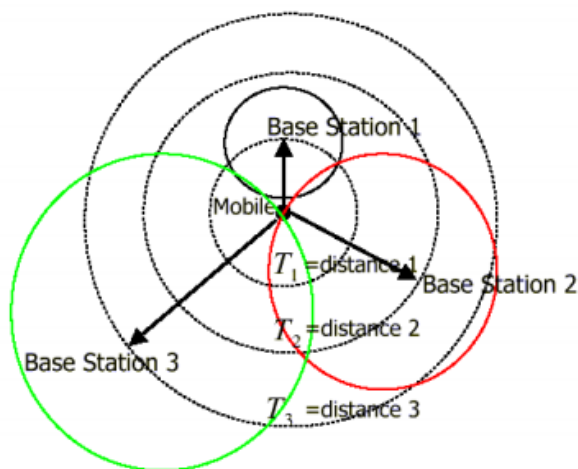


Figura 1: Localização baseada no ToA. Fonte: [GUEDES 2003].

2.3.2. Angle Of Arrival (AoA)

No método AOA utiliza-se o ângulo do sinal ao chegar às antenas e este processo exige a instalação de receptores e antenas especiais nas Estações Rádio Base (ERB's). O objeto a ser localizado emite sinais e são necessários ao menos dois receptores, como mostra a Figura 2, para que seja possível saber a fonte do sinal, ou seja, a posição de onde o sinal foi emitido.

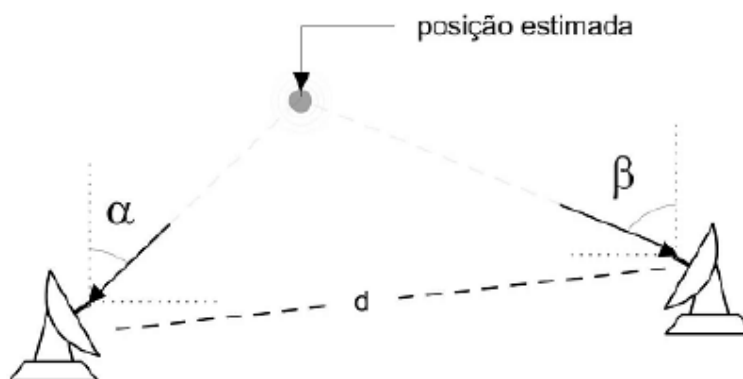


Figura 2 – Representação AoA. Fonte: [MOURA 2007].

O espalhamento causa o aparecimento de múltiplos sinais nas ERB's, o que introduz erros de estimação dos ângulos de chegada [CAFFERY e STÜBER 1998], [MOURA 2007]. Isso ocorre, porque o sistema de localização empregado na medição através do ângulo sofre interferências diretas do meio de propagação, podendo refletir negativamente sobre os resultados encontrados, já que outros sinais passam a interferir no meio.

2.3.3. Receive Signal Strength Indicator (RSSI)

A intensidade de um sinal wireless sofre interferência de vários fatores, incluindo a potência do transmissor, a sensibilidade do receptor, a atenuação do meio, a perda de caminho (*path loss*) e a influência de outros sinais presentes no meio. É medida em decibéis (dBm) numa escala negativa, sendo assim, quanto maior o módulo em dBm, menor é a intensidade do sinal. O valor do RSSI representa qual a força do sinal transmitido por um determinado ponto de acesso (AP), ou seja, essa técnica de medição se baseia no fato de que o sinal perde força à medida que se propaga. Quanto mais próximo do ponto de acesso, melhor será a intensidade do sinal e menos negativo será o valor em decibéis. Este valor é uma indicação relativa de medição, por isso as leituras podem variar dependendo do dispositivo utilizado.

2.4. Métodos de Localização

2.4.1. Fingerprinting

O “*fingerprinting*” ou impressão digital [BAHL 2000] é um método de localização usando RSSI, que se baseia no comportamento das ondas de rádio, incluindo os efeitos de atenuação e reflexão do sinal. Neste método são colhidas medições de vários pontos de um determinado ambiente, como exposto na Figura 3, onde cada ponto ganha uma

impressão digital, de acordo com as informações coletadas e tudo é registrado em um banco de dados. Assim, de acordo com o algoritmo de localização, quando um sensor deseja conhecer sua posição, ele registra os dados do ponto em que está, cria uma impressão digital e esta é comparada com o banco de dados. O ponto que obtiver as informações mais próximas do ponto enviado pelo sensor, indica sua posição.

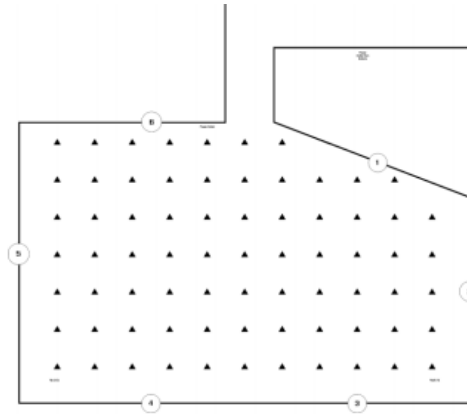


Figura 3 – *Fingerprinting*. Os círculos representam os roteadores e os triângulos são os pontos de referência. Fonte: [NAVARRO 2010].

2.4.2. Trilateração

Utilizando-se qualquer técnica para se estimar a distância entre o nó desconhecido e três nós de referência (d_1, d_2, d_3), a trilateração determina a localização geográfica do nó desconhecido a partir da posição previamente conhecida dos nós de referência através da determinação da intersecção de 3 círculos com centro nas referências e raios iguais às estimativas de distâncias [SAVVIDES 2001]. Através da estimativa de distância calculada para cada nó de referência, definem-se áreas de cobertura, onde a intersecção destas áreas representa a localização do nó desconhecido. Na Figura 4 é apresentado o cenário em uma situação hipotética, considerada ótima e em uma situação real. Desta forma, é possível perceber que os resultados deste método fornecem uma área em que o objeto (nó) pode estar localizado, mas não um ponto único.

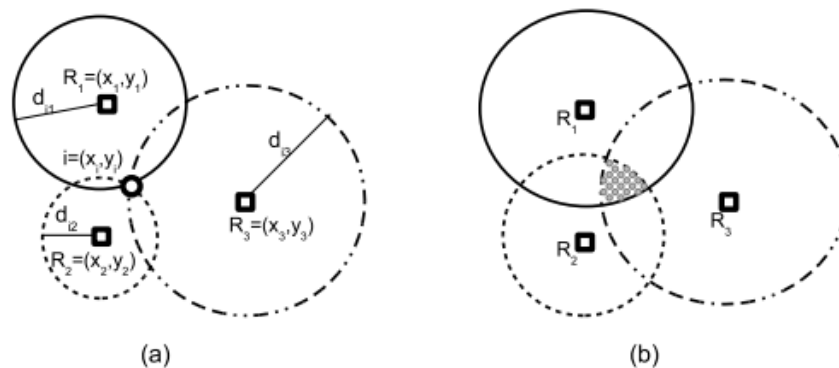


Figura 4 - (a) Situação hipotética; (b) Situação real. Fonte: [TREVISAN 2008].

2.4.3. Triangulação

O método da triangulação para estimação de distância envolve relações trigonométricas de seno e cosseno, referentes ao ângulo de chegada do sinal ao dispositivo (nó) base. Portanto, é utilizado como método de localização em técnicas AoA, descritas em 2.3.2.

3. Localização Indoor Baseada na Leitura Bidirecional do RSSI

Existem estudos que utilizam o RSSI como forma de cálculo de distância e de posição, porém, muitos experimentos apontam erros de 2 a 3 metros em cenários onde todos os sensores estão em um campo plano, a uma altura de 1,5 m, e com raio de comunicação de 10 m [SAVVIDES 2001]. Estes cálculos são baseados na leitura unidirecional do RSSI, ou seja, a leitura é feita no Nó 2, em relação à potência do sinal que chega do Nó 1, como mostra a Figura 5.

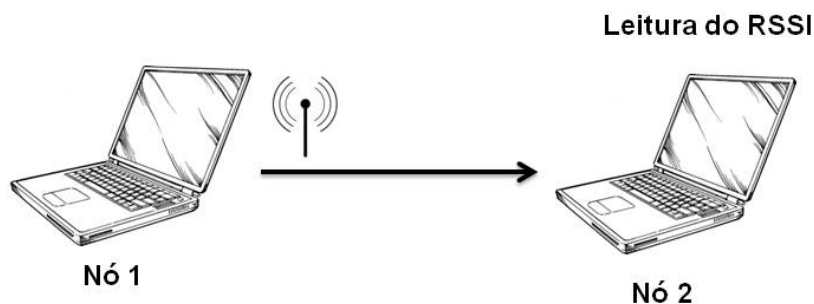


Figura 5 - Leitura Unidirecional do RSSI.

No presente trabalho não será calculada a posição do objeto móvel, como demonstrado em [GRACIOLI 2011] e [SILVA 2014], pois o foco é buscar um meio de otimizar os resultados já existentes, obtendo uma melhor precisão no cálculo da distância entre dois dispositivos, através da leitura bidirecional do RSSI. Este trabalho consiste em calcular a distância entre dois nós, fazendo a leitura do RSSI em ambos os lados da rede, com o objetivo de que a média dos RSSI's encontrados resulte em uma estimativa de distância mais próxima da real. O cenário está representado na Figura 6.

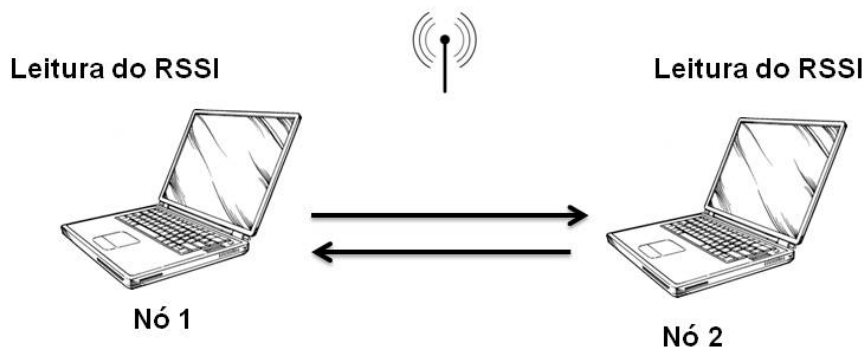


Figura 6 – Leitura Bidirecional do RSSI.

O conceito da leitura bidirecional é baseado no fato de que os nós trocam pacotes constantemente, como é descrito em [KUROSE 2006]. Sendo assim, é possível calcular a intensidade do sinal nos dois nós.

Para este experimento espera-se que a média dos RSSI's extraídos do Nó 1 e do Nó 2 resulte em uma distância com menor margem de erro. Ou seja, espera-se que os cálculos baseados na “bidirecionalidade” anulem ou reduzam os efeitos negativos contidos nos sinais de ambos os lados.

Serão realizados três experimentos de aferição de distância:

- No experimento 1, serão colhidos valores de RSSI do lado do Nó 2, relativos aos sinais enviados pelo Nó 1.

- No experimento 2, serão colhidos valores de RSSI do lado do Nó 1, relativos aos sinais enviados pelo Nó 2.

- No experimento 3, serão colhidos valores de RSSI, simultaneamente, relativos aos sinais trocados entre Nó 1 e Nó 2, em tempo real.

Após a coleta de dados, serão feitos os cálculos de distância, para cada teste, utilizando os valores de RSSI em dBm encontrados. A análise dos resultados indicará se a leitura bidirecional melhora a precisão dos dados, em relação aos dados reais.

É importante ressaltar que, a eficácia do método proposto apoiará outras técnicas de localização, que utilizam a distância como parâmetro. Ou seja, a melhoria da precisão, proposta por este trabalho terá impacto direto em outras técnicas, no sentido de que seus resultados também serão otimizados.

4. Experimentos

Para realização dos experimentos, foram considerados apenas dois nós de uma rede *ad-hoc*, que se comunicam diretamente. Foi chamado de Nó 1 o nó onde a rede *ad-hoc* foi criada e, o qual permanece fixo durante todos os experimentos. O Nó 2 é o segundo integrante da rede e se movimenta, de acordo as distâncias estabelecidas para medição do RSSI. Neste trabalho não houve o uso de técnicas de localização como as descritas em 2.4, pois, para o ambiente escolhido nos experimentos fez-se desnecessário o emprego de técnicas que envolvessem algum tipo de calibração ou treinamento de algoritmo. O objetivo principal é testar a eficiência da leitura bidirecional do RSSI para estimar as distâncias, por isso foi estabelecida uma rede com apenas dois nós e um ambiente menos propício a grandes interferências.

4.1. Ambiente

O ambiente *indoor*, como já foi dito, sofre grandes interferências do meio, por isso é um desafio construir uma tecnologia de localização destinada a estes ambientes. O presente trabalho destina-se a otimização de modelos de localização baseados no RSSI, portanto os testes foram realizados em um local livre de maiores interferências. A escolha deste ambiente se deve ao fato de que um novo método seria testado, e o cenário torna-se apenas um detalhe experimental. Deste modo, os cálculos de estimativa de distância poderão ser adaptados para qualquer ambiente fechado. Neste caso, se faz necessário o uso de técnicas, como as descritas em 2.4.

Alguns métodos dinâmicos para ambientes *indoor* são capazes de se adaptar através da inserção de novos parâmetros. Isso pode acontecer de forma total, onde o método precisa se adaptar totalmente a uma nova situação ou de forma parcial, onde apenas variáveis de um método são alteradas [GRACIOLI 2011].

4.2. Fórmula

Alguns trabalhos [GRACIOLI 2011], [SILVA 2014], abordam fórmulas que calculam a distância entre dois objetos baseando-se na intensidade do sinal, porém de forma muito sistemática e levando em conta fatores que ainda não devem ser considerados no presente experimento. Porém, em [KUROSE 2006] é apresentado uma fórmula que atende as condições deste trabalho e possui parâmetros condizentes como os que foram coletados:

$$\text{RSSI (dBm)} = A - 10.n.\log(d)$$

Seus parâmetros são:

- **RSSI (dBm)** representa o valor da intensidade do sinal que chega.
- **A** é a referência de RSSI para 1 metro, ou seja, o valor em dBm medido em 1m.
- **n** corresponde ao *path loss*, que no caso de *free space* (ambiente aberto) é atribuído valor 2 (dois).
- **d** representa a distância entre os objetos (nós) que estão se comunicando.

Adequando a fórmula para estimação da distância, temos:

$$d = 10^{\frac{Rssi-A}{-10.n}}$$

4.3. Ferramentas

4.3.1. Hardware

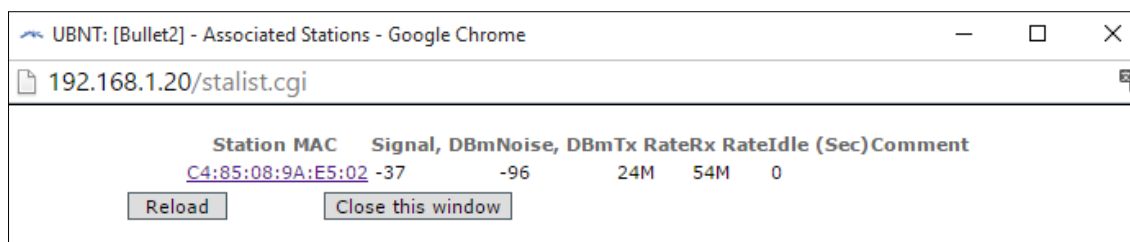
Para realização dos experimentos foram utilizados dois *notebooks* com interfaces de rede sem fio IEEE 802.11 e um Bullet2 Ubiquiti *Networks*, apresentado na Figura 7, amplamente utilizado em enlaces, conexões de clientes e até mesmo como ponto de acesso.



Figura 7 – BULLET 2

Este equipamento é facilmente configurado e apresenta uma interface, que pode ser acessada via Web ou *prompt* de comando. Ele fornece informações relevantes a respeito dos nós que estão utilizando a rede, inclusive a intensidade do sinal em dBm e suas variáveis, como mostra a Figura 8, necessárias para o experimento. A interface do Bullet2 disponibiliza o valor do RSSI (dBm), referente aos sinais vindos dos demais nós. No experimento em questão, informações de apenas um nó foram coletadas. Porém, se vários nós se conectarem, é possível diferenciá-los, já que a interface os categoriza de acordo com seus respectivos endereços MAC (*Media Access Control*), como explícito na Figura 8.

Para este trabalho, foram considerados apenas dois nós na rede, assim a leitura do Bullet2 fornece as informações do RSSI no Nó1, a respeito dos sinais vindos do Nó 2. Mas, para que o objetivo do trabalho se conclua, é preciso fazer a leitura inversa, ou seja, coletar valores de RSSI no Nó 2, referentes aos sinais vindos do Nó 1. Para isso, foram utilizados *softwares*, cuja função compete scanear o Wi-Fi de redes 802.11.



The screenshot shows a web browser window titled "UBNT: [Bullet2] - Associated Stations - Google Chrome". The address bar displays "192.168.1.20/stalist.cgi". The main content area contains a table with the following data:

Station MAC	Signal, DBm	Noise, DBm	Tx Rate	Rx Rate	Idle (Sec)	Comment
C4:85:08:9A:E5:02	-37	-96	24M	54M	0	

Below the table are two buttons: "Reload" and "Close this window".

Figura 8 – Interface Bullet2 – Monitoramento dos clientes

4.3.2. Software

Com o uso do Bullet2 tornou-se possível a leitura dos valores de RSSI no Nó 1, onde a rede *ad-hoc* foi criada. Para cumprir o objetivo deste trabalho de realizar a leitura bidirecional, foi necessária a utilização de um *software* que apresentasse a leitura dos demais nós, neste caso do Nó 2, em relação aos sinais que chegam na sua interface.

Existem alguns *softwares*, que têm a função de monitorar (“*scanear*”) o Wi-Fi das redes 802.11, que estão ao seu alcance. Para garantir a autenticidade das informações e possibilitar uma comparação futura, foram utilizados dois destes *softwares*, Acrylic Wi-Fi Home e inSSIDer Home. Ambos apresentam, basicamente, as mesmas funcionalidades, uma interface semelhante e possuem versões profissionais pagas, as quais não foram utilizadas para o presente trabalho. O Acrylic Home mostra informações sobre as redes disponíveis e constrói um gráfico da variação do sinal ao longo do tempo, como expõe a Figura 9. Para o experimento, foram colhidos os valores da intensidade do sinal, em um período determinado.

O critério de escolha dos *softwares* foi baseado em seus graus de popularidade referentes à eficiência e a usabilidade, já que alguns *softwares* não expressavam as informações de forma objetiva.



SSID	MAC Address	RSSI	Chan	802.11	Max Speed	WEP
BRASIL	68:1A:B2:68:E5:54	-76	11+7	b, g, n	150 Mbps	
Oi_Velox_WiFi_768C	00:18:E7:9A:76:80	-74	1	b, g	54 Mbps	
Oi WiFi Fon	00:18:E7:9A:76:81	-80	1	b, g, n	72.2 Mbps Open	
Hotel Benfica 4 II	00:0A:EB:62:2F:A8	-88	9+5	b, g, n	300 Mbps	
Tia Preta	78:44:76:18:23:D4	-83	11+7	b, g, n	150 Mbps	
Multilaser_2.4G_39	C8:3A:35:39:96:B0	-87	9+5	b, g, n	300 Mbps	
ADRIANA	54:E6:FC:97:BB:3E	-87	1	b, g	54 Mbps	
Oi WiFi Fon	CC:03:FA:52:92:A1	-86	1	b, g, n	150 Mbps Open	

Figura 9 – Interface Acrylic Home

4.4. Cenário

Uma rede *ad-hoc* foi criada em um dos *notebooks* e o Bullet2 foi configurado para que se pudessem realizar as leituras do RSSI. O segundo *notebook* fez o papel de Nó 2, como parte da rede *ad-hoc* criada. Desta forma, fez-se a comunicação Nó 1/Nó 2 e os agentes passaram a compartilhar pacotes entre si instantaneamente. Após a montagem do cenário, estabeleceram-se as distâncias, das quais seriam coletados os dados. O critério de escolha foi baseado no fato de que o método testado poderá ser reproduzido em um ambiente interno fechado, portanto não faz sentido o cálculo de grandes distâncias. Assim, foram determinadas as seguintes medidas: 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 metros. Para cada distância, os *notebooks* foram posicionados frente a frente, sem que houvesse interferências diretas, como demonstrado na Figura10. É importante destacar que o Nó 1 permaneceu constantemente parado e o Nó 2 foi deslocado, de acordo com as distâncias estabelecidas.



Figura 10 – Cenário

4.5. Dados

Para realização dos três experimentos algumas decisões foram tomadas em relação à coleta de dados e a forma como seriam manipulados. Assim, com o objetivo de alcançar maior precisão nas estimativas, determinou-se que, para cada distância, seriam coletados, no mínimo, dez valores de RSSI, em um determinado período de tempo.

No primeiro experimento o monitoramento se deu através do Nó 2, utilizando os dois *softwares* apresentados em 4.3.2. Como o objetivo era, também, comparar os resultados dos *softwares* a respeito das estimativas de distância, a execução e a coleta de ambos foram simultâneas, para garantir que as condições ambientais presentes influenciassem de forma igualitária em ambas as medições. No segundo experimento, a coleta foi realizada no lado do Nó 1, através da interface do Bullet2, que mostra os valores do RSSI, em dBm, referente aos pacotes que chegam de cada um dos demais nós da rede. O terceiro experimento consistiu na realização dos dois primeiros, porém de forma simultânea. Neste caso, a coleta dos dados envolveu os *softwares* e a interface do Bullet2, que trabalharam conjuntamente, durante todo o experimento, no Nó 2 e Nó 1, respectivamente.

4.5.1. Manipulação dos Dados

Após a realização dos experimentos, os valores de RSSI coletados, em cada distância, foram filtrados, a fim de que se pudesse colher os melhores valores a serem aplicados na fórmula apresentada em 4.2. Porém, para este trabalho, decidiu-se trabalhar com as médias, já que não se pode, simplesmente, comparar valores de RSSI atribuindo-lhes graus de importância, sem um critério sólido. Partindo desta ideia, nos experimentos 1 e 2 foram calculadas as médias dos RSSI's coletados em cada medição e os resultados foram atribuídos à fórmula escolhida para este trabalho. No terceiro experimento, a coleta foi realizada dos dois lados da conexão (Nó 1 e Nó 2), então, foram calculadas as médias referentes a cada lado e, para o cálculo de distância, foi aplicada a média das médias, ou seja, a média entre o resultado obtido no lado do Nó 2 e o resultado obtido no lado do Nó 1.

4.6. Resultados Esperados

A falta de precisão em estudos relacionados à medição de distância utilizando as RSSF's representa um grande impasse para os pesquisadores. Em um ambiente *indoor*, poucos metros de erro, presentes nas estimativas, podem anular as vantagens de um sistema de localização e comprometer a necessidade de seu uso. A fim de tentar resolver este problema, o presente trabalho propõe um novo método de estimativa de distância, baseado na leitura bidirecional do RSSI. Portanto, espera-se que as ferramentas utilizadas forneçam valores próximos aos reais e que o cenário contribua na eliminação de possíveis interferências. A leitura bidirecional deverá reduzir os efeitos negativos obtidos na leitura unidirecional. Além disso, espera-se que a manipulação dos dados, baseada no cálculo da média entre os valores de RSSI, proporcione melhor precisão nas estimativas de distância. Assim, a expectativa é que os erros sejam anulados ou reduzidos a ponto de se tornarem imperceptíveis.

5. Resultados Obtidos

Após a realização dos experimentos, percebeu-se que os *softwares* utilizados na medição do RSSI no Nó 2 forneceram resultados pouco variáveis, gerando médias semelhantes. Assim, em nível de comparação, ambos obtiveram o mesmo grau de eficiência durante os experimentos.

Em geral, os cálculos mostraram que, a leitura unidirecional do RSSI resultou em estimativas de distâncias pouco próximas às distâncias reais, como mostra a Tabela 1. Fazendo uma análise baseada no erro em metros, observa-se que no experimento 1, onde os dados foram coletados na interface do Nó 2, para três medidas de distância o erro foi de mais de 5 metros. No experimento 2, onde os dados foram coletados na interface do Nó 1, em apenas uma distância o erro foi de mais de 5 metros, porém os resultados não foram satisfatórios, levando em conta que em duas das demais distâncias o erro foi maior que 3 metros. No experimento 3, onde foi feita a leitura bidirecional do RSSI e o cálculo baseado nas médias dos valores encontrados nos dois nós da rede, as estimativas se aproximaram das distâncias reais em todas as medições. O maior erro, em metros, foi de 0,41.

Tabela 1 – Resultados dos experimentos de estimação de distância baseada no RSSI

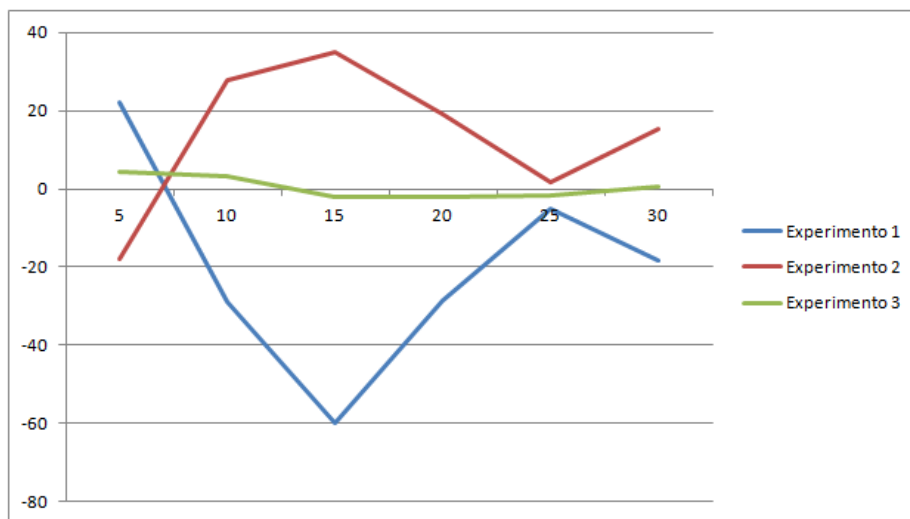
Distância real (metros)	Experimento 1 (metros)	Experimento 2 (metros)	Experimento 3 (metros)
5	3,9	5,89	4,78
10	12,88	7,24	9,66
15	23,99	9,77	15,31
20	25,70	16,22	20,41
25	26,30	24,55	25,40
30	35,48	25,41	29,85

A Tabela 2 mostra, estatisticamente, a taxa de erros de cada experimento, referente à comparação entre as distâncias reais e as distâncias encontradas através dos cálculos utilizando as medições do RSSI. Observa-se que no experimento 3 as taxas de erro foram, consideravelmente, menores em relação aos experimentos 1 e 2. O Gráfico 1 mostra, claramente, as variações da taxa de erro para cada distância. Segundo o gráfico, os valores referentes ao experimento 3 seguem uma linha mais constante em relação a taxa de erros e mais próxima, em relação às distâncias reais.

Tabela 2 – Taxa de erro das distâncias encontradas em relação às distâncias reais

Taxa de Erros (%)						
Distância (metros)	5	10	15	20	25	30
Experimento 1	22	-28,8	-59,93	-28,5	-5,2	-18,27
Experimento 2	-17,8	27,6	34,86	18,9	1,8	15,3
Experimento 3	4,4	3,4	-2,07	-2,05	-1,6	0,5

Gráfico 1 – Taxa de Erros (%)



6. Conclusão

Este trabalho tinha por objetivo estabelecer um método de medição de distância baseado na leitura bidirecional de valores de RSSI (dBm), a fim de melhorar a precisão dos resultados obtidos em experimentos que adotaram a leitura unidirecional.

Após a montagem do cenário e a aferição das ferramentas necessárias, vários experimentos foram realizados, a fim de estudar o comportamento do sinal a diferentes distâncias e situações. Diante disso, percebeu-se que quando o Nó 2 era deslocado, o RSSI levava um tempo para se estabilizar, portanto a coleta desses valores no exato instante do deslocamento prejudicava a precisão dos resultados. Para impedir que este fenômeno impactasse sobre o experimento, a coleta dos dados foi realizada após a estabilização dos valores do RSSI, em cada distância. Outras possibilidades podem ser estudadas em trabalhos futuros, a fim de sanar o problema de instabilidade.

Ao fim dos experimentos, os valores foram aplicados à fórmula e os resultados mostraram que a leitura unidirecional gera distâncias com grandes taxas de erro. Por outro lado, o experimento baseado na leitura bidirecional proporcionou uma redução dos erros nas estimativas, resultando em distâncias muito próximas às reais. Com isso, pode-se concluir que, de alguma forma, os efeitos negativos contidos nos experimentos unidirecionais são reduzidos na bidirecionalidade. Assim, pode-se considerar a possibilidade do uso de um método mais preciso baseado na leitura bidirecional do RSSI, para estimar a distância entre objetos localizados em um ambiente indoor.

Apesar de este trabalho ter se baseado em experimentos que pudessem afirmar que a leitura bidirecional do RSSI é um método mais eficiente, as intermediações atemporais do meio interferem na precisão dos resultados encontrados. Assim, para trabalhos futuros pode-se sugerir uma análise mais aprofundada do método baseado na leitura bidirecional, a fim de realizar experimentos em meios distintos, sujeitos a todo o tipo de interferência. O objetivo constituiria na identificação de uma técnica precisa que se adapte a diferentes meios, mantendo o máximo de precisão no cálculo das distâncias. Neste caso, o uso de técnicas, como *Fingerprinting* e Trilateração, seria essencial na montagem de variados cenários, possibilitando o estudo do sinal por diferentes parâmetros.

Referências

- BAHL, P., PADMANABHAN, V. N. (2000) “Enhancements to the RADAR user location and tracking system”, Technical Report MSR-TR-2000-12, Microsoft Research, Fevereiro.
- CAFFERY, J. Jr., STÜBER, G. L. (1998) *Subscriber location in CDMA cellular networks*. IEEE Transactions Vehicular Technology, vol. 47, pp. 406–416, Maio.
- COLEMAN, D. D. E WESTCOTT, D. A. (2009) *Certified Wireless NetWork Administrator Official Study Guide*. Indiana : Wiley Publishing Inc., 978-0-470-43890-9.
- FRANCOTI, R. (2013) GPS Wi-Fi para Ambientes Fechados (*indoor*) - Redes de Sensores sem Fio como infraestrutura. Universidade Cruzeiro do Sul. São Paulo, SP. Novembro.
- GRACIOLI, G. *et. al.* (2011) *Evaluation of na RSSI-based Location for Wireless Sensor Networks*. IEEE Latin America Transactions, Vol. 9, No.1, March.

- GUEDES, E. M. P. (2003) Estudo de Técnica Híbrida de Localização de Estações Móveis Baseada em TDoA e AoA / Edna Maria Pereira Guedes. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia.
- KUROSE, James.F; ROSS, Keith.W. (2006) Rede de Computadores e a Internet: Uma abordagem top-down. 3.ed. São Paulo: Pearson, 625p.
- LIMA, E. A. (2001) Sistemas para Localização de Pessoas e Objetos em Ambientes *Indoor*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Novembro.
- LOUREIRO, A. A. F; NOGUEIRA, J. M. S; RUIZ, L. B; MINI, R. A. F; NAKAMURA, E. F; FIGUEIREDO, C. M. S. (2003) Redes de Sensores Sem Fio. . In: XXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC'03), Anais... Natal, RN, Brasil. Tutorial, p. 179-226.
- MOURA, A. L. (2007) WBLs: um sistema de localização de dispositivos móveis em redes Wi-Fi. Tese (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- NAVARRO. E, PEUKER. B, QUAN. M. (2010) *Wi-Fi Localization Using RSSI Fingerprinting*. Computer Engineering, *Child Development California Polytechnic State University 1 Grand Avenue; San Luis Obispo, CA 93405; USA.
- SAVVIDES, A., HAN, C. C., and SRIVASTAVA, M. B. (2001) Dynamic fine grained localization in ad-hoc sensor networks. In Proceedings of ACM Mobile Communications (MobiCom).
- SILVA, L. R. B. Da. (2014) Método para aferição de distância entre nós sensores baseados em RSSI/ Luiz Rodolfo Barreto da Silva- Campinas: PUC-Campinas. 121p. 22.ed.CDD – t621.3851
- TREVISAN, L. M. (2008) Um Algoritmo de Localização de Nós em Redes Sem-fio Usando Nível de Potência do Sinal. Curitiba, 76p.