

Mapeamento de hotspot em ambientes outdoors

Andressa da Silva Siqueira Almeida^a, Anderson F. Pereira dos Santos^b, Paulo Fernando Ferreira Rosa^c

Seção de Ensino de Engenharia de Computação - Instituto Militar de Engenharia

Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

^asiq.andressa@gmail.com, ^banderson@ime.eb.br, ^crpaulo@ime.eb.br

RESUMO: O crescente avanço tecnológico tem contribuído para a disseminação de novas tecnologias, principalmente na área de telecomunicações. A localização dos dispositivos já é assegurada, com um nível de precisão de aproximadamente de três metros, pelo serviço de GPS (Global Position System), porém a diferença entre a posição real e a estimada de alguns sistemas que utilizam apenas o serviço de GPS é considerada insuficiente, sendo necessária uma precisão maior. O trabalho proposto aborda um problema crítico, especificamente para sistemas de geolocalização e rastreamento de alvos. O principal objetivo é apresentar um algoritmo de localização em ambiente outdoor baseado na força do sinal recebido em que o sistema não possui o conhecimento prévio da localização dos roteadores, também conhecidos como Access Points (AP's).

ABSTRACT: The growing technological advancement has contributed to the dissemination of new technologies, especially in the telecommunications area. The location of the devices is already assured, with an accuracy level of approximately three meters, by the GPS (Global Position System) service, but the difference between the actual and estimated position of some systems that use only the GPS service is considered insufficient, requiring greater precision. The proposed work addresses a critical problem, specifically for geolocation and target tracking systems. The main objective is to present an outdoor location algorithm based on the received signal strength in which the system does not have prior knowledge of the location of the routers, also known as Access Points (AP's).

PALAVRAS-CHAVE: Access Point. Algoritmo de geolocalização.

KEYWORDS: Access Point. Geolocation System.

1. Introdução

O avanço tecnológico das últimas décadas foi um fator determinante para a crescente disseminação de novas tecnologias e sistemas de comunicação na sociedade. Isso trouxe um aumento significativo nos dispositivos portáteis sem fio, permitindo a criação de sistemas de geolocalização para os mais diferentes fins, de modo que as inúmeras aplicações desse tipo de sistema têm estimulado o crescimento de pesquisas de serviços e sistemas de localização baseados em dispositivos moveis.

Segundo [1], os serviços e sistemas de localização são considerados críticos em aplicações específicas, tais como busca e resgate de vítimas de desastres naturais.

- O principal objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento de um algoritmo que, em tempo real, forneça a localização estimada de um *Access Point* (AP), independente do padrão de protocolo de comunicação utilizado em ambientes *outdoors*, utilizando *hardwares* de baixo custo e que se encaixem nas três condições fundamentais descritas por [2], que são:
- Implementável - o algoritmo deve ser facilmente destacável da infraestrutura de comunicação de rede sem fio Wi-Fi (802.11) existente, sem a necessidade

de qualquer mudança de *hardware* ou de *firmware* e só deve trabalhar com informações que já estão implantadas nos AP's, tais como Indicador da Força de Sinal Recebido (RSSI - *Receive Signal Strength Indicator*) e Informação do Status do Canal (CSI - *Channel State Information*).

- Universal - deve ser capaz de localizar qualquer dispositivo que forneça Wi-Fi (802.11), não exigindo que o alvo tenha qualquer outro *hardware*, tais como acelerômetros, giroscópios, barômetros, câmeras, ultrassom, *bluetooth*, etc.

Preciso - deve ser idealmente tão exato ou mais que os sistemas de localização mais conhecidos que usam sinais Wi-Fi (802.11), inclusive aqueles que não satisfazem os dois requisitos anteriores.

A tecnologia Wi-Fi (802.11) é recente e tem grandes potencialidades como tecnologia de suporte a aplicações que requerem mobilidade e flexibilidade, sendo a sua viabilidade dependente diretamente dos métodos de localização, da complexidade das áreas em estudo (*indoor* ou *outdoor*) e da tecnologia de infraestrutura, segundo [3].

Este artigo está organizado da seguinte sequência: a seção 2 aborda os trabalhos já existentes utilizados

como base. Na seção 3, é apresentada a plataforma utilizada durante o trabalho. A seção 4 aborda a metodologia utilizada, enquanto na seção 5 são apresentados os resultados obtidos. Na seção 6, são feitas as considerações finais e sugestões de trabalhos futuros.

2. Trabalhos relacionados

Todos os trabalhos propostos ao longo do tempo possuem o mesmo desafio, o de conseguirem estimar com precisão a localização dos dispositivos, mesmo com a utilização de diferentes técnicas por causa dos efeitos sofridos no sinal Wi-Fi (802.11) e dos erros intrínsecos.

O algoritmo RMCL [4] baseia-se no algoritmo de Monte Carlo para determinar a posição de alvos móveis, utilizando as informações de RSSI como base para os cálculos. Apesar de evidenciar uma melhora significativa na precisão da localização dos nós ao restringir uma área de amostragem, seu foco é em nós móveis, diferentemente do estudo realizado. Porém, por utilizar o modelo de sombreado, como a propagação de sinal para os cálculos dos valores de RSSI, serviu como base inicial dos estudos.

O algoritmo chamado FILA [5] utiliza a tecnologia CSI (*Channel State Information*) em conjunto com a modulação OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) para estimar a localização do AP. A técnica demonstra, através de experimentos, que é bem mais precisa que a utilização do RSSI, cuja limitação está no fato de que somente podem ser lidas as modulações OFDM que estão presentes nos padrões 802.11a/g/n. Isso significa que, se na rota traçada, houver algum AP com padrão diferente, ele não será localizado.

O algoritmo SpotFi [6] utiliza as técnicas de AoA (*Angle of Arrival*), ToF (*Time of Flight*) e RSSI, estimando a probabilidade de cada par de AoA e ToF de diferentes componentes de múltiplos caminhos, de modo a encontrar a localização mais provável do alvo que poderia ter produzido o RSSI e AoA capturados. A utilização dessa técnica fornece uma precisão média de 50 cm, porém, ele foi validado com um NIC (*Network Interface Card*) de três antenas, restringindo seu uso a embarcar o algoritmo em qualquer outro hardware e obter a mesma precisão na localização sem componentes adicionais.

O algoritmo ALPHA [7], que utiliza as técnicas de ToA (*Time of Arrival*), RSSI e TDoA (*Time Difference of Arrival*), mostrou seu melhor desempenho, com erro inferior a 3m para mais de 80% das posições.

Nenhum dos algoritmos encontrados satisfizeram as três condições fundamentais propostas por [2] de serem universais, implementáveis e precisos.

Tab. 1 - Tabela comparativa entre os trabalhos relacionados exemplificados.

Algoritmo	Nível de precisão	Técnica utilizada	Ponto(s) negativo(s) na utilização do algoritmo
FILA	-	CSI e OFDM	As modulações do tipo OFDM não estão presentes em todos os padrões de Wi-Fi (802.11) existentes. Em um ambiente novo e não estruturado, não é possível a determinação de todos os alvos.
SpotFi	50 cm	AoA, ToF e o RSSI	Não é um algoritmo implementável, pois utiliza um NICs de três antenas.
ALPHA	Menor que 3 metros	ToA e RSSI	Falta de precisão no resultado gerado pelo algoritmo.
RMCL	-	Baseado no algoritmo de localização Monte Carlo e RSSI.	Só realiza localização de nós móveis.

3. Plataforma

Foi realizada a prototipação da infraestrutura necessária para o funcionamento do algoritmo utilizando o microcomputador *Raspberry Pi 3 Model B*, *dongle* de Barramento Serial Universal (*Universal Serial Bus* - USB) de Wi-Fi (802.11), Navio2, e o kit ARF DJI F450 como base do VANT (Veículos Aéreos Não Tripulado).

3.1 Raspberry Pi

O *Raspberry Pi* é um computador de baixo custo e do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta a um monitor de computador ou TV, e utiliza um teclado e mouse padrão [8]. Para o projeto, foi escolhida a versão 3, principalmente em função da melhora de processamento de dados e por já ter integrado o módulo de Wi-Fi (802.11), fazendo desnecessário o uso do *dongle* de Barramento Serial Universal (*Universal Serial Bus* - USB) de Wi-Fi (802.11).

3.2 Navio2

O *Navio2* é uma placa criada pela Emlid para permitir a criação de VANT's. Construída para pesquisa e educação, e usada em conjunto com a placa *Raspberry Pi*, elimina a necessidade de ter vários controladores a bordo, aumentando a robustez do projeto e facilitando o desenvolvimento.

3.3 Veículo Aéreo Não Tripulado

Projetadas inicialmente para fins militares, VANT's são aeronaves que possuem capacidade de voo sem a necessidade de um piloto a bordo.

Foi utilizado no projeto o kit ARF DJI F450 como base do VANT, pois possui um material ultra resistente (*ultra-strong* PA66 + 30GF).

3.4 Sistema de Veículo Aéreo Não Tripulado

Segundo [9], por não possuir um piloto a bordo, os VANT's necessitam de infraestrutura remota para sua operação, tais como os componentes necessários para a execução do táxi (rota), decolagem/lançamento, voo e pouso/recuperação do veículo, os meios necessários para a realização da missão, a estação de pilotagem remota, software, meios para comunicações e controle, enlaces de dados (*data links*), cargas, equipamentos para lançamento e recuperação, manutenção e suporte.

3.5 Simulador de voo e estação de base

Realizou-se um estudo dos principais *softwares* relacionados ao desenvolvimento de plataformas de voos autônomos, sendo os de maior interesse os simuladores de voos e as estações de controle em solo (ECS). Como simulador de voo, optou-se pelo *FlightGear* por ser gratuito e possuir código fonte aberto, permitindo alterações no código para desenvolvimento de pesquisas científicas [1].

Essa infraestrutura permitirá que o algoritmo seja embarcado em um VANT autônomo, que sobrevoará um ambiente *outdoor* controlado sem intervenção humana. [1].

4. Algoritmo proposto

A estrutura do algoritmo proposto foi dividida em dois algoritmos menores que rodam em *thread* no *Raspberry Pi*, sendo que o primeiro algoritmo é responsável pela coleta de dados de GPS e RSSI do VANT, cálculo de distância estimada e validação a partir da qualidade do sinal, enquanto o segundo algoritmo é responsável pelo cálculo da posição estimada, utilizando o conceito de trilateração (Figura 1).

No algoritmo 1, a primeira etapa é a captura de dados de GPS, realizada através do controlador de voo *Navio2*, que fornece informações de latitude e longitude do VANT em tempo real. A captura dos dados é colocada dentro de um *loop*, de forma que fique rodando até que alguém force sua parada.

Em seguida, é feito o *scan* de todas as redes disponíveis dentro do raio de alcance do *hardware* através da biblioteca Wi-Fi [11], que fornece um conjunto de ferramentas para configurar e conectar as redes Wi-Fi (802.11). São capturadas as informações que permitem a identificação da rede (nome e endereço físico) e as informações de RSSI e qualidade do sinal.

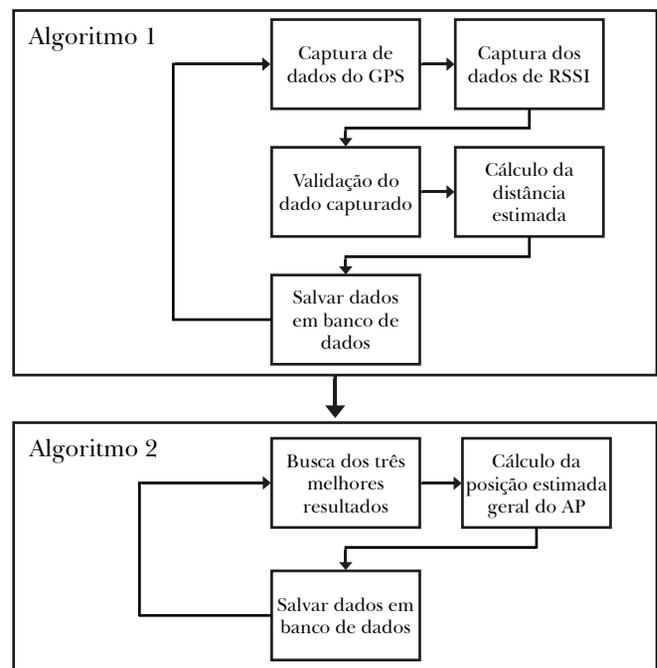


Fig. 1 – Estrutura do algoritmo proposto

Para realizar o cálculo de distância é utilizado a Equação 1.

$$d = 10^{\frac{RSSI - RSSI_0}{-10n}} \quad (1)$$

Tal que:

- RSSI - Representa o valor da intensidade do sinal a uma distância d em dBm.
- RSS_0 - Representa o valor da intensidade do sinal a 1 metro de distância em dBm.
- n - Corresponde ao *path loss*.
- d - Distância entre o transmissor e receptor de sinal em metros.

Como na literatura existe pouca explicação de como obter de forma assertiva o valor de RSS_0 , foi realizado um pequeno experimento para verificar se existe diferença significativa nas leituras de RSSI caso os equipamentos estiverem perto ou longe de uma grande área plana, como o solo. Os testes para determinação dos valores de n (variável de ambiente) e do valor de RSS_0 foram feitos em duas etapas, nas quais os equipamentos estavam em contato direto com o solo e em cima de um tripé. O experimento provou que houve uma melhora significativa nas leituras de sinal realizadas quando os roteadores e o receptor estavam a aproximadamente 46 cm do chão, em relação às leituras de sinal realizadas quando os equipamentos estavam encostados no chão.

Em todos os artigos lidos que trabalham em ambientes *outdoors*, os autores atribuem o valor dois para a constante n , porém, não foi encontrada uma experiência científica que demonstre que valor é o melhor para a constante n .

Para descobrir o melhor valor de n , foram realizados os cálculos de distância utilizando os valores de $n = 2, 2.5$ e 3 .

Foi possível verificar que a combinação que apresenta a menor diferença entre a distância real e a estimada acontece quando se utiliza o RSS_0 igual a -30 dBm, n igual a 3 , e quando os equipamentos não estão em contato direto com uma grande área plana.

Ainda com esse experimento foi possível determinar a partir de quais valores são válidos de RSSI e qualidade, que demonstrou que o erro no cálculo da distância era superior a 40 cm quando os valores de RSSI eram menores que -70 dBm e a qualidade de sinal menor que 41. Logo, foi considerado que todos os sinais captados que possuem o RSSI maior ou igual a -70 dBm e qualidade de sinal maior ou igual a 41 são considerados válidos.

No algoritmo 2, é feito o cálculo de trilateração, que é um método geométrico que permite a localização de um ponto através da distância entre esse ponto e outros três pontos conhecidos, a partir dos três melhores sinais considerados válidos pelo primeiro algoritmo, ou seja, verificamos os três sinais que possuem os maiores valores de RSSI e qualidade de sinal.

Nesse momento, são usados os dados de geolocalização de pontos distintos e não-complanares para que a solução da equação do sistema da trilateração (Equação 2) [12] apresente somente um único resultado. Caso o resultado da trilateração possua dois pontos distintos de intersecção entre as circunferências, uma média entre os pontos é tirada. O valor resultante da média é a localização estimada do AP.

$$\begin{cases} d_{A1}^2 = (X - X_{A1})^2 + (Y - Y_{A1})^2 \\ d_{A2}^2 = (X - X_{A2})^2 + (Y - Y_{A2})^2 \\ d_{A3}^2 = (X - X_{A3})^2 + (Y - Y_{A3})^2 \end{cases} \quad (2)$$

Onde:

- X e Y correspondem às coordenadas desconhecidas;
- d_{An} indica a distância do dispositivo móvel para cada estação;
- X_{An} e Y_{An} são as coordenadas das estações fixas, com definindo a referência para os pontos A_1, A_2 e A_3 .

Logo após, é calculada uma média da longitude e latitude das três coordenadas que obtiveram as melhores leituras de RSSI e feita uma média entre o resultado obtido na trilateração e a média dos pontos de longitude e latitude.

Toda a informação obtida e calculada é guardada no banco de dados, o que irá permitir ter um histórico de todos os valores e resultado dos cálculos ao final do voo.

5. Resultados

Todos os experimentos válidos da proposta foram realizados em ambientes controlados, em espaços abertos, sem circulação de pessoas e sem grandes construções, visando a comparação da posição estimada pelo algoritmo com a posição real. No momento dos experimentos, as únicas fontes de sinal Wi-Fi (802.11) eram dos dois aparelhos utilizados como roteadores de rede.

Os dois aparelhos eram um celular da marca Samsung Note 8 e um roteador da TP-Link TL- R702N Portátil (**Tabela 1**). Foram utilizados também dois receptores de rede Wi-Fi (802.11), o receptor já presente no *Raspberry Pi* e um *doogle* de Barramento Serial Universal de Wi-Fi (802.11)).

Tab. 1 - Roteadores usados para validação da proposta.

Roteador	Latitude	Longitude	Distância do chão
Celular Samsung	-22,95527°S	-43,16581°O	152,67 cm
TP-link TL-WR702N	-22,95535°S	-43,16580°O	75,40 cm

Foram feitas o total de 120 leituras no teste de validação da proposta (**Tabela 2**), das quais 83 leituras são válidas, ou seja, possuem o RSSI ≥ -70 dBm e qualidade de sinal ≥ 41 .

Tab. 2 - Quantidade de leituras feitas para cada roteador versus quantidade de leitura válida.

Roteador	Quantidade total de leituras	Quantidade Leituras válidas
Celular Samsung	60	36
TP-link TL-WR702N	60	47

O cálculo de trilateração utilizou os três melhores valores de leitura de cada receptor (**Tabela 3**).

A partir dos melhores valores, foi feita a média da longitude e da latitude das leituras utilizadas, e do valor obtido da trilateração (**Tabela 4**).

Tab. 3 - As três melhores leituras consideradas válidas para cada roteador ao final do experimento.

Receptor	Roteador	RSSI	Qualidade de Sinal	Distância calculado
Receptor do <i>Raspberry Pi</i>	Celular Samsung	-54dBm	56	0,16 cm
		-55dBm	55	0,15 cm
		-56 dBm	54	0,14 cm
	TP-link TL-WR702N	-51 dBm	59	0,20 cm
		-55 dBm	55	0,15 cm
		-67 dBm	43	0,06 cm
<i>doogle</i>	Celular Samsung	-47 dBm	63	0,27 cm
		-61 dBm	49	0,09 cm
		-63 dBm	47	0,08 cm
	TP-link TL-WR702N	-41 dBm	69	0,43 cm
		-53 dBm	57	0,17 cm
		-62 dBm	48	0,09 cm

Tab. 4 - Resultado da solução proposta por receptor.

Receptor	Roteador	Latitude estimada	Longitude estimada
Receptor do <i>Raspberry Pi</i>	Celular Samsung	-23,12075°S	-43,60682°O
	TP-link TL-WR702N	-22,86113°S	-43,35391°O
<i>doogle</i>	Celular Samsung	-22,90689°S	-43,16517°O
	TP-link TL-WR702N	-23,42572°S	-43,86182°O

Analisando seu resultado foi possível perceber que o erro médio geral foi de 0,43669795 cm (**Tabela 5**).

Tab. 5 - Erro médio entre a posição real e a posição estimada pela solução proposta.

Tipo de cálculo	Erro médio
Por roteador	39,25 cm
Por receptor	48,09 cm
Erro médio total	43,67 cm

6. Conclusões

O objetivo do trabalho foi a criação de um algoritmo implementável, universal e preciso, capaz de estimar a geolocalização de APs sem o seu conhecimento prévio.

O algoritmo criado utilizou-se de métodos matemáticos conhecidos de estimativa de distância e localização como solução, assumindo que a relação entre o RSSI e a distância entre os APs é exponencial, com base igual a 10.

Pode-se concluir que a estimativa da geolocalização dos APs pode ser realizada de maneira satisfatória, desde que o algoritmo consiga se adaptar ao ambiente onde é incorporado.

Uma das grandes dificuldades foi a determinação de quais eram os melhores dados para serem usados nos cálculos. Uma possibilidade de melhoria nos resultados pode ser uma análise mais aprofundada, em tempo de execução, das leituras realizadas que serão utilizadas nos cálculos. Outra possibilidade é o uso do conceito de multilateração, que consiste em utilizar mais de três conjuntos de valores capturados (Posição atual do VANT no momento de

leitura e valor de distância estimada) para o cálculo de geolocalização.

Agradecimentos

Agradecemos às seguintes instituições, que viabilizaram a realização deste trabalho:

- CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior), por conceder uma bolsa de MESTRADO por meio do Edital Pró-Estratégia no 50/2011;
- IME (Instituto Militar de Engenharia), por nos conceder a honra de fazermos parte do quadro de alunos e podermos completar o programa de Pós-Graduação.

Referências

- [1] SIQUEIRA, Andresa da Silva. **Algoritmo de localização de rede**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação) - Instituto Militar de Engenharia, [S. l.], 2017.
- [2] KIM, Minkyong; FIELDING, Jeffrey J; KOTZ, David. **Risks of using AP locations discovered through war driving**. Springer, [S. l.], p. 67-82, 2006. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/11748625_5.
- [3] MACHADO, Joel Filipe. **Localização de Dispositivos Móveis em Redes Wi-Fi**. Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Vila Real, [S. l.], 2007.
- [4] ZHU, Haiping; ZHONG, Xiaoyong; YU, Qianhong; WAN, Yunlong. A localization algorithm for mobile wireless sensor networks. **Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications**, IEEE, [s. l.], p. 81-85, 2013.
- [5] WU, Kaishun; XIAO, Jiang; YI, Youwen; GAO, Min; NI, Lionel. FILA: Fine-grained indoor localization. **Proceedings IEEE INFOCOM**, [s. l.], p. 2210-2218, 2012.
- [6] YANG, Zheng; WU, Chenshu; LIU, Yunhao. Locating in fingerprint space: wireless indoor localization with little human intervention. **Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking**, [s. l.], p. 269-280, 2012.
- [7] PRIETO, Javier; MAZUELAS, Santiago; BAHILLO, Alfonso; FERNANDEZ, Patricia; LORENZO, Rubéns; ABRIL, Evaristo J. Adaptive data fusion for wireless localization in harsh environments. **IEEE Transactions on Signal Processing**, [s. l.], ano 4, v. 60, p. 1585-1996, 2012.
- [8] RASPBERRYPI.ORG, **Raspberry Pi Foundation**. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/>. Acesso em: 30 out. 2017.
- [9] CIVIL, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO. **Proposta de instrução suplementar, intitulada "Emissão de certificado de autorização de voo experimental para sistemas de veículo aéreo não tripulado"**, 2012. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/transparencia/consulta2012/01/Justificativa.pdf>
- [10] DJI. **Flame Wheel Arf**. Disponível em: <http://www.dji.com/flame-wheel-arf>. Acesso em: 30 out. 2017.
- [11] MEZA R.; WAHL G. **Wifi, a Python interface**. Disponível em: <https://wifi.readthedocs.io/en/latest/>. Acesso em: 30 de out. de 2017
- [12] TREVISAN, Luis. **Um Algoritmo de Localização de nós em Redes Sem-Fio Usando Nível de Potência do Sinal**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2009. Acesso em: 30 de out. de 2017.