

Implementação da localização com *Time of Arrival* para redes sem-fio IEEE 802.11

Implementation of the location with Time of Arrival for wireless networks IEEE 802.11

RESUMO

Para uma aeronave ser considerada um veículo aéreo não tripulado é necessário que a mesma tenha capacidade de se locomover sem a necessidade de um humano a bordo, sendo que para isso acontecer a aeronave necessita saber sua exata localização a fim de se obter uma melhor performance. Sendo assim, existem métodos para o VANT se localizar, o mais comum sendo o GPS. Porém ele possui deficiências que podem ser diminuídas se utilizar um outro método de localização com o intuito de complementar a técnica do GPS. Então têm-se outras técnicas que utilizam o sistema de comunicação sem fio da aeronave para se localizar, um deles conhecido como ToA (*Time of Arrival*), sendo o objetivo do trabalho avaliá-la como uma possível técnica para complementar a localização através do GPS.

PALAVRAS-CHAVE: Veículo Aéreo Não Tripulado. Sistema de comunicação sem fio. Drones.

ABSTRACT

For an aircraft to be considered an unmanned aerial vehicle it is necessary that it has the capacity to move without the need of a human on board, and for this to happen the aircraft necessity know your exact location in order to obtain a better performance. Thus, there are methods for the UAV to locate itself, the most common being GPS. However, it has deficiencies that can be diminished if utilize another location method with purpose to complement the GPS technique. Then there are other techniques that utilize the aircraft wireless communication system to locate itself, one of them know as ToA (Time of Arrival), being the objective of this work to evaluate it as a possible technique to complement the GPS location.

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicle. Wireless Communication Systems. Drones.

Angelo Spinardi Netto
angelonetto@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Natássya B. F. Silva
natassyasilva@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Atualmente, vêm-se desenvolvendo os VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), tendo por finalidades o auxílio em busca e resgate (QUAN; HERMRMANN; SOLIMAN, 2019), uso por forças militares (AGUILAR; SANTOS, 2020) e monitoramento de plantações (CHAVES, 2015). Pode-se dizer que, para uma melhor performance, há a necessidade de conhecer a sua exata localização para um melhor desempenho do seu piloto automático, existindo várias técnicas para isso, a mais utilizada sendo o GPS. Porém, essa técnica possui limitações pela sua ineficácia em lugares fechados, por isso há soluções na literatura para melhorar a precisão da estimativa de posição do VANT, sendo técnicas que utilizam a comunicação sem fio, como ToA (*Time of Arrival*), TDOA (*Time Difference of Arrival*), RTOF (*Roundtrip Time of Flight*) e RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) (LIU, 2007).

Sendo assim, esse estudo tem como objetivo a implementação da técnica ToA para estimar a posição do VANT, a partir de redes sem-fio IEEE 802.11. Essa técnica consiste em ter um sensor para a emissão do sinal com posição desconhecida e outros sensores para a recepção, do qual já se conhece suas localizações, tornando possível encontrar as coordenadas do emissor a partir da diferença de tempo em que o sinal sai do emissor e chega no receptor. É importante ressaltar que para a aplicação dessa técnica são necessários pelo menos três receptores.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada com a aplicação da técnica ToA, que se baseia na estimação da distância entre nós que se comunicam a partir dos tempos de chegada e envio dos sinais. Portanto há a necessidade de que todos os nós estejam sincronizados em relação ao tempo, além de ser necessário saber a velocidade de propagação do sinal (GEZICI, 2008).

Dessa forma, têm-se dispositivos se comunicando através de uma rede sem fio com um dispositivo para a emissão do primeiro sinal e outro para a sua recepção, denominados nó emissor e receptor, respectivamente. O nó emissor envia um sinal vazio para o nó receptor, que armazena o tempo em que a mensagem chega e retorna o sinal contendo o tempo em que foi armazenado.

Deste modo, o nó emissor já contém o tempo de envio e recebe por meio da mensagem o tempo de chegada. Portanto, com esses dois valores pode-se calcular a diferença entre os tempos, permitindo assim encontrar a distância entre os nós na Eq. (1), sendo v a velocidade da luz, mantida constante e igual a 299.792.458 m/s nos experimentos e t a diferença entre o tempo de partida e chegada do sinal.

$$d = vt \tag{1}$$

Porém, para estimar a posição do nó emissor, não é possível realizá-la apenas com um nó receptor. Se faz necessário utilizar no mínimo três nós receptores para ambientes 2D. Com isso necessita-se de um algoritmo para realizar a estimativa da posição do nó, para isso foi utilizado o método *Maximum Likelihood Estimation* (ZHANG, 2010) necessitando de no mínimo três distância para se obter uma solução. A posição é encontrada considerando a intersecção entre os círculos que

possuem o raio igual às distâncias obtidas pelo ToA, porém como as soluções para esse sistema de equação pode não ser única, determina-se a solução com o menor erro quadrático. Nesse caso, por se tratar de um ambiente 2D, o erro quadrático médio foi calculado com a Eq. (2), onde r_i é o raio do círculo com centro no nó receptor, correspondendo a distância, x_i e y_i são as coordenadas dos nós receptores e x_0 e y_0 são as coordenadas desconhecidas do nó emissor.

$$e_i = r_i - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (2)$$

Sendo assim, a solução da trilateração pode ser obtida pela Eq. (3) tendo a matriz x como a Eq. (5) e y equivalente a (6). Dessa forma, chega-se nas posições estimadas através da Eq. (4), resultando no vetor b que contém as coordenadas x e y do emissor.

$$y = Xb \quad (3)$$

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (4)$$

$$X = 2 \begin{bmatrix} (x_n - x_1) & (y_n - y_1) \\ (x_n - x_2) & (y_n - y_2) \\ \vdots & \vdots \\ (x_n - x_{n-1}) & (y_n - y_{n-1}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$y = \begin{bmatrix} -x_1^2 - y_1^2 + r_1^2 + x_n^2 + y_n^2 - r_n^2 \\ -x_2^2 - y_2^2 + r_2^2 + x_n^2 + y_n^2 - r_n^2 \\ \vdots \\ -x_{n-1}^2 - y_{n-1}^2 + r_{n-1}^2 + x_n^2 + y_n^2 - r_n^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Para aplicar esses métodos foi necessário utilizar um simulador onde seria possível simular uma rede IEEE 802.11. Sendo assim, foi escolhida a ferramenta Omnet++, que é um simulador de eventos discretos escrito em C++ e orientado a objetos, muito utilizado para simulação de redes (VARGA, 2010). Dessa forma, realizou-se as modelagens da rede em um arquivo de extensão *.ned*, com os parâmetros dos módulos passados por um arquivo de inicialização *.ini*, com as configurações da simulação escrita em C++ em arquivos *.cc* e *.h*.

Portanto, os experimentos foram simulados em uma rede IEEE 802.11 utilizando o framework INET (OPENSIM LTD, 2020), que permite a configuração do protocolo da camada de transporte (TCP, UDP, entre outros), da camada de rede (IPv4, IPv6, IPsec e ICMP), e da camada de aplicação (HTTP, SMTP, entre outros).

Dentro do simulador foram configurados os protocolos necessários para a aplicação: uma rede WLAN com o padrão IEEE 802.11 com o UDP para a camada de transporte e o IPv4 para a camada de rede. Dessa forma, foi implementado o nó emissor transmitindo a mensagem por *broadcast*, ou seja, a mensagem é enviada em um único sinal para todos os receptores. Já os receptores enviam a mensagem para o IP específico do nó emissor, estabelecendo a comunicação entre os nós.

Para evitar colisões entre os sinais foi utilizada a implementação do protocolo CSMA/CA na camada de enlace de dados. Logo, o sinal só é transmitido quando o canal de comunicação está livre. Além de que, garante-se que um dispositivo não receba múltiplas mensagens ao mesmo tempo, evitando colisões.

Com o intuito de avaliar a técnica *Time of Arrival*, foi analisado a precisão do algoritmo da seguinte forma: após realizar os cálculos da estimativa de posição, é escrita em um arquivo .csv a posição estimada e a posição correta, além dos tempos em que a plataforma que está realizando as simulações levou para realizar os cálculos necessários da distância e da estimativa de posição com a trilateração. Desta maneira, tem-se o arquivo .csv com as 2 coordenadas (correta e estimada), permitindo o cálculo do erro euclidiano através da Eq. (7), sendo x_c e y_c às da posição estimada.

$$e = \sqrt{(x_c - x_e)^2 + (y_c - y_e)^2} \quad (7)$$

Portanto, para tornar essas análises mais significativas foi realizado a simulação através de vários cenários e para cada cenário replicou-se a simulação 30 vezes. Isso foi necessário devido ao ruído que foi implementado sendo um número gerado aleatoriamente entre 0 e $8.3 * 10^{-9}$. Sendo assim, o aumento do número de replicações foi necessário para diminuir a influência do ruído na avaliação, uma vez que, se fosse feito com poucas replicações, o gráfico apresentaria um intervalo de confiança muito grande devido a discrepância entre os dados.

Deste modo os cenários foram configurados com os nós receptores distantes há 1, 5 e 10 metros e para cada distância foram colocados 3, 6 e 12 receptores. Os nós receptores foram dispostos de forma em que teoricamente pode-se obter maior precisão, ao redor do nó emissor, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Disposição dos nós para três receptores.



Fonte: Autoria própria (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as simulações realizadas gerou-se um arquivo .csv para cada cenário realizado, contendo o tempo em que a máquina que está rodando a simulação leva para realizar o cálculo da trilateração, o tempo para cálculo da distância e as posições corretas e estimadas.

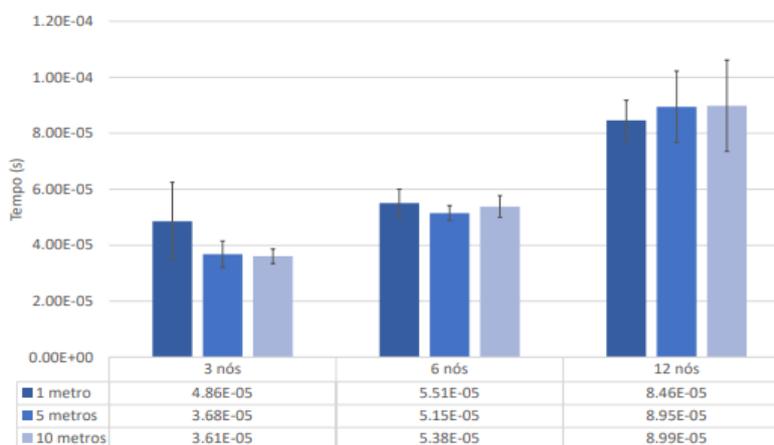
É importante salientar que esse tempo da distância e o tempo de trilateração são diferentes do tempo que foi utilizado para o cálculo da distância entre os nós,

citadas na Eq. (1), uma vez que o tempo que foi utilizado para o cálculo da distância equivale ao tempo de simulação e os tempos de distância e trilateração da planilha equivale ao tempo real, podendo variar conforme as configurações da máquina em que estão sendo realizadas as simulações.

Dessa forma, foi avaliado o algoritmo ToA através do erro euclidiano da posição, e o custo através dos tempos de trilateração e distância. Além disso, foram comparados os resultados do método ToA com o método RSSI, cujos resultados foram produzidos pela Iniciação científica do Alexandre de Souza Sampaio. As simulações do método ToA foram realizadas em uma máquina com processador Intel Core i5 com 1.19 GHz e as do método RSSI foram realizadas em uma máquina possuindo o processador Intel Core i7 com 2.8 GHz.

Foi dado início à análise através do gráfico com o tempo em que a máquina levou para calcular a trilateração. Dessa forma, a Figura 2 foi gerada com a média das 30 replicações para cada cenário e o intervalo de confiança foi obtido por meio da função do programa Excel INT.CONFIANÇA.T(0.05;DV;CONT.NÚM(1:30)), sendo DV o desvio padrão, 0.05 o nível de significância usado para calcular o nível de confiança e CONT.NÚM(1:30) (JAIN, 1990) o número de amostras.

Figura 2 – Gráfico do tempo para calcular a trilateração.



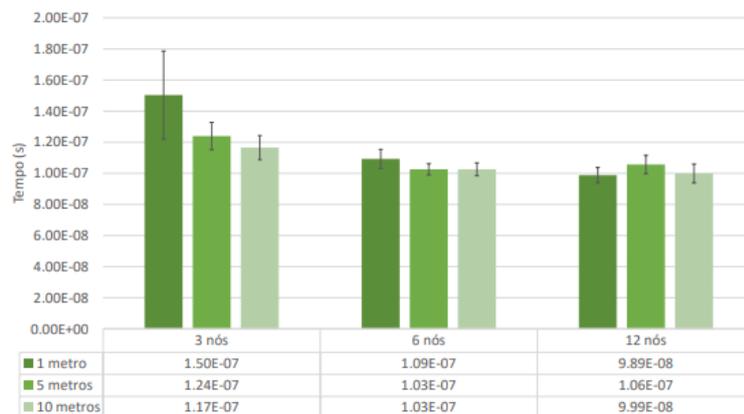
Fonte: Autoria própria (2020).

Sendo assim, nota-se pela Figura 2 que a distância entre nó emissor e receptor não influenciam muito no custo computacional do algoritmo, visto que os tempos com mesma quantia de nós e diferentes distâncias são bem próximas. Diferentemente da quantidade de nós, do qual percebe-se um aumento no tempo em que o algoritmo leva para cálculo da trilateração com o aumento do número de nós.

Em seguida, tem-se o gráfico para análise do tempo em que a máquina levou para calcular a distância. Nesse gráfico cada replicação tinha n tempos de distância, com n correspondendo ao número de nós. Sendo assim, retirou-se a média dos tempos para cada replicação e por fim obteve-se a média de todas as replicações daquele cenário, resultando na Figura 3 que apresenta a média de

todas as replicações. Pode-se perceber que em seu custo não há grandes variações, com exceção no cenário com três nós estando há um metro de distância, onde houve um custo maior em relação aos outros cenários. Isso pode ter ocorrido devido aos poucos nós e por ser uma distância pequena com números pequenos, uma sutil variação pode causar impacto na média. Essa hipótese pode ser reforçada ao ver o intervalo de confiança sendo bem maior que os outros.

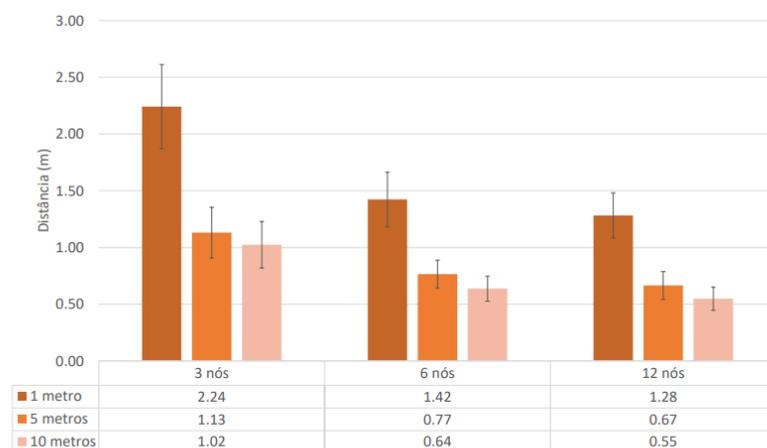
Figura 3 – Gráfico do tempo para calcular a trilateração.



Fonte: Autoria própria (2020).

Por fim, verificou-se a precisão do algoritmo através do erro euclidiano. Dessa forma, montou-se o gráfico através da média do erro euclidiano, obtendo a Figura 4, na qual é possível perceber uma diminuição no erro conforme aumenta-se a quantidade de nós e a distância. Isso pode ser correlacionado devido ao ruído fazer menos diferença nos nós com maiores distâncias.

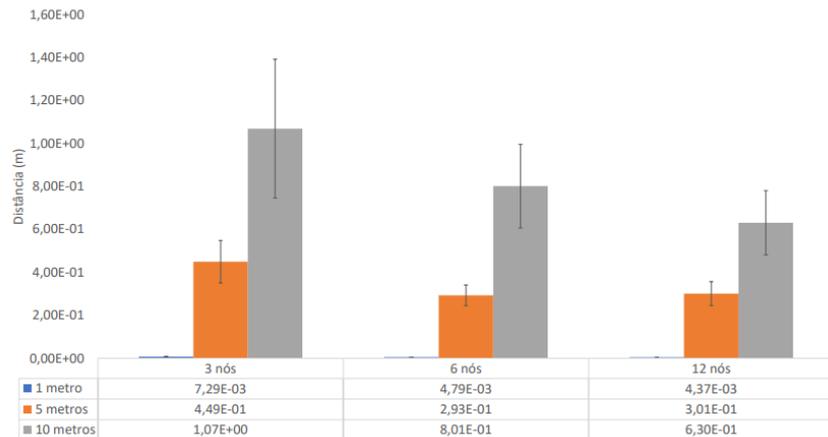
Figura 4 – Gráfico do erro euclidiano do método ToA.



Fonte: Autoria própria (2020).

Já na avaliação do método RSSI nota-se pela Figura 5 que acontece o inverso, os nós com menores distâncias possuem resultados bem mais precisos do que com distâncias maiores. Além de que, os erros euclidianos em todos os cenários foram menores ao se comparar com o método ToA.

Figura 5 – Gráfico do erro euclidiano do método RSSI.



Fonte: Autoria de Alexandre de Souza Sampaio Filho (2020).

CONCLUSÃO

Portanto através das simulações percebe-se que esse método se torna viável podendo ser uma solução que complementaria os resultados do GPS. Isso deve-se ao fato de ter uma eficiência relativamente boa, dado sua implementação ser de forma simples e barata. Porém há a necessidade de realizar outras pesquisas em ambiente real para uma melhor avaliação dessa técnica.

REFERÊNCIAS

QUAN, A.; HERRMANN, C; SOLIMAN, H. Project Vulture: A prototype for using drones in search and rescue operations. In: 2019 15th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DSCOSS), 2019. Proceedings. P. 619-624.

CHAVES, A. et al. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. In:.,2015.

AGUILAR, S. L. C.; SANTOS, J. T. dos. O uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) nas operações de paz da ONU. Carta Internacional, v. 15, n. 2, 2020.

LIU, H. et al. Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems. IEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews), v. 37, n. 6, p. 1067-1080, 2007.

SINGH, R.; GUAINAZZO, M.; REGAZZONI, C. S. Location determination using WLAN in conjunction with GPS network (Global Positioning System). In:2004 IEEE 59th Vehicular Technology Conference. VTC 2004-Spring (IEEE Cat. No.04CH37514). Proceedings. 2004. p. 2695-2699 vol. 5.

GEZICI, S. A Survey on Wireless Position Estimation. Wireless Personal Communications, v. 44, n. 3, p. 263-282, Feb. 2008. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s11277-007-9375-z>>.

ZHANG, D. et al. Localization Technologies for Indoor Human Tracking. In: 2010 5th International Conference on Future Information Technology. Proceedings. 2010. p. 1-6.

VARGA, A. OMNeT++. In: Modeling and Tools for Network Simulation. Klaus Wehrle, Mesut Günes e James Gross. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010. p. 35-39. Disponível em: < https://doi.org/10.1007/978-3-642-12331-3_3>.

OPENSIM LTD. INET Framework Developer's Guide. Disponível em: < <https://inet.omnetpp.org/docs/developers-guide/index.html#developer-s-guide>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

JAIN, R. The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling. Wiley, 1990.