

LOCALIZATION IN INDOOR ENVIRONMENTS USING VIRTUALIZED THREE-DIMENSIONAL MATRIX

David Alan de Oliveira Ferreira¹, Celso Barbosa Carvalho²

^{1,2} Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Av. General Rodrigo Octávio, 6200. Coroado I. Manaus – Amazonas – Brasil. CEP: 69080-900.

Email: ferreirad08@gmail.com, ccarvalho@ufam.edu.br

Received: April 29th, 2019

Accepted: May 17th, 2019

Published: June 30th, 2019

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

The automotive air conditioning systems always used the concept of thermodynamic steam compression cycle. Even after a lot of research, some issues still remain unresolved, such as proper control of the inside temperature of the vehicle in warmer regions, such as in northern Brazil. Focusing on this issue, this article has proposed a new method to improve the control of internal temperature. The proposed method used the same concept of forced ventilation to improve heat exchange in the condenser, using an electro air blower and water from a reservoir. The proposed system was based on the theory of forced convection heat exchange. The results of the data presented showed that the survey was validated due to the drop of temperature of 3 degrees compared with the current system. In addition, the system pressure originally from 230 psi decreased to 150 psi.

Keywords: cooling, air conditioning, heat transfer, electric fan, temperature, forced convection.

LOCALIZAÇÃO EM AMBIENTES INTERNOS UTILIZANDO MATRIZ TRIDIMENSIONAL VIRTUALIZADA

RESUMO

Na área de redes móveis a localização é muito importante, principalmente em situação de mobilidade dos nós sem fio. Além de aprimorar controle de estoque e movimentação de objetos, um sistema de localização pode auxiliar sistemas computacionais de diversas áreas. Com isso, este trabalho propõe desenvolver um sistema de posicionamento interno (IPS) utilizando redes sem fio e através da leitura do RSSI. O método emprega o algoritmo de aproximação quadrática e uma matriz tridimensional de pontos de acesso (APs) virtuais para simular leituras de RSSI. Utilizando o software MATLAB nos testes, verificou-se que a proposta retrata um desafio para a localização interna utilizando métodos geométricos em testes práticos. Estes resultados são contribuições importantes, e demonstram a necessidade de estudos para otimização dos valores de RSSI na localização de objetos em ambientes internos.

Palavras-Chaves: localização interna, sistemas embarcados, virtualização, aproximação quadrática.

I. INTRODUÇÃO

Nos anos que antecederam a II Guerra Mundial (1939-1945), houve a necessidade de realizar comunicação a longas distâncias em locais onde não era possível a instalação de cabeamento [1], o que alavancou o desenvolvimento e a produção

de dispositivos para redes sem fio. Muitos destes dispositivos desenvolvidos na atualidade foram integrados a transdutores, circuitos integrados e micro sistemas eletromecânicos, sendo esta integração continuamente estudada e aprimorada em aplicações,

como o monitoramento, rastreamento, coordenação e processamento em diferentes contextos.

Nas redes sem fio a localização é um aspecto muito importante, principalmente em situação de mobilidade dos nós sem fio. Além de aprimorar controle de estoque e movimentação, um sistema de localização pode auxiliar sistemas computacionais, tal como conforto térmico utilizando sensores móveis embarcados em objetos e utilizados para aferir dados (Ex: temperatura) em diversas coordenadas do ambiente.

Existem muitos algoritmos que implementam métodos de localização [2-5]. Os algoritmos de localização são divididos em dois grupos: aqueles que buscam a posição relativa e aqueles que buscam a posição absoluta. Uma grande quantidade de métodos estima a localização baseados no Indicador de Intensidade do Sinal Recebido (*Received Signal Strength Indicator* - RSSI).

Este trabalho propõe desenvolver um Sistema de Posicionamento Interno (*Indoor Positioning System* - IPS) utilizando redes sem fio e através da leitura do RSSI na comunicação entre rádios transmissor e receptor. Para estimar a localização absoluta de um objeto sem fio alvo, utiliza-se nós sem fio de referência e nós sem fio virtuais para montar uma matriz tridimensional em um ambiente interno. É utilizado o RSSI medido de um nó sem fio alvo que se comunica com um nó sem fio coordenador da rede 802.11 para estimar as possíveis posições candidatas deste nó alvo na matriz tridimensional. Em posições com ausência de nós sem fio de referência, as estimações do RSSI são realizadas por aproximação quadrática [6]. Esta é utilizada com base nas distâncias ao nó sem fio coordenador e também é auxiliada por métodos existentes na literatura, como o uso de nós sem fio virtuais [7].

Embora o Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* - GPS) forneça dados aceitáveis da localização física no contexto de um mapa externo. A precisão e a utilidade do GPS ficam comprometidas à medida que o espaço habitado pelos objetos diminui [8], e o aprimoramento dos algoritmos de localização em ambientes internos permite melhor acurácia para aplicações potenciais. Em cenários com múltiplos nós sem fio, os algoritmos e sistemas tradicionais apresentam dificuldades em localizá-los devido às interferências de sinais com vários obstáculos internos. Novas abordagens estão sendo propostas para reduzir os erros de estimativa destes sistemas, como por exemplo, o uso de nós sem fio virtuais para localização de um objeto alvo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção discute os conceitos básicos relacionados ao filtro de Kalman e ao método de aproximação quadrática que foram utilizados durante o desenvolvimento desta pesquisa.

II.1 FILTRO DE KALMAN

Proposto por R. E. Kalman em 1960, o filtro de Kalman é uma solução recursiva para o problema de filtragem linear de dados discretos. Dentre as diversas pesquisas e aplicações do filtro de Kalman podem ser destacados projetos na área de navegação autônoma ou assistida [9].

O filtro de Kalman é um conjunto de equações matemáticas que fornecem uma solução eficiente ao tratamento de leituras de sensores ruidosos para diversas aplicações em tempo-real. Através de valores de entrada e cálculos matemáticos complexos, o erro que possui distribuição normal, acrescentado por ruídos e perturbações do ambiente, é previsto e minimizado pelo filtro. Sua operação é basicamente dividida em duas fases: predição e correção.

Predição: atualização de tempo

$$a) \quad \text{Estimativa do estado anterior} \quad (1)$$

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1}$$

$$b) \quad \text{Erro do estado anterior} \quad (2)$$

$$P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q$$

Correção: atualização de medida

$$a) \quad \text{Ganho de Kalman} \quad (3)$$

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1}$$

$$b) \quad \text{Estimativa do estado atual} \quad (4)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$$

$$c) \quad \text{Erro do estado atual} \quad (5)$$

$$P_k = (I - K_k H)P_k^-$$

Nas equações (1) e (4), \hat{x}_k^- é a estimativa do estado anterior da variável de estudo (Ex: temperatura ou RSSI) transformada a partir da matriz de transição de estado. Nas equações (1) e (2), A é a matriz de transição de estado que aplica o efeito do parâmetro de cada estado do sistema no tempo $k-1$.

Assim como \hat{x}_k^- , \hat{x}_{k-1} também é a estimativa do estado anterior, porém ainda não transformada a partir da matriz de transição de estado. Na Equação (1), B é a matriz de entrada de controle que aplica o efeito de cada parâmetro de entrada de controle no vetor uk e, uk é o vetor contendo qualquer entrada de controle. Nas equações (2), (3) e (5), P é a matriz de covariância de perturbação do estado. Na equação (2), Q é a covariância de ruído do processo. Nas equações (3), (4) e (5), H é a matriz que mostra a relação entre as medidas e o vetor de estado, e K é o ganho do filtro. Na equação (3), R é a covariância de ruído do valor medido. Na equação (4), zk representa a medição. Em aplicações com apenas um único sensor, as matrizes são representadas por uma única variável ou constante, simplificando as equações [9].

Na primeira iteração do processo de filtragem (predição e correção), a estimativa (\hat{x}_k^-) e o erro na predição (P_k^-) são inicializadas com valores pré-ajustados. Em iterações posteriores, ou seja, a cada nova leitura dos sensores ao longo do tempo, as duas fases têm os valores das variáveis determinadas conforme equações de (1) a (5).

No exemplo seguinte, para um sensor de temperatura, se quer filtrar as medições corrompidas por um ruído de 10°C (desvio padrão igual a 10) ou variância $R=100$. Neste modelo não há transição de estado, então $A=1$. Não há entrada de controle, então $u=0$. O valor de $H=1$, pois existe apenas um sensor de temperatura. A perturbação aleatória no estado (temperatura) é $Q=0,5^\circ\text{C}$.

Como parâmetros iniciais, a matriz de covariância inicial da perturbação do estado é $P_0^- = 40$. A temperatura inicial é $\hat{x}_0^- = 0^\circ\text{C}$, forçando uma alta imprecisão e para um aprendizado rápido. O número de iterações é de $k=100$.

Simulando os dados do sensor:

a)
$$z_k = 16 - 1,23 \cos\left(\frac{\pi}{350}\right) - 0,86 \sin\left(\frac{\pi}{350}\right) + 5\omega \quad (6)$$

Onde z é a temperatura, ω é o ruído branco com média zero e desvio padrão 1.

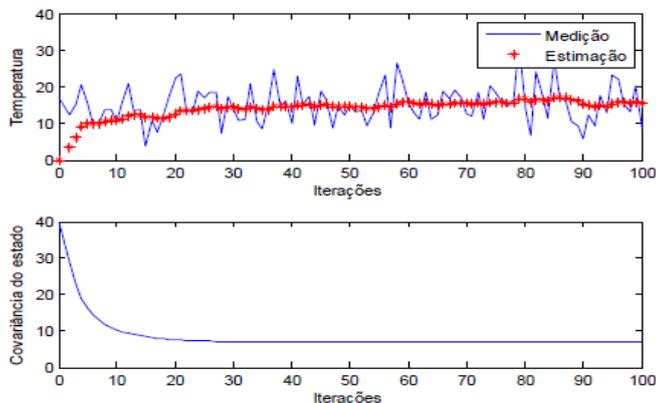


Figura 1: Resultado da filtragem dos ruídos. Acima valores de medição e estimação da temperatura, abaixo erro ao longo das iterações.

Fonte: Autores, (2019).

O filtro de Kalman simulado aprendeu com 20 iterações.

II.2 APROXIMAÇÃO QUADRÁTICA

A aproximação quadrática é capaz de estabelecer uma função tendo apenas alguns pontos dela. Sendo assim, ela pode ser utilizada para estimar parâmetros de um modelo semideterminístico e/ou prever valores para esse modelo [10]. Ou seja, ela pode ser utilizada para criar uma equação que gera uma curva entre cinco pontos de uma leitura (Ex: RSSI), possibilitando assim, estimar o RSSI para qualquer distância.

A aproximação quadrática pode ser facilmente aplicada em experimentos que utilizam o RSSI, que decresce exponencialmente com o aumento da distância, expressando um comportamento de segunda ordem. No qual o número de pontos n observados podem ser maior que o grau do polinômio g [10].

$$U_g(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_gx^g \quad (7)$$

Sendo $g < n - 1$.

Na forma matricial as equações podem ser descritas adequadamente como no sistema abaixo

$$X^T X a = X^T f \quad (8)$$

Onde

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{pmatrix},$$

X^T é transposta da matriz X que recebe, por exemplo, os valores de distância relacionados aos seus respectivos valores de RSSI

presentes na matriz $f = \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix}$. A matriz $a = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{pmatrix}$ representa os

coeficientes do polinômio da aproximação quadrática que se deseja determinar. As equações deste sistema são denominadas equações normais. Essa nomenclatura deve-se ao fato de que o sistema pode ser escrito como

$$X^T(Xa - f) = 0 \quad (9)$$

As componentes do vetor $Xa - f$ são dadas pelos resíduos da aproximação e, segundo a equação anterior esse vetor é ortogonal aos vetores formados pelos elementos das linhas da

matriz X^T que são da forma $\begin{pmatrix} x_1^l \\ x_2^l \\ \vdots \\ x_n^l \end{pmatrix}$ para $l=0,1,2,\dots,m$.

No exemplo seguinte, para o conjunto de pontos $\{(x_i, f_i)\}_{i=1}^5 : \{(-2,0), \{-1,1\}, \{0,2\}, \{1,1\}, \{2,0\}\}$, se quer determinar o polinômio $p(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2$ para uma aproximação quadrática.

Os coeficientes do polinômio são a solução do seguinte sistema na representação matricial

$$X^T X a = X^T f,$$

onde a matriz X é dada por

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 \\ 1 & x_2 & x_2^2 \\ 1 & x_3 & x_3^2 \\ 1 & x_4 & x_4^2 \\ 1 & x_5 & x_5^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 4 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \end{pmatrix},$$

Portanto,

$$X^T X = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 10 \\ 0 & 10 & 0 \\ 10 & 0 & 34 \end{pmatrix}.$$

O vetor de constantes, $f = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \end{pmatrix}$ e o vetor de incógnitas

$a = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$ compõe o sistema que possui matriz completa

$$\begin{pmatrix} 5 & 0 & 10 & 4 \\ 0 & 10 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 34 & 2 \end{pmatrix}$$

e solução

$$a = \begin{pmatrix} 58/35 \\ 0 \\ -3/7 \end{pmatrix}.$$

Assim, o polinômio que ajusta os dados é

$$p(x) = -\frac{3}{7}x^2 + \frac{58}{35}.$$

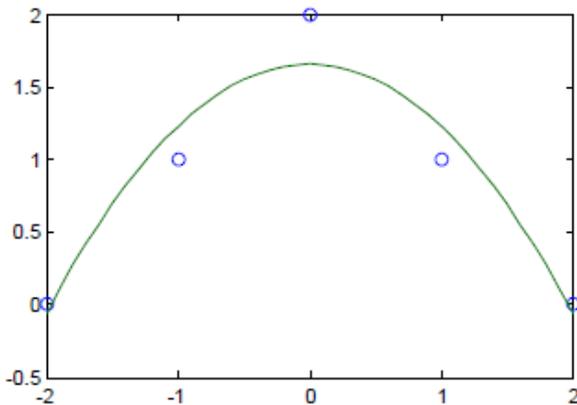


Figura 2: Ajuste por aproximação quadrática.

Fonte: Autores, (2019).

III. REVISÃO DA LITERATURA

Foram selecionados artigos com temas relacionados à proposta deste trabalho e que podem oferecer contribuições relevantes para esta pesquisa.

No trabalho de [2] foi proposto um esquema livre de âncoras. Esse esquema emprega o LQI e a contagem de saltos entre os nós sensores para a estimativa de localização. Foram incorporadas filtragem de média ponderada e Kalman para reduzir os efeitos dos erros de medição nos valores obtidos do LQI. No entanto, nenhuma coordenada absoluta e orientação podem ser obtidas por este esquema. A acumulação de erros de estimativa por conta das flutuações do LQI em redes de grande escala e sem estrutura também é um problema para este esquema.

No artigo de [3] foi proposto um algoritmo para localização de sensores ZigBee que monitoram as temperaturas internas nos andares de um prédio. Foi usada a Lógica Fuzzy para categorizar o RSSI lido a partir do coordenador de uma rede com topologia estrela. O sistema funciona com mínima interferência humana. No entanto, distúrbios no ambiente, como a abertura e o fechamento das portas, criam mudanças nas intensidades do sinal, afetando o desempenho.

No artigo de [4] foi proposto um algoritmo de localização interna para redes IEEE 802.11 e utiliza uma Máquina de Aprendizado Extremo - Sequencial Online (*Online Sequential Extreme Learning Machine* - OS-ELM). A capacidade de aprendizagem do método OS-ELM permite que o algoritmo de localização proposto se adapte oportunamente à dinâmica ambiental. Os resultados experimentais mostram boa precisão de localização devido à rápida adaptação às mudanças ambientais em tempo hábil. Contudo, o OS-ELM deve ser melhorado para suportar

diferentes tipos de dispositivos, evitando degradação na precisão de localização com mudanças de equipamentos.

No trabalho de [5], o sistema de localização proposto utiliza lógica Fuzzy, e combina o valor atual do RSSI e o LQI dos nós âncoras para decidir a localização dos nós sensores. Os experimentos resultaram em erros de localização inferior a 20 m para distâncias de até 111 m, pois o RSSI decresce muito rápido com o maior aumento de distância.

O trabalho de [6] propõe um esquema de localização para redes de sensores sem fio (*Wireless Sensors Networks* - WSNs) baseado em ZigBee e que utiliza o Indicador de Qualidade do Link (*Link Quality Indicator* - LQI). Foi feita uma abordagem cooperativa entre nós de sensores vizinhos para aperfeiçoar a localização estimada, a adição de um parâmetro δ , que depende do número de iterações, para melhorar o gerenciamento de atualizações iterativas no algoritmo e depois a filtragem com o filtro estendido de Kalman. O erro de localização foi de 0,66m e, segundo o autor, a robustez geral do sistema contra flutuações e condições ambientais pode ser melhorada para aumentar a confiabilidade das medidas LQI usadas.

O trabalho de [7] propõe um algoritmo de localização 3D com um leitor móvel e uma matriz de referência de etiquetas passivas e virtuais. A potência refletida é estimada pelas etiquetas virtuais com o uso de interpolação linear. O sistema obteve erros inferiores a 0,2 m.

O trabalho de [11] apresenta um método de localização interna para redes de sensores ZigBee que classifica padrões de valores de LQI lidos, associando estes valores de forma a determinar as posições dos nós alvo em relação aos nós de referência. Para classificar padrões LQI para cada local, utilizou-se um classificador de rede neural artificial (*Artificial Neural Network* - ANN) treinado para um ambiente-alvo. No entanto, alguns resultados de classificação foram incorretos devido à interferência com as paredes que afetou a precisão de localização pelo método de triangulação.

No trabalho de [12] foi proposto um sistema de localização interna baseado no RSSI. Foram integrados módulos XBee com Arduinos e foi utilizado trilateração e o método COLA (*Complexity Reduced 3D Trilateration Localization Approach*) para encontrar a localização de um objeto. O sistema mostrou falhas com erros entre 3 e 5m causados por interferências de materiais metálicos presentes no ambiente de testes.

No trabalho de [13] é proposta a medição de distância baseada em RSSI, que utiliza lógica Fuzzy para melhorar a precisão. Os experimentos para localização utilizando trilateração foram feitos em ambiente externo com área de 25 m². Os erros de localização atingiram cerca de 2 m no experimento.

Para [14] propõem um algoritmo para obtenção de localização de estações sem fio, baseada em trilateração e a técnica *fingerprinting*. A técnica *fingerprinting* tem como modo de funcionamento recolher, previamente, amostras de valores de RSSI que serão usadas no algoritmo. O erro médio ficou em aproximadamente 2,71 m.

No trabalho de [15] foi implementado um sistema de localização 3D baseado em RSSI com matriz de tags RFID (*Radio Frequency Identification*) ativas. O trabalho é uma extensão de localização 2D proposta por VIRE [16]. Ainda que o algoritmo VIRE elimine posições improváveis, o sistema é computacionalmente ineficiente. Foram adotadas etiquetas virtuais e um mecanismo geométrico. O erro médio de estimativa de 8 tags foi de 0,54m.

No artigo de [17] foi proposto um sistema de localização interna que usa tecnologia de identificação por radio frequência (RFID), leitores com 8 níveis de potência diferentes, etiquetas de

referencia e pré-define o mapa de localização das etiquetas de referência para facilitar a localização. Metade das leituras tem uma distância de erro de cerca de 1m e as distâncias máximas de erro são inferiores a 2 m.

IV. METODOLOGIA

IV.1 CONFIGURAÇÃO DO ESQUEMA DE LOCALIZAÇÃO

Com o objetivo de montar um esquema de localização para redes sem fio, foram realizados experimentos de medição do RSSI em função da variação de distância entre dois nós sem fio. Estas medições são importantes para o desenvolvimento da proposta de algoritmo de localização em ambientes internos, e que é o tema sendo investigado durante a pesquisa.

Os experimentos foram conduzidos em ambientes internos tal como o laboratório NMSLab (*Networking and Multimedia Signal Processing Laboratory*) da Faculdade de

Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), na cidade de Manaus, AM.

Inicialmente, foi montada uma RSSF baseada no módulo de radio frequência (Radio Frequency - RF) XBee S2C 802.15.4 [18] utilizando dois nós sem fio que se comunicam na rede. Um dos nós sem fio é coordenador da rede IEEE 802.15.4 e possui o papel de receptor de dados no experimento. O outro nó sem fio é configurado como end-device de uma topologia em estrela e possui a função de transmitir dados ao coordenador. O coordenador por sua vez executa medições de RSSI dos quadros que recebe e que foram transmitidos pelo nó end-device.

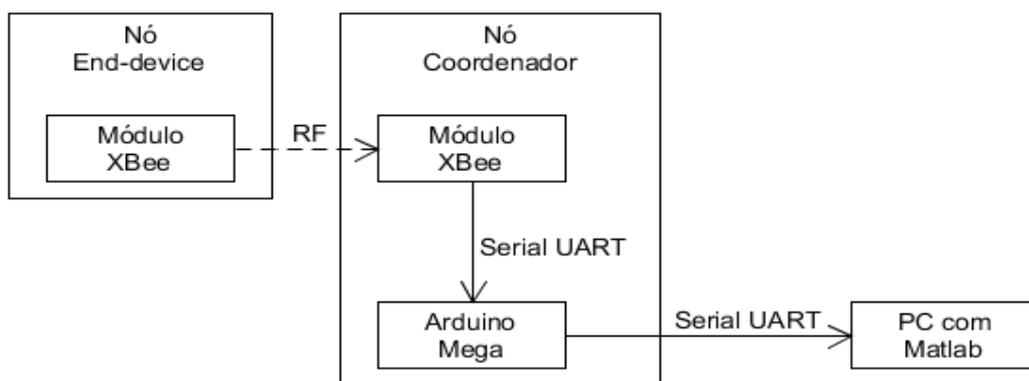


Figura 3: Esquema montado em laboratório.

Fonte: Autores, (2019).

Na Figura 3 é apresentado o esquema montado em laboratório para medições do RSSI dos quadros transmitidos do nó end-device para o nó coordenador via RF, e encaminhados do nó coordenador para um PC equipado com software MATLAB e que é utilizado para tratar as informações coletadas. O intervalo de tempo entre transmissão de quadros utilizada pelo nó sem fio end-device é de 100ms. Os quadros transmitidos possuem 14 bytes de tamanho e contém campos em hexadecimal conforme mostrado na linha 02 da listagem da Figura 4.

Os módulos XBee foram configurados para operarem em modo API (Application Program Interface), onde são transmitidos quadros que possuem um cabeçalho contendo informações tais como, endereço do nó transmissor e RSSI. Na Figura 4, linha 06, observa-se o endereço do nó de origem da mensagem, e na linha 07 observa-se um exemplo de valor de RSSI recebido em um quadro de dados que é transmitido ao coordenador. Por exemplo, se a intensidade do sinal de recepção for -45dBm, o valor indicado será 0x2D (45 em decimal).

```

01: RX (Receive) Packet 16-bit Address IO (API 2)
02: 7E 00 0A 83 00 01 2D 00 01 00 01 00 01 4A
03: Start delimiter: 7E
04: Length: 00 0A (10)
05: Frame type: 83 (RX (Receive) Packet 16-bit Address IO)
06: 16-bit source address: 00 01
07: RSSI: 2D
08: Options: 00
09: Number of samples: 01
10: Digital channel mask: 00 01
11: Analog channel mask: 00 00
12: DIO/AD0 digital value: High
13: Checksum: 4A
    
```

Figura 4: Estrutura do quadro recebido.

Fonte: Autores, (2019).

Foi utilizado um Arduino Mega conectado por meio de comunicação serial ao módulo XBee, ambos presentes no nó coordenador. O Arduino Mega é utilizado para ler a informação do RSSI contida no quadro recebido pelo módulo XBee. Na Figura 5 é apresentado o código que é embarcado no Arduino Mega e que tem a função de realizar a leitura do valor de RSSI dos quadros recebidos pelo módulo XBee.

```

01: #include <SoftwareSerial.h>
02: SoftwareSerialXBee(10, 11); //RX, TX
03:
04: void setup(){
05:   Serial.begin(9600);
06:   XBee.begin(9600);
07: }
08:
09: void loop(){
10:   // verifica se pacote está completo
11:   if (XBee.available()>13){
12:     // Verifica inicio de quadro
13:     if(XBee.read() == 0x7E){
14:
15:       // descarta bytes que antecedem a informação de RSSI
16:       for(int i = 0;i<5;i++){
17:         byte descartar = XBee.read();
18:       }
19:       //lê RSSI do pacote
20:       int rssiValue = XBee.read();
21:       //envia para o MATLAB o RSSI em formato String
22:       Serial.println(rssiValue);
23:       delay(100);
24:     }
25:   }
26: }
    
```

Figura 5: Código do Arduino para extração do RSSI.

Fonte: Autores, (2019).

Conforme a Figura 5, linha 22, os valores de RSSI lidos dos quadros são enviados via interface serial para o computador equipado com software MATLAB, onde foi codificado o filtro de Kalman para uma única variável de RSSI. O filtro de Kalman foi

aplicado nos trabalhos de [2] e [6] para tratar as medições de RSSI contaminadas por ruídos e outras interferências. A conexão do Arduino com o MATLAB é baseada na comunicação serial UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) utilizando interface USB (*Universal Serial Bus*) configurada com taxa de transferência de dados definida em 9600bits/s.

IV.2PREPARAÇÃO DO AMBIENTE DE LOCALIZAÇÃO

A Figura 6 ilustra o croqui do esquema que será montado para estimar a localização de um nó sem fio alvo, que é o nó a ser localizado. No esquema serão utilizados dispositivos reais, chamados de nós de referência e, também, nós sem fio virtuais que auxiliam no processo de localização. Tal método foi aplicado por [7] e [15] na localização em redes RFID.

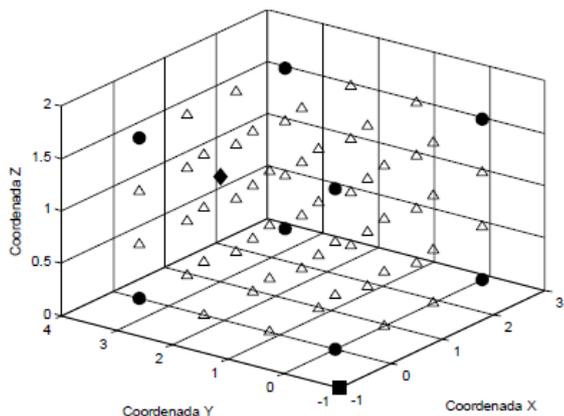


Figura 6: Croqui do esquema proposto.

Fonte: Autores, (2019).

No esquema utilizam-se oito nós sem fio de referência posicionados nos vértices do ambiente (área sem obstáculos com dimensões 2,85, 3,54 e 1,53m no interior de uma sala) e que são representados na figura por círculos. Na mesma figura, o nó sem fio móvel localizador de objetos é representado por um quadrado, e o nó sem fio alvo é representado por um losango. Além disso, no esquema utilizam-se nós virtuais que são posicionados de forma equidistante entre os nós de referência de maneira a montar uma matriz tridimensional que auxilia na localização do nó alvo.

Com o esquema, os nós sem fio virtuais são colocados em posições com ausência de nós sem fio de referência, e é utilizada aproximação quadrática para estimar seus respectivos valores de RSSI para então determinar por comparação entre valores de RSSI as possíveis posições do nó alvo. A partir das posições dos nós sem fio de referência e da quantidade de nós sem fio virtuais entre cada par de nós sem fio de referência, será realizada a distribuição das posições dos nós sem fio virtuais. As distâncias entre o nó sem fio localizador e os nós sem fio de referência/virtuais são obtidas por meio de geometria analítica e definidas da seguinte maneira:

$$d_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2} \quad (10)$$

Com base nestas distâncias e nos RSSIs dos nós sem fio de referência, aferidos em tempo-real e filtrados utilizando o filtro de Kalman, será realizada a estimação do RSSI de cada nó sem fio virtual por aproximação quadrática. Após determinar os parâmetros de posição, distância e RSSI de todos os nós sem fio de referência e virtuais, as posições dos nós sem fio com RSSIs mais próximos do RSSI do nó sem fio alvo são indicadas como posições

candidatas à posição do nó sem fio alvo. Planeja-se realizar o mesmo processo descrito variando a posição do nó localizador. A posição candidata mais frequente como resultado dos processos de localização será a posição estimada do sensor alvo.

Para as simulações serão utilizados dispositivos sem fio do modelo NodeMCU que são equipados com protocolo de comunicação IEEE 802.11 a/b/g. Este hardware foi selecionado para continuação da pesquisa devido a popularidade atual e ao custo de aquisição dos equipamentos. Cita-se, como exemplo, que um rádio sem fio do tipo XBee e NodeMCU custam respectivamente, R\$ 160 e R\$ 25,00.

V.EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Os testes no laboratório para medição do RSSI foram realizados com distâncias de 1,2,3,4 e 5 m de separação entre o nó coordenador e nó end-device e foram utilizados inicialmente dispositivos sem fio do tipo XBee que também operam em 2,4GHz, assim como os dispositivos NodeMCU. Para cada uma das distâncias de separação entre coordenador e end-device foram realizadas 20 medições de RSSI. Estas 20 medições foram aplicadas ao filtro de Kalman a fim de obter um único valor filtrado de RSSI para uma dada distância. Estes valores de RSSI filtrados estão apresentados na coluna 2 da Tabela 1. A Figura 7, pontos circulares, mostra valores do RSSI após medições e filtragem utilizando o filtro de Kalman. Verifica-se que o RSSI decresce exponencialmente com o aumento da distância. Na mesma Figura, curva tracejada, foi utilizada a aproximação quadrática para estimar os valores de RSSI que estão entre duas distâncias para as quais foram realizadas medições

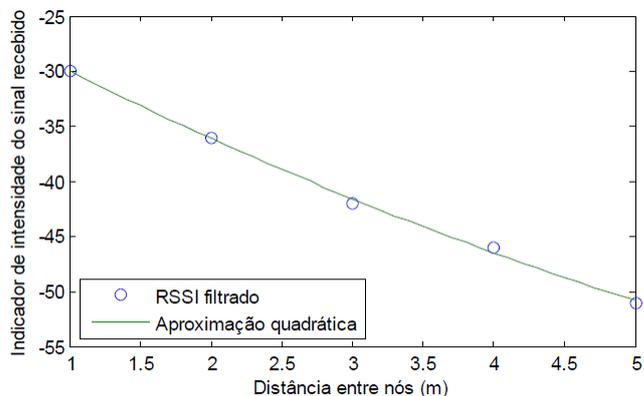


Figura 7: Valores RSSI em relação à distância dos nós obtidos no laboratório.

Fonte: Autores, (2019).

Utilizando aproximação quadrática, o comportamento do RSSI em função da distância, medido no laboratório NMSLab, pode ser expresso pela equação abaixo.

$$RSSI = 0,2859d^2 - 6,9167d - 23,3951 \quad (11)$$

Depois de obtida a equação de aproximação quadrática, como exemplo a Equação 2, o esquema de localização poderá consultar os valores de RSSI para as distâncias que não foram contempladas nos experimentos. Na Tabela 1, coluna 3, é mostrado o resultado dos testes para estimação do RSSI em função das distâncias entre os nós que varia de 1 a 5 metros, conforme coluna 1 da Tabela 1. Nestes também foram medidos 20 valores de RSSI para cada distância. Os valores resultantes do filtro de Kalman (coluna 2 da Tabela 1) foram comparados com os valores resultantes na Equação 2 (coluna 3), com a substituição da variável

d para cada distância (coluna 1 da mesma tabela). Os erros absolutos e percentuais da estimativa foram determinados.

Tabela 1: Valores RSSI em relação à distância dos nós obtidos no laboratório.

Distância (m)	RSSI medido	RSSI estimado	Erro absoluto	Erro percentual
1	-30,8172	-30,0259	0,7913	2,5677
2	-37,8122	-36,0849	1,7273	4,5681
3	-42,5403	-41,5721	0,9682	2,2760
4	-45,7232	-46,4875	0,7643	1,6716
5	-47,7429	-50,8311	3,0882	6,4684

Fonte: Autores, (2019).

O erro absoluto é definido como o módulo da diferença entre o valor medido do RSSI e de seu valor estimado. O erro percentual é obtido pelo módulo da razão entre o erro absoluto e o valor medido, multiplicado por 100 e indica a acurácia da estimativa. O mesmo experimento foi realizado em ambiente residencial e os resultados da aproximação quadrática e das leituras do RSSI são apresentados respectivamente na Equação 12 e Fig. 8.

$$RSSI = 0,7373d^2 - 7,0193d - 30,7205 \quad (12)$$

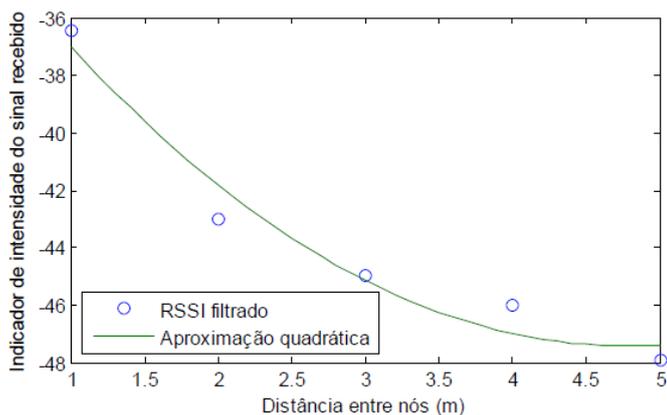


Figura 8: Valores RSSI em relação à distância dos nós obtidos em ambiente residencial. Fonte: Autores, (2019).

Tabela 2: Valores RSSI em relação à distância dos nós obtidos em ambiente residencial.

Distância (m)	RSSI medido	RSSI estimado	Erro absoluto	Erro percentual
1	-37,2300	-37,0025	0,2275	0,6111
2	-42,8549	-41,8099	1,045	2,4385
3	-44,2481	-45,1427	0,8946	2,0218
4	-47,3258	-47,0009	0,3249	0,6865
5	-48,4518	-47,3845	1,0673	2,2028

Fonte: Autores, (2019).

Observando-se os dados das Tabelas 1 e 2, verifica-se que o erro percentual da estimativa do RSSI entre dois nós sem fio é sempre inferior a 7%. Utilizando outros métodos, por exemplo, métodos de inteligência artificial (Artificial Intelligence - AI),

como redes neurais e lógica fuzzy abordadas em [3] [5] [11] e [13] pretende-se alcançar uma acurácia ainda maior.

A partir destas informações, o esquema de localização poderá estimar os valores de RSSI para os nós virtuais utilizados no cenário de experimento de localização, a fim de estimar as coordenadas da posição do nó sem fio alvo que se deseja localizar.

O algoritmo de localização que compreende a verificação da eficiência na localização simples (1D e 2D). Em ambos os cenários, o nó localizador se move de uma das extremidades do eixo X ao centro deste mesmo eixo onde $Y=0$ e $Z=1,53$ e, o nó a ser localizado é posicionado no centro de cada cenário.

No cenário 1D é considerada apenas a topologia montada no eixo X com dois nós de referência nas extremidades, sendo as coordenadas $Y=0$ e $Z=1,53$ constantes. No cenário 2D são considerados os eixos X e Z com quatro nós de referência nos vértices da face do ambiente, onde $Y=0$ é constante.

Com dois pontos de referência; é apropriada a utilização de interpolação linear.

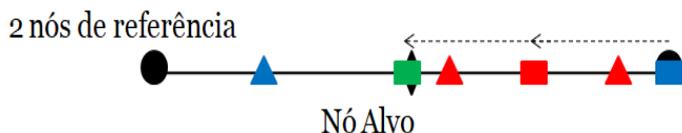


Figura 9: Teste de eficiência na localização 1D. Fonte: Autores, (2019).

Quando o nó localizador está posicionado no centro do eixo X , verifica-se uma grande diferença nos RSSIs medidos nos dois nós de referência do cenário 1D (Figura 9), mesmo estes nós estando a mesma distância do nó sem fio localizador.

Com quatro pontos de referência; é apropriada a utilização de aproximação quadrática. Neste caso, obtêm-se dois pares de nós equidistantes e nenhum candidato em comum.

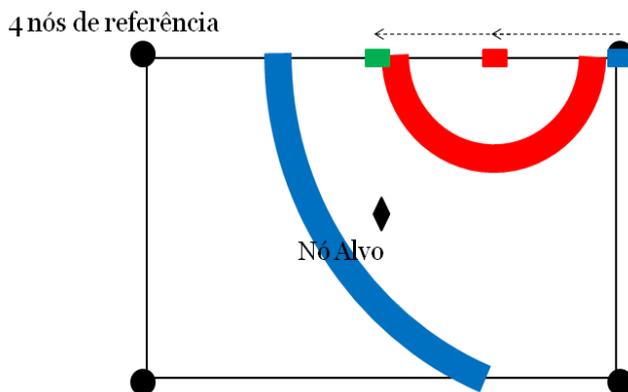


Figura 10: Teste de eficiência na localização 2D. Fonte: Autores, (2019).

O fato visto no teste 1D (Figura 9) também é observado no cenário 2D (Figura 10) com pares de nós de referência equidistantes.

VI. CONCLUSÕES

O método de localização baseado no algoritmo de aproximação quadrática com uma matriz tridimensional virtual de APs (*Access Points*), para simular leituras de RSSI, retrata um

desafio para a localização interna utilizando métodos geométricos em testes práticos, sendo necessários estudos de otimização dos valores de RSSI para cada distância, como exemplo, a atribuição de porcentagem ou pesos a todos os nós para uso em métodos de inferência como redes neurais e lógica fuzzy abordadas em [3] [5] [11] e [13].

VII. AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pelo apoio a pesquisa..

VIII.REFERÊNCIAS

- [1] Ribeiro, J. A. J. Engenharia de micro-ondas: fundamentos e aplicações. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2008.
- [2] Isokawa, T., Motomura, S., Ohtsuka, J., Kawa, H., Nakashima, S., Kamiura, N., & Matsui, N. An Anchor-Free Localization Scheme with Kalman Filtering in ZigBee Sensor Network. Hindawi Publishing Corporation. Sensor Networks. Vol. 2013, Article ID 356231, 11 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/356231>.
- [3] Sarmah, M. J., Venkateswaran, P. R., Chaitanya, C. V. S., Sundaresan, C., Kini, G. N., & Mohan Kumar J. Intelligent Localization Algorithm for Temperature Monitoring using Wireless Sensor Networks. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). Vol. 94 – No.14, May 2014.
- [4] Zou, H., Lu, X., Jiang, H., & Xie, L. A Fast and Precise Indoor Localization Algorithm Based on an Online Sequential Extreme Learning Machine. Sensors 2015, 15, 1804-1824; doi:10.3390/s150101804.
- [5] Parwekar, P., & Reddy, R. An Efficient Fuzzy Localization Approach in Wireless Sensor Networks. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2013. DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2013.6622548.
- [6] Madani, B., Yao, A. P., & Lyhyaoui, A. Combining Kalman Filtering with ZigBee Protocol to Improve Localization in Wireless Sensor Network. Hindawi Publishing Corporation. ISRN Sensor Networks, vol. 2013, Article ID 252056, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/252056>.
- [7] Ferraz, E., & Carvalho, C. B., Localização 3D em sistemas RFID com leitor móvel. Encontro Regional de Computação e Sistemas de Informação – ENCOSIS. 2017.
- [8] Salim, F., Williams, M., Sony, N., Pena, M. D., Petrov, Y., Saad, A. A., & Wu, B. Visualization of Wireless Sensor Networks using Zigbee's Received Signal Strength Indicator (RSSI) for Indoor Localization and Tracking. The Second IEEE International Workshop on Social and Community Intelligence, 2014.
- [9] Welch, G., & Bishop, G. An Introduction to the Kalman Filter. Department of Computer Science. University of North Carolina at Chapel Hill, 2006.
- [10] Campos Filho, F. F. Algoritmos Numéricos, Ed. 2, LTC Editora, Belo Horizonte, 2007.
- [11] Young-guk, H., Ae-cheoun, E., Yung-cheol, B. Efficient Sensor Localization for Indoor Environments Using Classification of Link Quality Patterns. Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Distributed Sensor Networks. Vol. 2013, Article ID 701259, 6 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/701259>.
- [12] Jarvis, R., Mason, A., Thornhill, K., Zhang, B., & Zhou, K. Indoor Positioning System. EE 4820. 2011.
- [13] Feng, X., Gao, Z., Yang, M., & Xiong, S. Fuzzy Distance Measuring Based on RSSI in Wireless Sensor Network. Proceedings of 2008 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering.
- [14] Bisatto, A. P., & Peres, A. Localização De Estação Sem Fio Utilizando Trilateração. Departamento de Sistemas e Computação - Universidade Luterana do Brasil – (ULBRA) Caixa Postal: 92.425-900 – Canoas – RS – Brazil.
- [15] Han, J., Zhao, Y., Cheng, Y. S., Wong, T. S., & Wong, C. H. Improving Accuracy for 3D RFID Localization. Hindawi Publishing Corporation. International Journal of Distributed Sensor Networks. Vol. 2012, Article ID 865184, 9 pages. doi:10.1155/2012/865184.
- [16] Zhao, Y., Liu, Y., & Ni, L. M. (2007, September). VIRE: Active RFID-based localization using virtual reference elimination. In Parallel Processing, 2007. ICPP 2007. International Conference on (pp. 56-56). IEEE.
- [17] Ni, L. M., Liu, Y., Lau, Y. C., & Patil, A. P. (2004). LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. Wireless networks, 10(6), 701-710.
- [18] DIGI. XBee/XBee-PRO S2C 802.15.4 RF Module User Guide. 2017.