

Melhorando a Precisão de Localização de Etiquetas RFID em Bibliotecas baseadas na Internet das Coisas

Rony Joab do Nascimento, Paulo André da S. Gonçalves

Centro de Informática (CIn)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
Caixa Postal 7.851 – 50.670-901 – Recife – PE – Brasil

{rjn, pasg}@cin.ufpe.br

Abstract. *The automatic identification of objects over the Internet of Things has been supported by the use of RFID (Radio Frequency IDentification) systems and sensor networks. Another application for RFID over the Internet of Things is the automatic location information of the objects. The challenge is providing algorithms that minimize location errors in accordance with the environment where objects are placed and signal propagation conditions. In this paper, we propose two algorithms to support location applications based on RFID: VIRE-R e LANDMARC-2. The precision of these algorithms is evaluated under library-specific scenarios and compared to the precision of other algorithms in the literature. These scenarios are very challenging for signal-strength based algorithms. This work contributes by providing a performance evaluation on library-specific scenarios, showing a better positioning for reader and tags in such an environment, and proposing an algorithm, LANDMARC-2, that has performance equal or superior to other approaches studied.*

Resumo. *A identificação automática de objetos na Internet das Coisas vem sendo suportada por sistemas RFID (Radio Frequency IDentification) e por redes de sensores. Outra aplicação para RFID na Internet das Coisas é a localização automática de objetos através de medidas de força de sinal. O desafio está em prover algoritmos que minimizem erros de localização de acordo com o ambiente e objetos de interesse e condições de propagação de sinais. Este artigo propõe 2 algoritmos de localização para sistemas RFID: VIRE-R e LANDMARC-2. A precisão desses algoritmos é avaliada em cenários de localização de livros em bibliotecas e confrontada com a obtida por outras propostas no estado da arte. Estes cenários estão entre os mais desafiadores para algoritmos de localização interna baseados em força de sinal. Este trabalho contribui apresentando avaliações de desempenho em cenários específicos de bibliotecas, indicando um melhor posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas, e propondo um algoritmo, o LANDMARC-2, que possui desempenho igual ou superior aos outros algoritmos estudados.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (IoT – Internet of Things) [Perera et al. 2015][Al-Fuqaha et al. 2015] é vista como uma extensão da Internet onde objetos físicos fazem parte da Internet

e tornam-se capazes de interagir entre si e de realizar comunicações autônomas quando necessário. A identificação automática de objetos na IoT é fundamental para as aplicações e vem sendo suportada através do uso da tecnologia RFID (*Radio Frequency IDentification*) e de redes de sensores. Um sistema RFID básico é composto por um leitor e uma ou mais etiquetas que são coladas ou embutidas em objetos de interesse. As etiquetas armazenam um identificador (ID) único. Cada etiqueta funciona como um *transponder* que recebe requisições do leitor e, de acordo com o protocolo de comunicação empregado, responde com o seu ID único [Chauhan et al. 2014].

Outra aplicação para RFID na Internet das Coisas é a localização automática de objetos através de medidas de força de sinal. O desafio está no desenvolvimento de algoritmos que minimizem erros de localização de acordo com o ambiente onde estão localizados os objetos de interesse e de acordo com condições de propagação de sinais. Dentre os cenários mais desafiadores para a localização de objetos com RFID se encontram as bibliotecas. Nesses cenários, o acervo etiquetado com RFID está localizado numa área com diversas estantes próximas e, geralmente, de metal. Esses fatores são problemáticos visto que além do metal atrapalhar a propagação de sinais [Pitukwerakul et al. 2010], erros de localização da ordem de metros, típicos dos algoritmos de localização baseados em força de sinal, dificultam definir a estante e prateleira onde cada livro se encontra. Além disso, as condições de variabilidade de propagação de sinais no meio de comunicação possuem impacto no desempenho dos algoritmos de localização baseados em força de sinal [França Neto and Gonçalves 2012].

Dentro do ambiente de bibliotecas existe um padrão na organização do acervo, onde os livros são ordenados com base no assunto do qual eles tratam. Isso visa facilitar o correto armazenamento e busca dos exemplares. Porém, por diversos motivos, esta ordem de armazenamento pode não ser obedecida. Isso dificulta que determinado exemplar seja encontrado ou até facilite sua perda. Para exemplificar estes fatores que podem contribuir para a desorganização do acervo, podemos citar alunos que fazem pesquisas e não devolvem o livro ao mesmo local onde o encontraram, a falta de atenção no momento da guarda, a grande quantidade de pessoas trabalhando neste processo, acervo dividido em mais de um ambiente, entre outros. Bibliotecas baseadas na Internet das Coisas podem se beneficiar da tecnologia para melhorar a qualidade de seus serviços prestados e melhor gerenciar o acervo [Moura 2016].

Este artigo propõe dois algoritmos de localização para sistemas RFID: VIRE-R e LANDMARC-2. A precisão desses algoritmos é avaliada em cenários de localização de livros em bibliotecas e confrontada com a obtida por outras propostas no estado da arte. Este trabalho contribui apresentando avaliações de desempenho em cenários específicos de bibliotecas, indicando um melhor posicionamento da infraestrutura de leitores e etiquetas, e propondo dois algoritmos de localização de etiquetas, sendo que o LANDMARC-2 se mostra o mais acurado nesses cenários em comparação com outras abordagens estudadas. Contribuindo com a minimização do erro de localização em sistemas baseados em força de sinal, este artigo também contribui para a melhoria de serviços de localização de acervos em bibliotecas baseadas na Internet das Coisas.

O restante deste artigo está organizado como segue: a Seção 2 apresenta trabalhos relacionados. A Seção 3 detalha os algoritmos estudados e propostos. A Seção 4 apresenta os cenários de simulação e avalia o desempenho dos algoritmos estudados. A Seção 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Algumas pesquisas avançam em relação ao uso da tecnologia RFID para localização em ambientes internos. Basicamente, um sistema com este propósito é composto pelos seguintes componentes: leitores RFID, etiquetas RFID e um sistema de processamento de dados. Neste sistema os leitores consultam as etiquetas e, a partir das respostas, o sistema de processamento de dados aplica algoritmos específicos para indicar a localização do elemento buscado [Li et al. 2012].

O LANDMARC [Ni et al. 2003] utiliza uma abordagem baseada em etiquetas de referência. Ele foi um dos pioneiros no uso dessa técnica, trazendo algumas vantagens para localização de objetos em um espaço fechado, como por exemplo, a redução do número de leitores necessários em um sistema, que em consequência torna a solução mais barata, além de reduzir a influência do ambiente na precisão do algoritmo [França Neto and Gonçalves 2012]. O LANDMARC ainda pode ser observado com um dos algoritmos mais utilizados em pesquisas, tanto servindo como referência de comparação, como servindo de base para metodologia de implantação de sistemas com diferentes configurações. Um maior detalhamento do LANDMARC será apresentado na próxima seção.

O VIRE [Zhao et al. 2007] se baseia na ideia do LANDMARC de utilizar um algoritmo de localização, via força de sinal, com o auxílio de etiquetas de referência. Porém, ele introduz o conceito de etiquetas virtuais. Essas etiquetas servem para aumentar a quantidade de pontos de referência sem aumentar o custo do projeto. Um maior detalhamento do VIRE será visto na próxima seção.

Em [Chih-Hua Yeh et al. 2013] são propostos quatro métodos de atualização do LANDMARC: 1) o *Normalized Weighting* (NW), o qual leva em consideração a proximidade do leitor e da etiqueta mensurada. Nesse caso, método atribui um peso menor para medições mais próximas ao leitor; 2) o *Forsake Nearest Reader* (FNR) que adapta o LANDMARC a partir de observações empíricas, pois foi observado que quando as etiquetas estão próximas ao leitor, a relação entre o valor da força de sinal e a distância passa a ser não linear. Assim, se exclui o valor da força de sinal de etiquetas muito próximas no cálculo de distância. Esta abordagem tem como objetivo reduzir grandes erros de estimativa. Nesse caso, o valor máximo do vetor de medição de força de sinal é marcado e excluído da equação de estimativa; 3) o *Forsake Nearest Reader with Normalized Weights* (FNR-NW) que é uma combinação dos dois métodos anteriormente citados. Sendo assim, ele consegue reduzir grandes erros na estimativa através do método FNR e melhora a precisão com o uso do NW. Para isso, ele adapta o LANDMARC, substituindo a equação de estimativa e ignora o valor máximo do vetor de medição de força de sinal; 4) o último método apresenta os melhores resultados é o do LANDMARC baseado em distância, o qual denominaremos neste trabalho LANDMARC-D. Ele utiliza os valores da distância entre as etiquetas para fazer a estimativa da posição do alvo ao invés de utilizar apenas a força de sinal como ocorre no algoritmo tradicional. O LANDMARC-D é detalhado na próxima seção.

O COCKTAIL [Dian et al. 2015] é um algoritmo que utiliza recursos diferentes dos algoritmos apresentados até agora, pois além dos leitores RFID, ele utiliza etiquetas ativas e redes de sensores. Os sensores servem para mapear regiões de subáreas de áreas maiores da seguinte forma: eles trocam informações de força de sinal entre si e detectam se um determinado alvo está em uma região compreendida entre algum grupo de sensores. Uma vez que este mapa de subregiões é criado, inicia-se a segunda fase do algoritmo COCKTAIL. Nessa segunda fase, são utilizadas medidas de distâncias euclidianas, que também são feitas no LANDMARC. Contudo, se utiliza um vetor de

regressão de apoio com informações também colhidas da rede de sensores para selecionar quais etiquetas de referência serão utilizadas no processo comparativo. Estes vetores processam grandes quantidades de informação, por isso, o COCKTAIL é utilizado em aplicações de rastreamento. O algoritmo tem uma boa acurácia, porém tem um custo elevado pelo uso de redes de sensores e pelo fato de requerer o uso de etiquetas ativas acaba não sendo indicado para o uso em bibliotecas.

O LOCTREC [Han-Yen Yu et al. 2015] utiliza a ideia de subdivisão que podemos observar no VIRE e no COCKTAIL. Porém, a formação do mapa de sub-regiões do LOCTREC é feito com base na capacidade de leitura dos leitores, pois o mesmo leva em consideração na montagem do sistema que os leitores possuem potência de leitura ajustável. Logo, podendo aumentar ou reduzir o seu alcance de comunicação. No momento da busca por um alvo, os leitores interrogam as etiquetas e com base nas respostas e alcance empregado, é montado um mapa de intersecção dos leitores e levantadas as possíveis localizações para o alvo. Após essa triagem de subdivisões, as coordenadas do alvo são estimadas com o uso do LANDMARC, porém em uma área menor. Segundo os autores, isso aumenta a precisão do sistema, porém é difícil determinar o impacto real desta subdivisão realizada uma vez que a geometria da área captada por um leitor em ambiente real não é regular como assumido nos estudos.

3. Algoritmos Estudados e Algoritmos Propostos

Esta seção detalha os algoritmos do LANDMARC, do VIRE, do LANDMARC-D e as propostas deste trabalho, LANDMARC-2 e VIRE-R.

3.1. LANDMARC

O LANDMARC possui duas etapas de execução: na primeira é mapeada a força de sinal (RSS – *Received Signal Strength*) das etiquetas alvo e das etiquetas de referência de tal forma que sejam gerados vetores com estas informações, onde o vetor $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$ representa os valores de RSS da etiqueta alvo $j \in [1, u]$ medidos pelo leitor $i \in [1, n]$, onde n representa a quantidade de leitores. Para cada uma das m etiquetas de referência existentes, são gerados os vetores $\vec{\theta}(r) = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$, onde θ_i^r é o valor de RSS da etiqueta $r \in [1, m]$ medido pelo leitor $i \in [1, n]$, sendo que, após é criado outro vetor que armazena as distâncias euclidianas entre a etiqueta alvo e cada uma das etiquetas de referência. Este vetor é o $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$, onde E_r^j é a distância euclidiana entre o alvo $j \in [1, u]$ e a etiqueta de referência $r \in [1, m]$ e é obtido através da Equação (1).

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i^r - S_i^j)^2}. \quad (1)$$

Após a obtenção do vetor $\vec{E}(j)$, inicia-se a segunda etapa da execução do LANDMARC. Esse vetor é usado como parâmetro de entrada para o algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*) que determina as k etiquetas de referência com a menor diferença entre os valores de RSS do alvo, ou seja, os k menores elementos do vetor $\vec{E}(j)$. É importante salientar que o valor de k é um parâmetro de projeto. Contudo, em [Ni et al. 2003] é apresentado que o valor de $k=4$ apresenta melhores resultados. Uma vez que foram selecionadas as etiquetas de referência mais próximas do alvo, é aplicado um peso

para cada uma delas e é calculada a estimativa das coordenadas do alvo a partir das coordenadas das etiquetas de referência vizinhas. O peso para cada uma das etiquetas é calculado segundo a Equação (2).

$$W_l^j = \frac{1/(E_l^j)^2}{\sum_{l=1}^k (1/(E_l^j)^2)}, \quad (2)$$

onde W_l^j é o peso da l -ésima etiqueta e, assim, quanto menor a distância entre a RSS do alvo e da etiqueta de referência, maior será o peso destinado para ela. Após isso, é calculado o valor das coordenadas do alvo com base nas coordenadas destas k etiquetas de referência de acordo com a Equação (3).

$$(x_j, y_j) = \sum_{l=1}^k W_l^j \times (x_l, y_l), \quad (3)$$

onde (x_l, y_l) representa as coordenadas da l -ésima etiqueta mais próxima do alvo e (x_j, y_j) representa as coordenadas da etiqueta alvo.

3.2. LANDMARC-D

O LANDMARC-D [Chih-Hua Yeh et al. 2013] modifica o cálculo do vetor $\vec{E}(j)$. Neste caso, ao invés de calcular a diferença entre a força de sinal das etiquetas medida pelos leitores, se utiliza a distância entre as etiquetas e os leitores conforme:

$$E_r^j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (d\theta_i^r - dS_i^j)^2}, \quad (4)$$

onde $d\theta_i^r$ é a distância entre a etiqueta $r \in [1, m]$ e o leitor $i \in [1, n]$ e ficará armazenada no vetor $\vec{d\theta}(r) = (d\theta_1^r, d\theta_2^r, \dots, d\theta_n^r)$, e dS_i^j é a distância estimada entre a etiqueta alvo $j \in [1, u]$ e o leitor $i \in [1, n]$ que será salva no vetor $\vec{dS}(j) = (dS_1^j, dS_2^j, \dots, dS_n^j)$. Como as distâncias entre a etiqueta alvo e os leitores não são conhecidas, utiliza-se uma distância estimada. Os vetores $\vec{S}(j)$ e $\vec{\theta}(r)$ que são gerados no LANDMARC continuam sendo usados nesta otimização para a estimativa da distância entre o alvo e os leitores. O dS_i^j é calculado pela seguinte Equação:

$$dS_i^j = d\theta_i^r \times 10^{\frac{\theta_i^r - S_i^j}{20}}. \quad (5)$$

Com todos estes valores determinados, agora basta gerar o novo vetor $\vec{E}(j)$ conforme Equação (4), seguir com a escolha dos elementos mais próximos e calcular os pesos para se estimar as coordenadas do alvo da mesma forma que é feita no LANDMARC através das Equações (2) e (3), respectivamente.

3.3. O Algoritmo LANDMARC-2 Proposto

A otimização proposta no LANDMARC-2 também é feita no cálculo do vetor $\vec{E}(j)$ e é expressa conforme Equação (4) do LANDMARC-D. Contudo, a diferença está na forma

de se calcular os valores do vetor $\vec{dS}(j)$. Os vetores $\vec{S}(j)$, $\vec{\theta}(r)$ e $\vec{d\theta}(r)$ que são gerados no LANDMARC-D continuam sendo gerados nesta otimização, uma vez que são utilizados para a estimativa da distância entre o alvo e os leitores. Diferentemente das abordagens já citadas neste artigo, a estimativa da distância do alvo para os leitores no LANDMARC-2 é realizada através de uma linearização da função $\text{Log}_{10}(RSS) = A_1 \times d + A_0$, onde RSS representa a força de sinal da etiqueta medida pelo leitor; d representa a distância entre a etiqueta e o leitor e A_1 e A_0 são constantes que podem ser calculadas através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). O MMQ é um método numérico em que, a partir de dados obtidos de forma numérica ou experimental, gera uma função que melhor ajusta os seus pontos. Neste caso, através dos valores de $d\theta_i^r$ e θ_i^r que são conhecidos, aplica-se o MMQ para se determinar os valores de A_1 e A_0 para cada leitor de acordo com as Equações (6) e (7).

$$A_0(i) = \frac{\sum_{r=1}^m (d\theta_i^r)^2 \times \sum_{r=1}^m \text{Log}_{10}(\theta_i^r) - \sum_{r=1}^m d\theta_i^r \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r \times \text{Log}_{10}\theta_i^r)}{m \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r)^2 - (\sum_{r=1}^m d\theta_i^r)^2}, \quad (6)$$

$$A_1(i) = \frac{m \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r \times \text{Log}_{10}(\theta_i^r)) - \sum_{r=1}^m d\theta_i^r \times \sum_{r=1}^m \text{Log}_{10}(\theta_i^r)}{m \times \sum_{r=1}^m (d\theta_i^r)^2 - (\sum_{r=1}^m d\theta_i^r)^2}, \quad (7)$$

onde $A_1(i)$ e $A_0(i)$ são as constantes de ajuste da função para os leitores $i \in [1, n]$ e m é o número de etiquetas de referência que o sistema possui. Uma vez que os valores das constantes estão determinados e os valores do vetor $\vec{S}(j)$ já foram gerados, o sistema pode calcular os valores do vetor $\vec{dS}(j)$ através da seguinte equação:

$$dS_i^j = \frac{\text{Log}_{10}(S_i^j) - A_0(i)}{A_1(i)}. \quad (8)$$

Com todos estes valores determinados, gera-se o vetor $\vec{E}(j)$ conforme Equação (4), escolhe-se os elementos mais próximos e calcula-se os pesos para se estimar as coordenadas do alvo da mesma forma do LANDMARC através das Equações (2) e (3), respectivamente. A vantagem do LANDMARC-2 em relação ao LANDMARC-D reside no fato de que para gerar o vetor de proximidade entre as etiquetas também é utilizado um parâmetro conhecido, que é a distância entre as etiquetas de referência e os leitores, e o parâmetro estimado utilizado no LANDMARC-2 passa por uma aproximação estatística que busca tratar a variabilidade de RSS no canal.

3.4. VIRE

O VIRE se baseia na ideia do LANDMARC de se utilizar um algoritmo de localização por RSS com o auxílio de etiquetas de referência. Contudo, ele usa o conceito de etiquetas virtuais para aumentar a quantidade de pontos de referência sem aumentar o custo do projeto. O VIRE possui três etapas de execução. Na primeira etapa é criada uma grade de etiquetas virtuais na região retangular formada por quatro etiquetas de referência reais. Após montada a grade, as coordenadas e o valor de RSS das etiquetas

virtuais são determinados. O cálculo é feito através de interpolação linear, de acordo com as Equações (9) e (10), para etiquetas virtuais que ficam entre etiquetas reais na horizontal e na vertical, respectivamente.

$$S_k(T) = \left(\frac{x_{R2} - x_T}{x_{R2} - x_{R1}} \right) \times S_k(R1) + \left(\frac{x_T - x_{R1}}{x_{R2} - x_{R1}} \right) \times S_k(R2), \quad (9)$$

$$S_k(T) = \left(\frac{y_{R2} - y_T}{y_{R2} - y_{R1}} \right) \times S_k(R1) + \left(\frac{y_T - y_{R1}}{y_{R2} - y_{R1}} \right) \times S_k(R2), \quad (10)$$

onde $S_k(T)$ e (x_T, y_T) são, respectivamente a RSS e as coordenadas da etiqueta virtual T, bem como $S_k(R)$ e (x_R, y_R) representam a força de sinal e as coordenadas das etiquetas reais envolvidas tanto a R1 como a R2.

Para se calcular a RSS com este novo método, inicialmente ordenam-se os vetores $\vec{S}_k = (S_1^k, S_2^k, \dots, S_n^k)$ de forma ascendente de acordo com as distâncias d_k ($d_1^k, d_2^k, \dots, d_n^k$) entre as etiquetas reais e os leitores, onde S_n^k é a força de sinal da etiqueta $n \in [1, N]$ medida pelo leitor $k \in [1, K]$ e d_n^k é a distância entre o etiqueta n e leitor k . Considerando este ordenamento feito, aplica-se a Equação (11) para se obter a força de sinal de cada uma das etiquetas virtuais x (S_x^k) medida pelo leitor k para cada um dos leitores.

$$S_x^k = \sum_{n=0}^N S_n^k \times I_n^k(x), \quad (11)$$

onde:

$$I_n^k(x) = \frac{(d_x^k - d_0^k) \times \dots \times (d_x^k - d_{n-1}^k) \times (d_x^k - d_{n+1}^k) \times \dots \times (d_x^k - d_N^k)}{(d_n^k - d_0^k) \times \dots \times (d_n^k - d_{n-1}^k) \times (d_n^k - d_{n+1}^k) \times \dots \times (d_n^k - d_N^k)}. \quad (12)$$

Na segunda etapa do algoritmo, é estabelecido um mapa de proximidade para cada leitor. Nesse mapa, cada posição faz referência a uma região do ambiente estudado e o centro desta região é representado por uma etiqueta virtual de referência. Quando o valor de RSS do alvo é definido, o leitor marca as regiões em que a RSS da etiqueta virtual de referência e o valor de RSS do alvo possuem uma diferença menor do que um limiar (*threshold*). Em seguida, é gerado um mapa global que é uma intersecção entre os mapas de todos os leitores que possuem as suas regiões marcadas, mostrando os que estão mais próximos da etiqueta alvo. Na última etapa, o mapa de regiões obtido na etapa anterior é utilizado para se estimar a localização da etiqueta alvo. Nesse processo são utilizadas duas funções de peso: a w_{1i} e a w_{2i} . Essas funções são dadas respectivamente pelas Equações (13) e (14).

$$w_{1i} = \sum_{k=1}^K \frac{|S_k(Ti) - S_k(R)|}{K \times S_k(Ti)}, \quad (13)$$

$$w_{2i} = \frac{n_{ci}}{\sum_{i=1}^{n_a} n_{ci}} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^{n_a} P_i}, \quad (14)$$

onde K corresponde ao número de leitores utilizados, $S_k(T_i)$ ao valor de RSS da etiqueta virtual de referência T_i no leitor k e $S_k(R)$ ao valor de RSS da etiqueta alvo no leitor $k \in [1, K]$. O p_i representa o raio de possíveis regiões conjuntas para uma determinada área, n_{ci} é o número de regiões conjuntas e n_a é o número total de regiões em uma determinada área. O cálculo das coordenadas da etiqueta alvo é dado por:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^{n_a} w_i \times (x_i, y_i), \quad (15)$$

onde:

$$w_i = w_{1i} \times w_{2i}. \quad (16)$$

3.5. O Algoritmo VIRE-R Proposto

O limiar (*threshold*) no *VIRE* constitui um importante parâmetro de projeto, pois se ele for muito pequeno, o mapa de regiões pode não ter posições suficientes para se gerar uma boa estimativa. Se ele for muito grande, pode acontecer do mapa de regiões ficar muito grande e aumentar o erro de estimativa. A otimização proposta, denominada *VIRE* Recursivo ou *VIRE-R*, funciona da seguinte forma: as etapas 1 e 3 são idênticas as do *VIRE*, porém na etapa de montagem do mapa, o *threshold* vai iniciar com o valor de 0,5 e se o mapa não tiver uma determinada quantidade de regiões, que será estabelecido na concepção do sistema, a segunda etapa volta a ser executada com o valor do *threshold* acrescido de 0,5 e, assim por diante, até que a condição da quantidade de área seja atingida e o *VIRE-R* entre na sua terceira etapa. O valor de 0,5 é definido porque quanto menor a diferença entre as forças de sinais, mais próxima deve estar a etiqueta de referência do alvo. A ideia desta otimização está no fato de facilitar a obtenção da melhor acurácia do sistema, uma vez que é muito trabalhoso adequar o *threshold* de maneira que o sistema retorne o seu resultado ótimo para o ambiente.

4. Avaliações de Desempenho

Esta seção apresenta os resultados das simulações com os algoritmos LANDMARC, *VIRE*, LANDMARC-D, LANDMARC-2 e *VIRE-R*. A implementação do *VIRE* estudada é a do “*VIRE* ótimo” conforme proposta em [França Neto and Gonçalves 2012]. Para isso, são apresentados inicialmente o modelo de propagação de sinais utilizado, as configurações de posicionamento de leitores e etiquetas nas bibliotecas estudadas e a metodologia de avaliação. As simulações foram feitas utilizando-se um simulador construído na linguagem Java.

4.1. Bibliotecas e Cenários de Posicionamento de Etiquetas e Leitores

Esta seção apresenta os cenários de posicionamento de etiquetas e leitores na área de duas bibliotecas da Universidade Federal de Pernambuco: a biblioteca do Centro de Ciências Jurídicas (CCJ) e a biblioteca do Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN). Este trabalho considera três configurações de posicionamento de leitores e três configurações de posicionamento de etiquetas de referência para cada uma das bibliotecas. Essas configurações são combinadas para formarem nove cenários distintos de posicionamento de etiquetas e leitores da infraestrutura necessária aos algoritmos de localização. As configurações de posicionamento para os leitores e etiquetas são as seguintes:

Configuração de Leitores #1 (L1): A Figura 1 ilustra o posicionamento dos leitores. Ao todo são 6 leitores distribuídos pelo ambiente, localizados nos extremos de forma a

cobrir todo o ambiente para uma melhor cobertura conforme estudos apresentados em [Silva and Gonçalves 2011]. Os leitores estão a uma altura de 120 cm e o alcance máximo de comunicação é de 10 metros, estando eles em quantidade adequada para cobertura de todo o ambiente.

Configuração de Leitores #2 (L2): A Figura 2 ilustra o posicionamento dos leitores. A diferença para a primeira configuração está na consideração de um ambiente 3D com 12 leitores. Desses 12 leitores, 6 estão situados na mesma altura das estantes e 6 estão próximos ao piso da biblioteca. O objetivo deste cenário é avaliar se há algum ganho em termos de precisão.

Configuração de Leitores #3 (L3): Nesta configuração são utilizados 12 leitores distribuídos em um mesmo plano e a uma altura de 120 cm. A ideia é analisar o impacto de uma distância menor entre leitores em comparação à configuração com 6 leitores. A Figura 3 mostra o posicionamento dos leitores nas duas bibliotecas.

Configuração de Etiquetas #1 (E1): Cada estante (retângulo) representada na Figura 4 possui 1 etiqueta cujas coordenadas x,y estão no centro da estante. Para cada fileira de estantes, a altura de cada etiqueta é calculada da seguinte forma: divide-se a altura da estante pela quantidade de etiquetas na fileira menos 1, obtendo-se um valor de referência p . Em seguida, posiciona-se a primeira etiqueta na altura 0 metros e cada outra etiqueta sequencialmente a p metros de altura da anterior.

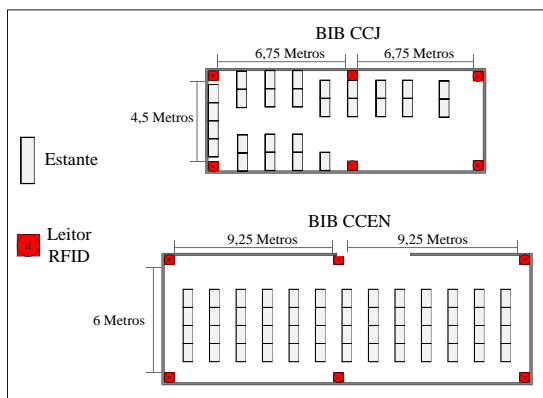


Figura 1. Configuração de Leitores #1.

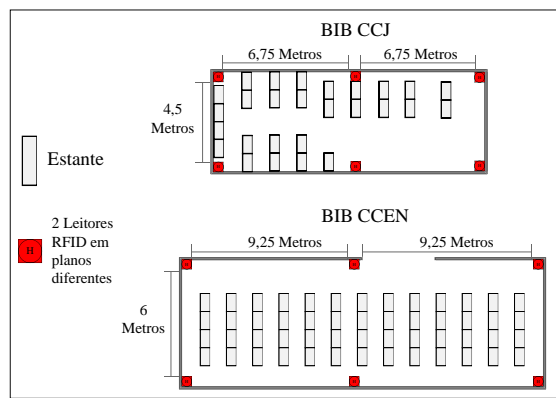


Figura 2. Configuração de Leitores #2.

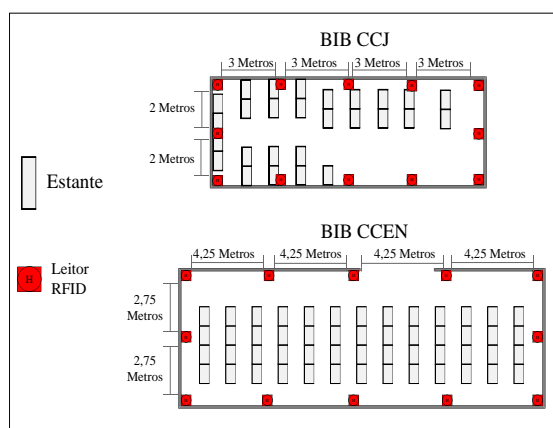


Figura 3. Configuração de Leitores #3.

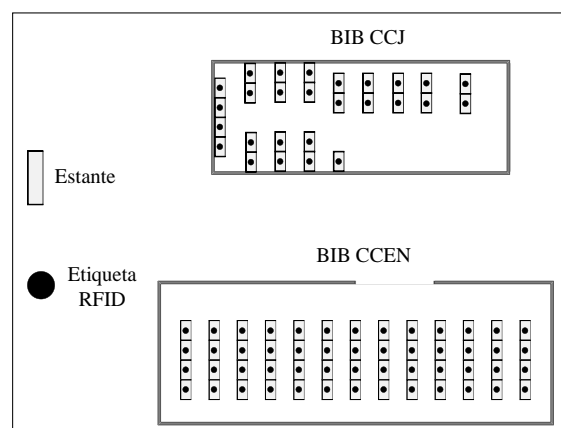


Figura 4. Configuração de Etiquetas #1.

Configuração de Etiquetas #2 (E2): Nesta configuração, uma etiqueta é posicionada em cada quina de cada estante. Contudo, estantes vizinhas numa mesma fileira compartilham as mesmas etiquetas nas quinas onde se unem. A Figura 5 ilustra essa disposição. Em relação à altura, a mesma lógica de posicionamento da Configuração de Etiquetas #1 é empregada. O esquema de posicionamento adotado parte do resultado apresentado em [Silva and Gonçalves 2011] que diz que há uma tendência dos

algoritmos em estimar o posicionamento do alvo dentro do retângulo formado por um conjunto de 4 etiquetas de referência.

Configuração de Etiquetas #3 (E3): Para tentar reduzir a possibilidade da estimativa do alvo ser direcionada para os corredores, também foi estudada a configuração descrita no texto que segue. As etiquetas de referência são posicionadas nos corredores (com exceção das extremidades da biblioteca) e alinhadas com extremos das estantes como ilustrado na Figura 6. A altura das etiquetas segue a mesma lógica descrita para Configuração de Etiquetas #1.

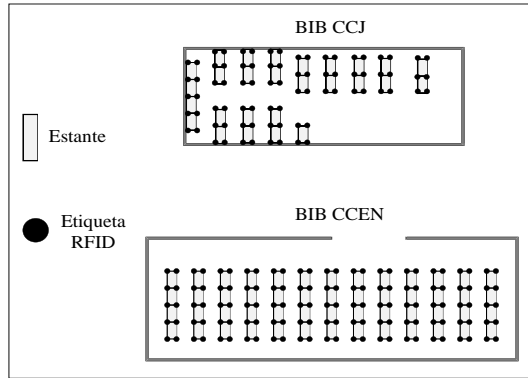


Figura 5. Configuração de Etiquetas #2.

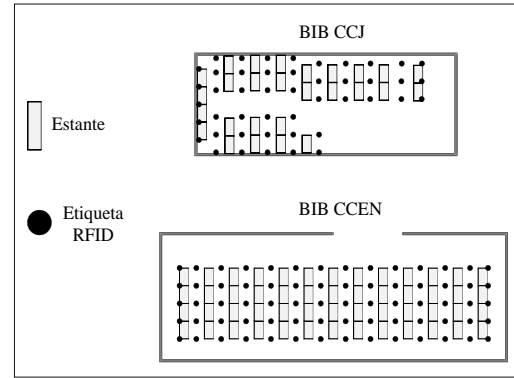


Figura 6. Configuração de Etiquetas #3.

4.2. Modelo de Propagação

A propagação de sinais nas simulações realizadas foi modelada de acordo com o modelo *Path Loss* [Seidel and Rappaport 1992]. Esse é um modelo empírico que permite conhecer a atenuação sofrida pelo sinal a uma distância d do transmissor e é representado pela Equação (17) a seguir:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\gamma \text{Log}_{10}\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}, \quad (17)$$

onde $PL(d)$ representa a atenuação, em dB, sofrida pelo sinal a uma distância d do transmissor; $PL(d_0)$ representa a atenuação a uma distância de referência (d_0) do transmissor e que tipicamente é igual a 1 metro em ambientes internos; γ é o expoente de atenuação que depende do ambiente e X_{σ} é uma variável aleatória gaussiana com média 0 e desvio padrão σ . A Equação (17) fornece um valor estático de atenuação entre um par receptor e transmissor estático. A atenuação percebida no receptor não será constante por causa de efeitos de *multipath*, *shadowing*, propagação sem linha de visada direta, e interferências de outros dispositivos de radio frequência. Na prática, esses efeitos fazem com que os valores de RSS pareçam randômicos e imprevisíveis ao longo do tempo. Desta forma, o parâmetro X_{σ} modela a variabilidade de RSS esperada em situações mais realísticas.

4.3. Metodologia de Avaliação, Parâmetros de Simulação e Resultados

Em todos os cenários avaliados neste artigo, os leitores, as etiquetas e as estantes possuem as seguintes especificações técnicas: os leitores possuem potência de transmissão de 30 dBm, frequência de operação de 914 MHz e dimensões de 50 cm x 50 cm x 8 cm; as etiquetas são do tipo passivas com frequência de operação também de 914 MHz e, para fins de simulação, enviam respostas com potência de 100 miliwatts; as

estantes são todas de metal e possuem 92 cm de comprimento, 66 cm de largura e 198 cm de altura.

Em um primeiro conjunto de simulações, são avaliadas as 9 combinações de configurações de posicionamento leitor-etiqueta conforme descritas na Seção 4. O objetivo é encontrar a configuração mais vantajosa em termos de precisão para os algoritmos estudados no cenário de uso em biblioteca. Os livros etiquetados são os alvos a serem localizados. Os alvos são marcados em posições aleatórias nas estantes. Cada ponto dos gráficos apresentados é o resultado de 5000 simulações, cada qual com um alvo em posição aleatória na estante. O nível de confiança adotado é de 99%, sendo representado por barras de erro, por vezes, imperceptíveis. A precisão é avaliada em função do erro médio de localização, o qual é calculado conforme a seguinte equação:

$$ErroMédio = \sqrt{(x_r - x_e)^2 + (y_r - y_e)^2 + (z_r - z_e)^2}, \quad (18)$$

onde (x_r, y_r, z_r) representa as coordenadas reais do alvo e (x_e, y_e, z_e) representa as coordenadas estimadas pelo algoritmo.

No primeiro conjunto de simulações para avaliar o impacto do posicionamento da infraestrutura de leitores são adotados os seguintes parâmetros: $PL(d_0) = 31,7$ dB; $\gamma = 1,81$; $\sigma = 5,2$. Esses valores estão de acordo com resultados empíricos para ambientes com prateleiras de metal [Ng et al. 2011], [Seidel and Rappaport 1992].

As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados de precisão dos algoritmos estudados para o primeiro conjunto de simulações em relação às bibliotecas do CCJ e CCEN, respectivamente. Nos gráficos, as configurações de leitores são representadas por “L*” e as configurações de etiquetas são representadas por “E*”, onde * representa o número da configuração. Assim, por exemplo, a configuração de leitores #1 combinada com a configuração de etiquetas #2 é representada por “L1E2”. Note que existe uma grande influência do posicionamento dos leitores e das etiquetas nos resultados. Note também que o LANDMARC-2 possui desempenho melhor ou igual em relação aos outros algoritmos avaliados para todas as configurações nas bibliotecas do CCEN e do CCJ. Em relação à biblioteca do CCJ, o melhor resultado para este algoritmo foi obtido com as configurações L3E2 e L3E3. Já em relação à biblioteca do CCEN, o LANDMARC-2 obteve os melhores resultados com as configurações L3E1 e L3E3.

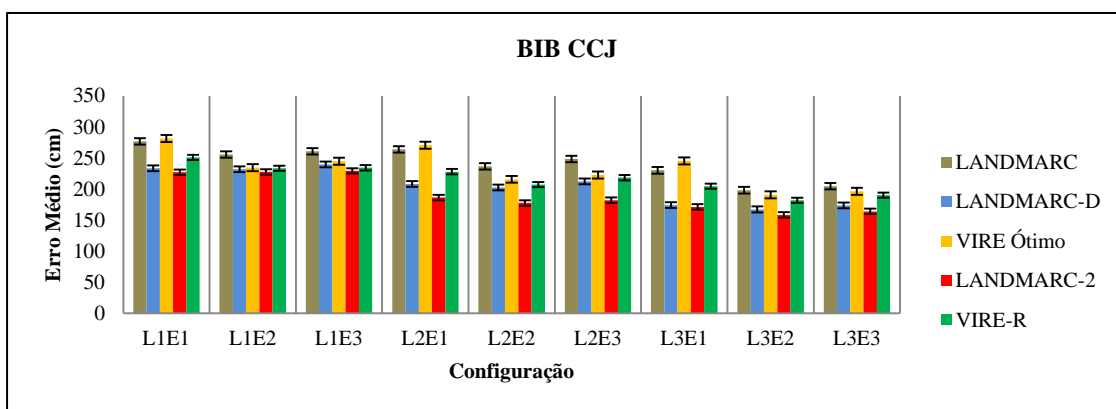


Figura 7. Gráfico com o erro médio dos algoritmos para os cenários da BIB. CCJ.

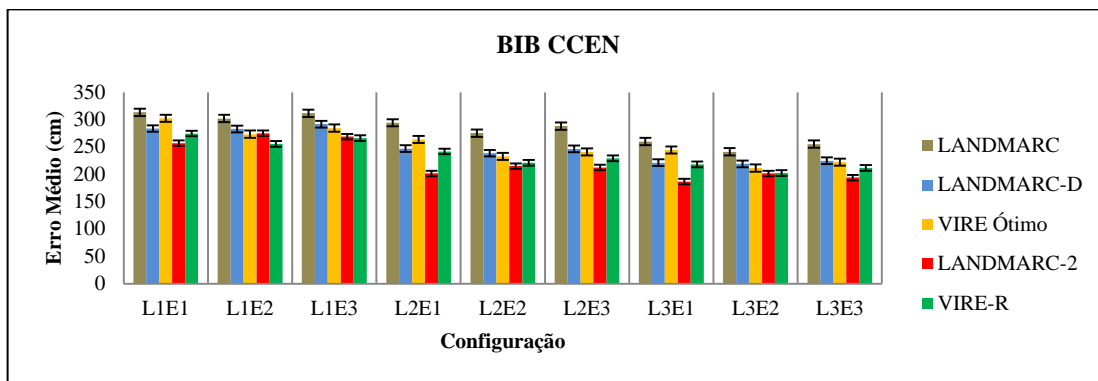


Figura 8. Gráfico com o erro médio dos algoritmos para os cenários da BIB. CCEN.

Os resultados mostram que, geralmente, a configuração L3E2 é a mais vantajosa na busca da minimização do erro de localização. A exceção é quando o algoritmo LANDMARC-2 é utilizado com as configurações L3E1 e L3E3 para a biblioteca do CCEN. Nesse caso, o LANDMARC-2 se mostra ligeiramente mais vantajoso do que com a configuração L3E2. Contudo, a diferença de desempenho é em torno de 10 cm. Desta forma, os resultados desse primeiro conjunto de simulações mostram a importância de se combinar adequadamente o posicionamento dos leitores e etiquetas e o algoritmo de localização na busca pela minimização de erros de localização.

A fim de se realizar uma comparação mais aprofundada dos algoritmos, um novo conjunto de simulações foi realizado, utilizando-se como base a configuração L3E2. Com tal conjunto de simulações, a precisão é estudada em função de diferentes valores de γ e de variância de força de sinal no canal de comunicação, representada por σ^2 . São apresentados resultados para $\gamma=1,81$, $\gamma=3,54$ e $\gamma=5,22$ que representam, respectivamente, o menor valor, um valor médio e o valor máximo obtidos no estudo empírico em [Seidel and Rappaport 1992] para vários ambientes estudados. Em relação à variância do canal, são estudados valores entre $\sigma^2 = 0$ e $\sigma^2 = 27$ ($\sigma = 5,2$).

A Figura 9 apresenta os resultados obtidos com essas configurações. O LANDMARC-2, quando comparado ao LANDMARC original, apresenta em ambas as bibliotecas, uma melhora média de acurácia em torno de: 15% em cenários com o γ mais baixo; de 25% com γ intermediário; e de 35% com γ mais elevado. Já em relação ao LANDMARC-D, o LANDMARC-2 apresenta uma melhora média de acurácia de 3% e 5%, para as bibliotecas do CCJ e do CCEN respectivamente, em cenários com o γ mais baixo; de 15% com γ intermediário em ambas as bibliotecas; e de 25% com o γ mais elevado em ambas as bibliotecas. Quando comparado com o VIRE-R, a análise deve levar em conta a biblioteca modelada dado que para biblioteca do CCJ, o LANDMARC-2 apresenta um ganho em torno de 12%. Já na biblioteca do CCEN, os dois algoritmos apresentam acurácia praticamente iguais com uma leve vantagem para o VIRE-R. O VIRE-R apresenta um comportamento mais estável que o VIRE Ótimo. O VIRE-R também apresenta um ganho de 5% em relação ao VIRE Ótimo nos cenários onde este último apresenta um comportamento mais estável, como no CCJ com γ intermediário e o no CCEN com γ mínimo e máximo.

O VIRE Ótimo apresenta um comportamento oscilatório devido à dificuldade de se determinar um único *threshold* capaz de gerar os melhores resultados para todas as regiões do ambiente. No geral, o LANDMARC-2 possui desempenho melhor ou igual ao de todas as outras abordagens avaliadas. Isso demonstra uma melhor eficiência de localização independente de condições típicas de propagação de sinais nas bibliotecas.

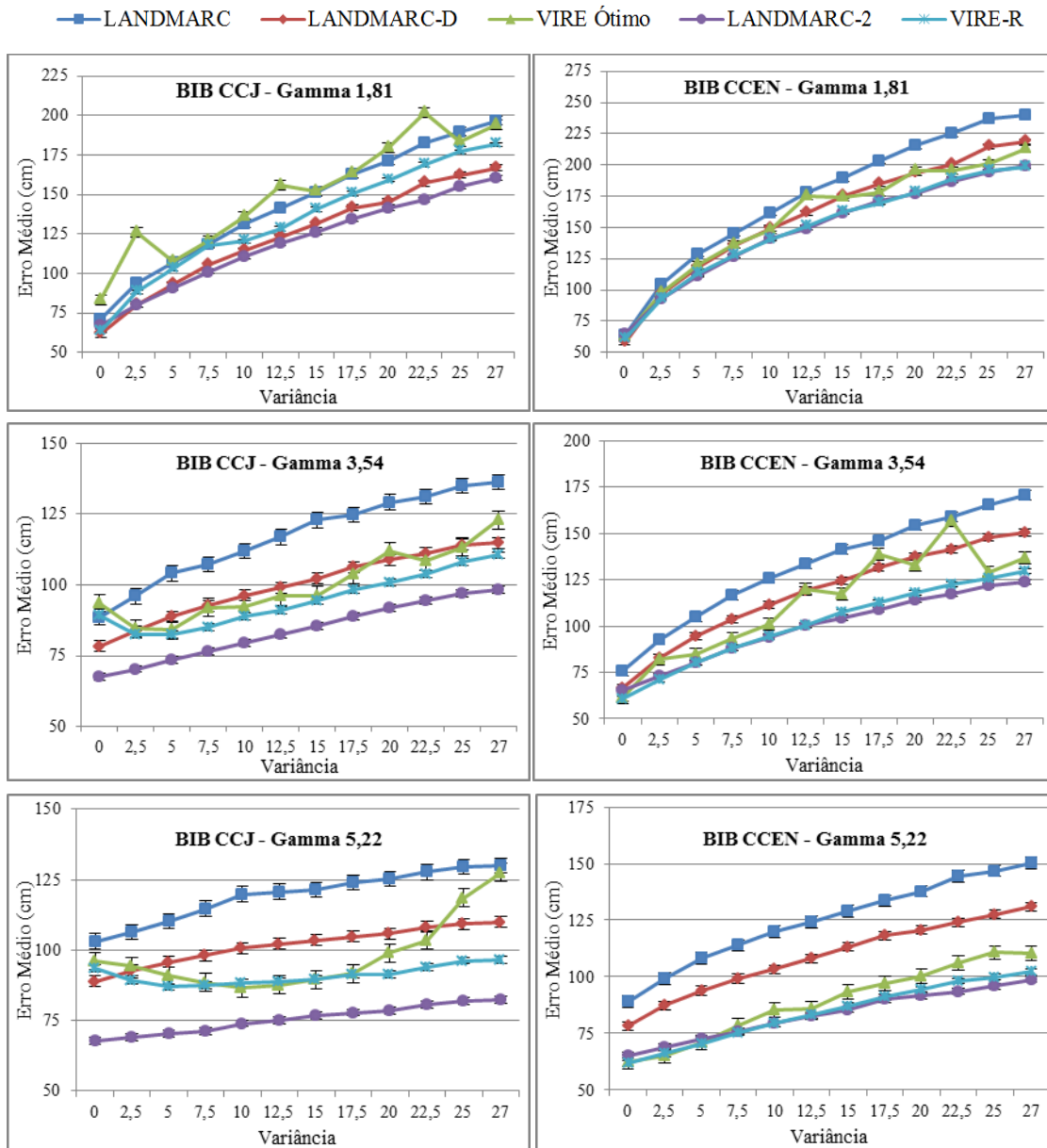


Figura 9. Comparação entre os algoritmos nas bibliotecas para vários valores de Gamma e variâncias.

5. Conclusões

Neste artigo foram estudados vários algoritmos de localização RFID com foco em ambientes de biblioteca baseadas na Internet das Coisas. O desafio está em diminuir a grandeza do erro de localização a fim de melhor auxiliar os usuários e aplicações com o posicionamento real do acervo etiquetado com RFID. Os estudos demonstraram que a combinação de posicionamento de leitores e etiquetas com algoritmos de localização possui impacto importante na precisão da informação de localização, enfatizando que nem sempre a mesma configuração de posicionamento é a mais vantajosa para todos os algoritmos. Adicionalmente, este trabalho propôs dois algoritmos de localização: o LANDMARC-2 e o VIRE-R. O LANDMARC-2 se mostrou com uma precisão melhor ou igual aos demais algoritmos estudados nos cenários considerados. Em particular, o erro de localização do LANDMARC-2 foi menor que 1 metro em diversos cenários de variabilidade de RSS, sendo de grande valor para ambientes de bibliotecas. Os estudos

apresentados sugerem que uma distribuição mais regular das etiquetas de referência dentro do ambiente pode aumentar a precisão do LANDMARC-2 dado que: 1) o aumento da quantidade de etiquetas de referência na Biblioteca do CCEN não influenciou no aumento da acurácia do algoritmo e 2) na Biblioteca do CCJ, onde a distribuição das estantes não é regular, o aumento na quantidade de etiquetas melhorou o desempenho do sistema, uma vez que deixava a distância entre as etiquetas mais uniformes. Em função dos resultados obtidos e da forma de concepção do LANDMARC-2, é possível intuir que técnicas de estimação de variância no canal podem melhorar a acurácia. Esses pontos serão melhor investigados em novos trabalhos.

Referências

- AL-FUQAHA, A., GUIZANI, M., MOHAMMADI, M., ALEDHARI, M., and AYYASH, M., **“Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications**. IEEE Comm. Surveys & Tutorials, 17(4):2347-2376, 2015.
- CHAUHAN, M.; SHARMA, E.; SUHAG, V., **“A Survey on RFID Technology”**. *International Journal of Research (IJR)* vol.1, issue: 10, November 2014.
- CHIH-HUA YEH; SHUN-FENG SU. **“Enhance LANDMARC from the fundamentals”**. In Proc. of ARIS 2013, pp.23,27, May 31 2013-June 2 2013.
- DIAN, Z.; KEZHONG, L.; RUI, M.. **“A precise RFID indoor localization system with sensor network assistance”**. *Comm., China* , vol.12, no.4, pp.13,22, April 2015.
- FRANÇA NETO, I. L.; GONCALVES, P. A. S.. **“Uma Avaliação de Desempenho e Análise do Sistema de Localização RFID VIRE”**. In: *XVII Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços (WGRS), 2012*, Ouro Preto, 2012.
- HAN-YEN YU; JIANN-JONE CHEN; TIEN-RUEY HSIANG, **“Design and Implementation of a Real-Time Object Location System Based on Passive RFID Tags”** IEEE *Sensors Journal*, vol.15, no.9, pp.5015,5023, Jun. 2015.
- MOURA, M. A., **“As fronteiras dos documentos no contexto das mídias propagáveis e da Internet das coisas”**, Revista Bibliotecas Universitárias: pesquisas, experiências e perspectivas, ISSN: 2237-7115, v. 3, n. 1, p. 79-89, jan./jun. 2016.
- NG, W.W.Y.; YI-SONG QIAO; LI LIN; HAI-LAN DING; CHAN, P.P.K.; YEUNG, D.S.. **“Intelligent book positioning for library using RFID and book spine matching”**. In Proc. of ICMLC, vol.2, no., pp.465,470, 10-13 July 2011.
- NI, L.M.; YUNHAO LIU; YIU CHO LAU; PATIL, A.P.. **“LANDMARC: indoor location sensing using active RFID”**. In Proc. of PerCom 2002.
- PERERA, C. LIU, C. H. , and JAYAWARDENA, S., **“The Emerging Internet of Things Marketplace From an Industrial Perspective: A Survey”**. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, 3(4):585-598, 2015.
- PITUKWERAKUL, J.; SUPANAKOON, P.; PROMWONG, S.. **“Evaluation scheme RFID channel in library with wooden and metal book shelves based on measurement data”** *International Conference on Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, pp.988,991, 19-21 May 2010.
- SILVA, B. A.; GONÇALVES, P. A. S.. **“Planejamento do Posicionamento de Leitores e Etiquetas de Referência em Sistemas de Localização RFID”**, In Proc. of XVI WGRS, Campo Grande, July 2011.
- ZHAO, Y.; LIU, Y.; NI, L.M.. **“VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination”**. In Proc. of ICPP, pp.56,56, 10-14 Sept. 2007.