

Uma Avaliação de Desempenho e Análise do Sistema de Localização RFID VIRE

Ivan Luiz de França Neto, Paulo André da S. Gonçalves

Centro de Informática (CIn)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)
50.740-560 – Recife – PE – Brasil

{ilfn,pasg}@cin.ufpe.br

Abstract. *The automatic location of objects is one of the most promising applications of Active RFID-based systems. The LANDMARC and the VIRE are examples of RFID systems that are able to automatically providing the location of objects. While the first has a well understood performance, the second still needs research to obtain better subsidies about its location efficiency under different signal propagation conditions and about the impact of the choice of its project parameters. This paper presents a performance evaluation and analysis of the VIRE. Such system is evaluated and analyzed through simulations that consider an internal environment with a communication channel under different signal propagation conditions. The main contributions of this work are the performance evaluation, the identification of potential enhancements of the VIRE system and the identification of challenges involved in its optimization.*

Resumo. *A localização automática de objetos é uma das aplicações mais promissoras dos sistemas RFID baseados em etiquetas ativas. O LANDMARC e o VIRE são exemplos de sistemas RFID capazes de prover automaticamente a localização de objetos. Enquanto o primeiro possui desempenho bem compreendido, o segundo ainda carece de pesquisas para obter melhores subsídios sobre sua eficiência de localização em diversos cenários de propagação de sinais e sobre o impacto da escolha de seus parâmetros de projeto. Este artigo apresenta uma avaliação de desempenho e análise do VIRE. Esse sistema é avaliado e analisado com o auxílio de simulações que consideram um ambiente interno com um canal de comunicação sob várias condições de propagação de sinais. As principais contribuições deste trabalho são a avaliação de desempenho realizada, a identificação de pontos de melhoria do sistema VIRE e a identificação dos desafios envolvidos em sua otimização.*

1. Introdução

O uso da tecnologia RFID (*Radio Frequency IDentification*) para a identificação automática de objetos através de sinais de radiofrequência (RF) é bastante promissor. Os sistemas RFID mais básicos são compostos por um leitor e várias etiquetas. Cada etiqueta armazena um identificador (ID) único e é colada ou embutida em um objeto. Durante o processo de identificação, realizado pelo leitor, os IDs das etiquetas que estão em seu alcance de comunicação são requisitados. Um mapeamento entre os IDs e os objetos pode ser realizado, sendo possível descobrir automaticamente quais objetos estão no alcance de comunicação do leitor.

Duas características importantes podem ser notadas nos sistemas RFID: a capacidade de identificar objetos e a capacidade de comunicação através de sinais de RF. Essas características tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de localização RFID para se obter automaticamente uma estimativa do posicionamento de objetos de interesse em ambientes internos [Ni et al. 2004], [Polito et al. 2007], [Zhao et al. 2007], [Silva and Gonçalves 2009b], [Zhu et al. 2009], [Zhang et al. 2010], [Shi et al. 2010], [Ng et al. 2011]. Em tais sistemas as medidas de potência de sinal recebido (RSS - *Received Signal Strength*), coletadas nos leitores, são utilizadas no processo de estimativa de localização dos objetos.

Os sistemas de localização RFID mais conhecidos são o LANDMARC [Ni et al. 2004] e o VIRE [Zhao et al. 2007]. Enquanto o primeiro possui desempenho bem compreendido, o segundo ainda carece de pesquisas que forneçam melhores subsídios sobre sua eficiência de localização em diversos cenários de propagação de sinais e sobre o impacto da escolha de seus parâmetros de projeto. Os diversos estudos [Zhu et al. 2009], [Shi et al. 2010], [Zhang et al. 2010] sobre o VIRE não analisam o comportamento do sistema sob diferentes condições de propagação de sinais. Isso não permite identificar ineficiências ou características do VIRE quando utilizado em um ambiente mais realístico sujeito a variações na potência dos sinais recebidos pelos receptores do sistema. Este artigo apresenta uma avaliação de desempenho e análise do sistema de localização RFID VIRE. Esse sistema é avaliado e analisado com o auxílio de simulações que consideram um ambiente interno com um canal de comunicação sob várias condições de propagação de sinais. Através desse estudo, é demonstrado que o desempenho do VIRE está intimamente ligado ao posicionamento real do objeto a ser localizado, às condições de propagação de sinais e à escolha de seus dois parâmetros de projeto. Também são apresentadas comparações entre o desempenho do LANDMARC e do VIRE.

O restante deste artigo está organizado como segue: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados. A Seção 3 detalha os sistemas de localização LANDMARC e VIRE. A Seção 4 apresenta o ambiente interno estudado, os parâmetros e cenários de simulação bem como a avaliação de desempenho e análise do sistema estudado. Por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais deste trabalho e trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

O LANDMARC [Ni et al. 2004] foi pioneiro na utilização da tecnologia RFID para a localização de objetos em ambientes fechados, introduzindo o conceito de etiquetas de referência para auxiliar o processo de localização. Tais etiquetas representam pontos de referência fixos no ambiente e têm como objetivo aumentar a precisão do sistema sem a necessidade de aumentar o número de leitores espalhados pelo ambiente. Dessa forma, o LANDMARC alcança os seguintes objetivos: reduz a quantidade de leitores caros utilizados, ao utilizar etiquetas de referência que são mais baratas; reduz a influência do ambiente sobre a precisão do sistema, já que as etiquetas de referência estão sujeitas as mesmas condições que as etiquetas que estão sendo rastreadas; e fornece informações de localização mais precisas.

Em [Polito et al. 2007] é feita uma comparação entre o uso do LANDMARC e de um algoritmo denominado RSI (*RSSI Space Interpolation*), o qual emprega o uso de uma função denominada *Spline* utilizada para gerar etiquetas virtuais de referência através da

interpolação do vetor de distâncias Euclidianas utilizado no LANDMARC. Segundo Ni et al. (2004), com o aumento da distância entre as etiquetas de referência, há uma queda na precisão do sistema de localização. Em [Polito et al. 2007], verificou-se que quando há poucas etiquetas reais de referência, o uso de interpolação não reduz a degradação do desempenho do sistema ocasionado pelo aumento da distância entre tais etiquetas. Assim, quando o número de etiquetas reais de referência é pequeno, utilizar etiquetas virtuais de referência não atenua a queda do desempenho do sistema. Os resultados permitiram dizer que as complexas questões de propagação envolvendo ambientes internos não são adequadamente modeladas com funções de interpolação, quando o número de etiquetas reais de referência é pequeno.

Em [Jiang et al. 2009] é apresentada uma abordagem em que a etiqueta que está sendo localizada juntamente com as k etiquetas de referência mais próximas, calculadas a partir do LANDMARC, são colocadas em um conjunto. Com base nas coordenadas das etiquetas de referência do conjunto e nas coordenadas da etiqueta alvo, estimadas pelo LANDMARC, um processo de calibração é iniciado até que as coordenadas da etiqueta alvo assumam um valor estável. Simulações e comparações experimentais mostraram que a precisão da localização melhora com tal abordagem.

O LANDMARC+ [Silva and Gonçalves 2009a] é um algoritmo que fornece uma segunda estimativa da área na qual um objeto pode estar presente, visando evitar que os usuários realizem buscas cegas, pelo ambiente, de objetos cujas localizações foram erroneamente estimadas. O LANDMARC+ fornece duas estimativas de localização: a primeira proveniente da execução do LANDMARC e uma secundária que considera a distância média Euclidiana, em RSS (*Received Signal Strength*), entre o objeto j a ser localizado e as etiquetas de referência em cada sala ou área a do ambiente. A área a que produzir a menor distância média Euclidiana será escolhida como a segunda estimativa de localização do objeto j . Os resultados demonstraram que o LANDMARC+ melhora o desempenho global de localização do LANDMARC em até 96,66%.

O número de etiquetas de referência influencia no desempenho do LANDMARC [Ni et al. 2004], quando uma baixa densidade de etiquetas de referência é utilizada há uma degradação no desempenho do LANDMARC. Para melhorar a precisão da localização do LANDMARC, mais etiquetas de referência são necessárias, o que provoca um aumento no custo e na complexidade do sistema, além de poder ocasionar o fenômeno da interferência de RF [Zhao et al. 2007]. Diante desse cenário, o VIRE (*Virtual Reference Elimination*) [Zhao et al. 2007] se propõe a melhorar os resultados de desempenho de localização alcançados pelo LANDMARC sem adicionar novos leitores e novas etiquetas reais de referência. Para isso, o VIRE introduz etiquetas virtuais de referência no sistema de localização. O RSS de cada uma dessas etiquetas virtuais de referência é calculado com base no RSS de etiquetas reais de referência por meio de um algoritmo de interpolação linear.

Em [Zhu et al. 2009] é realizada uma análise do algoritmo do VIRE, sendo proposta uma melhoria no algoritmo de redução do *threshold*¹ para cada etiqueta alvo, o que fornece uma melhor precisão com relação ao VIRE. Em [Shi et al. 2010] é proposta uma abordagem que reduz a área de interpolação do VIRE por meio de um mecanismo de

¹O *threshold* é um parâmetro de projeto do VIRE utilizado para selecionar as etiquetas de referência que serão utilizadas na estimativa de localização da etiqueta alvo.

seleção de subregião. Além disso, um algoritmo de interpolação não linear é utilizado. Nessa abordagem, além da baixa complexidade computacional, foi possível prover uma melhor precisão de localização quando comparado ao VIRE. Em [Zhang et al. 2010] um método baseado na interpolação de *Newton* é utilizado para calcular os valores de RSSI das novas etiquetas virtuais, quando o *grid* é expandido. Com a utilização do método de interpolação de *Newton* foi possível estimar a localização de mais etiquetas alvo em um menor intervalo de tempo, além de aumentar a precisão dos resultados quando o número de etiquetas virtuais de referência no ambiente aumenta.

Nenhum dos trabalhos relacionados ao VIRE, no entanto, levou em consideração as condições de variabilidade do RSS no canal de comunicação ao analisar e avaliar o VIRE em seus estudos. Dessa forma, os estudos anteriores não permitem identificar ineficiências ou características do VIRE quando utilizado em um ambiente mais realístico sujeito a variações na potência dos sinais recebidos pelos receptores do sistema. O VIRE possui dois parâmetros de projeto: a densidade de etiquetas virtuais de referência (n) e o *threshold*. A escolha adequada de tais parâmetros influencia sua eficiência de localização. Com relação ao parâmetro n , os estudos realizados em [Zhao et al. 2007] e [Zhu et al. 2009] indicam que com o aumento de seu valor, há um aumento na eficiência de localização do sistema. No entanto, os resultados apresentados aqui neste trabalho, mostram que dependendo das condições de variabilidade do RSS no canal, um aumento no valor de n pode reduzir a eficiência de localização. E por causa disso, será mostrado que a escolha do valor de n não é tão simples como indicavam os estudos anteriores. Com relação ao *threshold*, o VIRE adota sempre um valor fixo para esse parâmetro. Com o estudo apresentado neste artigo, é demonstrado que a melhor abordagem para aumentar a eficiência de localização do sistema é utilizar um *threshold* dinâmico.

3. O LANDMARC e o VIRE

3.1. LANDMARC

O processo de localização do LANDMARC consiste na construção de dois mapas de potência de sinais ou RSS, representados pelo vetor $\vec{S}(j) = (S_1^j, S_2^j, \dots, S_n^j)$, onde S_i^j denota o RSS do objeto j medido no leitor $i \in [1, n]$, e $\vec{\theta} = (\theta_1^r, \theta_2^r, \dots, \theta_n^r)$, onde θ_i^r denota o RSS da etiqueta de referência $r \in [1, m]$ medido no leitor $i \in [1, n]$. O LANDMARC define ainda uma distância Euclidiana, em níveis de potência, utilizando a seguinte Equação:

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

Teoricamente, as etiquetas de referência mais próximas da etiqueta que está sendo localizada são as que apresentam o menor valor de E_r^j . Desta forma, a distância Euclidiana entre o objeto j e cada etiqueta de referência $r \in [1, m]$ é calculada, produzindo o vetor de distâncias Euclidianas $\vec{E}(j) = (E_1^j, E_2^j, \dots, E_m^j)$. Esse vetor é usado como entrada para o algoritmo KNN (*K-Nearest Neighbors*) [Bahl and Padmanabhan 2000] que encontra as k etiquetas de referência com menor distância Euclidiana, em unidades de RSS, para o objeto j . O desempenho do LANDMARC depende da escolha do valor do parâmetro k .

Os resultados apresentados em [Ni et al. 2004] e [Polito et al. 2007] demonstram que k igual a 4 provê um melhor desempenho de localização. O LANDMARC estabelece pesos em função da distância entre o objeto a ser localizado e cada uma de suas etiquetas de referência vizinhas mais próximas. De posse dos pesos e das coordenadas de localização dessas etiquetas vizinhas, o LANDMARC estima as coordenadas de localização do objeto de interesse.

3.2. VIRE

O processo de localização do VIRE possui três etapas. Na primeira etapa, uma grade virtual é estabelecida e o valor do RSS das etiquetas virtuais de referência é calculado. As etiquetas reais de referência estão dispostas em uma grade regular 2D no ambiente, onde cada célula física da grade é composta por 4 etiquetas reais de referência. Cada célula física da grade é subdividida em $n \times n$ células virtuais de igual tamanho, onde cada célula virtual é coberta por 4 etiquetas virtuais de referência. Na Figura 1 é apresentada uma célula física, subdividida em 9 células virtuais, quando n igual a 3. O parâmetro n indica a densidade de etiquetas virtuais de referência e consiste em um importante parâmetro de projeto. Dado que as coordenadas das 4 etiquetas reais de referência são conhecidas, as coordenadas das etiquetas virtuais de referência podem ser facilmente calculadas. Com a utilização das etiquetas virtuais de referência o VIRE busca aumentar a precisão da estimativa de localização sem adicionar custo e sem causar interferência de RF.

Ⓣ Etiquetas Reais de Referência Ⓥ Etiquetas Virtuais de Referência

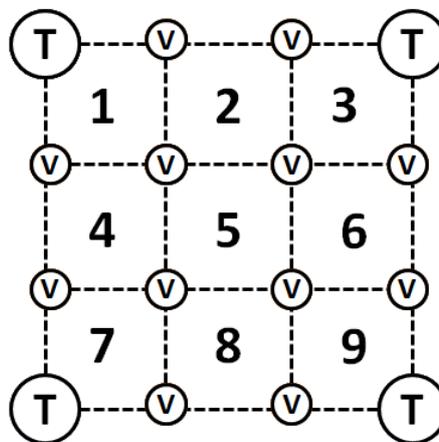


Figura 1. Célula física.

Para determinar o valor do RSS de cada etiqueta virtual de referência para cada leitor, o VIRE sugere a utilização do algoritmo de interpolação linear. O número total de etiquetas de referência em cada célula física com 4 etiquetas reais de referência aumentará em $(n + 1)^2 - 4$ etiquetas. O valor do RSS das etiquetas virtuais dispostas na horizontal pode ser interpolado pela Equação

$$S_k(T) = \left(\frac{x_{R2} - x_T}{x_{R2} - x_{R1}} \right) S_k(R1) + \left(\frac{x_T - x_{R1}}{x_{R2} - x_{R1}} \right) S_k(R2) \quad , \quad (2)$$

enquanto que o valor do RSS das etiquetas virtuais dispostas na vertical pode ser interpolado pela Equação

$$S_k(T) = \left(\frac{y_{R2} - y_T}{y_{R2} - y_{R1}} \right) S_k(R1) + \left(\frac{y_T - y_{R1}}{y_{R2} - y_{R1}} \right) S_k(R2) \quad , \quad (3)$$

onde $S_k(R1)$ e $S_k(R2)$ correspondem ao valor do RSS das etiquetas com coordenadas (x_{R1}, y_{R1}) e (x_{R2}, y_{R2}) respectivamente, calculadas em um leitor k e utilizadas na interpolação linear do valor do RSS da etiqueta virtual T com coordenadas (x_T, y_T) .

Na segunda etapa, com a grade virtual de referência estabelecida e o valor do RSS de cada etiqueta virtual de referência e da etiqueta alvo calculado para cada leitor, tem início o processo de eliminação de posições da grade que teriam uma influência negativa na estimativa de localização. Nesta etapa, um mapa de proximidade é definido para cada leitor. Este mapa corresponde a uma mapa 2D onde cada posição do mapa faz referência a uma região do ambiente que está sendo estudado, e o centro de cada região corresponde a uma etiqueta virtual de referência. Cada leitor terá o seu próprio mapa de proximidade, onde o valor do RSS de cada região no mapa foi calculado na primeira etapa e pode ser atualizado caso o valor do RSS das etiquetas reais de referência seja alterado.

Quando o valor do RSS da etiqueta alvo é obtido, cada leitor marcará as regiões do mapa onde a diferença entre o valor do RSS da região e da etiqueta alvo for menor que um *threshold*. Supondo a existência de K leitores, após obter os K mapas de proximidade para os K leitores, uma função de interseção é aplicada a esses mapas. O resultado da interseção é um mapa 2D que indica as regiões que estão mais próximas da etiqueta alvo. O *threshold* é, portanto, um importante parâmetro de projeto. Ao fim desta etapa, o conjunto das possíveis regiões de localização da etiqueta alvo é obtido.

Na última etapa, o conjunto de regiões obtidas na etapa anterior é utilizado para estimar a localização da etiqueta alvo. Neste processo são utilizadas duas funções peso w_{1i} e w_{2i} . A função peso w_{1i} é dada por:

$$w_{1i} = \sum_{k=1}^K \frac{|S_k(T_i) - S_k(R)|}{K \cdot S_k(T_i)} \quad , \quad (4)$$

onde K corresponde ao número de leitores utilizados, $S_k(T_i)$ ao valor do RSS da etiqueta virtual de referência T_i no leitor k e $S_k(R)$ ao valor do RSS da etiqueta alvo no leitor k . O peso w_{2i} é dado por:

$$w_{2i} = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^{n_a} p_i} = \frac{n_{ci}}{\sum_{i=1}^{n_a} n_{ci}} \quad , \quad (5)$$

onde p_i denota 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:

$$(x, y) = \sum_{i=1}^{n_a} w_i(x_i, y_i) \quad , \quad (6)$$

onde $w_i = w_{1i} \times w_{2i}$. O erro médio de localização calculado é a distância entre a posição real do objeto e a posição estimada.

4. Avaliações de Desempenho

Esta seção apresenta um estudo detalhado do desempenho do VIRE considerando diversas condições de propagação de sinais no ambiente interno. O estudo foi realizado em um simulador desenvolvido em C++, o qual modela o ambiente de simulação, as etiquetas e leitores utilizados no estudo. Nele, também é possível definir diferentes condições de propagação do sinal. A seguir, serão apresentados o modelo de propagação considerado neste artigo, os cenários e parâmetros de simulação, bem como os resultados obtidos.

4.1. Modelo de Propagação de Sinais

Para avaliar o desempenho de sistemas de localização baseados em medidas de RSS através de simulações é preciso definir o modelo de propagação de sinais que será utilizado. Neste trabalho, o modelo de propagação de sinais utilizado é o *Path Loss* (PL) proposto em [Seidel and Rappaport 1992]. Trata-se de um modelo empírico para ambientes internos expressado por

$$PL = PL(d_0) + 10\gamma \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \sum_{q=1}^Q FAF(q) + \sum_{p=1}^P WAF(p) \quad , \quad (7)$$

onde PL denota a atenuação (em dB) sofrida pelo sinal no caminho do transmissor ao receptor; $PL(d_0)$ é a atenuação sofrida pelo sinal a uma distância de referência d_0 do transmissor. Em ambientes internos o valor típico de d_0 é igual a $1\ m$ e a atenuação sofrida pelo sinal de um transmissor a uma distância de referência de $1\ m$ é dada por

$$PL(1\ metro)\ dB = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) \ dB \quad , \quad (8)$$

onde λ representa o comprimento da onda eletromagnética.

O parâmetro d representa a distância, em metros, entre o transmissor e o receptor; γ é o expoente de atenuação e indica o aumento da atenuação em relação à distância. Tipicamente o expoente de atenuação varia entre 2,0 e 4,0. Os fatores de atenuação de pisos e paredes no ambiente são representados respectivamente por $FAF(q)$ - *Floor Attenuation Factor* e $WAF(p)$ - *Wall Attenuation Factor*. Os parâmetros q e p representam, respectivamente um piso ($q \in [1, Q]$) e uma parede ($p \in [1, P]$) entre o transmissor e o receptor.

O desempenho de qualquer sistema de localização baseado em medidas de potência de sinal depende da estabilidade dos valores de RSS coletados durante o processo de localização. A Equação (7), para um mesmo par transmissor-receptor estático, fornecerá apenas um valor fixo de RSS. No entanto, em ambientes reais, mesmo para pares transmissores-receptores estáticos, os valores de RSS variam ao longo do tempo. Isso se deve a vários efeitos, aos quais os sinais eletromagnéticos estão sujeitos, como *multipath*, *shadowing*, propagação sem linha de visada direta e interferência com outros dispositivos RF. Portanto, na prática, é importante considerar variações nos valores de RSS, a fim de tornar as simulações mais realísticas. O trabalho utiliza, portanto, um modelo de propagação de *Path Loss* estendido, definido por

$$PL^* = \Gamma \quad , \quad (9)$$

onde Γ denota uma variável randômica Gaussiana com variância σ^2 e média PL . A média PL é a atenuação obtida através da Equação (7).

4.2. Cenário e parâmetros de simulação

Na Figura 2 é apresentado o *layout* do ambiente interno e a configuração de posicionamento de leitores e etiquetas utilizados para avaliar o desempenho do VIRE e do LANDMARC. O ambiente consiste em uma sala 5 m x 3 m, livre de paredes. Logo, $\sum_{p=1}^P WAF(p)$ na Equação (7) é igual a zero. A sala possui 4 leitores, cada qual em uma das quinas da sala, e 16 etiquetas reais de referência separadas entre si por uma distância de 1 metro. A distância entre cada leitor e a etiqueta real de referência mais próxima é de 1 metro.

Todas as etiquetas e leitores estão no mesmo andar, portanto, $\sum_{q=1}^Q FAF(q)$ na Equação (7) é igual a zero. As etiquetas operam na frequência de 433 MHz com potência de transmissão de sinais de 100mW, γ é igual a 2,4. Esse *layout* é similar ao *layout* estudado em [Zhao et al. 2007]. Existem 9 objetos (1, 2, ..., 9) a serem localizados e suas coordenadas reais são, respectivamente, (1, 4; 1, 4)m, (0, 8; 1, 5)m, (1, 8; 2, 3)m, (1, 8; 0, 8)m, (2, 4; 2, 0)m, (0, 4; 0, 6)m, (0, 4; 1, 4)m, (2, 6; 0, 6)m, (0, 1; 2, 3)m.

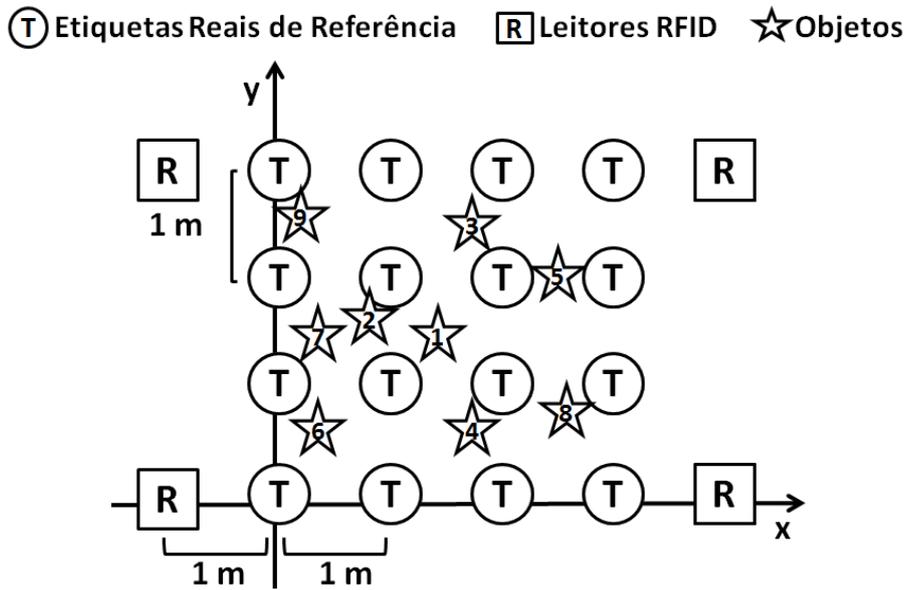


Figura 2. *Layout* do ambiente interno estudado.

4.3. Avaliações e Análises

Esta seção apresenta os resultados do estudo realizado com o VIRE no cenário descrito na Seção 4.2. Todos os resultados apresentados são médias com intervalo de confiança de 99%. Esse intervalo é representado por barras erros, as quais são, por vezes, imperceptíveis. O VIRE considera a utilização de um *threshold* fixo para obter as coordenadas de um objeto alvo, sem considerar as condições de variabilidade do RSS no canal e a

localização do objeto. A Figura 3 apresenta o erro médio para os 9 objetos dispostos no ambiente quando variamos o valor do *threshold* sob diferentes condições de variabilidade de RSS. Utilizamos o valor de n igual a 9 [Zhao et al. 2007]. Nas Figuras 3(a), 3(b), 3(c) e 3(d) quando σ^2 é igual a 0, 5, 10 e 20, respectivamente, é possível notar que o melhor resultado médio do VIRE em cada condição de variabilidade de RSS, é alcançado com valores de *threshold* diferentes, (2,75), (3,25), (3,75) e (4,0) respectivamente. Portanto, o valor do *threshold* ótimo, ou seja, aquele que fornece o menor erro médio, depende das condições de variabilidade do RSS no canal, que não foi considerada no artigo original.

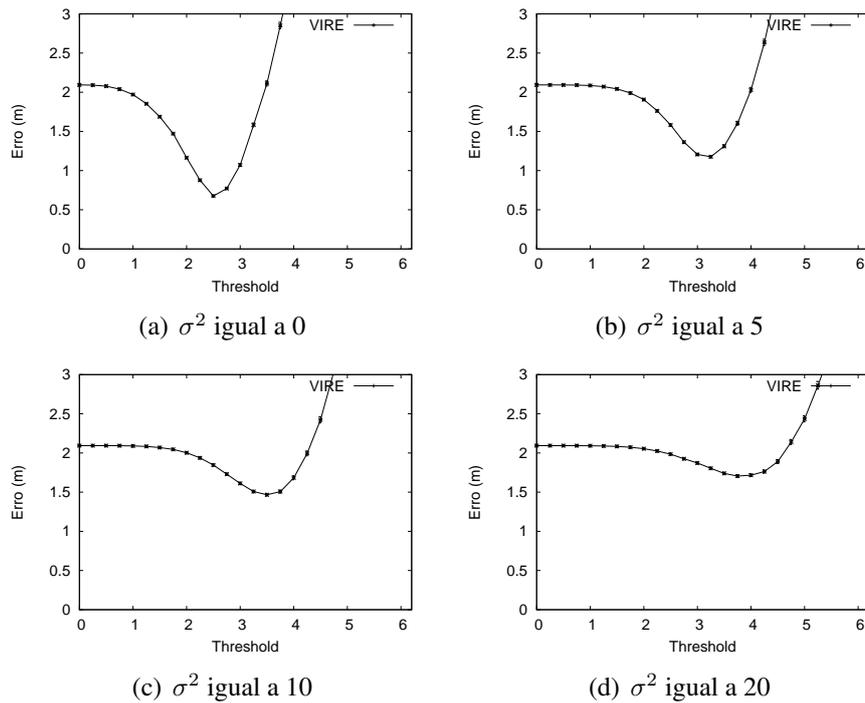
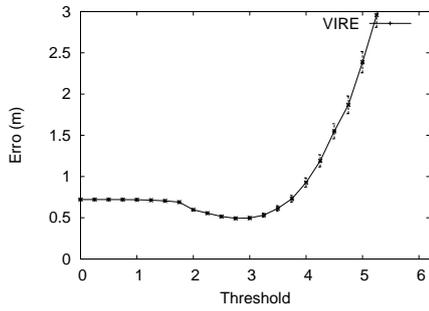


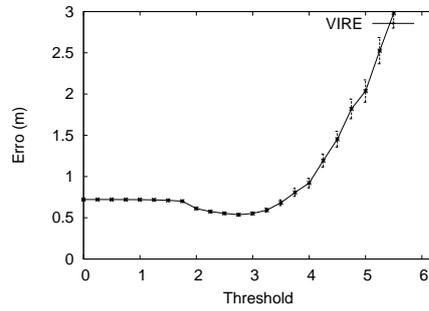
Figura 3. *Threshold* vs. Erro Médio do VIRE.

Analisando o comportamento do *threshold* para cada um dos 9 objetos foi possível perceber que, além da variabilidade do RSS no canal, a localização do objeto no ambiente determina o valor do *threshold* ótimo. Nas Figuras 4(a) e 4(c), por exemplo, quando σ^2 igual a 5 para os objetos 6 e 9, o valor do *threshold* ótimo seria (2,75) e (3,75), respectivamente. Nas Figuras 4(b) e 4(d), quando σ^2 igual a 10, o valor do *threshold* ótimo para estes objetos seria (2,75) e (4,00), respectivamente. O *threshold* ótimo, portanto, depende da relação de distância que o objeto alvo possui para cada um dos leitores do ambiente, o que sugere que a utilização de um *threshold* fixo não é a melhor alternativa, pois o *threshold* ótimo para determinado objeto alvo pode não ser apropriado para outro objeto localizado em uma região diferente no ambiente.

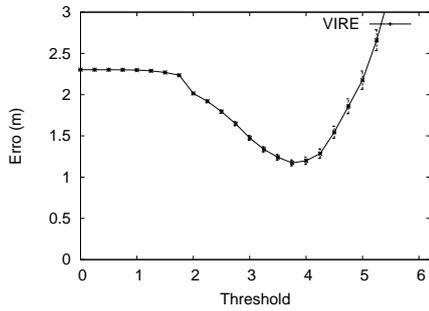
A Figura 5 mostra um *heat map* onde é possível analisar o comportamento do *threshold* no ambiente em diferentes condições de variabilidade do RSS no canal de comunicação. Na Figura 5(a), quando σ^2 igual a 0, o valor do RSS é fixo para um mesmo par transmissor-receptor estático e a atenuação sofrida pelo sinal depende unicamente da relação logarítmica com a distância entre o transmissor e o receptor. Temos, portanto, que o valor do *threshold* ótimo nas regiões centrais do ambiente é menor que o valor



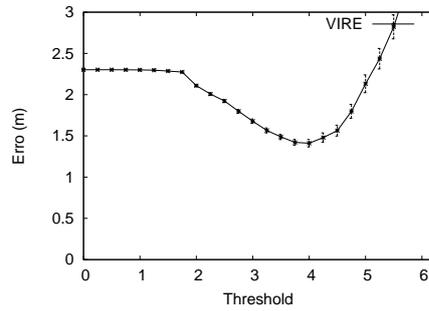
(a) Objeto 6. σ^2 igual a 5.



(b) Objeto 6. σ^2 igual a 10.

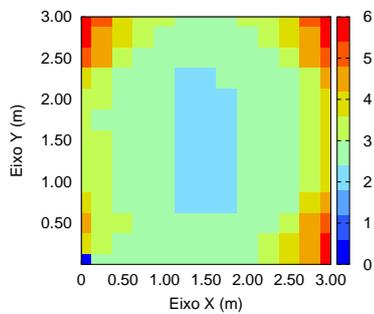


(c) Objeto 9. σ^2 igual a 5.

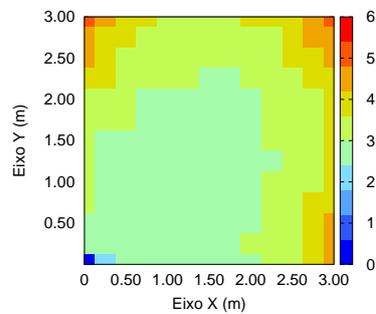


(d) Objeto 9. σ^2 igual a 10.

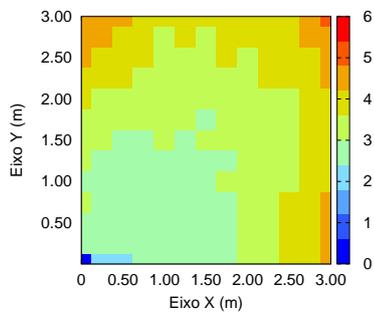
Figura 4. Threshold vs. Erro Médio para os objetos 6 e 9.



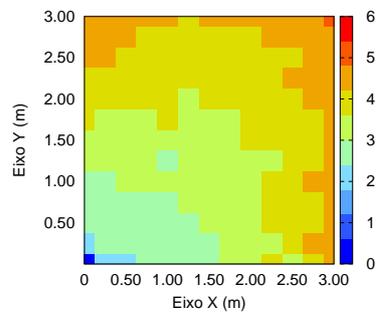
(a) σ^2 igual a 0



(b) σ^2 igual a 5



(c) σ^2 igual a 10



(d) σ^2 igual a 20

Figura 5. Comportamento do Threshold (em cores).

do mesmo nas extremidades. Analisando o comportamento do sinal nesse cenário para um dado leitor, é possível perceber que a diferença do valor do RSS entre duas etiquetas, separadas por uma distância d entre si, é maior quando essas etiquetas estão mais próximas do leitor. Desta forma, o valor do *threshold* ótimo é maior para um objeto localizado próximo a um leitor do que para um objeto distante do mesmo. Como se utiliza um mesmo *threshold* para todos os leitores, temos que o valor do *threshold* ótimo para objetos localizados em regiões próximas as extremidades do ambiente é um valor alto, pois na extremidade do ambiente temos um leitor posicionado. Nas regiões centrais, como os objetos estão distantes dos leitores das extremidades o valor do *threshold* ótimo para essas regiões é menor.

Nas Figuras 5(b), 5(c) e 5(d) quando σ^2 é diferente de 0, é possível observar que o valor do *threshold* ótimo é maior à medida que a variabilidade do RSS no canal aumenta, ou seja, quando σ^2 aumenta. A existência de mais variabilidade no canal de comunicação exige um *threshold* maior, que permita acomodar a diferença do valor do RSS entre etiquetas localizadas em regiões próximas no ambiente.

A Figura 6 apresenta uma comparação da eficiência do VIRE, para os 9 objetos do nosso cenário, quando utilizamos um *threshold* fixo (VIRE (original)), ou seja, o mesmo *threshold* é utilizado para todos os objetos, e quando utilizamos o *threshold* ótimo para cada objeto (VIRE Ótimo), informação obtida a partir da Figura 5. Nas Figuras 6(a), 6(b), 6(c) e 6(d), por exemplo, é possível notar que para o objeto 8 o fato de não utilizar um *threshold* fixo melhorou a eficiência do VIRE em 92%, 16,5%, 17% e 16%, respectivamente. Portanto, encontrar uma forma de descobrir automaticamente o melhor *threshold* para cada objeto localizado no ambiente é um ponto a ser melhorado no VIRE.

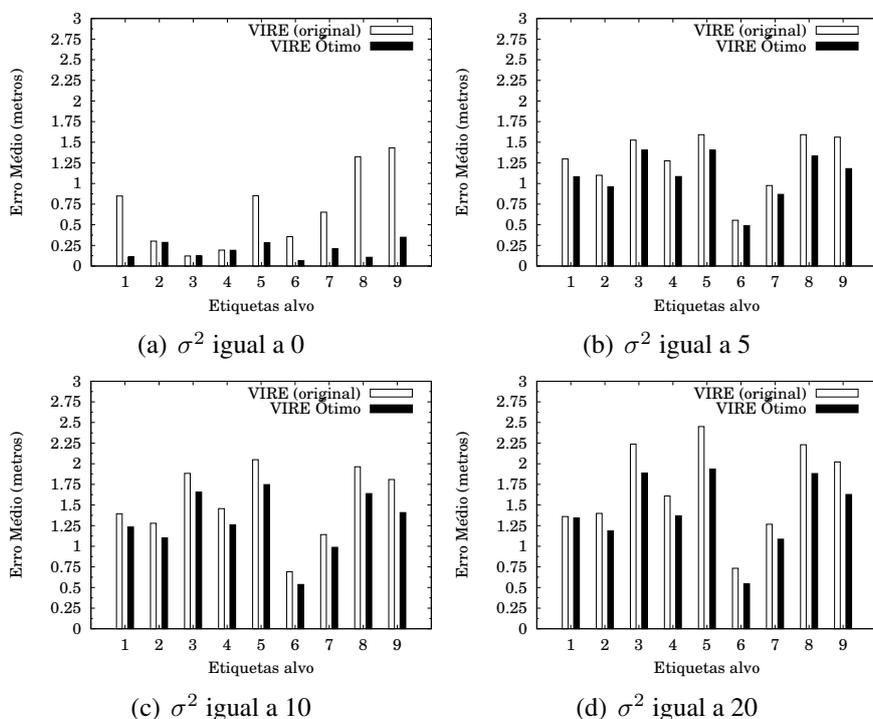


Figura 6. Comparação do VIRE quando o *threshold* é fixo e quando é o ótimo.

Nos resultados observados nas Figuras 7 e 8, para cada objeto foi utilizado o

threshold ótimo, ao invés de se utilizar o *threshold* fixo. Com relação a densidade das etiquetas virtuais de referência (n), a partir da Figura 7(a), quando σ^2 igual a 0, podemos perceber que o erro médio de localização para maioria dos objetos é menor quando n igual a 9. Para o objeto 4, por exemplo, o erro médio quando n igual 9 é 66% menor que o erro médio quando n igual a 3. Nas Figuras 7(b), 7(c) e 7(d), à medida que a variabilidade do RSS no canal aumenta, é possível notar que a melhor escolha seria de n igual a 3. Ainda considerando o objeto 4, é possível notar que quando σ^2 igual a 5, 10 e 20 o erro médio quando n igual 3 é, respectivamente, 34%, 31% e 24,5% menor que o erro médio quando n igual a 9. Portanto, o aumento do valor de n não implica um aumento na precisão do sistema, como se acreditava. A escolha de um valor apropriado para n depende das condições de variabilidade do RSS no canal. Portanto, encontrar uma forma de descobrir automaticamente o valor apropriado de n , em determinadas condições é um ponto a ser melhorado no VIRE.

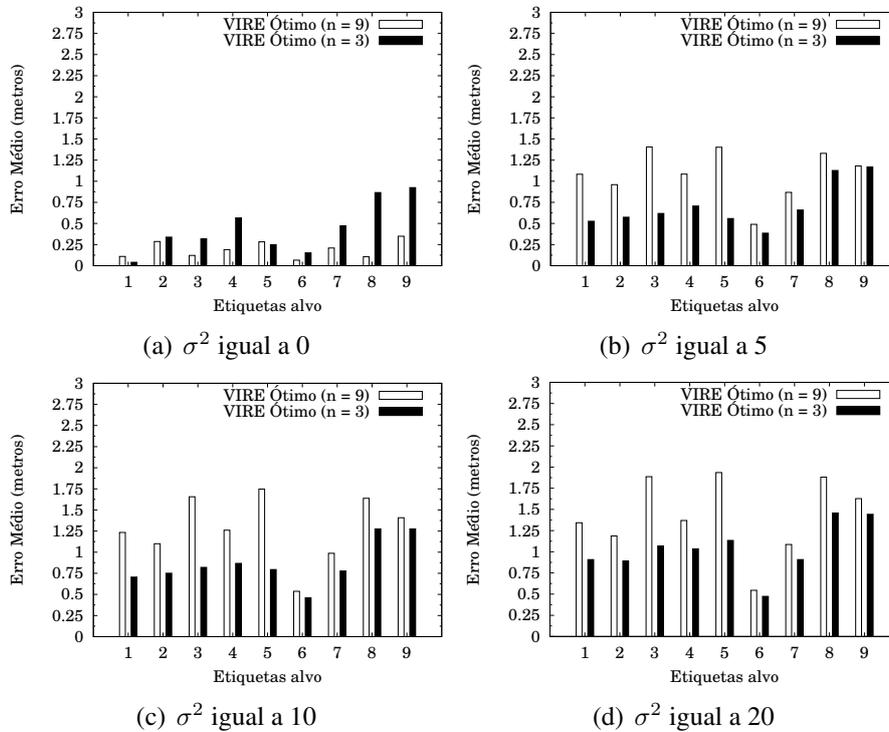


Figura 7. Comparação do VIRE Ótimo quando $n = 9$ e $n = 3$.

Na Figura 8, é feita uma comparação da eficiência do LANDMARC com a eficiência do VIRE quando n igual a 3, em diferentes condições de variabilidade do RSS no canal. Na Figura 8(a), quando σ^2 igual a 0, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 1, 5, 6 e 7. Na Figura 8(b), quando σ^2 igual a 5, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 1, 2, 5, 6 e 7. Na Figura 8(c), quando σ^2 igual a 10, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 1, 2, 6 e 7. Na Figura 8(d), quando σ^2 igual a 20, o VIRE apresenta melhor desempenho que o LANDMARC para os objetos 6 e 7. Como pode ser observado, em alguns cenários a eficiência de localização do VIRE Ótimo é inferior a eficiência de localização do LANDMARC, pois o algoritmo do VIRE depende das condições de variabilidade do RSS no canal e da localização do objeto no ambiente de

estudo. Portanto, é necessária a realização de estudos mais detalhados em outros cenários para analisar este fato.

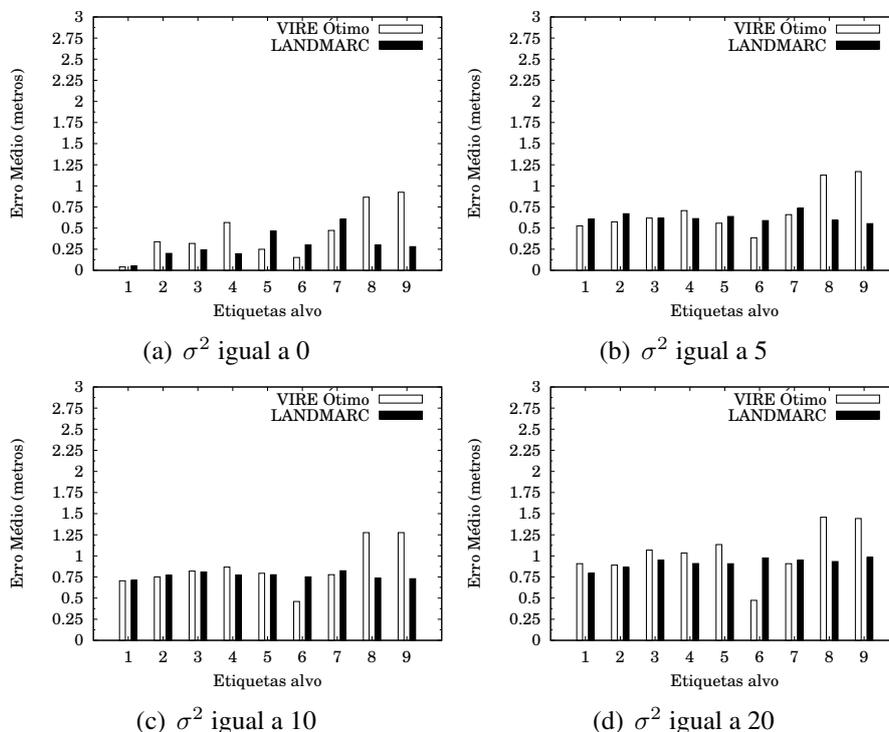


Figura 8. Comparação do VIRE Ótimo ($n = 3$) com o LANDMARC.

5. Conclusões

Este trabalho realizou uma avaliação de desempenho e análise do sistema de localização RFID VIRE sob diferentes condições de propagação de sinais. O estudo mostrou que a escolha do *threshold* ótimo deve levar em consideração as condições de variabilidade do RSS no ambiente que está sendo estudado. Além disso, utilizar um *threshold* fixo, ou seja, utilizar o mesmo *threshold* para todos os objetos não é a melhor escolha, pois o *threshold* ótimo para determinado objeto alvo pode não ser apropriado para outro objeto localizado em uma região diferente no ambiente. Com relação ao parâmetro n , o estudo mostrou que um aumento do valor de tal parâmetro não implica um aumento na precisão do sistema, como se acreditava. A escolha de um valor apropriado para n depende das condições de variabilidade do RSS no canal, não sendo tão simples como indicavam os estudos anteriores.

Portanto, foi possível identificar que a eficiência de localização do VIRE está intimamente ligada ao posicionamento real do objeto a ser localizado e às condições de variabilidade do RSS. Além disso, foi demonstrado que a melhor abordagem para aumentar a eficiência de localização do sistema VIRE é utilizar um *threshold* dinâmico. Portanto, um dos desafios do VIRE está no desenvolvimento de um método capaz de obter automaticamente o melhor *threshold*, independente do cenário estudado. Além disso, entender a relação existente entre o *threshold* e o n também representa um importante desafio que será analisado em estudos futuros. Por fim, quando o VIRE Ótimo foi comparado ao LANDMARC, foi possível observar que em alguns cenários a eficiência de

localização do VIRE Ótimo foi inferior a eficiência de localização do LANDMARC. Portanto, em estudos futuros serão considerados mais cenários, com diferentes configurações de posicionamento dos leitores e das etiquetas, a fim de investigar esta observação.

Referências

- Bahl, P. and Padmanabhan, V. (2000). RADAR: An In-building RF-based User Location and Tracking System. In *Proc. of IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, volume 2, pages 775–784.
- Jiang, X., Liu, Y., and Wang, X. (2009). An Enhanced Approach of Indoor Location Sensing Using Active RFID. In *Proc. of International Conference on Information Engineering (ICIE)*, pages 169–172.
- Ng, W., Ding, H.-L., Chan, P., and Yeung, D. (2011). Efficiency of applying virtual reference tag to neural network based RFID indoor positioning method. In *Proc. of IEEE International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)*, pages 447–453.
- Ni, L., Liu, Y., Lau, Y., and Patil, A. (2004). LANDMARC: Indoor Location Sensing using Active RFID. *Wireless Networks*, 10(6):701–710.
- Polito, S., D.Biondo, Iera, A., Mattei, M., and Molinaro, A. (2007). Performance Evaluation of Active RFID Location Systems Based on RF Power Measures. In *Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pages 1–5.
- Seidel, S. and Rappaport, T. (1992). 914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 40(2):207–217.
- Shi, W., Liu, K., Ju, Y., and Yan, G. (2010). An Efficient Indoor Location Algorithm based on RFID Technology. In *Proc. of International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–5.
- Silva, R. A. and Gonçalves, P. A. S. (2009a). Enhancing the Efficiency of Active RFID-based Indoor Location Systems. In *Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pages 1–6.
- Silva, R. A. and Gonçalves, P. A. S. (2009b). Um Novo Algoritmo de Auxílio à Localização de Etiquetas RFID Ativas em Ambientes Internos. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC)*, pages 539–552.
- Zhang, X., Peng, J., and Cao, X. (2010). RFID Indoor Localization Algorithm Based on Dynamic Netting. In *Proc. of International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS)*, pages 428–431.
- Zhao, Y., Liu, Y., and Ni, L. (2007). VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination. In *Proc. of IEEE International Conference on Parallel Processing*, pages 5–12.
- Zhu, F.-J., Wei, Z.-H., Hu, B.-J., Chen, J.-G., and Guo, Z.-M. (2009). Analysis of Indoor Positioning Approaches Based on Active RFID. In *Proc. of International Conference on Wireless Communications, Networking, and Mobile Computing (WiCOM)*, pages 1–4.