

# PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PARA LOCALIZAÇÃO DE OBJETOS NA CASA INTELIGENTE

---

Vinicius Prado da Fonseca, Paulo Fernando Ferreira Rosa  
Laboratório de Robótica e Inteligência Computacional, Seção de Engenharia Sistemas e  
Computação, Instituto Militar de Engenharia  
Praça General Tibúrcio, 80, 22290-270, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
\*vncprado@gmail.com

## RESUMO

Este artigo apresenta um sistema de rastreamento da posição dos objetos dentro de uma casa inteligente para dar apoio a um robô assistente em tarefas de *pick-and-place*. O atual sistema é capaz de calcular a posição de um objeto usando a intensidade do sinal recebido por um dispositivo móvel em uma rede de sensores ZigBee. Foram feitas medições da intensidade do sinal recebido em laboratório para a aplicação de um método de estimação. Dois modelos foram utilizados (a) *log-distance path loss* – modelo em que perda de sinal tem uma influência aleatória com distribuição log-normal, e (b) *free space decay law* – com base na lei de decaimento de um sinal em espaço aberto. Experimentos feitos com um conjunto de dados público utilizados como *benchmark* aos dados de laboratório tiveram resultados satisfatórios alcançando precisão de 1,5 a 2,5 metros, valores dentro das limitações do sensor estereoscópico presente no robô.

**Palavras-chave:** Posicionamento Interno de Objetos, RSSI, ZIGBEE.

## ABSTRACT

This article presents a system for tracking the position of objects within a smart home to support a robot assistant in pick-and-place tasks. The current system is capable of estimating the position of an object using the signal strength received by a mobile device in a ZigBee sensor network. Received strength signal indication measurements were done in laboratory for applying an estimation method. Two models were utilized (a) *log-distance path loss* – model in which signal loss has a random influence with log-normal distribution, and (b) *free space decay law* – based on the decay law for a signal on an open space. Experiments were done with a public dataset to benchmark our data with satisfactory results between 1.5 to 2.5 average errors, well suitable to robot's stereoscopic sensor precision.

**Keywords:** Indoors Positioning System, RSSI, and ZigBee.

## INTRODUÇÃO

A pesquisa em ambientes inteligentes trabalha para desenvolver facilidades e sistemas no intuito de ajudar pessoas em suas atividades diárias e promover a economia de recursos sem redução do conforto. O trabalho apresentado aqui é composto de uma *personal area network* (PAN) com nós móveis e estáticos. Os nós móveis são dispositivos de comunicação embutidos no objeto marcado. Os nós estáticos estão fixos em posições conhecidas no espaço de operação. Nosso trabalho atual foi desenvolver um sistema de localização de objetos (SLI) no interior da casa inteligente para apoiar um robô assistente em tarefas de *pick-and-place*.

Um trabalho nesse sentido foi desenvolvido em (Rosa et al., 2004), onde os autores utilizaram uma metodologia multi-agente para coordenar várias atividades em uma casa inteligente. Continuando o esforço, em (Carvalho & Rosa, 2010) os autores implementaram melhorias no sistema de identificação, utilizando os sons dos passos dos habitantes. Em (de Melo Neto et al., 2011a) um sistema com vários robôs móveis, utilizando algoritmos de localização e mapeamento simultâneos (SLAM) navegam de forma autônoma em ambientes internos. Visão estereoscópica e homografia são usadas para resolver a orientação da imagem de um objeto na tarefa de *pick-and-place* em (Oliveira, 2012).

A tecnologia atual de PAN indica um avanço no uso de tecnologias sem fio na vida das pessoas comuns, bem como em residências. Trabalhos recentes indicam o uso de redes de sensores sem fio para interligar dispositivos dentro de casas, em particular o padrão IEEE 802.15.4, uma família de protocolos de comunicação para a transmissão de dados via RF com baixo consumo energético. Estudos apontam para a localização interna em tempo real como uma solução para problemas de rastreamento em ambientes inteligentes (Tapia et al., 2011), bem como uma base para o desenvolvimento de aplicações e serviços baseados em localização (Liu & Yang, 2011). Sendo ponto de interesse as aplicações de robôs de assistência para pessoas com deficiência. A Seção 2 apresenta uma revisão da literatura sobre o tema de casa inteligente, veículos autônomos e localização interna. Na Seção 3 o problema tratado no presente artigo é descrito em detalhes. A organização experimental é apresentada na Seção 4. Os resultados e validações estão na Seção 5 e, por fim, uma breve discussão é feita na Seção 6.

## REVISÃO DE LITERATURA

Vários trabalhos visando, segurança, conforto e economia em casas inteligentes já estão disponíveis na literatura. Em (Nascimento, 2002) os autores desenvolveram um sistema de identificação baseado em um tapete inteligente que captura a largura, frequência e comprimento dos passos, ângulos dos pés e o peso dos habitantes de uma casa. Após a identificação o ambiente é adaptado aos hábitos dos residentes a fim de reduzir o consumo de energia mantendo o conforto ambiental.

Em (Botelho, 2005, Lima, 2005, Rosa et al., 2004) os autores utilizaram uma metodologia multi-agente para coordenar várias atividades em uma casa inteligente com um sistema de identificação baseado em um tapete inteligente e redes

neurais. Em (Carvalho, 2008, Carvalho & Rosa, 2010) os autores implementaram melhorias no sistema de identificação não-intrusiva, agora com base nos sons de passos dos habitantes, utilizando K-NN e K-Means que são métodos não paramétricos de classificação e regressão.

Nos trabalhos (de Melo Neto, 2012, de Melo Neto et al., 2011a, de Melo Neto et al., 2011b, de Melo Neto et al., 2011c) foi investigada a exploração de um ambiente com vários veículos utilizando uma estratégia baseada em grades de ocupação e a técnica FastSLAM com marcos extraído de sensores visuais e um mapa comum de características. Em (Oliveira, 2012) os autores apresentam o desenvolvimento de um sistema robótico para estimar a pose de um objeto com faces planas em um ambiente não estruturado além de realizar atividades de mapeamento, localização e navegação.

Na localização de objetos, uma estação móvel (EM) recebe um conjunto de medições  $r = r_i$  que chegam a partir de  $n$  estações de base (EB) colocadas em posições conhecidas  $x$  ( $i = 1, \dots, n$ ). A relação entre a posição desconhecida e as grandezas de medição pode ser definida por (Seco et al., 2009):

$$r = h(x) + e$$

onde  $h$  é a função que contém a posição das estações base ( $x_i$ ) sendo  $e$  o erro que afeta as medições, com uma função de densidade de probabilidade  $p_e(e)$ . Portanto, uma estimativa de posição por *maximum-likelihood* é aquele que maximiza a probabilidade condicional de  $x$  dado um certo  $r$ :

$$\hat{x} = \operatorname{argmax} \{p(r|x)\}.$$

Características físicas impõem alguns problemas na estimativa da posição. O caminho entre a EM e uma EB pode estar bloqueada por obstáculos aumentando a imprecisão. Isso é chamado de propagação *non-line-of-sight* (NLOS), sem linha de visão.

## DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Nossa proposta de trabalho é um passo inicial a um SLI na casa inteligente. O robô móvel tem uma interface de comunicação com o computador principal da casa onde há uma rede de sensores. O robô recebe a localização de um objeto como parte de sua missão. Esta infraestrutura proporciona a troca de sinais entre EB e EM. Na Figura 1 há uma representação dos sinais de comunicação envolvida no processo descrito acima.

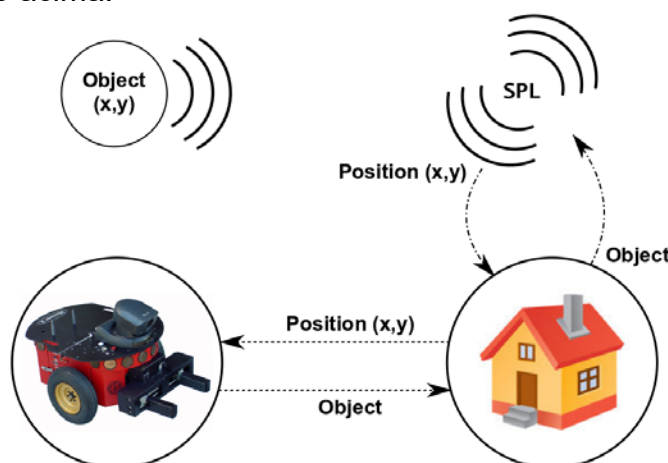


Figura 1. IPS proposto.

Nesta Figura é apresentada a dinâmica do sistema. Um objeto a ser localizado é solicitado pelo robô móvel a uma interface de comunicação da casa inteligente usando uma identificação do objeto (ID Objeto). Em seguida, pelo endereço MAC, *media access control* ou controle de acesso ao meio, do rádio, o sistema de localização interna (SLI) envia um comando “START” para que a EM inicie as medições. O SLI envia os dados para o computador da casa que estima a localização  $(x,y)$ , enviando esta para o robô móvel. Com estimativa o robô aproxima-se do objeto e usando visão estereoscópica, estima a pose  $(\theta)$  como em (Oliveira, 2012).

A rede de sensores é um conjunto de EB, colocados em posições conhecidas no espaço de testes, enquanto EM é fixada no objeto a ser localizado. Durante a operação do SLI sinais são trocados entre EB e a EM. A estimativa de posição é feita a partir de sinais de indicação de intensidade de sinal (RSSI). O cálculo pode ser feito pela EM ou enviada para um computador principal. Em uma abordagem centralizada, a EM envia o vetor de sinais em outra abordagem as EB podem executar esta função.

Os métodos que utilizam RSSI baseiam-se no fato da intensidade do sinal de rádio diminuir durante a propagação. Em geral, uma lei de potência é usado para modelar a propagação do sinal, onde a perda de trajeto  $(PL)$  em uma determinada distância  $(d)$  pode ser escrita como abaixo:

$$PL(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma$$

onde  $X_\sigma$  é uma variável aleatória com distribuição gaussiana de média zero (em dB), com desvio padrão de  $\sigma$  (também em dB). O valor  $\overline{PL}(d_0)$  é baseado em medições ou estimativas da intensidade do sinal do transmissor a uma distância de referência  $d_0$ . Para tal o fator de atenuação de parede (WAF) que é baseado no fator de atenuação de chão (FAF), tenta simular as perdas de sinal na parede e no chão, respectivamente (Rappaport, 2008).

Um método utilizado para estimar a posição foi desenvolvido em (Lopez et al., 2011) baseado em uma função de custo que é aplicada a medições de diferentes nós de uma área particular. Este método baseia-se na free-space decay law (FSDL).

$$E_{Rx} = E_0 \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

onde  $E_0$  é o nível de sinal no nó Tx,  $E_{Rx}$  é o nível de sinal no Rx,  $\lambda$  é o comprimento de onda, e  $R$  é a distância Tx-Rx. A função de custo é definida por uma diferença entre o sinal medido e o calibrado, aplicado em todos os pontos da área.

$$f_{cost} = \sum_{m=1}^{M_{Rx}} \sum_{n=1}^{N_{freq}} \left| \left| \frac{E_{Rx_m(x,y)}^{f_n}}{MEAS} \right| - \left| \frac{E_{j,z}(x', y', f_n, R_{x_m(x,y)})}{EST} \right| \right|^2$$

Ainda em (Lopez et al., 2011) os autores usam uma abordagem de mínimo esforço definindo uma variação de  $0,3m$  entre os pontos de uma grade. Então, a função custo é avaliada nos pontos desta grade. O parâmetro  $E_0$  é descrito em (Lopez et al., 2011) como a taxa de decaimento do sinal. Em (Balanis, 1997) ele é descrito como a intensidade de sinal no transmissor. O primeiro autor, propõe um método iterativo para a obtenção do valor de  $E_0$  utilizando a distância real entre Tx-Rx.

O *Log-Distance Path Loss* (LogDistPL) é um modelo em que a perda de sinal têm uma influência aleatória  $X_\sigma$  com distribuição log-normal. Desta forma a potência

do sinal recebido  $P_r$  a partir de um emissor com sinal  $P_t$  a uma distância  $d$  pode ser descrito por (Rappaport, 2008):

$$P_r(d) = P_t(d) - PL(d)$$

Em (Lopez et al., 2011) não foi utilizado o modelo descrito acima com o método de mínimo de esforço apesar de este estar presente em vários outros trabalhos. Na seção 3 é apresentada uma descrição da utilização do modelo LogDistPL nos datasets estudados.

Nos trabalhos analisados, o protocolo IEEE 802.15.4 (ZigBee) fornece uma boa plataforma para o desenvolvimento do sistema proposto. Parte da motivação foi devido ao interesse de várias empresas em pesquisa e desenvolvimento de produtos utilizando ZigBee, entre eles podemos destacar a Companhia General Electric (Drake et al., 2010).

O RSSI é o valor medido usado neste estudo. As técnicas de aprendizado de máquina utilizadas têm demonstrado boa precisão e baixo custo computacional em muitos trabalhos recentes, o que irá fornecer ao sistema os requisitos de tempo de resposta esperado pelo robô móvel.

Nossos algoritmos foram implementados e testados com dados de experimentos realizados em laboratório e com conjuntos de dados externos. Houve a necessidade do desenvolvimento de uma plataforma de hardware de protótipo utilizando *Arduino* para dar suporte aos módulos sem fio utilizados para a construção da rede de sensores. Os experimentos realizados, bem como os detalhes da rede e dados técnicos são apresentados na seção 4. Resultados obtidos em testes experimentais, tais como mapas de sinal, são apresentados na seção 6 permitindo assim uma comparação com os trabalhos relacionados.

## ORGANIZAÇÃO EXPERIMENTAL

Esta seção descreve as partes principais do protótipo desenvolvido. Basicamente é um dispositivo móvel para captura de dados que utiliza a infraestrutura de rede instalada. A plataforma utilizada para desenvolver este protótipo foi um *Arduino UNO*, placa que usa um micro-controlador *Atmega328*, com uma placa de expansão (*shield*) compatível com o módulo de rádio *XBEE Pro Series 2* de antena tipo fio.

No código embarcado, o dispositivo móvel espera pela cadeia de caracteres "START" para fazer a captura de dados. O dispositivo móvel recebe ainda a quantidade das amostras que precisam ser recolhidos e o intervalo entre elas. Em seguida, o rádio móvel captura dados de RSSI dos nós estáticos listados e envia-os para o coordenador, responsável pela estimativa de posicionamento.

Uma rede de teste foi implementada utilizando quatro nós *XBEE Pro Series 2*. Existe um nó móvel, descrito anteriormente, um nó coordenador e dois nós estáticos. Todos os nós devem estar na mesma rede, exigindo, portanto, serem configurados com o mesmo PAN ID e canal. A posição dos nós estáticos na área de trabalho (pontos vermelhos) é mostrada na Figura: 2b, na imagem é possível identificar também os locais onde os dados foram medidos no dataset captado em laboratório (pontos verdes).

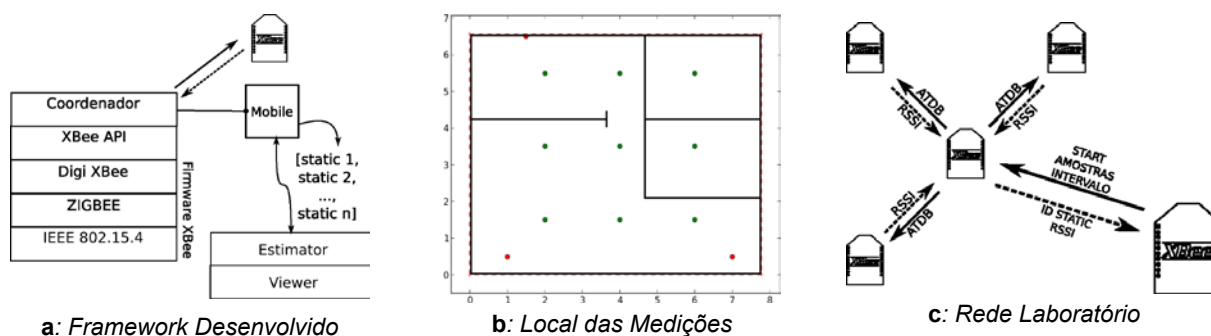


Figura 2. Organização do ambiente e captação de dados.

O software desenvolvido executa rotinas de comunicação com o coordenador da rede. Há classes abstratas com instâncias lógicas de objetos reais, como nós estáticos e móveis. A rede XBEE utiliza um determinado *PANID* tem apenas um coordenador. Esta característica guiou a implementação do software de rede, onde uma rede instância apenas um objeto *Coordinator*. Este pode ter várias instâncias *Mobile*. Cada *Mobile* armazena uma lista de *Statics* que podem ser ouvidos a partir de sua posição atual.

Módulos XBEE usa um protocolo com caracteres escapados (Digi, 2011). Este recurso fornece uma grande flexibilidade na utilização de rádios e uma API. Informações sobre a situação de entrega de pacotes são acessíveis. Para a criação do *frame* do pacote a ser transmitido, foi utilizada uma biblioteca de terceiros (Faludi, 2010). Houve ainda implementação de métodos (*sendmsg*, *msgReceived*, *getRssi*, *setMobile*) específicos para a rede utilizada em forma de uma API.

A fim de capturar os dados em laboratório foi definida uma estrutura que utiliza a *API XBEE* desenvolvida sobre a camada de aplicação *Digi ZigBee*, como exibido na Figura 2a. Os dados foram coletados a partir do nó móvel. O coordenador de enviar um comando *START* para o nó móvel. Este iniciar uma pesquisa de *RSSI* com um número de amostras recebidas e intervalo entre elas. Então vários sinais são trocados e comandos *ATDB* são enviados a todos os nós estáticos, como mostrado na Figura 2c. Por fim os dados são enviados para o computador central para estimativa.

Para uma análise comparativa dos dados obtidos em nosso laboratório e um ponto de referência para a nossa solução usamos o dataset *NEWCOMM++ WPR.B* fruto de grupo de trabalho *ICT*, que apresenta um dataset completo de medições *RSSI* e *Ultra-Wide Band* de um dispositivo em velocidade constante e variável (Dardari et al., 2010, European Community for research & demonstration activities., 2007).





Figura 3. Experiment of dataset WPR.B.

Este conjunto de dados foi utilizado para comparar e validar os dados e métodos aplicados ao nosso trabalho. Para simplificar a comparação dos resultados, o dataset foi adaptado, sem perda de informação, ao framework desenvolvido aqui. Alguns resultados dos métodos já descritos sobre este dataset são apresentados na secção 6.

Testes do algoritmo de calibração, desenvolvido com informações de (Lopez et al., 2011), e da integração do modelo LogDistPL, foram feitos neste trabalho. Uma comparação deste com os modelos são apresentados na secção que se segue.

## RESULTADOS E VALIDAÇÃO

Para efeito de comparação, medidas preliminares foram realizadas utilizando de base modelos definidas por (Lopez et al., 2011) e (Kaemarungsi & Krishnamurthy, 2004). O RSSI é uma variável aleatória que segue uma distribuição normal, uma composição deles, originada a partir de vários transmissores obedece a uma distribuição qui-quadrada. Em dados preliminares, o comportamento normal foi identificado, tanto nos dados produzidos quanto nos dados WPR.B. A Figura 4 apresenta gráfico da normal (linha vermelha), em um mesmo desvio-padrão e média do histograma de 1998 amostras captadas em laboratório com intervalos de 0,25 segundos.

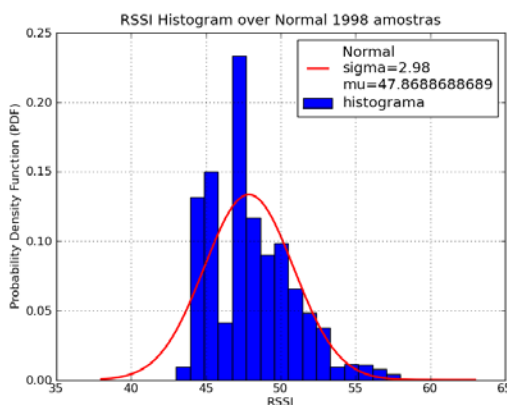


Figura 4. Histograma de 1998 amostras com 0.25 segundos de intervalo sob normal.

A fim de verificar a precisão dos modelos utilizados, a nossa experiência teve

foco na análise de um conjunto de medições, o seu valor médio comparando-a com os modelos. Na Figura 5 é apresentada uma comparação entre os modelos FSDL e LogDistPL juntamente com os dados captados em nossa rede.

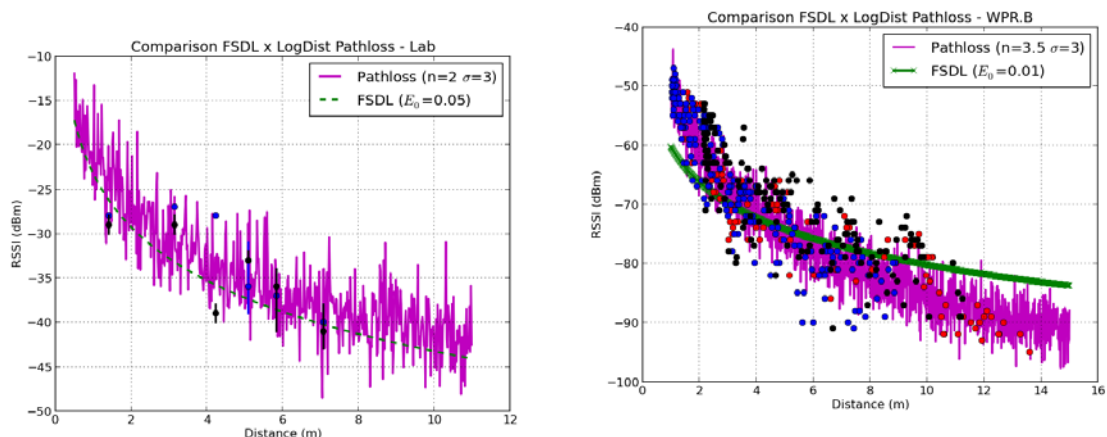


Figura 5. Comparação entre FSDL, LogDistPL e dados medidos (Lab and WPR.B).

Pode-se verificar que há variações entre os dados capturados e os efeitos adversos causados pela propagação do sinal. Os dados apresentam comportamento próximo ao modelo FSDL (linha verde) com variações de  $\pm 5\text{dbm}$ . A sombra do modelo LogDistPL (lilás) cobre curiosamente os dados medidos em laboratório o que indica que os parâmetros utilizados adaptaram bem o modelo aos dados. Os mesmos testes foram feitos com os dados do dataset WPR.B plotados na Figura 5 que mostra resultados semelhantes.

Finalmente foram aplicados o mesmo método de estimação e algoritmos de calibração para ambos datasets alvo obtendo precisão de  $1,5 - 2,5\text{m}$ . A Figura 6 apresenta um exemplo de mapa com pontos do dataset WPR.B estimados.

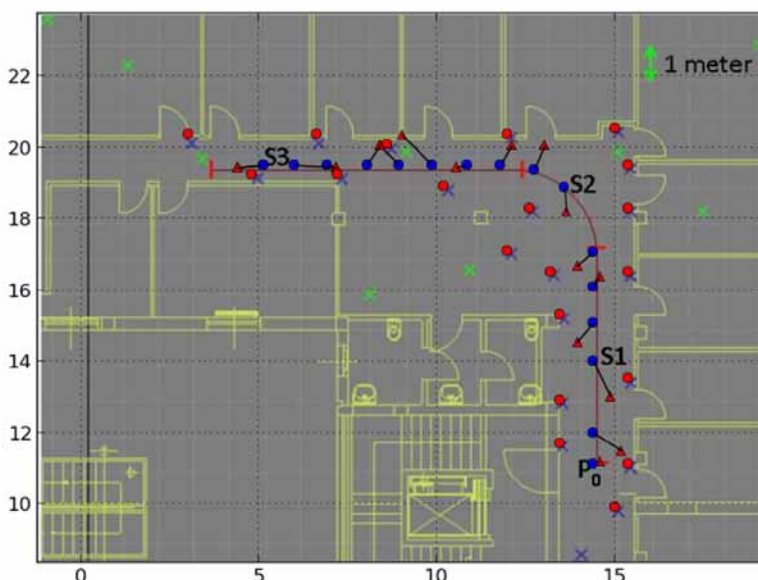


Figura 6. Resultado do dataset WPR.B.

Pontos vermelhos são nós estáticos, nos pontos azuis foram feitas estimativas representadas pelos triângulos vermelhos ligadas ao ponto por linhas pretas. O resultado mostrou-se satisfatório quando leva-se em consideração que o alcance do sensor estereoscópico utilizado no robô é de  $\pm 3\text{ metros}$ .



## DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Nossa pesquisa apresenta um sistema de posicionamento para uma casa inteligente. O atual sistema é capaz de calcular a posição de um objeto usando RSSI recebido por um dispositivo móvel. Medições do RSSI foram feitas em laboratório para a aplicação de um método de estimação. Dois modelos foram utilizados: (a) Log-distance path loss, um modelo em que a perda de sinal tem uma influência aleatória com distribuição log-normal, e (b) Free space decay law --- com base na lei de decaimento de um sinal em espaço aberto. Experimentos feitos com os conjuntos de dados utilizados tiveram resultados satisfatórios alcançando precisão de 1,5 a 2,5 metros, valores dentro das limitações do sensor estereoscópico presente no robô, cuja abrangência é limitada a aproximadamente 3,5 metros.

A localização calculada pelo sistema pode ser enviada a um robô. A pose do objeto será estimada através da decomposição homográfica da imagem em relação às faces planas do objeto, transformando assim esta relação em movimento das rodas.

Trabalhos futuros envolvendo um ajuste fino de localização por técnicas de filtro de Kalman e calibração robusta. Localização por meio de frequência de rádio depende intimamente em ambiente onde o objeto é colocado. Efeitos de multipath e reflexão dão grande incerteza na posição, mas estes podem ser atenuados pelo uso de técnicas de filtragem inteligentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (Balanis, 1997) Balanis, C. A. (1997), *Antenna Theory: Analysis and Design*, Wiley India.
- (Botelho, 2005) Botelho, W. T. (2005), *Um sistema de identificação e adaptação pervasivo para a casa inteligente utilizando multiagentes*, Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia.
- (Carvalho, 2008) Carvalho, R. L. (2008), *Sistema de identificação para a casa inteligente utilizando o som*, Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia.
- (Carvalho & Rosa, 2010) Carvalho, R. L. & Rosa, P. F. F. (2010), *Identification system for smart homes using footstep sounds*, in 'Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on', pp. 1639–1644.
- (Dardari et al., 2010) Dardari, D., Sottile, F., Arribas, J., Gholami, M. R. & Pedersen, T. (2010), *N++ wpr.b database annex of n++ deliverable wpr.b db.3 progress report ii on advanced localization and positioning techniques: Data fusion and applications*, Technical report, NewCom++.
- (de Melo Neto, 2012) de Melo Neto, A. (2012), *Mapeamento de Ambiente Interno Semi-estruturado com Múltiplos Veículos utilizando Sensor Visual Embarcado*, PhD thesis, Instituto Militar de Engenharia.
- (de Melo Neto et al., 2011a) de Melo Neto, A., Rosa, P., de Oliveira, T. & Pellanda, P. (2011a), *Environment exploration with multiple vehicles and fastslam technique*, in 'IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society', pp. 122–128.
- (de Melo Neto et al., 2011b) de Melo Neto, A., Rosa, P., de Oliveira, T. & Pellanda, P. (2011b), *Environment exploration with visual fastslam technique: Experiments and results*, in 'Ultra-Modern

- Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2011 3rd International Congress on*, pp. 1–7.
- (de Melo Neto et al., 2011c) de Melo Neto, A., Rosa, P., de Oliveira, T. & Pellanda, P. (2011c), *Exploration with fastslam technique*, in 'Control and Automation (ICCA), 2011 9th IEEE International Conference on', pp. 261–267.
  - (Digi, 2011) Digi (2011), *XBEE® XBEE-PRO® OEM RF Modules*.
  - (Drake et al., 2010) Drake, J., Najewicz, D. & Watts, W. (2010), *Energy efficiency comparisons of wireless communication technology options for smart grid enabled devices*, Technical report, General Electric Company, GE Appliances & Lighting.
  - (European Community for research & demonstration activities, 2007) European Community for research, t. d. & demonstration activities. (2007), 'Ict - information and communication technologies', *Work Programme 2007-08*.
  - (Faludi, 2010) Faludi, R. (2010), *Building Wireless Sensor Networks with ZigBee, XBEE, Arduino, and Processing*, O Reilly Media, Inc.
  - (Kaemarungsi & Krishnamurthy, 2004) Kaemarungsi, K. & Krishnamurthy, P. (2004), *Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting*, in 'INFOCOM 2004. Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies', Vol. 2, pp. 1012 – 1022 vol.2.
  - (Lima, 2005) Lima, S. S. (2005), *Análise e desenvolvimento de um ambiente de simulação para aplicações domésticas*, Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia.
  - (Liu & Yang, 2011) Liu, Y. & Yang, Z. (2011), *Location, Localization, and Localizability: Location-awareness Technology for Wireless Networks*, Springer.
  - (Lopez et al., 2011) Lopez, Y. A., de Cos Gomez, M. E., Alvarez, J. L. & Andres, F. L.-H. (2011), 'Evaluation of an rss-based indoor location system', *Sensors and Actuators A: Physical* **167**(1), 110 – 116.
  - (Nascimento, 2002) Nascimento, A. F. (2002), *Sistema dinâmico de automação residencial*, Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia.
  - (Oliveira, 2012) Oliveira, T. A. (2012), *Sistema autônomo para a estimação da pose de um objeto com faces planas em ambiente não estruturado*, Master's thesis, Instituto Militar de Engenharia.
  - (Rappaport, 2008) Rappaport, T. S. (2008), *Comunicações sem Fio: Princípios e Práticas*, Pearson Prentice hall.
  - (Rosa et al., 2004) Rosa, P., Lima, S., Botelho, W., Nascimento, A. & Alaluna, M. (2004), *A pervasive identification and adaptation system for the smart house*, in M. Bramer & V. Devedzic, eds, 'Artificial Intelligence Applications and Innovations', Vol. 154 of *IFIP International Federation for Information Processing*, Springer US, pp. 141–154.
  - (Seco et al., 2009) Seco, F., Jimenez, A., Prieto, C., Roa, J. & Koutsou, K. (2009), *A survey of mathematical methods for indoor localization*, in 'Intelligent Signal Processing, 2009. WISP 2009. IEEE International Symposium on', pp. 9–14.
  - (Tapia et al., 2011) Tapia, D. I., de la Prieta, F., Rodriguez-Gonzalez, S., Bajo, J. & Corchado, J. M. (2011), *Using multi-layer perceptrons to enhance the performance of indoor rtls*, in 'EPIA', pp. 31–39.