



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Engenharia de Software

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Autor: Rafael Fazzolino P. Barbosa

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Coorientadora: Dra. Milene Serrano

Brasília, DF

2016



Rafael Fazzolino P. Barbosa

Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes: Uma Abordagem para Robôs Simples

Monografia submetida ao curso de graduação em (Engenharia de Software) da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em (Engenharia de Software).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. Maurício Serrano

Coorientador: Dra. Milene Serrano

Brasília, DF

2016

1 Introdução

1.1 Contextualização

O nascimento da robótica se deu no contexto industrial, onde ferramentas autônomas foram desenvolvidas para executar atividades de forma repetitiva e incansável, maximizando a qualidade dos produtos produzidos e minimizando o custo e tempo para produção dos mesmos (ROMANO, 2002). Segundo (ROMANO, 2002), a palavra robô é derivada da palavra *robota*, de origem eslava, que significa *trabalho forçado*, ou seja, robôs podem ser considerados ferramentas incansáveis que apoiam o trabalho humano.

Segundo (OLIVEIRA, 2008), a autonomia de um robô é fortemente condicionada pela sua capacidade de perceber o ambiente de navegação, interagindo com o meio e realizando tarefas com o mínimo de precisão. Este mínimo, de acordo com (OLIVEIRA, 2008), seria a navegação sem colisão em obstáculos.

Para que robôs sejam capazes de navegar em um ambiente desconhecido sem que haja colisão em objetos e obstáculos, os mesmos necessitam de informações sobre este ambiente. Estas informações são adquiridas utilizando sensores. Como foi apresentado por (COSTA; Okamoto Jr., 2002), no livro de Robótica Industrial, os sensores possuem o dever de fornecer informações ao sistema de controle do robô sobre distâncias de objetos, posição do robô, contato do robô com objetos, força exercida sobre objetos, cor e textura dos objetos, entre outras.

Além de obter dados sobre o ambiente, o robô precisa se auto-localizar para processar as informações obtidas e traçar rotas sem colisões até o ponto de destino. Para isso, foram desenvolvidas muitas formas de auto-localização, algumas delas são citadas por (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), como:

- **Utilização de Mapas:** O robô conhece o mapa onde realizará a navegação à priori, conhecendo os obstáculos e os caminhos possíveis. Possuindo essas informações, o robô irá traçar as rotas mais eficientes para chegar em seu objetivo.
- **Localização Relativa em Grupos:** Esta técnica utiliza a navegação simultânea de muitos robôs, cada robô sabe a posição relativa dos outros robôs, podendo calcular sua posição relativa.
- **Utilização de Pontos de Referência:** Conhecendo pontos de referência que estão distribuídos pelo mapa de navegação, o robô consegue calcular sua posição através da técnica de triangulação.

- **Localização Absoluta com GPS:** A partir desta técnica, é fácil obter a posição absoluta do robô em relação à terra. O grande problema desta técnica é a margem de erro presente no sistema de GPS, inviável para navegações internas.
- **Utilização de Bússolas:** É uma técnica interessante para conhecimento da orientação do robô, o que facilita muito na navegação do mesmo. Entretanto, as bússolas são muito frágeis a interferências externas, como por exemplo, a proximidade de materiais ferro-magnéticos ou as fugas magnéticas dos motores presentes no próprio robô.
- **Odometria:** Consiste na medição da distância relativa percorrida pelo robô, utilizando sensores presentes nas rodas do mesmo. Necessita do conhecimento do ponto de origem.

As formas apresentadas anteriormente, para se trabalhar com auto-localização, possuem características únicas que as adequam para diferentes contextos de navegação. Por exemplo, segundo (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), a Utilização de Mapas é uma técnica bastante útil quando se está trabalhando com um ambiente conhecido e estático, porém, em ambientes mutáveis e não conhecidos, essa estratégia se torna um problema. A Localização Relativa em Grupos é a técnica adequada quando a navegação envolve muitos robôs, a qual não necessita de conhecimento prévio do mapa. A Utilização de Pontos de Referência é uma técnica comumente utilizada, a qual é útil quando não se conhece o ambiente de navegação. Entretanto, os pontos de referência, nesse caso, precisam ser conhecidos.

Quando se têm ambientes abertos e amplos, a técnica de Localização Absoluta com GPS é a mais utilizada. Entretanto, sua margem de erro torna a navegação em ambientes pequenos ou fechados inviável, como apresenta (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002). A Navegação com utilização de Bússulas garante um apoio muito útil para orientação do robô. Entretanto, essa técnica gera problemas relacionados a interferências externas, como materiais eletromagnéticos próximos à bússula (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002).

A técnica de Odometria é muito utilizada em navegações curtas, em ambientes com o piso regular e plano. Entretanto, segundo (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), esta técnica se caracteriza pela adição de erros a cada centímetro percorrido, por meio de derrapagens e falhas no giro das rodas.

Desse modo, é fácil perceber que cada técnica possui características que se adaptam melhor para diferentes situações. Ao longo deste trabalho, o principal foco de interesse é a navegabilidade de robôs simples e baratos, como os Kit Lego Mindstorms¹. Tais kits possuem poucas opções de sensores e características bem limitadas (HÁMORI; LENGYEL; RESKÓ,

¹ mindstorms.lego.com

2011). Os sensores do kit que serão utilizados neste trabalho são: *Sensor de proximidade*, *sensor RGB*, *sensor de contato* e *sensor odométrico*.

1.2 Problema de Pesquisa

Todas as técnicas de auto-localização apresentadas na seção anterior já foram testadas, comparadas e refatoradas em diferentes contextos, desde a navegação marítima até questões relacionadas à tecnologia aeroespacial (OLIVEIRA, 2008). Porém, sabe-se que, nestes contextos, o *hardware* utilizado para navegação era de alta tecnologia, possuindo processadores de altíssimo desempenho e sensores bem precisos.

Já em um contexto educacional, a infraestrutura disponível nem sempre engloba os critérios necessários para aplicação das técnicas de auto-localização. Um exemplo disso é a utilização, por (OLIVEIRA, 2008), de uma câmera omnidirecional para obter informações sobre o ambiente.

Desse modo, vê-se a necessidade da adaptação de técnicas de auto-localização para o contexto da Robótica Educacional, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da LEGO. Nesses kits, a capacidade de processamento e a precisão dos sensores e dos atuadores são limitadas. A intenção é tomar como base a técnica de mapeamento do ambiente e auto-localização simultâneos (conhecida como problema de SLAM - *Simultaneous Location and Mapping*) (DISSANAYAKE et al., 2001).

A questão de pesquisa que será discutida durante este trabalho é "*Como tratar o problema de SLAM no contexto de robôs simples?*".

1.3 Justificativa

A utilização da Robótica como uma forma de ensinar programação em escolas e faculdades, a chamada Robótica Educacional (MALIUK, 2009), traz alguns benefícios para o aluno. Conforme colocado pelos autores (GALVAN et al., 2006), (ZHAO et al., 2008), (MALIUK, 2009) e (WAHAB1; AZAHARI2; TAJUDDIN1, 2015), alguns desses benefícios são: maior interesse pelos conteúdos estudados em aula, capacidade de trabalhar em grupo, aplicação prática do conhecimento teórico e multidisciplinaridade. A Universidade de Brasília utiliza esta abordagem de ensino/aprendizagem durante a disciplina de Introdução à Robótica Educacional, ministrada atualmente pelo professor Dr. Maurício Serrano. Na disciplina, são utilizados os Kits de robótica *Mindstorms*, da Lego, para desenvolvimento de soluções dos problemas presentes em um tapete de missões. A organização da disciplina se inspira nos campeonatos de robótica, como (LAU et al., 2002) ou (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002), por exemplo. Neste tipo de campeonato,

a navegação é o quesito mais importante (LAU et al., 2002), a qual deve possuir a menor margem de erro possível para solucionar as missões.

As missões utilizadas durante a disciplina são referentes a problemas recorrentes no contexto da robótica mundial. Porém, a solução dos mesmos é uma adaptação das técnicas existentes para o contexto limitado da disciplina, onde são utilizadas apenas ferramentas presentes no kit *Mindstorms* da Lego. Esta adaptação exige um conhecimento amplo sobre a técnica, para que o estudante possa identificar características relevantes e adaptá-las de acordo com o *hardware* disponível.

A disciplina já influenciou dois estudantes de Engenharia de Software a se aprofundarem no contexto da robótica e robótica educacional, gerando dois trabalhos de conclusão de curso, (RINCON, 2015), que desenvolveu um *framework* de definição de trajetórias para robôs móveis, e (RAMALHO, 2015), que desenvolveu um algoritmo para tomada de decisões estratégicas em robótica educacional. O trabalho atual vem para complementar os trabalhos realizados pelos dois alunos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Adaptar técnicas de resolução do problema de SLAM para o contexto de robôs simples, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da Lego, em um primeiro momento.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Resolucionar do problema de SLAM;
- Propor adaptação pro contexto de robôs simples, na robótica educacional;
- Implementar adaptação.

1.5 Metodologia

Este trabalho segue uma metodologia de pesquisa exploratória e com uma abordagem qualitativa, onde são selecionadas, comparadas e analisadas técnicas de resolução do problema de SLAM. De acordo com (OLIVEIRA, 2011), a pesquisa exploratória tem como objetivo ampliar os conhecimentos do pesquisador sobre o tema. O uso da pesquisa exploratória, neste trabalho, se dá pela necessidade do conhecimento sobre as técnicas de resolução do problema de SLAM, com o intuito de realizar adaptações das mesmas para o contexto de robôs simples. Já a abordagem qualitativa, tem como objetivo entender o

funcionamento e as técnicas existentes, para buscar uma forma de adaptação para um contexto simplificado, não se importando com dados quantificáveis.

Com o objetivo de identificar o máximo de técnicas possível, com os mais diferentes tipos de *hardwares*, será realizada uma pesquisa bibliográfica sobre os temas *Auto-localização na Robótica, o Problema de SLAM e as características dos robôs simples presentes na Robótica Educacional*. As principais fontes de dados em estudo são as bases da CAPES, IEEE e Scopus.

A primeira fase deste trabalho é focada em estabelecer pilares teóricos que sustentem um projeto de adaptação de técnicas durante a segunda fase. Esta primeira fase pode ser sub-dividida em três atividades: *Realizar Pesquisa Bibliográfica, selecionar Técnicas e Propor Adaptações*. As mesmas estão distribuídas de acordo com o cronograma disposto na tabela 1.

Tabela 1 – Cronograma TCC 1

Cronograma	Março	Abril	Maió	Junho
Realizar Pesquisa Bibliográfica	X	X	X	X
Selecionar técnicas		X	X	
Propor adaptação			X	X

2 Referencial Teórico

Durante esta seção, questões referentes a todo o contexto abordado neste trabalho serão apresentadas e descritas de forma prática para facilitar o total entendimento do tema trabalhado.

2.1 A Robótica e a Auto-Localização

O nascimento da robótica se deu no contexto industrial, onde a automação de atividades repetitivas garantiu maior eficiência e, consequentemente maior lucro (ROMANO, 2002). Porém, com o passar dos anos, a robótica vem se expandindo e fazendo parte da vida cotidiana de muitos (GALVAN et al., 2006). A robótica é uma importante ferramenta que apóia o trabalho humano em diversos contextos, seja para a limpeza de uma casa (MARTINS, 2008) ou até para explorar novos planetas, por exemplo (MAIMONE; CHENG; MATTHEW, 2007).

Segundo (ROMANO, 2002), a palavra *automação* traz à mente a noção de que a máquina será capaz de sentir e interagir com o ambiente, conseguindo se localizar e navegar por ele, executando suas atividades. Para que esta navegação seja possível, o robô precisa obter informações sobre o ambiente. Estas informações são obtidas a partir da utilização de sensores (CHEW et al., 2009). Segundo (MACHADO, 2003), existem inúmeros tipos de sensores, desde sensores de toque até sensores de visão ou de som. Os sensores mais utilizados em robôs móveis, segundo (MACHADO, 2003), são:

- *Odômetro:*

São sensores de implementação simples e de baixo custo. Este tipo de sensor conta a quantidade de rotações de cada roda do robô, o que permite calcular o trajeto percorrido pelo mesmo. Esta técnica é conhecida como *dead-reckoning*, como é apresentado por (WON et al., 2008). Segundo (MACHADO, 2003), técnicas como o *dead-reckoning* são bastante suscetíveis a erros, graças ao não alinhamento das rodas, derrapagens das mesmas e até erros no sinal dos sensores.

- *Câmera:*

A utilização de câmeras pode ser bastante útil quando se deseja navegar em um ambiente fechado, construído pelo homem e com características bem definidas, como afirma (MACHADO, 2003). Porém, sua utilização possui uma exigência computacional (OLIVEIRA, 2008) que muitas vezes pode inviabilizá-la.

- *Sonar:*

É um tipo de sensor de proximidade barato e de fácil utilização e, por esse motivo, é bastante utilizado em robôs móveis para ambientes fechados (MACHADO, 2003). Ainda segundo (MACHADO, 2003), em ambientes abertos, este é um sensor falho, devido ao seu alcance limitado e por não ser direcionado.

- *Infravermelho:*

É um tipo de sensor muito semelhante aos sonares, porém estes são direcionados, ou seja, são capazes de identificar a direção do objeto (PINTO, 2008).

- *Laser:*

Também é um tipo de sensor semelhante aos sonares e sensores de infravermelho, porém estes, além de serem direcionados, são mais precisos. O que os tornam equipamentos mais caros (MACHADO, 2003).

A utilização de cada tipo de sensor se dá de acordo com o contexto em que se deseja navegar, levando em consideração a maneira mais viável de entender o ambiente ao seu redor (MACHADO, 2003). Utilizando os sensores, o robô possuirá informações sobre o ambiente, e precisa processá-las para *entender* o ambiente. A forma como serão processadas essas informações também depende do contexto da navegação, como mostra (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002).

Para que a navegação ocorra sem colisões em obstáculos, o robô precisa de informações sobre o ambiente, assim como informações relacionadas a sua posição em relação a este ambiente [REFERENCIAR]. Para solucionar este problema, uma técnica bastante difundida é a utilização de mapas, como mostra (SANTOS; SILVA; ALMEIDA, 2002). Nesta técnica, o robô recebe o mapa do ambiente que se deseja navegar a priori e, a partir deste mapa, traça sua trajetória sem obstáculos. Utilizando este mapa e informações do ambiente, o robô é capaz de se auto-localizar no ambiente, navegando com maior precisão.

Porém, esta técnica possui requisitos que, muitas vezes, são inviáveis, como o conhecimento prévio do mapa do ambiente. Caso o objetivo seja navegar em um ambiente desconhecido, onde não há mapa nem pontos de referência já conhecidos, deve-se buscar formas de se auto-localizar e navegar utilizando apenas as informações obtidas pelos sensores. Para isso, vem sendo discutida entre toda a comunidade de pesquisadores em robótica móvel, a resolução do problema de SLAM (Auto-Localização e Mapeamento de Ambientes Simultâneos). Segundo (DISSANAYAKE et al., 2001), SLAM é considerado, pela comunidade, como o *Santo Graal* da robótica móvel. A grande maioria dos algoritmos de auto-localização existentes aplica uma técnica de resolução do problema de SLAM [REFERENCIAR].

2.2 O Problema de SLAM

2.3 Robótica Educacional

2.4 Proposta de Adaptação

Referências

- CHEW, M. et al. Simple mobile robots for introduction into engineering. *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2009. Citado na página 9.
- COSTA, A. H. R.; Okamoto Jr., J. *Robótica Industrial - Interação de Robô no Ambiente*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado na página 3.
- DISSANAYAKE, G. et al. A solution to the simultaneous localization and map building (slam) problem. The University of Sydney, Australia, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 10.
- GALVAN, S. et al. Innovative robotics teaching using lego sets. University of Verona, Italy, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 9.
- HÁMORI Ákos; LENGYEL, J.; RESKÓ, B. 3dof drawing robot using lego-nxt. Óbuda University, Hungary, 2011. Citado na página 5.
- LAU, N. et al. Ciber-rato: Uma competição robótica num ambiente virtual. 2002. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 6.
- MACHADO, K. F. Módulo de auto-localização para um agente exploratório usando filtro de kalman. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Informática, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.
- MAIMONE, M.; CHENG, Y.; MATTHIES, L. Two years of visual odometry on the mars exploration rovers. *Journal of Field Robotics*, Wiley Online Library, v. 24, n. 3, p. 169–186, 2007. Citado na página 9.
- MALIUK, K. D. Robótica educacional como cenário investigativo nas aulas de matemática. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Citado na página 5.
- MARTINS, J. M. F. Melhoramento do desempenho do robot de serviço de limpeza. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Citado na página 9.
- OLIVEIRA, M. F. de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. Universidade Federal de Goiás, Catalão GO, 2011. Citado na página 6.
- OLIVEIRA, P. R. G. D. Auto-localização e construção de mapas de ambiente para robôs móveis baseados em visão omnidirecional estéreo. São Paulo, Brasil, 2008. Citado 3 vezes nas páginas 3, 5 e 9.
- PINTO, F. P. V. F. The cleaning robot project aplicação do filtro de kalman na auto-localização de um sistema robótico autónomo. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. Citado na página 10.
- RAMALHO, C. B. Máquina de raciocínio lógico para tomada de decisões estratégicas em robótica educacional. 2015. Citado na página 6.

RINCON, R. L. Traveller: Um framework de definição de trajetórias para robôs móveis. 2015. Citado na página 6.

ROMANO, V. F. *Introdução à Robótica Industrial*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 9.

SANTOS, F. M.; SILVA, V. F.; ALMEIDA, L. Auto-localização em pequenos robôs móveis e autônomos: O caso do robô bulldozer iv. 2002. Citado 4 vezes nas páginas 3, 4, 5 e 10.

WAHAB1, A. F. A.; AZAHARI2, M. H.; TAJUDDIN1, R. M. An evaluation of robotic education scale in enhancing science achievement. Universiti Teknologi MARA, 2015. Citado na página 5.

WON, D. H. et al. Integration of vision based slam and nonlinear filter for simple mobile robot navigation. Konkuk University Seoul, Korea, 2008. Citado na página 9.

ZHAO, S. et al. Research on robotic education based on lego bricks. School of Information Science and Engineering, Northeastern University, 2008. Citado na página 5.