



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

Coorientador: 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

Introdução

0.1 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 disponíveis no kit são: *Sensor de proximidade*, *sensor RGB*, *sensor de contato* e *sensor odométrico*.

0.2 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 limitado da Robótica Educacional?*".

0.3 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.

0.4 Objetivos

0.4.1 Objetivo Geral

Adaptar técnicas de resolução do problema de SLAM para o contexto da Robótica Educacional, utilizando os kits de robótica *Mindstorms* da Lego.

0.4.2 Objetivos Específicos

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

0.5 Metodologia

Este trabalho segue uma metodologia de pesquisa teórica, 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.

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 *Autolocalização na Robótica*, *o Problema de SLAM* e *as características dos robôs simples 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	Maiο	Junho
Realizar Pesquisa Bibliográfica	X	X	X	X
Selecionar técnicas		X	X	
Propor adaptação			X	X

1 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.

1.1 A Robótica e a Auto-Localização

Grande parte da capacidade do ser humano de se adaptar ao meio ambiente, sobrevivendo e evoluindo constantemente se dá à utilização, desde os primórdios da humanidade, de ferramentas de auxílio em atividades importantes para o desenvolvimento de uma civilização, ou até mesmo em questões relacionadas à sobrevivência básica, como busca por alimentação e moradia. Devido ao fato do ser humano sempre buscar evolução, as ferramentas utilizadas por nós também possuem uma tendência a serem evoluídas com o tempo.

Um exemplo simples que retrata a busca por melhoria nos instrumentos de trabalho pode ser observado em trechos descritos por Aristóteles, em meados do século IV a.c., onde o mesmo discute a possibilidade dos instrumentos realizarem suas próprias tarefas, obedecendo ou, até mesmo, antecipando o desejo das pessoas. Aristóteles ainda não sabia, mas já estava descrevendo o futuro de nossas ferramentas, o nascimento da Robótica.

Durante os séculos seguintes a humanidade questionou o uso da ciência dentro da Indústria, para que a produção de alimentos e utensílios que possam minimizar as dificuldades encontradas durante a evolução da Humanidade possa ser evoluída e melhorada constantemente. Ao final do século XVI, Francis Bacon já discutia a ideia de que a sabedoria devesse ser aplicada na prática, ou seja, a ciência deveria ser utilizada dentro das Indústrias. Bacon afirmava, ainda, que o Homem possui o dever de se organizar com o objetivo de melhorar e transformar as condições de vida.

Esta aplicação da ciência na indústria, descrita por Francis Bacon, passou a ser visível dois séculos depois. Quando James Watt desenvolveu, em 1769, a primeira Máquina a Vapor. A partir daí, as ferramentas humanas não necessitavam mais da força do homem para funcionarem, tornando-as muito mais autônomas, se comparado com as ferramentas existentes anteriormente. Esta fantástica evolução apresentou a toda a humanidade a enorme capacidade de evolução social e econômica, quando se tem a aplicação da Ciência nos meios Industriais.

A partir daí, a humanidade se dedicou a utilizar a ciência para a evolução constante de suas ferramentas, alcançando em 1921, o termo "*Robô*". Este termo foi apresentado

durante uma peça teatral chamada de *Os Robôs Universais de Russum (R.U.R)*, a qual apresentava os robôs como sendo seres autômatos que acabam se rebelando contra os humanos. A palavra robô é derivada da palavra *robota*, de origem eslava, que significa *trabalho forçado*. (ROMANO, 2002).

Na década de 40, o escritor Isaac Asimov popularizou o conceito de robô como sendo uma máquina de aparência humana, porém sem sentimentos. Segundo ele, os comportamentos presentes no robô seriam definidos a partir de programação realizada por seres humanos. Asimov criou o termo *Robótica*, definindo-o como o estudo dos robôs, especificando, ainda, as três leis fundamentais da robótica:

1. Um robô não pode fazer mal a um ser humano e nem consentir, permanecendo inoperante, que um ser humano se exponha a situação de perigo;
2. Um robô deve obedecer sempre às ordens de seres humanos, exceto em circunstâncias em que estas ordens entrem em conflito com a 1ª lei;
3. Um robô deve proteger a sua própria existência, exceto em circunstâncias que entrem em conflito com a 1ª e 2ª leis.

As três leis fundamentais da robótica levam em consideração um robô totalmente autônomo, que seria capaz de realizar qualquer atividade sem o apoio de um humano. Uma das questões mais importantes quando se trata da autonomia dos robôs é referente a mobilidade dos mesmos. 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, segundo (OLIVEIRA, 2008), seria a navegação sem colisão com 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 observar e obter informações 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:** Está 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 a 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. Porém 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.

Levando em consideração a primeira técnica apresentada, a utilização de mapas, (OLIVEIRA, 2008) mostra a possibilidade do próprio robô construir o mapa do ambiente e utilizá-lo para navegação, simultaneamente. Este problema é conhecido como problema SLAM (da sigla em inglês), que consiste em um robô autônomo iniciar a navegação em uma localização desconhecida e ambiente desconhecido, construindo um mapa deste ambiente de forma incremental e utilizando-o para calcular sua localização atual.

A utilização do SLAM é bastante útil quando não existe o conhecimento prévio do ambiente onde se deseja navegar. Segundo (OLIVEIRA, 2008), a resolução do problema SLAM pode ocorrer a partir de diferentes técnicas.

Referências

- COSTA, A. H. R.; Okamoto Jr., J. *Robótica Industrial - Interação de Robô no Ambiente*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 10.
- DISSANAYAKE, G. et al. A solution to the simultaneous localization and map building (slam) problem. The University of Sydney, Australia, 2001. Citado na página 5.
- GALVAN, S. et al. Innovative robotics teaching using lego sets. University of Verona, Italy, 2006. Citado na página 5.
- HÁMORI Ákos; LENGYEL, J.; RESKÓ, B. 3dof drawing robot using lego-nxt. Óbuda University, Hungary, 2011. Citado na página 4.
- LAU, N. et al. Ciber-rato: Uma competição robótica num ambiente virtual. 2002. Citado na página 5.
- 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.
- 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 4 vezes nas páginas 3, 5, 10 e 11.
- ROMANO, V. F. *Introdução à Robótica Industrial*. [S.l.]: Edgard Blücher Ltda, 2002. ISBN 8521203152. Citado 2 vezes nas páginas 3 e 10.
- 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.
- 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.