

DESENVOLVIMENTO DE UM ROBÔ DE TREKKING

Clyffe de Assis Ribeiro ¹; Leandro Henrique Vidigal Souza ²; Elias José de Rezende Freitas ³

1 Clyffe de Assis Ribeiro, Engenharia Elétrica, IFMG Campus Avançado Itabirito, Itabirito - MG; clyffe.assis@gmail.com

2 Leandro Henrique Vidigal Souza, Engenharia Elétrica, IFMG Campus Avançado Itabirito, Itabirito – MG; leandro.sousa@ifmg.edu.br

3 Elias José de Rezende Freitas: Pesquisador do IFMG, Campus Ibirité; elias.freitas@ifmg.edu.br

RESUMO

A robótica é, cada vez mais, uma área presente no cotidiano da sociedade. Diferentes equipamentos robóticos são pensados e desenvolvidos para a realização de tarefas específicas. Uma importante categoria de robôs que é tendência recentemente é a categoria de robôs móveis autônomos. Nesse projeto pretende-se estudar e desenvolver um protótipo de veículo autônomo capaz de mover-se através de um circuito fechado, desviando de eventuais obstáculos e/ou outros veículos que porventura atravessem seu caminho. Para a realização dessa tarefa o robô deve ser capaz de inferir o ambiente ao seu redor e, a partir desses dados, tomar uma decisão do caminho a seguir. Existem diferentes sensores que permitem ao robô perceber o ambiente a sua volta e diferentes estratégias de navegação que podem ser adotadas. Neste projeto, utilizou-se o sensor LIDAR (Light Detection And Ranging) para medir a distância na qual os obstáculos estão do veículo autônomo e, assim, gerar um mapa local ao redor do veículo. A estratégia adotada foi a navegação reativa local por meio de um campo vetorial. Dada a indisponibilidade de utilização dos laboratórios da instituição durante a pandemia, optou-se pela utilização de uma plataforma de simulação de veículos autônomos disponibilizada pelo grupo de pesquisa F1TENTH. Essa plataforma utiliza o ROS (*robotic operation system*) para simular um veículo autônomo, munido de um sensor LIDAR, disposto em um circuito fechado. Com base nos dados disponibilizado pelo sensor LIDAR, gerou-se um algoritmo que produz um mapa local da vizinhança do veículo. Ainda, o algoritmo é capaz de colecionar vários mapas locais e gerar um mapa global do circuito em questão. Por fim, executou-se a montagem de um protótipo do veículo autônomo proposto utilizando como base um automodelo comercial acionado via rádio frequência, onde todo o circuito original de acionamento do veículo foi substituído por um circuito próprio.

INTRODUÇÃO

Um robô móvel é definido pela ISO 8373 como um mecanismo programável, com dois ou mais eixos, que pode se mover em um ambiente. Um exemplo de robô móvel é um veículo autônomo, ou seja, um carro sem motorista capaz de realizar tarefas sem a interferência externa (LIU, S. et. al., 2017). A autonomia dos robôs pode ter diferentes níveis, dependendo da tarefa que ele é responsável. Por exemplo, um nível menor de autonomia pode ser visto nos veículos que possuem um sistema de assistência à direção humana, como o controle de velocidade (*cruise control*). Já em um nível maior de autonomia, o veículo é capaz de conduzir normalmente, detectando pedestres, semáforos e respeitando as leis de trânsito, ou seja, com a mínima interferência humana (BIMBRAW, 2015).

No Brasil, o estudo e o desenvolvimento desses robôs está em um processo crescente e pode-se encontrar, em várias universidades, grupos de estudos e equipes focadas em resolver problemas da área. Uma maneira eficiente que se tem percebido de divulgar a robótica é por meio da participação em competições, como o proposto neste projeto. Já que essas atraem tanto a participação de membros externos da comunidade leiga quanto possibilita que o discente se sinta desafiado a aprender mais e a aplicar na prática os conceitos estudados.

Pode-se destacar algumas competições de robôs, tais como: Robocar Race, RoboGames, Olimpíada Brasileira de Robótica, Winter Challenge e Iron Cup (ROBOCORE, 2017). Essas competições têm diversas categorias, possibilitando o desenvolvimento de robôs com características diferentes, ampliando o leque de conhecimento do aluno, como: robô seguidor de linha, robô sumô, robô de corrida autônoma e robô de trekking.

O robô foco deste trabalho é o robô de trekking, que pode ser visto como um robô que deve ser capaz de chegar de forma autônoma até marcos predispostos em um campo aberto, sendo que cada marco,

normalmente, deve ser alcançado em uma ordem definida. Nota-se ainda que o robô trabalha em um campo aberto e, portanto, deve ser capaz de superar as diversas irregularidades contidas no terreno. Para atingir esse objetivo, é bastante comum a utilização da estrutura básica de um auto-modelo rádio-controlado.

Dado o contexto de pandemia em 2020, optou-se por desenvolver o sistema de navegação em um simulador de competição disponibilizado pela comunidade da F1TENTH (F1TENTH, 2016). F1TENTH é uma comunidade de pesquisadores, engenheiros e entusiastas em sistemas autônomos fundada em 2016 na universidade da Pensilvânia - Estados Unidos. Atualmente o grupo conta com pesquisadores de diversos países. Como forma de interação e troca de experiência entre os integrantes do grupo, instituiu-se uma competição de corrida de carros autônomos. A impossibilidade de realização de uma competição durante a pandemia fez com que o grupo criasse uma plataforma de simulação de veículos autônomos e, assim, a corrida pudesse ser realizada no ano de 2020 de maneira virtual (F1TENTH SIMULADOR, 2020).

O simulador desenvolvido pela comunidade da F1TENTH tem como base o ROS (*robotic operation system*). Esse sistema é um conjunto de bibliotecas e ferramentas de código aberto que auxiliam na construção de robôs e possui vasta documentação sobre o seu funcionamento. Apesar do nome (sistema operacional robótico), o ROS não é de fato um sistema operacional, mas sim uma aplicação rodando em uma distribuição linux. Segundo o próprio site do projeto, o sistema pode ser definido como (ROS, 2020):

“O sistema operacional robótico (ROS) é uma estrutura flexível para escrever software robótico. É uma coleção de ferramentas, bibliotecas e convenções que visam simplificar a tarefa de criar um comportamento de robô complexo e robusto em uma ampla variedade de plataformas robóticas.”

Dessa forma, este trabalho visa apresentar o modelamento cinemático, o mapeamento por meio de um sensor LIDAR e a estratégia de navegação para desvio de obstáculos do robô de *trekking* em desenvolvimento pelo grupo de pesquisa Robotics and Intelligents (EPIIBOTS).

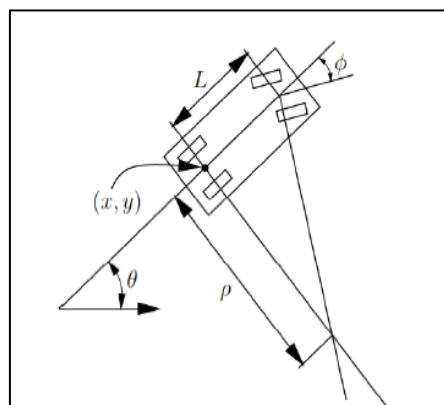
METODOLOGIA

Cinemática

O veículo autônomo descrito neste projeto possui a mesma cinemática de um automóvel padrão, como mostrado na Figura 1. Como primeira aproximação, suponhamos que em cada um dos eixos (frontal e traseiro) as duas rodas podem ser descritas por uma única roda posicionada no ponto médio entre elas. A roda frontal pode ser direcionada em diferentes ângulos (ϕ), enquanto a roda traseira possui orientação fixa. O ângulo θ mede a orientação do carro com relação ao eixo horizontal x e as coordenadas cartesianas x, y descrevem a posição do ponto médio do eixo traseiro do carro com relação a um sistema de coordenadas fixo.

Dessa forma, as coordenadas generalizadas desse sistema são: $q = (x, y, \theta, \phi)^T$.

Figura 1 - Visão superior do robô de trekking.



O sistema está sujeito a dois vínculos não-holônomos, um para cada roda:

$$\begin{aligned} \dot{x} \operatorname{sen} \theta - \dot{y} \cos \theta &= 0 \\ \dot{x} \operatorname{sen}(\theta + \phi) - \dot{y} \cos(\theta + \phi) - L \theta \dot{\cos} \phi &= 0 \end{aligned}$$

As duas equações de vínculo acima são da forma Pfaffiana (DE LUCA, 1998), ou seja, obedecem a equação $C(q)\dot{q} = 0$. Assim, as equações que descrevem a cinemática do veículo autônomo são dadas por

$$\dot{q} = g_1(q)v + g_2(q)\omega,$$

em que v é a velocidade da roda traseira e ω é a velocidade com que a roda dianteira muda de direção com relação ao eixo longitudinal do carro, ou seja, a derivada temporal do ângulo ϕ . Já os campos g_1 e g_2 são dados por:

$$g_1 = \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \operatorname{sen} \theta \\ \operatorname{tg} \left(\frac{\phi}{L} \right) \\ 0 \end{pmatrix} \quad e \quad g_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Mapeamento Local com o LIDAR

Para que o veículo desloque em um dado ambiente de forma autônoma, deve-se conhecer o ambiente ao redor. Existem várias formas de realizar tal tarefa e a escolhida neste projeto é a utilização de um LIDAR (*Light Detection And Ranging*). Esse sensor permite medir a distância que os objetos estão do veículo e, assim, traçar um mapa local do ambiente ao redor do veículo.

O ambiente de simulação disponibilizado pelo grupo F1TENTH incorpora um LIDAR acoplado ao veículo e os dados proporcionados por esse sensor foram utilizados como entrada de um módulo que gera um mapa local. Basicamente, o espaço ao redor do veículo é discretizado na forma de uma grade quadrada (matriz), onde cada célula da grade corresponde a uma certa região do espaço. Se os dados provenientes do LIDAR indicam que existe um obstáculo na região representada por uma dada célula, o elemento da matriz correspondente recebe um valor que indica que há um obstáculo naquela região. Caso contrário, o elemento recebe outro valor que indica que aquela região está livre de obstáculos.

Percorrendo todo o ambiente de simulação com o veículo e armazenando os mapas locais gerados em cada instante, também é possível gerar um mapa global do circuito. Essa aplicação também foi implementada para uso futuro.

Desvio de obstáculos

A maioria das estratégias de navegação aplicadas aos robôs de trekking são baseadas ou na navegação local reativa ou na navegação global com o conhecimento a priori do mapa do ambiente (LIU et al., 2017). O uso do primeiro tipo de navegação está relacionado, principalmente, pela facilidade de implementação e de não necessitar de um mapa global (BAKLOUTI et al., 2017) e o segundo tipo de navegação tem sido utilizado, mais recentemente, aplicando diretamente os algoritmos de planejamento de movimento para ambientes específicos e conhecidos e, muitas vezes, combinando com técnicas reativas de desvio de obstáculos (SCHWESINGER et al., 2017). Dessa forma, optou-se neste trabalho pela implementação de uma navegação reativa por meio de um campo vetorial.

A ideia principal dessa estratégia é criar uma força artificial atrativa e outra repulsiva, de maneira que a soma da contribuição de cada força determine o sentido e a velocidade do robô.

Dada uma posição desejada para o robô alcançar, o campo vetorial atrativo \vec{F}_a pode ser obtido por:

$$\vec{F}_a = k \begin{bmatrix} q_{xf} - q_{xo} \\ q_{yf} - q_{yo} \end{bmatrix}$$

em que k é uma constante de ajuste e q_0 e q_f são, respectivamente, a posição inicial e final do robô. Já o campo vetorial repulsivo, pode ser obtido, considerando por exemplo, os dados obtidos diretamente com o sensor LIDAR:

$$\vec{F}_r = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

em que a força repulsiva obtida por um raio do sensor, \vec{F}_i , pode ser descrita por um campo potencial de barreira, de maneira que essa força repulsiva será maior quanto mais próximo o robô estiver do obstáculo, dada por:

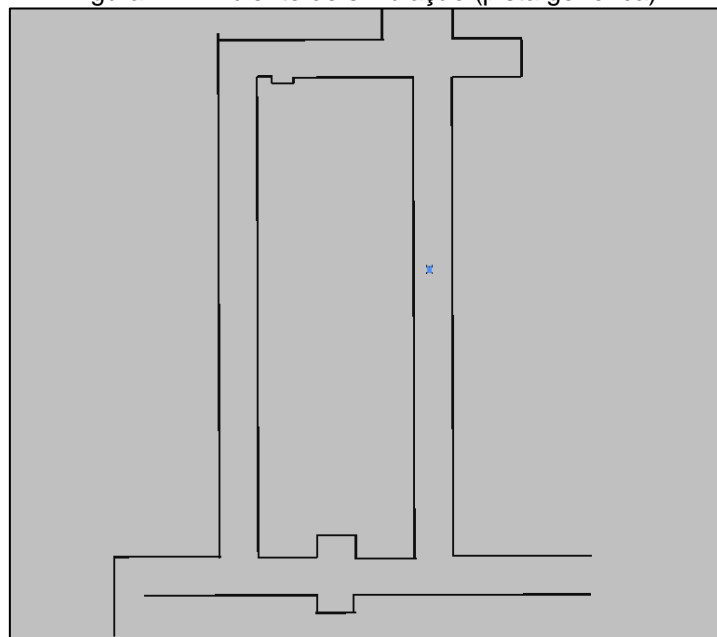
$$\vec{F}_i = \eta \begin{bmatrix} \frac{2x_s(d_0 - \rho_i)}{d_0\rho_i^4} & \frac{2y_s(d_0 - \rho_i)}{d_0\rho_i^4} \end{bmatrix}^T$$

em que (x_s, y_s) é a posição do obstáculo em relação ao robô, d_0 é a distância na qual essa força começa a atuar e ρ_i é a distância euclidiana do robô ao obstáculo i (ou parte desse obstáculo) detectado por um dos raios do sensor LIDAR.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro resultado apresentado é a geração de um mapa local utilizando o LIDAR com o sensor principal. A Figura 2 apresenta o ambiente do simulador, onde uma pista genérica foi inserida para validar o funcionamento do algoritmo gerador do mapa local. O retângulo azul na figura abaixo representa o veículo e as linhas contínuas pretas representam o contorno da pista. A região cinza equivale às áreas livres de obstáculos.

Figura 2 - Ambiente de simulação (pista genérica).



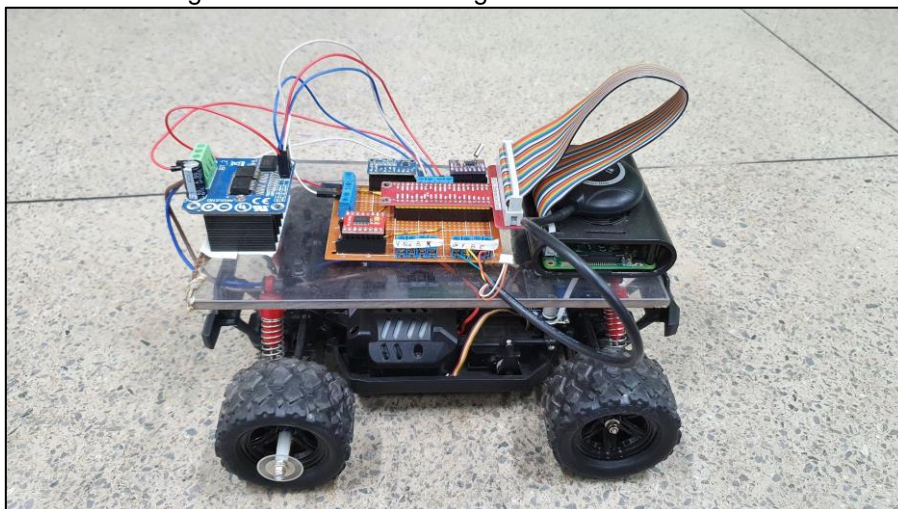
Nas Figuras 3(a) e 3(b), o veículo foi movido para duas regiões quaisquer do circuito e o mapa local gerado pelo algoritmo desenvolvido pode ser observado em destaque. Nota-se que os mapas locais gerados concordam muito bem com o circuito no qual o veículo está inserido (Figura 2). Na Figura 3(a), o mapa original do circuito não foi plotado. Já na Figura 3(b), as linhas contínuas brancas representam o circuito real enquanto os pontos pretos representam o mapa local gerado pelo algoritmo. Observa-se, claramente, que o mapa local gerado apresenta a precisão desejável para o projeto.

Figura 3 - Resultado do mapeamento local utilizando o sensor LIDAR.



Paralelamente ao desenvolvimento dos algoritmos no ambiente do simulador, montou-se o veículo autônomo de teste baseado em um carro de controle remoto comercial padrão, dando continuidade ao projeto iniciado em 2019. Todo o circuito de acionamento e controle do carro foi substituído e o resultado da montagem é o apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Robô de trekking em desenvolvimento.



CONCLUSÕES

Conforme apresentado neste trabalho, o principal resultado deste projeto é a geração de mapas locais e de um mapa global do ambiente em que o veículo está inserido. Verificou-se, por meio de simulações, que a utilização de um sensor LIDAR para geração desses mapas produziu resultados coerentes com a aplicação. Como trabalhos futuros será testado o sensor em um ambiente real.

Além desses resultados, este trabalho possibilitou a divulgação da robótica por meio do minicurso sobre ROS oferecido em conjunto com a empresa júnior do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFOP. Alguns vídeos também serão divulgados no canal do youtube da equipe de pesquisa: [youtube/roboticaemfoco](https://www.youtube.com/channel/UC...).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKLOUTI, Emna; AMOR, Nader Ben; JALLOULI, Mohamed. Reactive control architecture for mobile robot autonomous navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, v. 89, p. 9-14, 2017.

BIMBRAW, Keshav. Autonomous cars: Past, present and future a review of the developments in the last century, the present scenario and the expected future of autonomous vehicle technology. In: 2015 12th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO). IEEE, 2015. p. 191-198.

DE LUCA, Alessandro et al. Feedback control of a nonholonomic car-like robot. *Robot motion planning and control*, p. 171-253, 1998.

F1TENTH. Web site da comunidade f1tenth. 2016. Disponível em: <https://f1tenth.org/about.html>. Data de acesso: 20/06/2021.

F1TENTH SIMULADOR. Projeto do simulador f1tenth. 2020. Disponível em: https://github.com/f1tenth/f1tenth_simulator. Data de acesso: 20/06/2021.

FREITAS, Elias JR; PASSOS, Henrique AB; PEREIRA, Guilherme AS. Desvio de obstáculos por robôs semiautônomos usando planejamento de caminhos. XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), 2017.

PEREIRA, G. A. S. and FREITAS, E. J. R.. Navigation of Semi-autonomous Service Robots Using Local Information and Anytime Motion Planners, *Robotica*. Cambridge University Press, pp. 1–19. doi: 10.1017/S0263574719001838. 2020.

ROBOCORE. Regras da Winter Challenge. 2017. Disponível em: https://www.robocore.net/eventos/wc14/1#scroll_18. Data de acesso: 17/09/2018.

ROS. About ROS. 2020. Disponível em <<http://www.ros.org/about-ros/>>. 2020. Acesso em: 10 de março de 2020.

SCHWESINGER, Dylan et al. A smart wheelchair ecosystem for autonomous navigation in urban environments. *Autonomous Robots*, v. 41, n. 3, p. 519-538, 2017.

LIU, Shaoshan; LI, Liyun; TANG, Jie; WU, Shuan; GAUDIOT, Jean-Luc. Creating Autonomous Vehicle Systems, in *Creating Autonomous Vehicle Systems*, , Morgan & Claypool, 2017.