



Prova de Conceito de Navegação Autônoma de Robôs Móveis Utilizando ARTags em Ambiente Simulado

Proof of Concept for Autonomous Navigation of Mobile Robots Using ARTags in a Simulated Environment

Gustavo Fontes Lewin (orientado)¹, André Schneider de Oliveira (orientador)²,
Ronnier Frates Rohrich (orientador)³

RESUMO

O presente artigo relata uma prova de conceito de um sistema de navegação desenvolvido para um robô móvel projetado especificamente para operar em estádios de futebol. A pesquisa tem como objetivo principal estabelecer uma base para a futura incorporação de sensores luminosos e outros sensores. O sistema de navegação proposto emprega marcadores visuais conhecidos como ARTags, distribuídos em placas de sinalização estrategicamente posicionadas no ambiente. O robô segue uma sequência predefinida de tags à medida que percorre o percurso completo do cenário simulado. Este estudo detalha o método experimental, incluindo a configuração do ambiente simulado e os parâmetros de controle do robô. Além disso, apresenta os resultados obtidos durante os testes, avaliando a eficácia do sistema de navegação em um ambiente simulado. Nesse contexto, este estudo representa um passo inicial no desenvolvimento de robôs móveis para operação em ambientes desafiadores, como estádios esportivos, indicando promissoras perspectivas para futuras aplicações tecnológicas.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica móvel. Navegação autônoma. ARTags. Simulação.

ABSTRACT

This article reports a proof of concept for a navigation system developed for a mobile robot specifically designed to operate in football stadiums. The primary objective of this research is to establish a solid foundation for the future incorporation of light and other sensors. The proposed navigation system employs visual markers known as ARTags, distributed on strategically positioned signboards in the environment. The robot follows a predefined sequence of tags as it traverses the entire simulated scenario. This study details the experimental method, including the setup of the simulated environment and robot control parameters. Additionally, it presents the results obtained during the tests, evaluating the effectiveness of the navigation system in a simulated environment. In this context, this study represents an initial step in the development of mobile robots for operation in challenging environments such as sports stadiums, indicating promising prospects for future technological applications.

KEYWORDS: Mobile robotics. Autonomous navigation. ARTags. Simulation.

INTRODUÇÃO

A robótica móvel é uma área tecnológica que envolve a criação de robôs capazes de mobilidade autônoma, exigindo habilidades avançadas de sensoriamento e um nível significativo de

¹ Graduação em Engenharia Eletrônica; E-mail: lewin@alunos.utfpr.edu.br.

² Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial (CPGEI); E-mail: andreoliveira@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-8295-366X>.

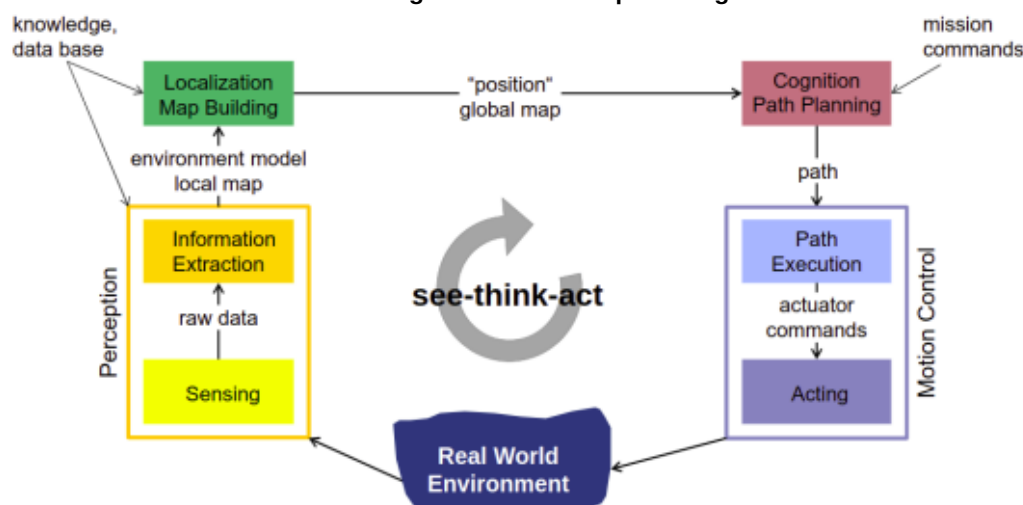
³ Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN); E-mail: rohrich@utfpr.edu.br; <https://orcid.org/0000-0002-4523-8536>.



processamento computacional. Para alcançar essa capacidade, é necessário integrar uma ampla variedade de conhecimentos, abrangendo desde a cinemática até a teoria de controle, e envolvendo interações profundas tanto no aspecto de *software* quanto de *hardware*.

De acordo com o paradigma do ciclo "ver-pensar-agir" (conforme figura 1), o comportamento fundamental de um robô móvel pode ser decomposto em três fases distintas. Primeiramente, o robô precisa coletar, por meio de sensores, informações do ambiente. Em seguida, processa os dados obtidos, culminando na geração de determinadas ações.

Figura 1 – Ciclo ver-pensar-agir.



Fonte: (SIEGWART; NOURBAKHS; SCARAMUZZA, 2011).

O trabalho conduzido por (KAWECKI et al., 2022) descreveu a implementação de um sistema de posicionamento para um robô móvel, empregando uma câmera estereoscópica montada no topo do robô e ARTags com números de identificação predefinidos. Esse sistema permitiu ao robô determinar sua posição com base em um mapa topológico do espaço de trabalho. Os resultados destacam a utilidade do uso de ARTags para a orientação e localização precisa de robôs móveis.

Este trabalho dá continuidade à pesquisa anterior (LEWIN et al., 2023), que também explorou o uso de marcadores visuais em um contexto de controle de robôs. No entanto, enquanto o estudo anterior concentrou-se em controle *fuzzy* para robôs movidos a vibrações, o presente estudo concentra-se na avaliação de um sistema de navegação em um ambiente simulado que contém ARTags distribuídas como placas de sinalização estrategicamente posicionadas. O robô segue uma sequência predefinida de *tags* à medida que percorre o cenário simulado. Esta abordagem permite a avaliação da viabilidade do sistema de navegação em um ambiente controlado antes de implementar sensores complexos, como sensores de luminosidade e outros.

Assim, este estudo representa um passo inicial no desenvolvimento de robôs móveis para operação em ambientes desafiadores, incluindo futuras aplicações tecnológicas potenciais. A seção descreve detalhadamente o método experimental, sendo que os resultados obtidos e as conclusões alcançadas serão abordados nas seções subsequentes.



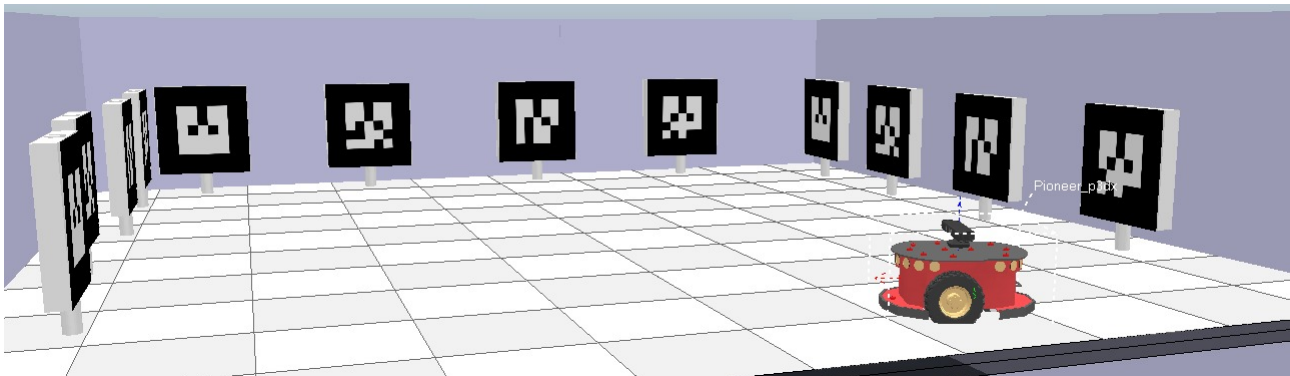
MATERIAIS E MÉTODOS

O AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Compreendendo as características essenciais do sistema experimental, o robô utilizado para esta prova de conceito é um Pioneer 3-DX equipado com uma câmera RGB, sendo esta a única fonte de entrada sensorial. É importante ressaltar que não há implementação de odometria no robô, o que significa que a navegação se baseia exclusivamente na informação visual obtida pela câmera disposta no topo do robô. Essa escolha deliberada permite avaliar a capacidade do sistema de navegação em dependência da visão e processamento de imagens.

O cenário simulado, projetado para replicar de forma controlada um ambiente similar a estádios de futebol, abrange aproximadamente 5 x 5 metros. As ARTags, usadas como pontos de referência, foram aumentadas em tamanho para 20 x 20 centímetros. Essa ampliação das tags foi necessária para garantir que a câmera do robô fosse capaz de detectá-las a distância, simulando um cenário realista em que os marcadores visuais precisam ser visíveis mesmo em grandes estádios com amplas áreas de visão. A figura 2 mostra a cena simulada no CoppeliaSim.

Figura 2 – Cenário simulado.



Fonte: O Autor.

A simulação foi realizada utilizando o ambiente de simulação CoppeliaSim devido à sua integração com o sistema do *Robot Operating System* (ROS). Isso permitiu a implementação e a avaliação do programa de navegação em um ambiente simulado realista, proporcionando uma plataforma adequada para testes preliminares antes de futuras implementações em ambientes físicos.

Ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, foi empregado Ubuntu 20.04 como sistema operacional. O pacote `ar_track_alvar` para ROS foi utilizado para detectar as ARTags com a câmera. O nodo de controle dos robôs foi programado na linguagem Python.

SOFTWARE DE CONTROLE DA NAVEGAÇÃO

O programa de navegação desenvolvido para este estudo visa direcionar o robô móvel ao longo de seu trajeto no ambiente simulado. Ele foi projetado para permitir que o robô interaja com



marcadores visuais ARTags, que estão estrategicamente posicionados no cenário. O programa desempenha uma série de etapas sequenciais para realizar a navegação do robô ao longo das ARTags.

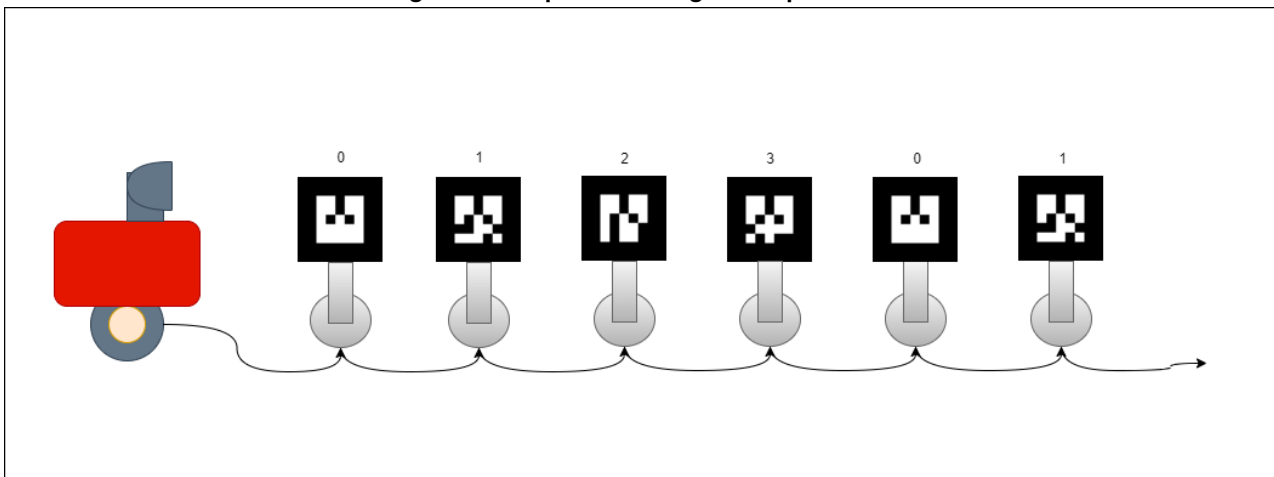
Inicialmente, o robô inicia a navegação procurando pela ARTag de número 0, que serve como ponto de partida. Utilizando sua câmera, ele detecta a tag e calcula o erro angular em relação à direção em que a tag está posicionada. O controle PID é empregado para ajustar a orientação do robô de modo a minimizar esse erro angular. À medida que o robô se aproxima da ARTag 0, o controle PID para erro linear é ativado, garantindo que o robô se mova em direção à tag.

Após alcançar a proximidade da ARTag 0, o robô muda sua atenção para a próxima tag na sequência, neste caso, a ARTag 1. O processo se repete, com o robô buscando a ARTag 1, calculando os erros angular e linear e, mais uma vez, aplicando o controle PID para ajustar sua orientação e movimento. Esse padrão de navegação continua conforme o robô avança sequencialmente pelas ARTags, culminando na detecção da ARTag 4.

Quando o robô atinge a ARTag 4, ele realiza uma transição direta para a ARTag 0, que está disposta imediatamente após a ARTag 4 – conforme a sequência predefinida. O controle PID é novamente empregado para realizar a rotação necessária, seguida pelo controle de erro linear para orientar o robô em direção à ARTag 0. Essa abordagem de navegação por sequência de ARTags foi desenvolvida para que o robô fosse capaz de percorrer todo o percurso.

A figura 3 ilustra a sequência de tags a ser percorrida pelo robô.

Figura 3 – Sequência de tags a ser percorrida.



Fonte: O Autor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

LIMITE DE DISTÂNCIA PARA DETECÇÃO DE TAGS

Durante os experimentos, observamos que o robô pode se aproximar excessivamente de uma tag específica, levando-a a sair do campo de visão da câmera e, conseqüentemente, perdendo-a



de vista. Para evitar esse problema, foi estabelecido um limite de proximidade, a partir do qual é considerado que o robô alcançou seu destino. Esse limite foi fixado em 40 centímetros da *tag*, o que significa que o robô é programado para considerar que chegou à *tag* quando se encontra a uma distância de aproximadamente 40 centímetros dela.

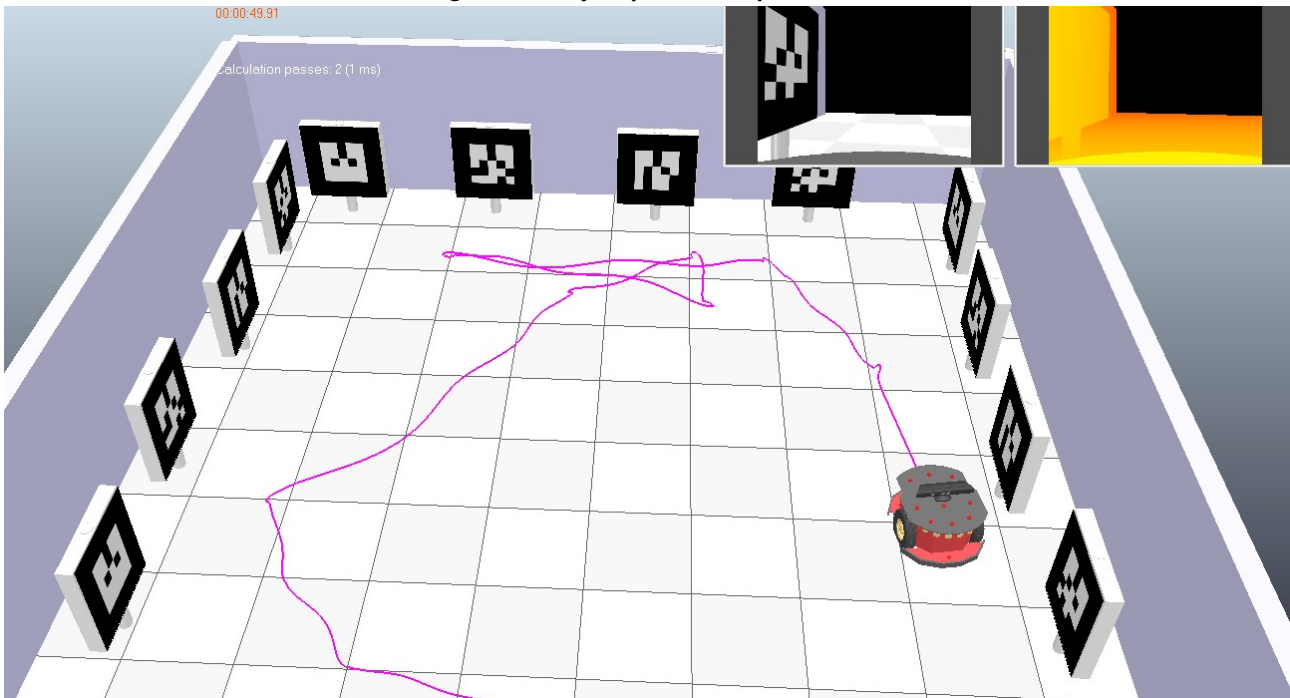
AJUSTE DOS COEFICIENTES PID

Para garantir um controle de movimento eficaz, foram realizados ajustes nos coeficientes do controlador PID. O coeficiente proporcional linear foi configurado para um valor de 0.5, enquanto o coeficiente proporcional angular foi ajustado para 0.6. Esses ajustes foram cruciais para alcançar um equilíbrio entre a precisão da orientação do robô e suavidade de movimento. As componentes derivativo e integral do controlador permaneceram em zero.

CONCLUSÃO DO PERCURSO

Registrou-se a capacidade do robô de concluir o percurso até o final, conforme ilustra a figura 4. No entanto, nota-se que ele se perdeu no meio do caminho, mas conseguiu retomar o percurso com sucesso.

Figura 4 – Trajeto percorrido pelo robô.



Fonte: O Autor.



CONCLUSÕES

Neste estudo, foi realizada uma prova de conceito de um sistema de navegação destinado a um robô móvel projetado para operar em ambientes desafiadores, com foco específico em estádios de futebol. Embora o ambiente simulado utilizado não seja um estádio, as investigações realizadas forneceram informações sobre a viabilidade do sistema de navegação proposto.

Ao longo dos experimentos, foi observado que a proximidade excessiva do robô em relação às ARTags pode levar à perda de detecção delas, o que levou à necessidade de estabelecer um limite de distância de aproximadamente 40 centímetros para a detecção das tags. Além disso, ajustamos os coeficientes do controlador PID, definindo o coeficiente proporcional linear em 0.5 e o coeficiente proporcional angular em 0.6, para calibrar o controle de movimento.

O resultado mais significativo deste estudo foi a capacidade do robô de concluir com sucesso o percurso predefinido, demonstrando a viabilidade do sistema de navegação com base em ARTags e as configurações de controle estabelecidas. Em resumo, este estudo representa um passo inicial promissor para um estudo amplo. Os resultados obtidos fornecem uma base para futuros aprimoramentos e implementações de sensores mais complexos, como sensores de luminosidade, pavimentando o caminho para outras aplicações tecnológicas.

AGRADECIMENTOS

Aos docentes que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste projeto: o Prof. Dr. Ronnier Frates Rohrich, que me incumbiu desta pesquisa, o Prof. Dr. André Schneider de Oliveira. Também expresse minha gratidão ao CNPq, à UTFPR e à Fundação Araucária pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (PIBIC).

CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

KAWECKI, Adrian et al. AR Tags Based Absolute Positioning System. In: 2022 8th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA). [S.l.: s.n.], 2022. P. 62–67. DOI: [10.1109/ICARA55094.2022.9738534](https://doi.org/10.1109/ICARA55094.2022.9738534).

LEWIN, Gustavo Fontes et al. Collaborative Fuzzy Controlled Obstacle Avoidance in a Vibration-Driven Mobile Robot. In: TARDIOLI, Danilo et al. (Ed.). **ROBOT2022: Fifth Iberian Robotics Conference**. Cham: Springer International Publishing, 2023. P. 373–384. ISBN 978-3-031-21065-5.

SIEGWART, Roland; NOURBAKSH, Illah Reza; SCARAMUZZA, Davide. **Introduction to autonomous mobile robots**. [S.l.]: MIT press, 2011.