

## DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA DE SIMULAÇÃO PARA SISTEMAS MULTIRROBÔS BASEADA EM AUTÔMATOS E ROS2

Lúcia Rosa Silva Castañeda, Gabriel Abatti, André Bittencourt Leal

### INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o uso de robôs tem se expandido em diversas áreas, e um número crescente de aplicações robóticas tem sido desenvolvido com base no Sistema Operacional Robótico (ROS). Segundo Quigley *et al.* (2009), o ROS é uma das estruturas de desenvolvimento de *software* mais utilizadas em robótica, sendo amplamente empregado por acadêmicos e profissionais para prototipagem de aplicações diversas (Torta *et al.*, 2023). O ROS fornece um grande conjunto de algoritmos em código aberto, voltados para navegação (Pütz, Simón e Hertzberg, 2018) e manipulação (Chitta, Sucan e Cousins, 2012). Disponibiliza recursos para projetos que utilizam multiprocessos, nos quais cada processo (chamado de nó) atua como uma unidade de processamento independente, implementando funções como localização e planejamento de caminhos. Segundo Torta *et al.* (2023), ROS pode ser analisado como um sistema orientado a eventos, no qual os nós se comunicam por meio de mensagens publicadas em tópicos. Desta forma, é possível analisar esses sistemas como um SED (Sistema a Eventos Discretos) permitindo a proposição de projetos baseados na Teoria de Controle Supervisório (TCS) para aplicações robóticas complexas. O objetivo deste trabalho é auxiliar um aluno de doutorado no desenvolvimento de uma estrutura de controle baseada na TCS, utilizando autômatos para cenários de navegação autônoma multirrobôs. Os cenários abordados são ambientes simulados integrados ao ROS2, nos quais os robôs devem ser capazes de navegar de forma autônoma para qualquer ponto acessível no mapa do ambiente.

### DESENVOLVIMENTO

Para modelar o robô completo e simular múltiplos robôs em um mesmo ambiente, o software Gazebo, que se integra com o ROS, permite a simulação e o controle de robôs usando tópicos, serviços e ações do ROS, isso tudo após a escolha prévia de um robô. O Gazebo é amplamente utilizado no ecossistema ROS para testar algoritmos robóticos em um ambiente virtual realista antes de implementá-los em hardware físico. Para um robô se localizar e explorar um ambiente, são necessários sensores que fornecem informações suficientes para interpretar sua proximidade. Um sensor fundamental para isso é o LIDAR (*Light Detection and Ranging*), amplamente utilizado em algoritmos de Localização e Mapeamento Simultâneos (SLAM), permitindo construir um mapa em tempo real enquanto estima a pose do robô (posição e orientação). Outro sensor utilizado no Gazebo é a IMU (Unidade de Medição Inercial), que combina acelerômetro e giroscópio em três eixos para medir aceleração linear e velocidade angular. Para aumentar a precisão da estimativa da pose, foi aplicada a fusão de sensores EKF (Filtro de Kalman Estendido). Esta fusão foi realizada entre os dados de odometria (*odom*) e os dados da IMU (*imu*).

A parte central do desenvolvimento é a navegação dos robôs em um mapa específico. Este mapa é criado através da implementação de um sistema chamado cartógrafo, que fornece a localização simultânea em tempo real e mapeamento (SLAM) em 2D e 3D em diversas plataformas e configurações de sensores. Assim com o mapa, pode-se montar o sistema de navegação com o Nav2, que é uma estrutura de navegação autônoma padrão para robôs móveis no ROS2. É configurado por vários nós e cada um deve ser responsável por uma finalidade única e modular.

## RESULTADOS

Com intuito de testar o comportamento do robô em situações reais, foi criado um ambiente industrial com obstáculos (ver Figura 1), modelado no Gazebo por meio de código e plugins específicos. Dentro desse ambiente, foram utilizados robôs do tipo Kobuki, escolhidos por sua disponibilidade na universidade e suas características de durabilidade, resistência e velocidade, tornando-os adequados para testes futuros em laboratório. O sensor LIDAR foi implementado em dois robôs no Gazebo, cada um com seu sensor, permitindo que o robô funcione de forma autônoma, sem intervenção humana. Desta forma, foi possível o robô gerar o mapa do ambiente realizado no Gazebo. Com a fusão de sensores EKF entre *odom* e o *imu*, foi possível obter informações da aceleração linear e da velocidade angular de forma precisa. Com o sistema cartógrafo foi possível fazer o mapeamento e construir um mapa do ambiente criado no Gazebo, permitindo ao sistema de navegação realizar trajetórias para qualquer ponto definido dentro do mapa. Além disso, foi criado um sistema de navegação (Figura 2) baseado em SEDs, que possibilita a navegação autônoma do robô para qualquer ponto alcançável dentro do mapa. Com o refinamento deste sistema, observou-se a precisão e velocidade com que reconhece objetos que colidem, refazendo a trajetória a seguir.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho ainda está em andamento e o próximo passo consiste em expandir o sistema para múltiplos robôs. Encontrou-se limitações neste quesito, pois este sistema vê o robô como transformações, que são regras matemáticas que descrevem a posição e a orientação de cada parte do robô em relação a outras partes. Além disso, pretende-se integrar uma câmera aos robôs e utilizar técnicas de visão computacional com *OpenCV* para identificação de objetos e potencialmente de pessoas, possibilitando aplicação de inteligência artificial e aprendizado de máquina em tempo real. Outro passo, será a adoção da teoria de controle supervisorio para que o robô se torne totalmente autônomo e o controle digital para controlar os movimentos do robô.

**Palavras-chave:** sistema operacional robótico; sistemas a eventos discretos; sistema de navegação; sistema cartógrafo; Gazebo; ROS2.

## ILUSTRAÇÕES

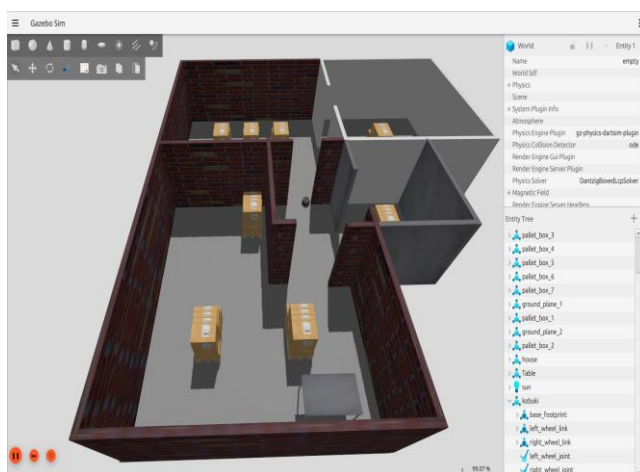


Figura 1. Ambiente simulado no Gazebo

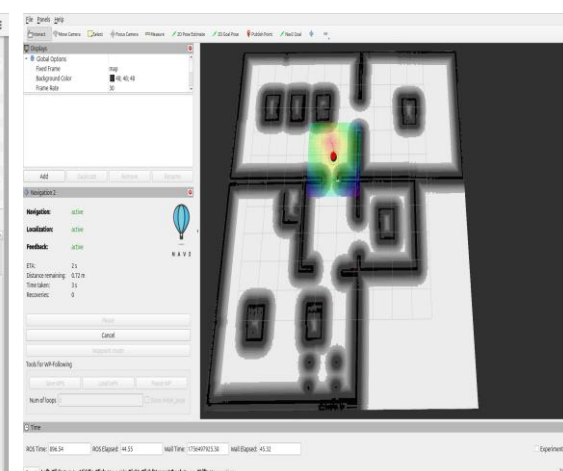


Figura 2. Sistema de Navegação no Nav2

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CHITTA, Sachin; SUCAN, Ioan; COUSINS, Steve. MoveIt![ROS topics]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 19, n. 1, p. 18–19, 2012.

PÜTZ, Sebastian; SIMÓN, Jorge Santos; HERTZBERG, Joachim. Move base flex: a highly flexible navigation framework for mobile robots. In: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Madrid, Spain, 2018, pp. 3416-3421.

QUIGLEY, Morgan; CONLEY, Ken; GERKEY, Brian; FAUST, Josh; FOOTE, Tully; LEIBS, Jeremy *et al.* ROS: an open-source Robot Operating System. In: ICRA Workshop on Open Source Software, 2009, Kobe, Japan. v. 3, n. 3.2, p. 5-10.

TORTA, E.; RENIERS, M.; KOK, J.; MORTEL-FRONCZAK, J. M. van de; MOLENGRAFT, M. J. G. van de. Synthesis-based engineering of supervisory controllers for ROS-based applications. *Control Engineering Practice*, v. 133, p. 105433, 2023.

---

**DADOS CADASTRAIS**

---

**BOLSISTA:** Lúcia Rosa Silva Castañeda

**MODALIDADE DE BOLSA:** PROBIC/UDESC

**VIGÊNCIA:** 09/2024 a 08/2025 – Total: 12 meses

**ORIENTADOR(A):** André Bittencourt Leal

**CENTRO DE ENSINO:** CCT

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Engenharia Elétrica

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Engenharias / Engenharia Elétrica

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos: em direção à Indústria 4.0 (Parte 2)

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** NPP3242-2023