



SISTEMA DE TELEOPERAÇÃO DE ROBÔ SEMI-AUTÔNOMO PARA DESVIO DE ROTA DE COLISÃO

VITOR DE ASSIS MONTEIRO - vitor.monteiro9000@edu.udesc.br
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

JACKSON BRUNO DA SILVA SANTOS - jackson.santos0504@edu.br
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

DOUGLAS LEOCÁDIO FAVARETTO CORRÊIA - douglas.correia@edu.udesc.br
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

JOÃO VITOR PESCHEL - jv.peschel777@edu.udesc.br
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

DIESSON MARTINELLI - dmartinelli@alunos.utfpr.edu.br
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – UTFPR

VIVIAN CREMER KALEMPA - vivian.kalempa@udesc.br
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

Resumo

Este trabalho tem o intuito de implementar uma técnica de teleoperação utilizando o ROS (Robot Operating System) onde um operador controla uma base móvel robótica de forma semi-autônoma em que, se houvessem problemas por parte do operador, o robô operado tomaria o controle dele mesmo, e assim evitaria danos e prejuízos custosos que ocorreriam por danificação do mesmo. Foi utilizado para validação uma base móvel simulada e uma base móvel real que foram submetidas a erros de teleoperação. Essas bases possuem acopladas a elas um sistema Lidar para detecção 2D de objetos que foram teleoperadas utilizando um joystick. Como resultado final é apresentada uma solução semi-autônoma de teleoperação com foco em desvio de rota de colisão.

Palavras-chave: Teleoperação. Robô Semi-autônomo. Desvio de obstáculos. ROS. LIDAR.

1. INTRODUÇÃO

A quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, é a era em que a tecnologia se encontra, onde indústrias e empresas trabalham com tecnologias como robótica, inteligência artificial, automação, internet das coisas e muitas outras. O estudo de robótica na Indústria 4.0 vem com o objetivo de aumentar a produtividade, ou seja, atingir a melhor produtividade, produtos de alta qualidade a preços baixos, ou em uso doméstico como facilitar a vida das pessoas como robôs aspiradores que limpam a casa, e até para proteger as pessoas em situações de risco, como trabalhos no fundo do mar.

Na indústria de robótica, é bastante usada a tecnologia de teleoperação. Segundo Martinelli (2022), um sistema de teleoperação é um sistema que usa abordagens de interface de movimentação que permitem o envio de comandos a distância para a base móvel robótica. Usualmente, um sistema teleoperado é desenvolvido para ser usado em situações onde um operador necessita realizar uma operação de forma manual e não presencial por questões de segurança.

Porém, um sistema totalmente teleoperado pode ser um risco em determinadas aplicações, levando em consideração a possibilidade de erro humano durante a operação, problemas de conexão, problemas mecânicos no sistema de teleoperação, entre outros. Dessa forma, torna viável a aplicação de um sistema semi-autônomo que servirá como um auxílio na teleoperação de uma atividade.

Neste trabalho é apresentado o desenvolvimento de uma técnica de teleoperação semi-autônoma onde o operador, em caso de falha na teleoperação, será corrigido pelo sistema de desvio autônomo do robô móvel evitando possíveis colisões com o ambiente, tornando a teleoperação mais segura e sem risco de perda do equipamento em uma colisão.

Esse artigo está organizado da seguinte forma. A Seção 2 apresenta a metodologia utilizada. A Seção 3 apresenta a abordagem desenvolvida. Por fim, a Seção 4 apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

2. METODOLOGIA

Nesta seção é abordada a tecnologia ROS utilizada para comunicação entre os componentes, a estrutura robótica simulada e real utilizadas para os testes, e o sensor utilizado para desvio de obstáculos para o desenvolvimento do projeto.

2.1 ROS

Robot Operating System (ROS) (8) é um *framework* para desenvolvimento de robôs que disponibiliza uma estrutura para comunicação entre diferentes componentes, sensores, simuladores e outros dispositivos da robótica.

O principal objetivo do ROS é permitir a reutilização de código em desenvolvimentos na área da robótica. Cada funcionalidade do sistema robótico é dividida em nós, que são os códigos em execução. Esses nós são responsáveis por uma funcionalidade específica do sistema robótico como, sistema de visão, locomoção e detecção de objetos.

A comunicação entre diferentes dispositivos é realizada através de troca de mensagens por tópicos, funcionando de forma semelhante a uma comunicação TCP/IP. Os tópicos compartilham mensagens entre nós, o que permite que cada nó seja programado de sua maneira específica, podendo ser em linguagem C ou em Python. O envio de mensagem de um nó para um tópico é chamado de *Publisher* enquanto o recebimento de uma mensagem por um nó

através do tópico é chamado de *Subscriber*. É possível observar o conceito dessa estrutura básica na Figura 1.

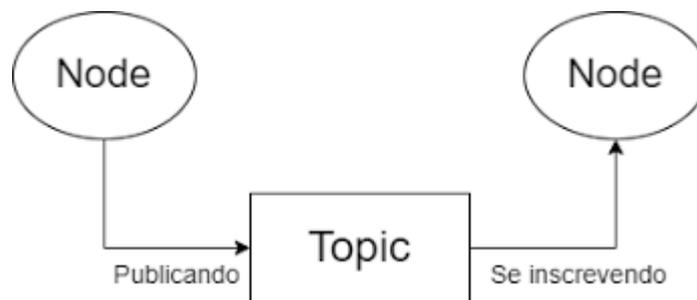


Figura 1: Exemplo de estrutura básica de comunicação entre nós.

O ROS também permite uma arquitetura de processamento de dados em paralelo, ou seja, é possível existir uma máquina principal, chamada de mestre, que irá gerenciar toda a comunicação e outras máquinas que irão se conectar ao mestre. Com isso, é possível utilizar máquinas com maior poder de processamento para realizar classificações em uma determinada aplicação enquanto o robô móvel apenas executa as ações de movimento solicitadas.

Para o desenvolvimento deste projeto o ROS foi utilizado para comunicação entre a base móvel e o sensor LIDAR. Uma conexão em paralelo foi utilizada onde a máquina mestre foi estipulada como sendo o robô móvel e uma outra máquina, com maior poder de processamento, foi utilizada para tratar os dados recebidos dos sensores do robô e do *joystick* para realizar as movimentações.

2.2 Robô Simulado

As funcionalidades do robô antes de serem implementadas no robô real foram testadas em ambiente virtual. Usar um ambiente virtual para testes em vez de o robô real tem diversos benefícios, segundo WOLF (2010) dentre os benefícios estão:

- Economia de recursos financeiros;
- Economia de tempo;
- Evitar danos ao robô;
- Evitar acidentes e aumentar a segurança;
- Aperfeiçoamento do *hardware* e *software*.

Com o robô simulado diversos testes podem ser realizados antes de ser implementado fisicamente o robô sem a necessidade de recarregar baterias e ter um espaço no ambiente dedicado para os testes, ocasionando uma economia de tempo. Em casos de danos e erros em implementações, nenhuma estrutura física sai danificada durante os testes, evitando assim danos ao robô e evitando acidentes com pessoas ou equipamento durante as implementações iniciais.

O ambiente para a simulação utilizado foi o Gazebo (4). Gazebo é um simulador 3D de robótica open-source que suporta códigos para a simulação de sensores e controle de atuadores. O robô simulado usado para os testes foi o TurtleBot3 e não é o mesmo em que foi utilizado para os testes reais mas possui as mesmas capacidades de movimentações lineares e angulares e um sensor de percepção 2D. A estrutura do robô TurtleBot3 pode ser observada na Figura 2.



Figura 2: Robô TurtleBot3 simulado no Gazebo.

2.3 Robô Real

O robô real é o Leo Rover, uma base móvel terrestre com uma plataforma retangular e um chassi de tração em 4 rodas desenvolvido para percorrer diversos terrenos. A Figura 3 demonstra o modelo utilizado.



Figura 3: Base móvel Leo Rover.

Leo Rover contém um mini-computador chamado Raspberry Pi que é capaz de gerar um hotspot WI-FI e uma visão de sua câmera adaptada através de um software de streaming ao vivo e oferece várias possibilidades de adição de módulos extras, possuindo conectores (USB, SPI e etc.), com uma autonomia de 4 horas. Além disso, o Raspberry Pi é responsável por conter toda estrutura de firmware para controle e desenvolvimento da base móvel.

Essa estrutura foi desenvolvida para ser controlada e acessada remotamente pelo *smartphone*, *tablet* ou *laptop* por meio de um aplicativo habilitado na *web* com suporte ao Windows, macOS, Android e Linux, sendo o seu código totalmente *open-source*.

A fim de facilitar a implementação de técnicas que utilizam base móveis, o robô utiliza a tecnologia ROS para comunicação entre os componentes, como rodas, câmaras e sensores, publicando tópicos responsáveis por controlar estes componentes.

Portanto, Leo Rover é o mais compacto, leve e capacitado dentre os outros robôs, possibilitando o alcance em ambientes e terrenos diversos. Com isso o usuário consegue explorar novas áreas remotamente aproveitando os *softwares* de *streaming* ao vivo de sua câmera.

2.4 LIDAR

A base do robô Leo Rover também possui um sensor LIDAR 2D, que é um sensor capaz de fazer medições de distâncias em 360°, na faixa de 10 centímetros até 15 metros com precisão de dez milímetros. LIDAR, sigla para *Light Detection and Ranging*, é um termo utilizado para designar a tecnologia de sensoriamento remoto. Em português a terminologia utilizada é Sistema de Varredura a Laser (1).

Um sistema LIDAR consiste na emissão de um pulso de laser com uma elevada frequência de repetição. O tempo de retorno desses pulsos entre o local inicial e os alvos é medido pelo sensor, permitindo a estimativa destas distâncias (2).

Neste projeto o sensor RPLIDAR A2M8 é utilizado como ferramenta para calcular a distância entre a base móvel e objetos e paredes do ambiente. Esse sensor retorna de sua varredura valores angulares com a distância do objeto para o sensor. Sua imagem pode ser observada na Figura 4.



Figura 4: Sistema de varredura a Laser RPLIDAR A2M8.

Para ter acesso aos dados da varredura do RPLIDAR através de tópicos ROS foi utilizado o pacote RP_LIDAR (9). Este pacote fornece suporte básico do dispositivo para *scanner a laser 2D RPLIDAR A1/A2 e A3*.

3. DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será introduzida a abordagem e os experimentos que foram realizados para o desenvolvimento do sistema de teleoperação semi-autônomo utilizado pela base móvel robótica. A estrutura é dividida em três etapas, a subseção 3.1 será demonstrado a aplicação de um sistema de teleoperação utilizando um *joystick* para envio de comandos lineares e angulares para a base móvel. Na subseção 3.2, será abordado um sistema autônomo de desvio de obstáculos. Por fim, a subseção 3.3 aborda a técnica de teleoperação semi-autônoma desenvolvida mesclando as técnicas de teleoperação e desvio de obstáculos.

3.1 Teleoperação

A teleoperação se aplica em áreas em que o operador necessita realizar operações de forma não presencial onde possivelmente a vida humana corre risco por ser às vezes um terreno hostil, ou em áreas desconhecidas, como o fundo do mar, cavernas e até no espaço. Na maioria desses casos uma base móvel robótica capaz de aguentar esses terrenos hostis possui custos muito altos, portanto uma teleoperação é muito importante nesses casos.

A teleoperação é uma técnica que permite que uma tarefa específica seja realizada

remotamente, mas ainda controlada por mãos, nos casos em que a ação direta não é possível, inadequada ou em situações em que é impossível definir rotinas para a operação seja devido à sua imprevisibilidade, grau de risco ou complexidade.

Portanto, foi desenvolvido um sistema de teleoperação onde a base móvel é controlada via troca de mensagens através de tópicos do ROS pela rede WI-FI. Assim, a técnica utilizada neste trabalho para navegação foi a de utilizar um *joystick* para controlar a base móvel robótica. O dispositivo utilizado pode ser observado na Figura 5.



Figura 5: *Joystick* utilizado para testes.

Para controlar o *joystick* foi desenvolvido um nó ROS que utiliza a biblioteca (nome da biblioteca e cotação), para ler as teclas pressionadas em um controle *joystick*. Para a movimentação do robô foi utilizada a leitura das teclas analógicas, que tem seu valor variável de 0 (não ativo) até 1 (totalmente ativo). O valor de saída da tecla pressionada é utilizado como velocidade angular e linear para o robô móvel, possibilitando movimentos mais suaves e adaptáveis durante o percurso.

Esta técnica apesar de funcional para a teleoperação, deixa todo o controle nas mãos do operador para teleoperar o robô móvel, não existindo nenhuma forma de evitar erros humanos durante a operação. Para resolver isso, é necessário um sistema autônomo integrado juntamente com essa técnica.

3.2 Desvio de obstáculos

Navegação e desvio de obstáculos são problemas fundamentais em bases móveis robóticas. Entre os problemas de desvio de obstáculos, robôs em ambientes desconhecidos podem não possuir uma estrutura física apropriada para determinado ambiente. Os tipos de navegação são essencialmente divididos em duas partes: navegação global e navegação local. Na navegação global o conhecimento do ambiente já é previamente conhecido pelo operador ou base móvel, e na navegação local, o ambiente é previamente desconhecido e incerto, de forma que a base móvel é equipada com câmeras e sensores para auxiliar na navegação e no trajeto.

Para a parte de desvio de obstáculos foi desenvolvido o algoritmo responsável por interpretar os dados do sensor RPLIDAR. O sensor coleta dados de distâncias em 360°, e dentre esses dados são obtidos 720 pontos diferentes. Foram então limitados os 720 pontos, dividindo o sensor ao meio, de forma que só fossem registrados os pontos dianteiro do robô, ou seja, os primeiros 360 pontos do sensor.

Para a implementação de identificação de objetos, a parte utilizada do sensor foi dividida novamente, desta vez em três segmentos: esquerda, direita e frente. Dessa forma, os

pontos utilizados foram de 0 a 120 para esquerda, de 121 a 240 para frente e 241 a 360 para direita do robô, conforme a Figura 6.

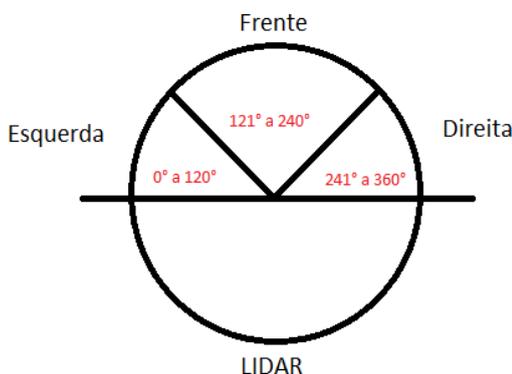


Figura 6: Divisão em segmentos do LIDAR.

Para este projeto, uma distância mínima, em metros, foi definida, chamada de “área de colisão”. Em qualquer situação em que um dos pontos do LIDAR identifica um objeto para colisão, o robô desvia para uma direção oposta, seguindo algumas regras definidas, que podem ser observadas na Tabela 1.

Possui objetos	Esquerda	Direita	Frente
Esquerda	Desvia para a direita	Permanece para a frente	Desvia para a direita
Direita	Permanece para a frente	Desvia para a esquerda	Desvia para a esquerda
Frente	Desvia para a direita	Desvia para a esquerda	Desvia para a esquerda ou desvia para a direita

Tabela 1: Critérios utilizados para desvio de obstáculos.

A Tabela 1 mostra onde possuem objetos ou paredes sendo captadas em uma das 3 zonas de tratamento do sensor. Portanto, se houver situações onde possuam objetos tanto na esquerda quanto na frente, a base móvel faz um desvio autônomo para a direita, por exemplo.

Para este experimento o robô tem uma velocidade linear e angular padrão definida para que ele execute durante o desvio de obstáculo. Não foi necessário para este experimento controlar as velocidades, visto que o objetivo era a validação do desvio de obstáculos.

Com o desenvolvimento da técnica autônoma para desvio de obstáculos concluída é então realizado o desenvolvimento da técnica de teleoperação semi-autônoma proposta por este trabalho.

3.3 Robô semi-autônomo controlado por joystick

A técnica de teleoperação semi-autônoma visa mesclar as técnicas de teleoperação e a técnica de desvio de obstáculos apresentadas anteriormente. O operador pode teleoperar a base móvel livremente, porém, a todo momento, de forma autônoma, a base móvel verifica o ambiente em busca de obstáculos no ambiente que podem interferir ou danificar sua estrutura em caso de colisão. Caso o operador perca o controle ou falhe durante a operação o robô assume o controle desviando os obstáculos e corrigindo a teleoperação.

Foi estabelecido para esta técnica uma área de detecção de colisão de 0.3 m. Caso um objeto esteja dentro desta área em rota de colisão, o robô assume o controle realizando o desvio. Após o desvio, a base móvel passa o controle total para o operador novamente, de forma em que o operador controla o robô por todo o trajeto designado e somente em situações em que a base móvel se sentisse “ameaçada” por algum obstáculo do ambiente ela tomaria o controle próprio para prevenir danos e acidentes, podendo arcar muitos prejuízos pela perda da base móvel.

Esta técnica foi validada tanto em ambiente virtual durante os primeiros testes para evitar falhas durante o desenvolvimento, quanto no ambiente real, mostrando ser eficaz para evitar colisões durante o percurso de teleoperação.

4. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma técnica de teleoperação semi-autônoma para evitar colisões durante a teleoperação de uma base móvel, podendo dessa forma alcançarem maior segurança ao equipamento e ao operador durante uma teleoperação.

Para realizar esta implementação primeiramente foi desenvolvido uma técnica de teleoperação utilizando um joystick para enviar velocidades angulares e lineares para a base móvel, realizando movimentações pelo ambiente com controle total do operador.

Uma técnica de desvio de obstáculo totalmente autônoma também foi implementada, onde uma velocidade fixa de movimentação foi enviada a base móvel, que tinha como objetivo, utilizar os dados providos pelo sensor LIDAR para realizar o desvio de obstáculos quando necessário.

A técnica de teleoperação e desvio de obstáculos foram mescladas para o desenvolvimento da técnica final de teleoperação semi-autônoma. Para essa técnica os testes foram realizados tanto em ambiente virtual, quanto em ambiente real onde o robô móvel foi submetido a erro de teleoperação humana e em um ambiente onde possui tanto obstáculos fixos quanto móveis, com pessoas circulando na área de operação.

Esta técnica se mostrou viável para aplicação em bases móveis, podendo ter seu uso no futuro implementados em diferentes equipamentos robóticos, como por exemplo, sistemas AUV (Veículos Autônomos Submersos) e VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado).

REFERÊNCIAS

ANTONIO, J.; CENTENO, S. **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.00.45/doc/3645-3652.pdf>>. Acesso em: 11 set.2022.

BALTSAVIAS, E.P. **A comparison between photogrammetry and laser scanning.** Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271699000143?via%3Dihub>> . Acesso em: 14 set.2022 .

CUI, J. et al. **A REVIEW OF TELEOPERATION SYSTEM CONTROL.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://dubel.org/misc/docs/fcar%202003%20ppr%20-%20fiu%20famu%20afr1%20final%20ver%201may2003.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2022.

Gazebo. Disponível em: <<https://gazebosim.org>>. Acesso em: 15 set.2022.

Leo Rover shop - Leo Rover v. 1.8 (assembled). Disponível em: <<https://www.leorover.tech/shop/leo-rover-assembled>>. Acesso em: 16 set. 2022.

Leo Rover | Tribotix. Disponível em: <<https://tribotix.com/product/leo-rover/>>. Acesso em: 16 set. 2022.

MARTINELLI, D. **Sistema Adaptativo para Teleoperação de Base Móvel Através de Reconhecimentos Gestuais**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28785/1/sistemaadaptativoreconhecimentosgestuais.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2022.

ROS Wiki. Disponível em: <<http://wiki.ros.org>>. Acesso em: 10 set. 2022.

rplidar - ROS Wiki. Disponível em: <<http://wiki.ros.org/rplidar>>. Acesso em: 10 set. 2022.

SHIROMA, P. **Trabalho Final de Robótica Desvio de Obstáculos**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://homepages.dcc.ufmg.br/~pshiroma/robotica/obstacleavoidance.pdf>>. Acesso em: 14 set. 2022.

WOLF, D.; CASTELO BRANCO, K. **Robôs Móveis e Veículos Autônomos: Pesquisa, Desenvolvimento e Desafios na área da Inteligência Artificial Mobile Robots and Autonomous Vehicles: Development of Intelligent Robots and the Challenges for Artificial Intelligence Research**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://osorio.wait4.org/publications/2010/CI_CLEI2010-Tutorial-RMeVA_v2a.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.