



Desempenho do sensor LIDAR em identificação de objetos

LIDAR sensor performance in object identification

José Mário Nishihara de Albuquerque¹, Davi Riiti Goto Do Valle²,
Ronnier Frates Rohrich³

RESUMO

Nesse artigo exploramos a construção, desenvolvimento e testes de um robô capaz de inspecionar cabos de alta tensão e suas torres de maneira precisa e segura, contribuindo para a redução dos riscos associados à manutenção de linhas de transmissão de energia elétrica. Utilizando uma abordagem que combina simulação e prototipagem real, detalhamos o processo de desenvolvimento da simulação, incluindo a criação do ambiente de teste controlado com um cabo simplificado e a configuração do sensor *LIDAR* (*Laser Imaging Detection and Ranging*). Demonstramos a importância crucial da escolha adequada do ângulo de abertura e da frequência de leitura do sensor para a detecção eficaz de objetos. Além disso, discutimos dois algoritmos desenvolvidos para processar os dados do sensor *LIDAR*, com foco na distinção de objetos com base na discrepância de altura e na medição da distância média. Esses algoritmos desempenham um papel essencial na interpretação do ambiente pelo robô. Este estudo destaca a importância da configuração do sensor *LIDAR* e o desenvolvimento de algoritmos para aprimorar a detecção de objetos em aplicações de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica, visando à eficácia e à segurança das operações.

PALAVRAS-CHAVE: Linhas de Transmissão; Robô de Inspeção; Sensor *LIDAR*; Simulação.

ABSTRACT

In this article, we delve into the construction, development, and testing of a robot capable of precisely and safely inspecting high-voltage cables and their towers, contributing to the reduction of associated risks in the maintenance of power transmission lines. Employing an approach that integrates simulation and real prototyping, we elaborate on the simulation development process, including the creation of a controlled test environment with a simplified cable and the configuration of the LIDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) sensor. We underscore the critical importance of selecting the appropriate angle of aperture and reading frequency for effective object detection by the sensor. Furthermore, we discuss two algorithms devised to process LIDAR sensor data, focusing on object differentiation based on height disparity and distance measurement. These algorithms play a pivotal role in the robot's environmental interpretation. This study underscores the significance of LIDAR sensor configuration and the development of algorithms to enhance object detection in power transmission line inspection applications, with an emphasis on effectiveness and operational safety.

PALAVRAS-CHAVE: Power Transmission Lines; Inspection Robot; LIDAR Sensor; Simulation.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de um robô capaz de percorrer cabos de alta tensão, superar obstáculos e realizar inspeções confiáveis nas proximidades de cabos, torres e na própria linha de transmissão é o cerne deste projeto, assemelhando-se a iniciativas anteriores, como o trabalho de (QIN et al., 2018), que apresenta uma solução para a inspeção automatizada de linhas de transmissão de energia por

¹ (Orientado) Graduação em Engenharia Eletrônica; E-mail: josalb@alunos.utfpr.edu.br.

² (Co-autor) Graduação em Engenharia Eletrônica; E-mail: daviriiti@alunos.utfpr.edu.br.

³ (Orientador) Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN); E-mail: rohrich@utfpr.edu.br;

 <https://orcid.org/0000-0002-4523-8536>.



meio de dois braços equipados com rodas, uma câmera e um sensor *LIDAR*, e também ao estudo de (JIANG et al., 2019), que aborda o planejamento de trajetória para um robô de manutenção de linhas de transmissão. O artigo (NEUTA et al., 2018) faz o uso de um sensor *LIDAR* para criar um sistema de reconhecimento e classificação de baixo custo, ele faz o uso de um motor adicional ligado ao sensor para move-lo em um eixo adicional, criando uma nuvem de pontos em 3 dimensões e então usa essa nuvem para indentificar objetos.

O objetivo deste projeto consiste na construção de um robô capaz de executar essas tarefas com precisão e segurança, com o propósito de mitigar os riscos associados à inspeção e manutenção de linhas de transmissão de energia elétrica e o objetivo desse principal desse artigo é percorrer sobre o uso do sensor *LIDAR* para identificação de objetos. Para atingir tal meta, emprega-se uma abordagem que combina simulação e o desenvolvimento de protótipos reais.

Inicialmente, uma simulação detalhada do robô e do ambiente de trabalho foi desenvolvida no software *CoppeliaSim*, que permite a criação e execução de simulações com dinâmica realista. A Figura 1 mostra o ambiente e o sensor. A simulação permite testar e aprimorar o projeto do robô em um ambiente virtual antes de avançar para a fase de construção física do protótipo. Após os testes na simulação, os esforços são concentrados na construção de um protótipo funcional da garra do robô, que desempenha um papel crítico na capacidade de aderência e movimentação ao longo do cabo de alta tensão. A comparação entre os resultados da simulação e as capacidades reais do protótipo permite a avaliação da eficácia do projeto e a identificação de áreas que necessitam de ajustes ou melhorias.

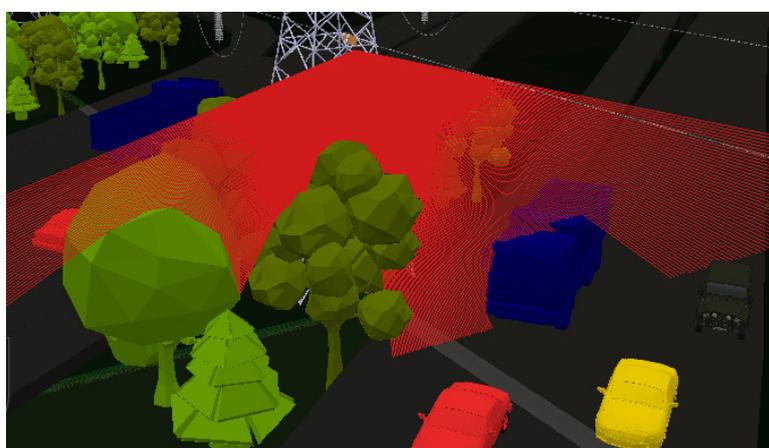


Figura 1 – Ambiente de simulação com sensor.

Este artigo descreve em detalhes o processo de desenvolvimento da simulação e dos algoritmos utilizados pelos programas que controlam o robô e realizam a leitura do sensor *laser* acoplado ao robô.

METODOLOGIA

O ambiente de simulação foi composto por duas torres posicionadas a uma distância adequada, com um cabo cilíndrico reto estendido entre elas, a figura 2 mostra uma versão simplificada da

simulação, que foi usada para realizar os testes. Embora uma representação realista da flexão do cabo tenha sido desejada, devido à complexidade dos cálculos dinâmicos envolvidos, optou-se por um cabo reto simplificado para fins de simulação. Isso permitiu a criação de um ambiente de teste controlado, facilitando a avaliação das capacidades do robô.

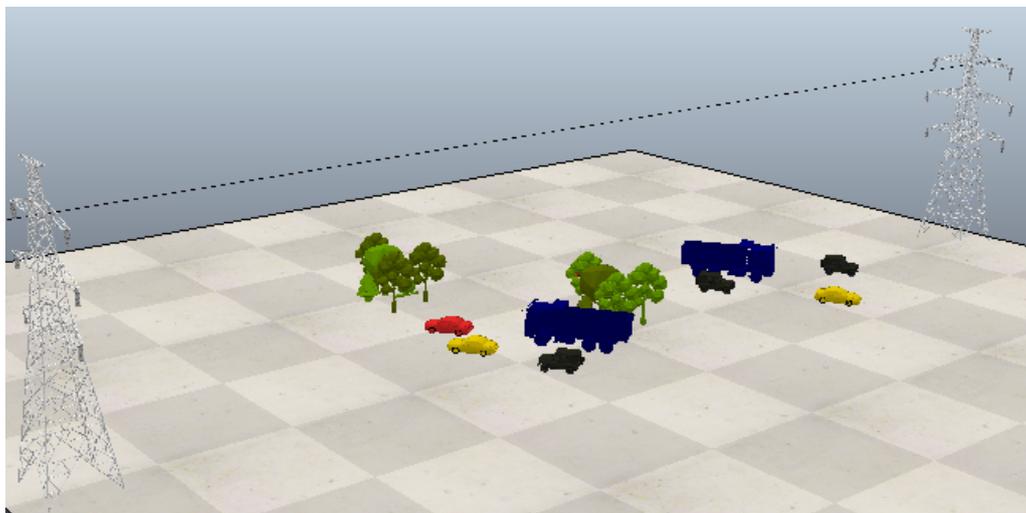


Figura 2 – Simulação simplificada.

A simulação foi executada com precisão pelos movimentos do robô real. A velocidade do robô foi controlada pelos motores nas polias superiores, permitindo ajustes de acordo com os requisitos do experimento e as travas, mostradas na figura 3, controladas pelos motores localizados no centro da garra. Ao longo deste estudo, um sensor *laser* modificado foi utilizado para inspecionar a faixa de passagem (a área localizada abaixo da linha de transmissão com dimensões específicas para segurança operacional). Este sensor é um *LIDAR* (*Laser Imaging Detection and Ranging*) com ângulo de abertura configurável e leituras ajustáveis. No ambiente de simulação, o sensor foi posicionado estrategicamente abaixo do robô, orientado em direção ao solo, e realizou leituras de distância em linha reta perpendicular ao cabo.

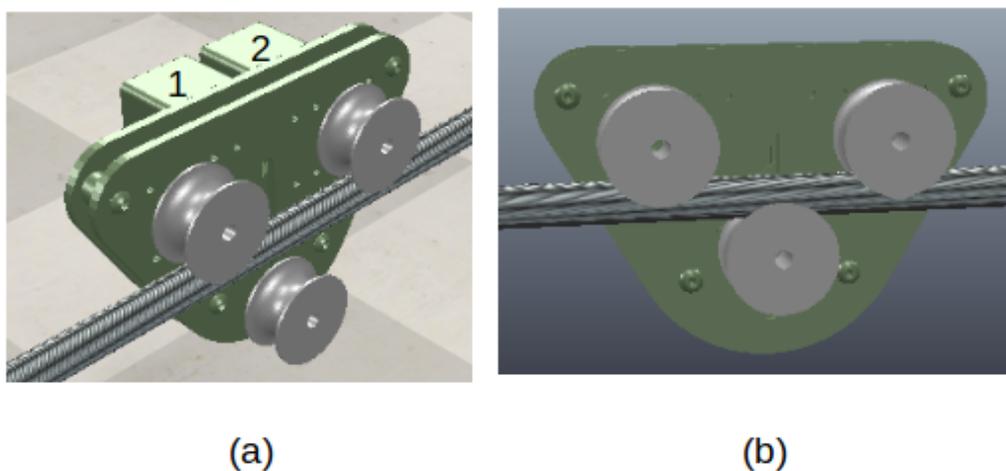


Figura 3 – (a) 1 Motor para controle da trava, 2 motor para controle de velocidade. (b) Trava acionada.

Alguns modelos de vegetação e carros foram incorporados ao cenário de simulação para



realizar os testes do sensor laser *LIDAR*. Um terreno plano no chão serviu como referência para o robô. O processo de simulação envolveu a execução de uma série de testes nos quais o robô recebeu comandos específicos para agarrar o cabo, mover-se ao longo dele e realizar tarefas de inspeção, como coletar dados do sensor *laser*. A comunicação entre o robô e o programa de controle foi estabelecida por meio de um programa desenvolvido para converter mensagens de controle de velocidade em parâmetros compreensíveis pelo script de simulação. Ao iniciar a simulação, um tópico de comunicação foi criado no script correspondente ao sensor. Este script publicou uma matriz contendo todos os valores lidos pelo sensor, incluindo informações de altura e ângulo de leitura. O robô usado nos testes foi projetado para afixar o sensor *LIDAR* ao seu corpo. Dois conjuntos de travas motorizadas foram fixados no cabo a 20 metros acima do solo, e a velocidade do robô foi ajustada para 0,2 m/s. Essas configurações e restrições possibilitaram testar o sensor em um ambiente controlado. Embora algumas limitações tenham sido encontradas devido à complexidade da simulação, o principal objetivo era avaliar as características físicas e de inspeção do sistema robótico, como sua capacidade de distinguir entre diferentes objetos, como o solo, árvores e veículos. Outro aspecto importante era determinar a combinação ideal do ângulo de abertura do sensor em relação à frequência das leituras realizadas.

No âmbito deste artigo, dois algoritmos foram desenvolvidos utilizando os dados do sensor. O primeiro algoritmo, mostrado em Algoritmo 1 gerava um valor único para cada objeto detectado pelo sensor, baseando-se na discrepância de altura do objeto em observação. Este valor foi empregado para distinguir os objetos presentes na cena, exclusivamente com base nas leituras do sensor *LIDAR*, a Figura 4 mostra um exemplo de funcionamento. O segundo algoritmo, mostrado em Algoritmo 2 calculava a distância média entre o robô e os objetos detectados. Este algoritmo dividia a cena em quatro setores distintos e fornecia a distância média para cada um desses setores.

Algorithm 1 Algoritmo para identificação de elementos.

```
1: for iteration = 0,1,2, . . . do                                ▶ Distância em metros de cada leitura.
2:    $d[i] \leftarrow ranges[i] \times \cos(ang[i])$ 
3: end for
4: for iteration = 0,1,2, . . . do                                ▶ Cálculo do número único.
5:    $df \leftarrow |d[i] - d[i + 1]|$ 
6:    $s \leftarrow s + df$ 
7: end for
8: return s                                                    ▶ Número único de cada objeto.
```

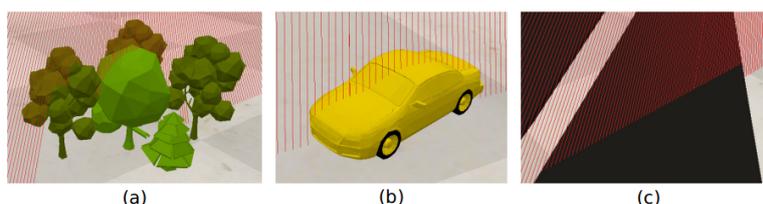


Figura 4 – (a) Leitura e cálculo do número único para árvores, variando de 62 a 202. (b) Leitura e cálculo do número único para carros, variando de 51 a 97. (c) Leitura e cálculo do número único para o solo, número fixo.



Algorithm 2 Algoritmo para calculo de distância.

```
1: for iteration = 0,1,2, . . . do                                ▶ Calculo da média dividida em 4 setores.
2:   for iteration = 0,1,2,3 do                                  ▶ Calculo da média dividida em 4 setores.
3:      $s[i] \leftarrow s[i] + range[j]$ 
4:      $n[i] \leftarrow n + 1$ 
5:   end for
6:    $s[i] \leftarrow \frac{s[i]}{n[i]}$ 
7: end for
8: return s                                                    ▶ Retorna 4 números.
```

RESULTADOS

Os resultados obtidos neste estudo revelam a importância fundamental da escolha adequada do ângulo de abertura e da quantidade de leituras para o sensor *LIDAR* em aplicações de detecção de objetos. Foi evidenciado que a otimização desses parâmetros desempenha um papel crucial no desempenho eficiente do sensor.

Durante os testes realizados, observou-se que configurações com um ângulo de abertura situado na faixa de 50 a 100 graus, combinadas com uma frequência de leitura mais elevada, apresentaram um desempenho superior. Essas configurações permitiram um equilíbrio delicado entre a detecção ampla do ambiente e a identificação precisa de objetos. Além disso, elas geraram maior confiança na capacidade do sensor de identificar objetos com precisão. Por outro lado, configurações subótimas, caracterizadas por ângulos de abertura mais estreitos e frequência de leitura reduzida, tiveram um impacto severo na eficácia do sensor. Essas configurações resultaram em níveis de precisão de detecção abaixo de 50%, comprometendo a capacidade do sensor de identificar corretamente os objetos em seu entorno. É importante ressaltar que, em algumas situações, aumentar excessivamente esses parâmetros, como o ângulo de abertura e a frequência de leitura, também teve impactos negativos. Isso ocorreu devido às potenciais limitações no processamento e análise de dados, o que reduziu a confiança nos resultados obtidos. A Tabela 1 mostra a precisão das associações testadas no simulador.

CONCLUSÕES

Neste estudo, realizamos uma análise abrangente do desempenho do sensor *LIDAR* na identificação de objetos em diversas configurações operacionais. O objetivo principal era avaliar a capacidade do sensor de distinguir objetos, como o solo, árvores e veículos. Os resultados obtidos destacam a importância crítica dos parâmetros operacionais, especificamente o ângulo de abertura do sensor e a quantidade de leituras, na busca pela identificação precisa de objetos.

A simulação desempenhou um papel fundamental na construção do protótipo do robô e na determinação das configurações ideais para o sensor *LIDAR*. Através desses testes virtuais, adquirimos um profundo entendimento do comportamento do sistema, o que nos orientou na otimização das configurações do sensor. Isso se traduzirá em um desempenho mais eficiente e preciso do robô em aplicações futuras.



XIII Seminário de Extensão e Inovação XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR

Ciência e Tecnologia na era da Inteligência Artificial: Desdobramentos no Ensino Pesquisa e Extensão
20 a 23 de novembro de 2023 - Campus Ponta Grossa, PR



Tabela 1 – Resultados referentes à precisão na identificação de objetos por meio do sensor LIDAR.

Ângulo	Leituras	Chão	Carro min	Carro max	Árvore min	Árvore max	Precisão
50	100	2.5	14	103	64	222	76.13%
50	200	3.6	9	54	35	115	75.65%
50	400	3	6	29	19	61	73.77%
100	100	73.8	85	150	103	234	43.59%
100	200	45.5	51	97	62	202	57.43%
100	400	26.4	28	52	42	83	54.22%
140	100	227.7	239	305	268	383	27.94%
140	200	122	127	160	153	227	40.97%
140	400	66.1	68	91	75	116	27.59%
150	100	269	280	369	300	440	20.68%
150	200	142.8	148	193	174	245	31.84%
150	400	76.8	79	102	86	132	28.03%
160	100	312	324	389	343	473	21.78%
160	200	164.3	169	214	193	251	24.30%
160	400	87.8	90	112	103	141	29.79%

Agradecimentos

Aos professores que desempenharam um papel fundamental no progresso deste projeto: O Prof. Dr. Ronnier Frates Rohrich, responsável por orientar esta pesquisa, e o Prof. Dr. André Schneider de Oliveira. Quero também manifestar minha gratidão ao CNPq, à UTFPR e ao meu colega coautor, Davi Riiti Goto Do Valle, cuja colaboração e esforço enriqueceram substancialmente este artigo.

REFERÊNCIAS

- JIANG, Wei et al. Research on dual-arm coordination motion control strategy for power cable mobile robot. **Transactions of the Institute of Measurement and Control**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 41, n. 11, p. 3235–3247, 2019.
- NEUTA, Nicolás Llanos et al. Low-cost recognition and classification system based on LIDAR sensors. In: 2018 IEEE 2nd Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA). [S.l.: s.n.], 2018. P. 1–6. DOI: [10.1109/CCRA.2018.8588139](https://doi.org/10.1109/CCRA.2018.8588139).
- QIN, Xinyan et al. Detecting inspection objects of power line from cable inspection robot LiDAR data. **Sensors**, MDPI, v. 18, n. 4, p. 1284, 2018.