



Robô para inspeção confiável de linhas de transmissão Robot for reliable inspection of transmission lines

Davi Riiti Goto Do Valle¹, Jose Mario Nishihara De Albuquerque²,
Ronnier Frates Rohrich³

RESUMO

A inspeção de linhas de transmissão de energia é muitas vezes uma atividade altamente perigosa, sujeita a incertezas devido ao sistema e às características ambientais. O presente estudo tem como objetivo desenvolver um robô móvel para inspeção de linhas de transmissão. O processo de desenvolvimento abrange uma série de etapas fundamentais. Inicialmente é criado um ambiente de simulação realista, contendo um trecho autêntico de uma linha de transmissão. Posteriormente, o robô simulado é projetado e equipado com uma câmera e sensor para inspecionar a linha de transmissão simulada. Uma vez validados os resultados da simulação, o protótipo real do robô é materializado. Esta abordagem permite uma avaliação precisa do desempenho do robô, possibilitando ajustes e melhorias necessárias para garantir a eficácia da inspeção da linha de transmissão. O protótipo consiste em uma garra robótica capaz de realizar inspeções preventivas e preditivas em linhas de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE: Inspeção, linhas de transmissão de energia, robô móvel.

ABSTRACT

Inspection of power transmission lines is often a highly hazardous activity, subject to uncertainties due to the system and environmental characteristics. The present study aims to develop a mobile robot to inspect transmission lines. The development process encompasses a series of fundamental steps. Initially, a realistic simulation environment is created, containing an authentic section of a transmission line. Subsequently, the simulated robot is designed and equipped with a camera and sensor to inspect the simulated transmission line. Once the simulation results are validated, the real prototype of the robot is materialized. This approach allows for a precise evaluation of the robot's performance, enabling necessary adjustments and enhancements to ensure the effectiveness of transmission line inspection. The prototype consists of a robotic gripper capable of conducting preventive and predictive inspections in transmission lines.

KEYWORDS: Inspection, power transmission lines, mobile robot.

INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta uma metodologia para desenvolvimento de um protótipo de robô para automatizar a inspeção de linhas de transmissão de energia, com enfoque na mecânica, fixação no cabo, mobilidade e estabilidade do robô. O sistema proposto visa melhorar o processo de inspeção, reduzir custos de manutenção, aumentar a segurança do operador e aumentar a confiabilidade do sistema de transmissão. A natureza extensa e perigosa das linhas de transmissão de energia exige inspeções regulares, que atualmente envolvem elevados gastos e riscos para os operadores.

¹ (Orientado) Graduando em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: daviriiti@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 3653171597496679.

² (Co-autor) Graduando em Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: josalb@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7088359161571612.

³ (Orientador) Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: rohrich@utfpr.edu.br. ID Lattes: 7247685185606377.



O robô proposto se movimentara sobre um cabo de alta tensão e futuramente realizara inspeções em longos vãos predefinidos, coletando dados em tempo real sobre a integridade dos componentes das linhas de transmissão, vegetação próxima às linhas e outros fatores ambientais. Ao analisar as fundações da torre, peças faltantes na estrutura, estado da vegetação, cadeias de isoladores e integridade dos cabos, o robô permitirá a previsão de potenciais intervenções e evitará interrupções no fornecimento de energia.

TRABALHOS RELACIONADOS

Associado ao projeto mecânico, foram realizadas pesquisas sobre as principais topologias já desenvolvidas no campo científico, identificando as tendências mais evidentes em trabalhos relacionados no que diz respeito à topologia mecânica para navegação por cabos.

O trabalho de (QING et al., 2016) discute o processo de transposição de obstáculos para um robô de dois braços com rodas na extremidade. O robô possui um sistema de preensão no cabo, semelhante a uma garra, que permite que um braço agarre enquanto o outro ultrapassa o obstáculo. Esta abordagem é comum em muitas obras e tradicionalmente inspirada no movimento dos primatas. (YUE; WANG, H.; JIANG, Y., 2017) discute um mecanismo de ação em linhas de transmissão de 110kV também inspirado no movimento de primatas. O projeto utiliza dois braços com rodas na extremidade e uma junta linear para contornar os elementos da linha.

Testes de laboratório são realizados para ilustrar o dimensionamento e a evitação de obstáculos. (LIMA; BOMFIM; MOURÃO, 2018) descreve o projeto de um robô de inspeção de linhas de transmissão utilizando a topologia de dois braços com rodas na extremidade, com a diferença de que os braços são duplos e possuem uma segunda roda serial para apoio. Em (JIANG, W.; YAN et al., 2019), é discutido o planejamento de trajetória para um robô de manutenção de linhas de transmissão. O sistema é projetado com topologia de duas rodas, mas possui dois braços para operação na linha. O trabalho visa planejar trajetórias para que os braços possam desempenhar funções em elementos de linha sem colidir com o cabo energizado.

Em (JIANG, W.; WU et al., 2019) e (Jiang2022), são abordadas a coordenação entre os braços e o controle de força para manutenção do elemento de linha, e as características dinâmicas de caminhada e controle do robô móvel de quatro rodas em linha de transmissão multi-split de tensão ultra-alta. . (ZHU; WANG, X.; XU, 2016) apresentam um robô de dois braços com um diferencial: um sistema de prensagem de rodas com rodas livres adicionais abaixo do cabo. Porém, o trabalho concentra-se na identificação visual de objetos utilizando processamento puro de imagens, sendo empregadas quatro câmeras convencionais. O objetivo é identificar elementos de linha como espaçadores e isoladores. Duas câmeras medem a distância entre a roda acionada e o cabo, visando ajustar a identificação de espaçamentos que possam afetar a movimentação do sistema. A técnica de processamento é baseada na identificação de objetos, segmentação e comparação de contornos.

O CONCEITO DA PINÇA DE CABO ROBÓTICA

Este trabalho apresenta uma metodologia única para o desenvolvimento de um protótipo real de robô para inspeção de linhas de transmissão de energia. São detalhadas as etapas fundamentais para a construção do protótipo, destacando a importância de cada etapa do processo de desenvolvimento. Inicialmente é necessário estabelecer o ambiente de simulação, que envolve a criação virtual de torres, cabos e outros componentes encontrados em linhas de transmissão. Esta etapa é crucial para compreender as características do ambiente e validar as funcionalidades do robô. Posteriormente, o robô simulado é construído, visando replicar com precisão as características e capacidades do futuro protótipo real. Esta etapa envolve projetar e construir um modelo virtual de robô, considerando aspectos mecânicos, eletrônicos e de locomoção. A terceira etapa consiste na simulação, onde o robô simulado é submetido a diferentes cenários e tarefas de inspeção em ambiente virtual. Esta simulação permite avaliar o desempenho do robô em diversas situações, identificando possíveis problemas e otimizando suas capacidades. Por fim, a construção do robô real é baseada nas informações obtidas nas etapas anteriores. Nesta etapa é construído o protótipo real do robô, considerando os aspectos mecânicos, eletrônicos e de programação necessários para sua plena funcionalidade.

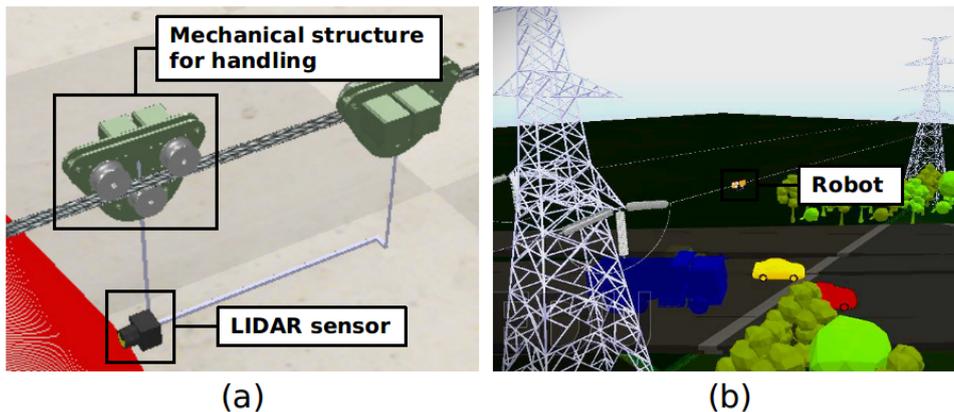


Figura 1 – O ambiente criado para simulação. (a) Estrutura mecânica para movimentação do cabo. (b) O ambiente completo com todos os elementos a serem inspecionados.

SISTEMA DE INSPEÇÃO REAL

Simulação robótica é uma ferramenta poderosa no desenvolvimento e teste de algoritmos de controle e inspeção para sistemas autônomos. Neste contexto, exploramos um sistema de inspeção de linhas de transmissão através de uma simulação detalhada e precisa, empregando o *Robot Operating System* (ROS) e o simulador *CoppeliaSim*. A simulação é iniciada com o robô recebendo comandos específicos para agarrar, mover e detectar ao longo das linhas de transmissão. Para a comunicação entre o robô e o programa de controle, foi desenvolvido um programa simples para converter as mensagens de controle de velocidade nos parâmetros necessários ao script de simulação. A figura 1 representa o ambiente criado para simulação.

Com base nos resultados simulados foi possível desenvolver um protótipo do sistema de

inspeção real. Assim, um dispositivo foi projetado para alcançar prototipagem de baixo custo, simplificando os processos de fabricação. Foram utilizados alguns componentes mecânicos comerciais prontamente disponíveis, enquanto outras peças precisavam ser projetadas para construção usando manufatura aditiva. O projeto facilitou uma montagem simples e verificou propriedades dimensionais como massa, centro de gravidade, largura, espessura e altura. A figura 2 ilustra o processo de fabricação e montagem do protótipo.

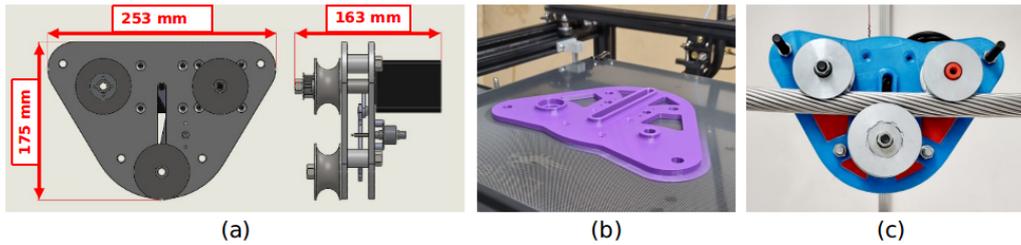


Figura 2 – (a) Projeto da pinça. (b) Processo de fabricação. (c) Protótipo finalizado.

Os atuadores responsáveis pela movimentação do protótipo são *servomotores Closed Loop Stepper Motor CS-M22313* (motores de passo equipados com feedback). Esses motores combinam as características dos motores de passo com funcionalidade de feedback, permitindo melhor controle de posição e velocidade.

A conclusão do protótipo do sistema de inspeção robótica possibilitou a realização de testes de travamento e movimentação de cabos na transmissão de energia, conforme apresentado na Figura 3.

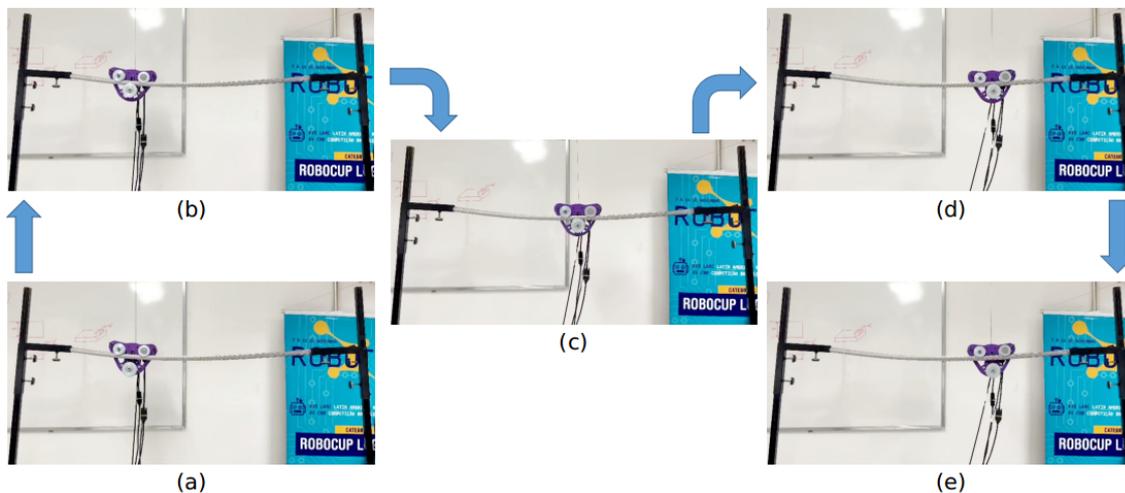


Figura 3 – (a) Posição inicial do robô desbloqueado. (b) Posição inicial do robô travado. (c) Posição intermediária do robô. (d) Posição final do robô travado. (e) Posição final do robô desbloqueado.

Esses testes permitiram avaliar a eficácia do dispositivo em cenários reais, simulando condições operacionais muito semelhantes às encontradas em ambientes de linhas de transmissão. Por meio dessas avaliações, o protótipo demonstrou a capacidade de travar o cabo de forma segura e estável usando suas travas motorizadas. Ele exibiu a capacidade de atravessar o cabo com precisão e controle. Estes resultados são cruciais na validação da funcionalidade do sistema de inspeção robótica, representando um marco significativo rumo à sua potencial aplicação em atividades de inspeção e monitoramento em linhas de transmissão de energia.



CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O sistema real de inspeção desenvolvido durante esta pesquisa facilitou a verificação e o refinamento dos aspectos construtivos e cinemáticos, culminando na criação de um protótipo capaz de fixação segura ao cabo e movimentos autônomos em diversas direções. Assim, esforços futuros podem ser direcionados para aprimorar o sistema de inspeção real, integrando sensores adicionais ao protótipo, como sensores de temperatura e descarga parcial, juntamente com câmeras reais de precisão. Esta abordagem progressiva abrirá caminho para o refinamento da solução, permitindo eventualmente inspeções em linhas de transmissão de energia reais.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), ao meu colega coautor Jose Mario Nishihara De Albuquerque e ao professor orientador Ronnier Frates Rohrich por seu apoio inestimável na criação deste artigo. Suas contribuições foram essenciais para o sucesso deste trabalho. Muito obrigado a todos.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- JIANG, Wei; WU, Gongping et al. Manipulator multi-objective motion optimization control for high voltage power cable mobile operation robot. **Journal of ambient intelligence and humanized computing**, Springer, v. 10, p. 893–905, 2019.
- JIANG, Wei; YAN, Yu 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.
- LIMA, Eduardo José; BOMFIM, Marcelo Henrique Souza; MOURÃO, Miguel Augusto de Miranda. POLIBOT–power lines inspection robot. **Industrial Robot: An International Journal**, Emerald Publishing Limited, v. 45, n. 1, p. 98–109, 2018.
- QING, Zhou et al. Mechanical design and research of a novel power lines inspection robot. In: 2016 International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM). [S.l.: s.n.], 2016. P. 363–366.
- YUE, Xiang; WANG, Hongguang; JIANG, Yong. A novel 110 kV power line inspection robot and its climbing ability analysis. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 14, n. 3, p. 1729881417710461, 2017.

**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*



**SEI-SICITE
2023**



ZHU, Yanhuan; WANG, Xin; XU, Bo. Design of vision-based obstacle crossing of high-voltage line inspection robot. In: IEEE. 2016 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER). [S.l.: s.n.], 2016. P. 506–511.