

RELATÓRIO TÉCNICO ITV MI

DISPOSITIVO ROBÓTICO PARA INSPEÇÃO DE AMBIENTES RESTRITOS E CONFINADOS

Relatório Final do Projeto Dispositivo Robótico para Inspeção de Ambientes Confinados

Gustavo Medeiros Freitas²
Gilmar Pereira da Cruz Júnior²
Israel Filipe Silva Amaral²
David Simon Marques²
Douglas Viana Coutinho²
Guilherme Poluceno Pereira²
Carolina Fany Andreoni Duarte²
João Felipe Ribeiro Baião²
Gabriel Lopes Machado²
Jacó Dias Domingues¹
Luiz Guilherme Dias de Barros¹
André Luiz Maciel Cid¹
Alexandre Magno de S Thiago Filho¹
Mário César Delunardo Torres¹
Nilton Costa Pereira de S Thiago Neto¹
Renato Silva Pereira Júnior¹
Matheus Caiaffa Moreira de Oliveira¹
Héctor Ignacio Azpúrua Perez-Imaz¹
Gustavo Pessin¹

Ouro Preto/ MG
Fevereiro/2022

Título: Dispositivo robótico para inspeção de ambientes restritos e confinados	
PROD. TEC. ITV MI – N001/2023	Revisão 01
Classificação: () Confidencial () Restrita (X) Uso Interno () Pública	

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Nota de capa

1 ITV, 2 UFMG

Citar como: FREITAS, Gustavo Medeiros *et al.* **Dispositivo robótico para inspeção de ambientes restritos e confinados.** Ouro Preto: ITV, 2023. (Relatório Técnico – N001/2023).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F936d

Freitas, Gustavo Medeiros

Dispositivo robótico para inspeção de ambientes restritos e confinados.
Gustavo Medeiros Freitas... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2023.

47 p.: il.

Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2023

PROD.TEC.ITV.MI – N001/2023

DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.MI.2023.1.Freitas

1. Robôs Móveis. 2. Navegação Autônoma. 3. Inspeção Remota. 4. Ambientes Confinados. I. Cruz Junior, Gilmar Pereira. II. Amaral, Israel Filipe Silva. III. Marques, David Simon. IV. Coutinho, Douglas Viana et al. V. Título.

CDD.23. ed. 629.8933

RESUMO EXECUTIVO

Este documento corresponde relatório técnico final do projeto intitulado “Dispositivo Robótico para Inspeção de Ambientes Restritos e Confinado”, realizado pelo Instituto Tecnológico Vale (ITV) em parceria com o Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O objetivo do projeto consistiu em investigar e iniciar desenvolvimentos visando operações assistidas e autônomas do dispositivo robótico. Este relatório apresenta informações da equipe executora responsável pelo projeto, descreve as soluções propostas para a navegação autônoma do EspeleoRobô incluindo técnicas de localização e mapeamento de ambientes confinados, planejamento de caminhos em terrenos acidentados, controle de navegação por campos vetoriais artificiais, navegação autônoma em sistemas de dutos e galerias, e soluções para melhorar a comunicação viabilizando a teleoperação do robô, e por fim resume os principais resultados obtidos durante o projeto. Cabe destacar que os algoritmos implementados em pacotes do *Robot Operating System* (ROS) estão disponibilizados no github do Laboratório de Robótica do Instituto Tecnológico Vale. A verificação desses pacotes foi realizada por meio de simulações em cenários realistas e também de experimentos executados com o próprio EspeleoRobô, demonstrando as capacidades de operação autônoma do dispositivo robótico para a inspeção de ambientes confinados.

RESUMO

A exploração e realização de tarefas em ambientes confinados representam riscos aos operadores envolvidos. Muitas estruturas de difícil acesso, incluindo sistemas de tubulações, galerias de drenos e barragens, moinhos e silos requerem manutenção constante, aumentando a exposição destes operadores a condições adversas. Outro exemplo são as cavernas naturais, comumente encontradas em regiões de formação de ferro e áreas de mineração, que devem ser investigadas antes de realizar qualquer atividade de exploração nas proximidades. Cavidades naturais podem apresentar vários riscos, como a presença de animais peçonhentos, gases nocivos, excrementos de morcegos e o risco de colapso estrutural. Uma possível solução consiste na utilização de um dispositivo robótico móvel capaz de investigar estes ambientes de forma remota, evitando a exposição dos operadores a riscos. Entretanto, do ponto de vista da robótica, cavernas naturais apresentam uma série de dificuldades, incluindo terrenos acidentados e escorregadios, ausência de sinal de GPS, interferências em leituras de magnetômetros, baixa luminosidade e atenuação de sinais para comunicação. As condições de operação são tão desafiadoras que o desafio de robótica proposto pela agência de defesa americana - DARPA SubT Challenge – consiste na utilização de robôs para a exploração de túneis, metrô e cavernas. Nesse contexto, o Instituto Tecnológico Vale, em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais, participaram do desenvolvimento de um dispositivo robótico para a inspeção de ambientes confinados. Este robô possui um sistema intercambiável de locomoção, capaz de se adaptar a diferentes tipos de terrenos, mais um conjunto de sensores embarcados incluindo encoders, GPS, IMU, câmeras de alta resolução, sistema de iluminação e laser tridimensional para mapear o ambiente por meio de uma nuvem de pontos 3D coloridos. As operações de inspeção de campo já realizadas com o dispositivo ocorreram de maneira teleoperada, com o robô recebendo comandos de uma base de controle via rádio ou cabo umbilical. Falhas de comunicação podem causar acidentes e danos na estrutura do robô, ou até mesmo a perda do equipamento caso esse entre em uma área que impossibilite o resgate. Uma solução para o problema seria dar autonomia ao dispositivo. As atividades de pesquisa realizadas durante o projeto tiveram como objetivo o estudo, implementação e validação de técnicas de localização e mapeamento, planejamento de caminhos, controle por campos vetoriais, navegação autônoma em sistemas de dutos e galerias, e soluções para melhorar a comunicação entre robô e base de operação. Além disso, foram desenvolvidas funcionalidades para a operação assistida do robô, de forma a reduzir a necessidade de comunicação com uma base de controle, e possibilitar a operação autônoma do dispositivo robótico.

Palavras-chave: Robôs Móveis. Navegação Autônoma. Inspeção Remota. Ambientes Confinados.

ABSTRACT

Exploration and accomplishment of tasks in confined environments represent risks to the operators involved. Many difficult access structures, including piping systems, drain and dam galleries and mills require constant maintenance, increasing the exposure of these operators to adverse conditions. Other examples are the natural caves commonly found in iron-forming regions and mining areas, which should be investigated before undertaking any exploration activity nearby. Natural caves can present numerous risks, such as the presence of venomous animals, harmful gases, bat excrements and the risk of structural collapse. One possible solution is to use a mobile robotic device that can remotely investigate these environments, avoiding operator exposure to hazards. However, from a robotics point of view, natural caves present several difficulties, including rugged and slippery terrain, no GPS signal, interference with magnetometer readings, low light and attenuation of communication signals. The operating conditions are so challenging that the robotics challenge proposed by the US Defense Agency - DARPA SubT Challenge - encourages the use of robots to explore tunnels, subways and caves. In this context, the Instituto Tecnológico Vale in partnership with the Universidade Federal de Minas Gerais participated in the development of a robotic device for the inspection of confined environments. This robot features an interchangeable locomotion system, capable of adapting to different terrains, and a set of embedded sensors including encoders, GPS, IMU, high resolution cameras, lighting system and three-dimensional laser to map the environment through a colored 3D point cloud. Field inspection operations with the device were performed through teleoperation, with the robot receiving commands via radio or umbilical cable. Communication failures can cause accidents and damage to the robot's structure, or even loss of equipment if it enters in an area where rescue is not possible. One solution to the problem would be to develop autonomous capabilities for the device. The research activities carried out during the project aimed to study, implement and validate localization and mapping techniques, path planning, vector field control, autonomous navigation in duct and gallery systems, and solutions for improving communication between the robot and the operating base. In addition, functionalities were developed to assist the robot's operation, in order to reduce the need for communication with a control base, and to allow the autonomous operation of the robotic device.

Keywords: Mobile Robots. Autonomous Navigation. Remote Inspection. Confined Environments.