

Sistema Robótico Multi-Agente (MARS) con técnicas de inteligencia artificial para exploración de entornos no estructurados

Multi-Agent Robotic System with Artificial Intelligence Techniques for Exploring Non-Structured Environments

ANDRÉS DE LA ROSA GARCÍA^a , DAVID LUVIANO CRUZ^a , FRANCESCO GARCÍA LUNA^{a*} 

^a Doctorado en Tecnología, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: francesco.garcia@uacj.mx

N.º de resumen 11CP26-19	Formato Ponencia
Tema Cómputo aplicado	Presentador Andrés de la Rosa García
Fecha de la presentación Mayo 20, 2026	Estatus Estudio en curso

Resumen

La inspección de minas subterráneas no operacionales presenta desafíos críticos debido a condiciones extremas e inhóspitas que inhiben la intervención humana directa. Este trabajo desarrolla un sistema robótico multi-agente con técnicas de inteligencia artificial para la inspección autónoma de entornos no estructurados. El sistema integra un vehículo aéreo no tripulado (VANT) y un vehículo terrestre no tripulado (UGV) operando de manera complementaria, aprovechando las ventajas de cada plataforma: el VANT realiza el mapeo tridimensional inicial del entorno mediante VSLAM y LiDAR aéreo, mientras que el UGV utiliza esa información para navegar de forma autónoma en terreno complejo. La metodología se fundamenta en Sistemas Multi-Agentes, aprendizaje por reforzamiento multi-agente (MARL) y técnicas de Localización y Mapeo Simultáneo (SLAM). El sistema será integrado en ROS 2 para garantizar interoperabilidad, comunicación descentralizada y coordinación entre agentes. La validación se realizará mediante simulaciones realistas en Gazebo, evaluando métricas de precisión del mapeo, efectividad de navegación autónoma y coordinación multi-agente. El proyecto se encuentra en fase temprana, sin embargo la arquitectura descentralizada y el enfoque cooperativo presentan potencial para aplicaciones de exploración en entornos peligrosos. Las limitaciones identificadas incluyen la complejidad de la comunicación en entornos subterráneos y la necesidad de validación con hardware físico. El trabajo contribuye al desarrollo de sistemas robóticos autónomos para misiones críticas de inspección y rescate, con impacto en seguridad operativa y reutilización de infraestructuras subterráneas.

Palabras clave: robótica multi-agente; SLAM; minas subterráneas; exploración autónoma; ROS 2.

Abstract

The inspection of non-operational underground mines presents critical challenges due to extreme and inhospitable conditions that inhibit direct human intervention. This work develops a multi-agent robotic system with artificial intelligence techniques for autonomous inspection of unstructured environments. The system integrates an unmanned aerial vehicle (UAV) and an unmanned ground vehicle (UGV) operating in a complementary manner, leveraging the advantages of each platform: the UAV performs initial three-dimensional mapping of the environment using

VSLAM and aerial LiDAR, while the UGV uses that information to navigate autonomously in complex terrain. The methodology is founded on Multi-Agent Systems, multi-agent reinforcement learning (MARL), and Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) techniques. The system will be integrated into ROS 2 to ensure interoperability, decentralized communication, and coordination between agents. Validation will be conducted through realistic simulations in Gazebo, evaluating metrics of mapping precision, autonomous navigation effectiveness, and multi-agent coordination. Although the project is in an early stage with no experimental results yet, the decentralized architecture and cooperative approach present significant potential for applications in exploration of hazardous environments. Identified limitations include the complexity of communication in underground environments and the need for validation with physical hardware. The work contributes to the development of autonomous robotic systems for critical inspection and rescue missions, with impact on operational safety and reuse of underground infrastructure.

Keywords: multi-agent robotics; SLAM; underground mines; autonomous exploration; ROS 2.

Entidad legal responsable del estudio

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Financiamiento

SECIHTI: CVU 1313470.

Conflictos de interés

Todos los autores acuerdan que no existen conflictos de interés.