

# Detección y recogida de muestras por vehículos de exploración planetaria

Laura M. Mantoani, Raúl Castilla Arquillo, Gonzalo J. Paz Delgado y Carlos J. Pérez del Pulgar  
Space Robotics Laboratory, Department of Systems Engineering and Automation, Universidad de Málaga,  
Andalucía Tech, 29070 Málaga, Spain, carlosperez@uma.es

Martin Azkarate  
Robotics and Automation Section, European Space Agency, Noordwijk, AZ 2201, The Netherlands,  
martin.azkarate@esa.int

## Resumen

*Las futuras misiones de exploración planetaria exigen cada vez más autonomía, ya que estas misiones son cada vez más complejas. Un ejemplo claro es la misión de retorno de muestras a Marte, en la que el Sample Fetch Rover debe recoger tubos de muestras en un lugar remoto y llevarlos de vuelta a la estación base para lanzarlos a la Tierra. Esta misión requiere ampliar las capacidades autónomas a bordo. En primer lugar, el componente de navegación debe ser capaz de detectar y localizar los tubos de muestra, y en segundo lugar, los de guiado y control deben situar el rover cerca de los tubos de muestra y mover el manipulador para recogerlos. Estas son las principales aportaciones de este trabajo. La primera cuestión se ha resuelto mediante el uso de Redes Neuronales Profundas, que permiten identificar los tubos de muestra previamente entrenados en imágenes, y la segunda se ha resuelto ampliando el algoritmo de planificación de trayectorias dentro del componente de Guiado. Para demostrar y validar los métodos propuestos, se han realizado dos experimentos. Una primera prueba de campo en el terreno experimental de Búsqueda y Rescate de la Universidad de Málaga, y una segunda prueba de laboratorio en el Laboratorio de Robótica Planetaria de la Agencia Espacial Europea. Ambos experimentos se llevaron a cabo utilizando el Rover de Pruebas ExoMars, propiedad de esta última institución.*

**Palabras clave:** recuperación de muestras, Sample Fetch Rover, exploración planetaria.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las arquitecturas de Guiado, Navegación y Control (GNC) [1] son una estrategia habitual para aumentar la autonomía de los vehículos de exploración planetaria, lo cual es un requisito clave, ya que la teleoperación remota desde la Tierra conlleva varias dificultades que pueden superarse eficazmente con la toma de decisiones autónoma [2]. Gracias a la arquitectura GNC es posible planificar una ruta para

el vehículo de exploración planetaria, permitiendo que el rover navegue de forma segura, evitando cualquier peligro que pueda encontrarse en su camino.

La importancia de la toma de decisiones autónoma depende de los requisitos de la misión de exploración, ya que podría ser necesario satisfacer diferentes requisitos previos, como las limitaciones de tiempo, como en el caso de los vehículos de Marte y, en particular, el futuro Sample Fetching Rover (SFR).

El SFR tendrá que llevar a cabo su misión en un plazo de 150 soles, recogiendo varios tubos de muestras de suelo dejados por un rover anterior y llevándolos de vuelta al módulo de aterrizaje [3].

Para aumentar la velocidad global de navegación del sistema, es necesario realizar la operación de recuperación de muestras de la manera más autónoma, y por lo tanto eficiente, posible.

Por lo tanto, se requieren dos subsistemas autónomos: en primer lugar, un detector de muestras y un estimador de posición; en segundo lugar, un planificador de trayectorias y de movimientos óptimos para realizar la tarea de manipulador móvil.

## 2 IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

La localización automática de los tubos de muestra aumenta la autonomía general del SFR. Para esta tarea, se propone el uso de redes neuronales profundas (DNNs). Las DNNs realizan algunas tareas mejor que los humanos, como es el caso de la clasificación de imágenes [4]. Sin embargo, la implementación de las DNN en proyectos relacionados con el espacio puede plantear algunos retos. Se necesita un gran volumen de imágenes para entrenar a las DNNs para que reconozcan con precisión el tubo de muestra. Este problema puede resolverse con la creación de un conjunto de datos sintéticos con simulaciones 3D de escenarios marcianos. Los conocimientos obtenidos durante el entrenamiento a partir de este conjunto de datos genérico se transfieren posteriormente a la DNN para ser utilizados en entornos más realistas, como las pruebas de campo. Otro reto está relacionado con las elevadas exigencias computacionales de las DNN. Por lo tanto, la red entrenada se adapta e implementa

en un dispositivo acelerado por hardware, teniendo en cuenta la eficiencia energética [5]. Para la etapa de estimación de la posición, se desarrollan e integran técnicas tradicionales de visión por ordenador.

### 3 RECOGIDA DE MUESTRAS

Cuando se detecta la muestra, el rover necesita planificar su movimiento, para la base de la plataforma y el brazo robótico, con el fin de llegar a las proximidades de la muestra y, finalmente, recuperarla.

La planificación del movimiento de un manipulador móvil es un problema ampliamente estudiado en la literatura robótica, definido como la creación de una trayectoria factible para la base móvil y una serie de configuraciones del brazo robótico para realizar una tarea objetivo con la herramienta del manipulador, interactuando con el mundo real.

Esto se puede resolver de muchas maneras diferentes, siendo los algoritmos de optimización la solución más extendida y potente.

Esto encaja perfectamente con los requisitos de una misión tipo SFR, ya que un planificador óptimo busca el movimiento más eficiente en términos de tiempo y energía, considerando también las restricciones no holonómicas de la base móvil, la redundancia del sistema y los límites de los actuadores.

Por lo tanto, se propone un planificador de movimiento basado en Constrained Sequential Linear Quadratic (SLQ) [6], integrado en un canal de varias etapas para generar movimientos óptimos para que el rover recupere el tubo de muestra.

La muestra se detecta continuamente durante la ejecución para retroalimentar con mayor precisión su pose y replanificar el movimiento si es necesario.

### 4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los algoritmos propuestos han sido validados mediante campañas de pruebas de campo en el Terreno Experimental de Búsqueda y Rescate, de la Universidad de Málaga, y en el Laboratorio de Robótica Planetaria de la Agencia Espacial Europea, con el prototipo de rover ExoTeR (Exomars Testing Rover), que se representa en la figura 1.

Se trata de un rover de triple bogie y Ackermann completo, equipado con un manipulador de 5 grados de libertad (DoF), una pinza y dos cámaras, NavCam y LocCam. Estas cámaras se utilizan para la localización, el mapeo y la detección de muestras.

Las pruebas de campo realizadas muestran una misión SFR analógica, en la que ExoTeR es capaz de detectar y localizar de forma autónoma un tubo de muestra, alcanzarlo y recogerlo con el manipulador.

Se utiliza un algoritmo de odometría visual para la localización del rover, con el fin de aumentar la representatividad de las pruebas de campo.



Figura 1: El rover ExoTeR durante la prueba de campo realizada en ESA-ESTEC.

Los resultados obtenidos muestran que la arquitectura autónoma de detección de muestras y planificación del movimiento propuesta es capaz de resolver de forma eficiente la etapa de recuperación de muestras de una misión tipo SFR.

#### English summary

#### Samples detection and retrieval for a Sample Fetch Rover

#### Abstract

*Future planetary exploration missions are demanding more and more autonomy since these missions are getting more complex. A clear example is the Mars Sample Return mission, where the Sample Fetch Rover needs to collect sample tubes on a remote location, and bring them back to the base station to be launched to Earth. This mission requires to extend the autonomous capabilities onboard. First, the Navigation component needs to be able to detect and locate the sample tubes, and second, the Guidance and Control ones require to place the rover close the sample tubes and move the manipulator to pick them up. These are the main contributions of this paper. The first issue has been solved by the use of Deep Neural Networks, which allow to identify the previously trained sample tubes on images, and the second one has been solved by extending the path planning algorithm within the Guidance component.*

*To demonstrate and validate the proposed methods, two experiments were carried out. A first field test in the Search and Rescue experimental terrain at the University of Malaga, and a second lab test in the Planetary Robotics Lab at the European Space Agency. Both experiments were carried out using the ExoMars Testing Rover owned by the last institution.*

**Keywords:** sample retrieval; Sample Fetch Rover; planetary exploration.

## Referencias

- [1] Levin Gerdes, Martin Azkarate, José Ricardo Sánchez-Ibáñez, Luc Joudrier, and Carlos Jesús Perez-del Pulgar. *Efficient autonomous navigation for planetary rovers with limited resources*. Journal of Field Robotics, 37(7):rob.21981, 8 2020.
- [2] Dan Lester and Harley Thronson. *Human space exploration and human spaceflight: Latency and the cognitive scale of the universe*. Space Policy, 27(2):89–93, 5 2011.
- [3] Brian K. Muirhead and Ashley Karp. *Mars Sample Return Lander Mission Concepts*. In IEEE Aerospace Conference Proceedings, volume 2019-March. IEEE Computer Society, 3 2019.
- [4] Laith Alzubaidi, Jinglan Zhang, Amjad J. Humaidi, Ayad Al-Dujaili, Ye Duan, Omran AlShamma, J. Santamaría, Mohammed A. Fadhel, Muthana Al-Amidie, and Laith Farhan. *Review of deep learning: concepts, cnn architectures, challenges, applications, future directions*. Journal of Big Data, 8, 12 2021.
- [5] Jiasi Chen and Xukan Ran. *Deep learning with edge computing: A review*. Proceedings of the IEEE, 2019
- [6] Markus Gifftthaler, Farbod Farshidian, Timothy Sandy, Lukas Stadelmann, and Jonas Buchli. *Efficient kinematic planning for mobile manipulators with non-holonomic constraints using optimal control*. In Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, pages 3411–3417. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 7 2017.

© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/4.0/deed.es>).

