XXI Simposio CEA de Control Inteligente
24-26 de junio de 2026, Salamanca

Desarrollo hardware-software para la integración y operatividad de una cámara hiperespectral en una plataforma robótica terrestre

Aquino, A*, Cano, C., Argüello, D., Vaz, F., Blanco, M.A., Noguera, M.

Centro de Investigación en Tecnología, Energía y Sostenibilidad, Universidad de Huelva, Carretera Huelva-Palos, 21819 Palos de la Frontera, España.

To cite this article: Aquino, A., Cano, C., Argüello, D., Vaz, F., Blanco, M.A., Noguera, M. 2026. Hardware-software development for the integration and operability of a hyperspectral camera on a terrestrial robotic platform. XXI Simposio CEA de Control Inteligente, Salamanca (Spain), 2026.

Resumen

En este artículo se presenta el trabajo en curso del desarrollo hardware y software necesario para la integración de una cámara hiperespectral de barrido lineal (micro-Hiperspec NIR 320) en una plataforma robótica terrestre (Summit XL-HL). La problemática derivada de la ausencia de sistemas comerciales de estabilización se aborda mediante el diseño de una plataforma de mitigación de vibraciones acoplada a un gimbal en posición vertical invertida. Asimismo, se detalla el desarrollo de una arquitectura de software basada en la SDK perClass Mira, con la cual se controla de forma robusta y asíncrona la captura de los datos en tiempo real. Mediante esta integración, se sientan las bases tecnológicas que cubren la actual falta de soluciones comerciales y permiten la futura captura masiva de imágenes hiperespectrales bajo condiciones reales de campo, con aplicación directa a la agricultura de precisión.

Palabras clave: Robótica agrícola, detección y percepción en agricultura, modelado y estimación en agricultura.

Hardware-software development for the integration and operability of a hyperspectral camera on a terrestrial robotic platform

Abstract

In this article, work in progress is presented for the hardware and software development required for the integration of a linear push-broom hyperspectral camera (micro-Hiperspec NIR 320) into a terrestrial robotic platform (Summit XL-HL). The problem arising from the lack of commercial stabilisation systems for agricultural environments is addressed through the design of a vibration mitigation platform combined with an inverted gimbal. Furthermore, the development of a software architecture based on the perClass Mira SDK is detailed, by which asynchronous control and real-time data capture are robustly enabled. The technological foundations for the massive capture of images are established by this integration, which is orientated towards agronomic estimation and crop monitoring under real field conditions.

Keywords: Agricultural robotics, sensing and perception in agriculture, modeling and estimation in agriculture.

1. Introducción

Las cámaras hiperespectrales son sensores avanzados de teledetección que capturan información de un amplio espectro electromagnético, dividiéndolo para su muestreo en cientos de bandas espectrales (Gómez y Pérez, 2023).

Una característica fundamental de estos dispositivos es que funcionan como cámaras lineales o de barrido (push-broom), lo que implica que el sensor captura la información fila por fila en lugar de obtener la imagen completa en un evento único de captura. Debido a esta arquitectura, requieren necesariamente de un movimiento relativo constante con respecto al objeto. Este desplazamiento puede lograrse de diversas formas dependiendo del escenario de aplicación. En entornos industriales o de laboratorio, se suele hacer uso de plataformas motorizadas que desplazan la muestra bajo la cámara. Por el contrario, en aplicaciones de teledetección, se aprovecha la inercia del sistema en el que está integrada; típicos ejemplos son un dron o un satélite (Argüello *et al.*, 2026).

El empleo de esta tecnología permite obtener de cada material el patrón de cómo absorbe, refleja y transmite la luz incidente en las diferentes longitudes de onda, lo que posibilita modelar sus propiedades (Lillesand et al., 2015).

*Autor para correspondencia: arturo.aquino@diesia.uhu.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

Esta capacidad sitúa a la tecnología hiperespectral en una fase de expansión estratégica, cuya adopción se ha acelerado notablemente bajo el marco de la Industria 4.0 (Smith, 2021). No obstante, aún persiste un vacío tecnológico que permita la operatividad de estos sensores en ciertos campos de aplicación. Si bien existen soluciones comerciales para la integración de sensores hiperespectrales en ámbitos como la teledetección por satélite o drones aéreos, no ocurre lo mismo con las plataformas robóticas terrestres (Routh y Charlie, 2020).

Uno de los ámbitos de investigación de los autores es el de la agricultura de precisión. En un reciente trabajo actualmente en revisión, abordaron el desarrollo de un modelo para la estimación del contenido graso de las aceitunas visibles en imágenes hiperespectrales de olivos. Para ello, se empleó una cámara hiperespectral instalada sobre un trípode con cabeza rotora motorizada para dotar a la cámara del movimiento relativo necesario para barrer la escena. Los excelentes resultados obtenidos, con un RMSE menor al 2%, auspician la continuidad de la investigación, cuyo siguiente paso sería el abordar su aplicabilidad a escala de cultivo mediante el uso de un robot terrestre para la captura masiva de las imágenes.

Por ello, la investigación actualmente en curso, objeto del presente artículo, aborda la problemática de integrar, en términos de hardware y software, la cámara hiperespectral en un robot terrestre para habilitar su operatividad a bordo del mismo. El trabajo se centra específicamente en la arquitectura lógica y en el control de la captura de los datos, y en su integración física, con el objetivo cubrir la ausencia de soluciones comerciales que faciliten esta combinación.

2. Materiales

La cámara hiperspectral de muestreo lineal micro-Hiperspec NIR 320, es un modelo concebido por el fabricante Headwall (Headwall Photonics, Bolton, Massachusetts, USA) para su uso en laboratorio. Equipada con un sensor InGaAs retroiluminado de alta sensibilidad, se distribuye integrada en una estructura que incluye alimentación, un sistema de iluminación, y una plataforma motorizada para el desplazamiento de la muestra bajo la cámara (ver Figura 1); sus principales características técnicas se detallan en la Tabla 1. La solución se distribuye junto con el software HyperSpec III, diseñado específicamente para la operatividad de la cámara bajo las condiciones de funcionamiento del conjunto descrito, no proporcionando flexibilidad alguna para otro uso.

El trabajo de investigación y desarrollo está centrado en la integración de la mencionada cámara, para su operatividad a bordo del robot terrestre Summit XL-HL (Robotnik Automation, Valencia, España), cuyo aspecto y características técnicas se muestran en la Figura 2 y la Tabla 2.

3. Integración software

Se está desarrollando en C++ una aplicación de escritorio multiplataforma utilizando el framework Qt y la SDK licenciada perClass Mira (perClass BV, Molengraaffsingel, Países Bajos). La arquitectura lógica se ha estructurado bajo el patrón Model-View-Presenter, con el objetivo explícito de desacoplar por completo la lógica de negocio y el control del hardware (capa de Modelo) de la interfaz gráfica orientada al usuario (capa de Vista). El Presentador actúa como el único nexo coordinador entre ambas, gestionando el flujo mediante un sistema asíncrono de señales y slots.

Debido a la elevada tasa de transferencia de la cámara (frecuencia de muestreo de hasta 346 Hz a resolución completa) y al gran volumen de datos que genera cada hipercubo, la implementación de una arquitectura concurrente ha resultado crítica para evitar el bloqueo del hilo principal de la interfaz gráfica. El sistema software subdivide su operativa en dos subsistemas concurrentes principales independientes:



Figura 1: Conjunto de cámara hiperespectral Hiperspec NIR 320 y equipamiento accesorio para su uso en laboratorio.

Tabla 1: Principales características técnicas de la cámara micro-Hiperspec NIR 320

Rango Espectral	900-1700 nm
Resolución Espectral	10 nm
Resolución Espacial	320 × 256 pix
Tamaño de Píxel	30 µm × 30 µm
Frecuencia de Muestreo	346 Hz



Figura 2: Robot terrestre Summit XL-HL.

Tabla 2: Principales características técnicas del robot terrestre Summit XL-HL

Dimensiones	720 × 614 × 416 mm
Peso	65 kg
Batería	LiFePO4 15Ah@48V
Sistema de tracción	Diferencial a cuatro ruedas
Controlador	Arquitectura abierta en ROS PC integrado con Linux

- Subsistema de monitorización en tiempo real: diseñado para la visualización fluida del espectro antes de la captura definitiva. Un hilo dedicado realiza las peticiones continuas de frames a la cámara, abstrayendo la comunicación a bajo nivel. Este hilo extrae la información espectral y actualiza una región de memoria compartida de forma segura mediante exclusión mutua. Paralelamente, un temporizador en la interfaz gráfica lee secuencialmente dicha memoria cada 100 ms para redibujar la respuesta espectral en un gráfico en pantalla.
- Subsistema de adquisición y persistencia: está dedicado al almacenamiento de los hipercubos. Sigue un patrón clásico productor-consumidor, en el que el hilo productor vuelca de forma síncrona los frames devueltos por el sensor en una cola intermedia en memoria. El hilo consumidor extrae secuencialmente los bloques y ejecuta una estrategia de guardado diferenciada según el formato configurado (hdr y .dat de ENVI, o CVS).

El software incorpora adicionalmente un algoritmo de gestión de historial que automatiza la gestión de las referencias de negro, así como una validación precaptura que detiene atómicamente la ejecución si detecta una discrepancia entre los formatos de exportación de la calibración y la captura activa.

4. Integración hardware

El mayor reto de integración de la cámara en términos físicos, deriva de la inexistencia de sistemas de estabilización integrados en la misma. En cámaras de barrido lineal como la Hiperspec NIR 320, esto se traduce en la desalineación de los frames verticales durante la captura provocada por las irregularidades del terreno. Ello resulta en imágenes aberradas que requieren de un complejo proceso de reconstrucción posterior, de resultado dependiente de la magnitud de las aberraciones. Por ello, la simple instalación de la cámara a bordo del robot hace inviable su uso en condiciones de campo.

Una primera solución ha consistido en equipar la cámara sobre un gimbal DJI RS 4 Pro (SZ DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, China) en posición vertical natural, instalado sobre una pértiga de acero estabilizada con tirantes, que proporciona la altura necesaria para la toma de las imágenes (ver Figura 3). Las pruebas realizadas con esta configuración revelan que la ausencia de estabilización en el plano xz arruina la viabilidad de las imágenes tomadas.

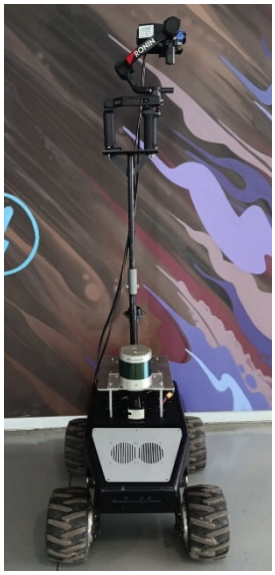


Figura 3: Solución inicial basada en estabilización con gimbal.

En la actualidad, se está valorando una solución consistente en la instalación del gimbal en posición vertical invertida, colgando de una plataforma de mitigación de vibraciones basada en cables de acero, conectada a un brazo amortiguador de desplazamiento vertical. Estimamos que este conjunto reducirá los desplazamientos en el plano xz y en el xy, y los supervivientes, atenuados, los transformará a los ejes de estabilización del gimbal, generando imágenes viables con mínimas aberraciones fácilmente procesables a posteriori.

5. Conclusiones

En el presente trabajo en curso se abordan los primeros avances hacia una solución integral para habilitar la operatividad de cámaras hiperespectrales de barrido lineal a bordo de plataformas robóticas terrestres. Para procurar la viabilidad de la captura de imágenes en terrenos agrícolas irregulares, actualmente se está evaluando un diseño de estabilización física basado en una plataforma de mitigación de vibraciones y un gimbal invertido, mediante el cual se espera reducir significativamente las aberraciones espaciales durante el avance del robot. De forma complementaria, se encuentra en fase de desarrollo un software de control orientado a proporcionar una interfaz operativa robusta que satisfaga los exigentes requisitos de captura en tiempo real y exportación asíncrona de los datos. Este conjunto de integraciones, complementan los trabajos en desarrollo en materia de guiado-navegación-control para dotar al robot de la capacidad de navegación autónoma. Dentro de las estrategias de control, una vez culminada la integración, se abordará la operatividad autónoma de la cámara (inicio-pausa-fin) en base a la situación contextual del robot durante la navegación. El resultado será una plataforma completamente autónoma de muestreo exhaustivo de los cultivos.

Agradecimientos

Este trabajo está siendo financiado por el Programa de Cooperación Interreg VI-A ESPAÑA-PORTUGAL (POCTEP) 2021-27, cofinanciado con fondos FEDER, número de subvención 0067_OLIVARIA_5_E, en el ámbito del Proyecto OlivarIA.

Referencias

Argüello, D., Noguera, M., Vaz, F., Cordeiro, A., Silvestre, J., Aquino, A., 2025. Leaf Nitrogen Content Estimation in Olive Orchards based on Analysis and Modelling of UAV-Acquired Hyperspectral data. Smart Agricultural Technology 14, 101754. DOI: 10.1016/j.atech.2025.101754

Gómez, A., Pérez, J., 2023. Avances en sensores hiperespectrales para agricultura de precisión. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial 20, 45-55. DOI: 10.4995/riai.2023.01

Routh, M. B., Charlie, F. H., 2020. Stabilisation systems for linear push-broom cameras on UGVs. Journal of Field Robotics 37, 200-215. DOI: 10.1002/rob.2020.37

Smith, J. D., 2021. Hyperspectral Imaging in the Era of Industry 4.0. Springer, London.

Lillesand, T., Kiefer, R. W., Chipman, J., 2015. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Hoboken.