

Jornadas de Automática

Sistema Embebido Multimodal Portable para Navegación y Mapeo

Angarita, Juan Camilo^{a,*}, Marqués, Josep^{b,1}, Pino, Andea^{b,1}, Cervera, Enric^a, Marín, Raúl^b

^aLaboratorio de robótica inteligente (RobInLab), Dpto. de ingeniería y ciencia de los computadores, Universidad Jaume I, Av/ Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana, España.

^bLaboratorio de sistemas interactivos y robóticos (IRS-Lab), Dpto. de ingeniería y ciencia de los computadores, Universidad Jaume I, Av/ Vicent Sos Baynat, s/n 12071 Castellón de la Plana, España.

To cite this article: Angarita, J.C., Marqués, J., Pino, A., Marín, R., Cervera, E. 2025. Multimodal Portable Embedded System for Navigation and Mapping. Jornadas de Automática, 46.

<https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12213>

Resumen

En este trabajo presentamos el diseño e implementación de un sistema hardware/software modular para facilitar la adaptabilidad de plataformas robóticas a tareas de navegación y mapeo. Nuestro objetivo es ofrecer una solución plug-and-play que pueda adaptarse e implementarse fácilmente en distintos robots, independientemente de su morfología o de los sistemas de control que utilicen. El módulo integra múltiples sensores, procesamiento a bordo y una arquitectura de software flexible, compatible con ROS. Describimos la motivación que dio lugar al desarrollo del módulo, su arquitectura interna y las decisiones de diseño tomadas para garantizar la modularidad. El módulo ha sido evaluado en escenarios reales utilizando distintas plataformas robóticas, demostrando su capacidad de interoperabilidad con diferentes sistemas.

Palabras clave: Robots móviles, Sistemas mecatrónicos, Construcción de mapas, Metodologías de diseño, Robótica embebida.

Multimodal Portable Embedded System for Navigation and Mapping

Abstract

In this work, we present the design and implementation of a modular hardware/software system intended to enhance task adaptability in robotic platforms for navigation and mapping. We aim to provide a plug-and-play solution that can be easily adapted and deployed across different robots, regardless of their morphology or existing control systems. The proposed module integrates multiple sensors, onboard computing, and a flexible software architecture compatible with modern robotic frameworks (e.g., ROS). We describe the motivation behind the development of the module, its internal architecture, and the design choices that enable hardware and software modularity. The module has been evaluated in real-world scenarios using different robotic platforms, demonstrating its ability to system interoperability.

Keywords: Mobile robots, Mechatronic systems, Map Building, Design methodologies, Embedded robotics.

1. Introducción

La incorporación de módulos adicionales de hardware y software se ha convertido en una estrategia habitual para ampliar las capacidades de los robots más allá de su diseño original. Estos módulos permiten abordar aplicaciones específicas, como en Wei et al. [2016], donde se implementa un módulo multisensor con un ordenador a bordo para entornos comple-

jos (e.g., entornos con presencia de gases explosivos), o en Jung et al. [2022], donde se integra un sensor de teledetección mediante pulsos láser o *light detection and ranging* (LiDAR) y una unidad de medición inercial o *inertial measurement unit* (IMU) junto a un computador de a bordo que, dependiendo del robot, puede asumir el rol de sistema de cómputo auxiliar.

La principal motivación para esta integración radica en la

* Autor para correspondencia: angarita@uji.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

¹ Estos autores han contribuido igualmente al trabajo.

necesidad de personalización, escalabilidad y reutilización de equipos. Generalmente, los fabricantes diseñan los robots para ser utilizados en escenarios específicos, lo que conduce al uso de diferentes sistemas para tareas diversas. Sin embargo, muchos de estos casos podrían resolverse mediante el uso del mismo robot complementado con módulos adecuados.

Este trabajo propone un nuevo módulo de propósito general para su integración en robots móviles, lo que permitiría desplegar tecnología LiDAR en diversos entornos. Además, facilitaría el estudio de distintas estrategias de navegación, mapeo y autolocalización. El módulo ha sido validado en tres robots: el Unitree Go2Pro, sometido a pruebas en entornos tanto interiores como exteriores; el BlueBoat, utilizado en escenarios acuáticos; y un robot propio (denominado robot UJI), desarrollado por la Universitat Jaume I en el contexto del proyecto europeo H2020-ElPeacetolero Tirado-Bou et al. [2022], diseñado para operar en entornos hospitalarios con presencia de radiación. Estos despliegues en entornos significativamente diversos demuestran la versatilidad del módulo, al evidenciar su funcionalidad en robots móviles con requisitos operativos considerablemente variados.

2. Metodología

Se decide adoptar el estándar de diseño mecatrónico propuesto por la Asociación Alemana de Ingenieros (VDI) y la Asociación Alemana de Tecnologías Informáticas, Electrónicas y Eléctricas (VDE), siendo la norma definida como la VDI/VDE 2206:2020 (Figura 1), el cual recibe un enfoque especializado en productos mechatronics y multidisciplinario, tal y como se aprecia en la norma publicada por Verein Deutscher Ingenieure (VDI) [2020]. Esta metodología es altamente modular y parte de concebir una idea u objetivo general a implementar e ir desescalando hasta llegar a los componentes específicos más básicos. Una vez desarrollados, se integran dichos componentes, llegando al concepto general nuevamente. Así mismo, este concepto modular permite reutilizar en gran medida los desarrollos propuestos.

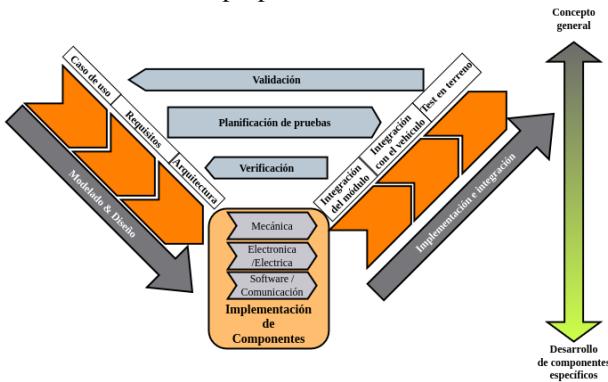


Figura 1: Adaptación de la figura 1 de la norma VDI / VDE 2206:2020.

2.1. Caso de uso

La navegación constituye uno de los pilares fundamentales de la robótica móvil. Cada vez se espera más que los robots realicen tareas minimizando la intervención humana, lo que requiere que sean capaces de percibir su entorno y obtener datos fiables, de los cuales depende el éxito de su operación. Actualmente, existen múltiples métodos que permiten a

un robot autolocalizarse y navegar, como los sistemas de navegación satelital GNSS Grewal et al. [2007] y los de referencia de actitud y rumbo AHRS, usados comúnmente en la industria aeroespacial y, actualmente, en áreas como la agricultura.

Así mismo, los vehículos autónomos emplean sus propios instrumentos de navegación, como sensores basados en láser (LiDAR) o cámaras, entre otros.

No obstante, es poco frecuente encontrar módulos que ofrezcan interoperabilidad y faciliten su expansión. Esto se debe a que, normalmente, los sistemas robóticos suelen diseñarse con una arquitectura de percepción integrada (*in-built*). Por otro lado, los módulos de navegación comerciales también se conciben como sistemas cerrados, ya que de esta manera pueden garantizar una mayor fiabilidad a nivel de producto. Sin embargo, en el ámbito de la investigación, resulta interesante contar con un dispositivo fácilmente integrable a múltiples vehículos, de manera que se pudiera recolectar datos sincronizados tanto de los sensores propios como de la máquina que lo transporta (e.g., las cámaras de acción permiten capturar videos con fidelidad en múltiples escenarios y se pueden acoplar a un vehículo o a la indumentaria del usuario). Esto permitiría el desarrollo de algoritmos de navegación y mapeo con mayor velocidad, ya que aprovecharía la recolección de datos en diferentes escenarios y, por ende, permitiría la validación y la optimización de técnicas de mapeo y navegación.

2.2. Requisitos

Los requisitos son aquellos puntos a considerar como necesarios para poder llegar al concepto general propuesto. Se destacan:

- Portabilidad.
- Compatibilidad con el robot Go2.
- Compatibilidad con robots basados en el entorno de desarrollo ROS2 (*Robot Operating System*).
- Adaptable a múltiples escenarios.
- Posibilidad de comunicación con robot y sensores.
- Capacidad de comunicación con estación en tierra.

2.3. Arquitectura

Los diversos componentes pueden trabajar en conjunto para dar cumplimiento a los requisitos previamente mencionados tal como se muestra en la Figura 2:

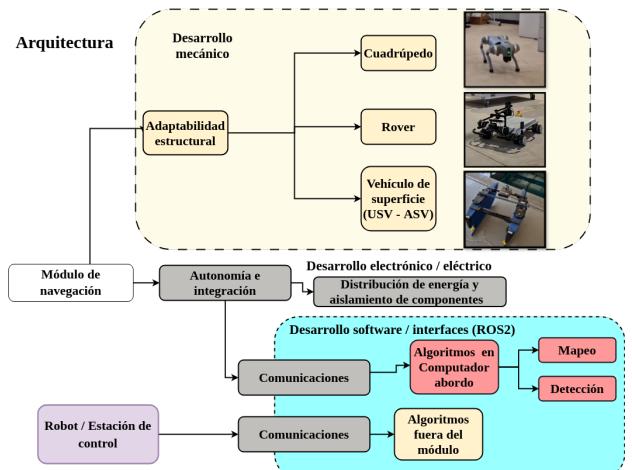


Figura 2: Esquema general del proyecto.

2.4. Diseño de elementos del sistema

2.4.1. Diseño mecánico

El diseño del módulo se ha orientado bajo el principio de interoperabilidad, con el objetivo de poder ser integrado en distintos tipos de vehículos robóticos. Sin embargo, el robot cuadrúpedo Go2Pro, al presentar una geometría más restrictiva en comparación con otros modelos, ha sido seleccionado como referencia principal durante la fase de desarrollo. Para integrar los componentes necesarios en el robot Go2Pro, se ha desarrollado un módulo específicamente diseñado para adaptarse a su morfología. Este módulo no solo optimiza el aprovechamiento del espacio disponible, sino que también garantiza que el centro de masas, la estabilidad, la maniobrabilidad y el movimiento general del robot no se vean comprometidos.

La estructura del módulo consta de dos partes principales: una base y una cubierta (Figura 3.a). La base permite una gran adaptabilidad gracias a su fácil instalación y alta accesibilidad a los componentes, utilizando sistemas de sujeción parcial o encajes a presión para facilitar el mantenimiento y posibles modificaciones. La cubierta, por su parte, asegura y protege los componentes internos frente a impactos y condiciones intrínsecas del entorno, completando así el encapsulamiento del conjunto (Figura 3.b).

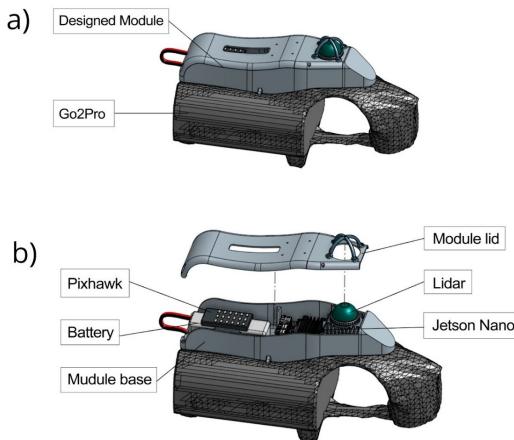


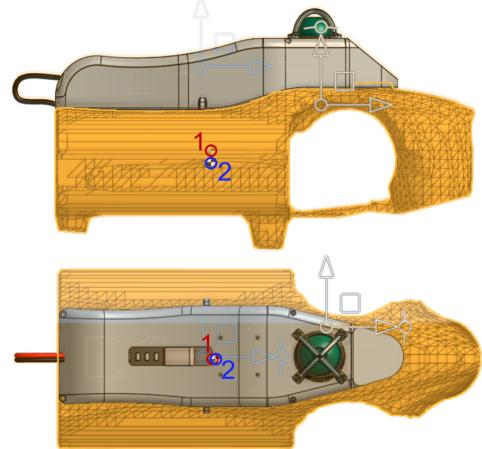
Figura 3: Composición del módulo.

Para su manufactura, se ha utilizado tecnología de fabricación aditiva o impresión 3D con filamento, muy común en el prototipado de robots Marqués et al. [2023], lo que permite personalizar el diseño según las necesidades del sistema y reducir significativamente los costes de producción. El módulo, compuesto por base y cubierta, tiene un peso aproximado de 413 gramos y está impreso en políacido láctico (PLA) reforzado con fibra de carbono. La impresión se ha realizado con un patrón de relleno tipo giroide, una densidad del 8 % y tres vueltas de pared (*wall loops*), buscando un equilibrio entre resistencia estructural y ligereza. El coste estimado de fabricación del módulo, basado en el coste de los materiales y de las técnicas de fabricación, es de aproximadamente 10 euros.

Con el objetivo de aumentar la resistencia estructural y proteger los componentes internos frente a posibles impactos o fracturas en las paredes, el módulo ha sido recubierto con una capa de resina epoxi y fibra de vidrio. Este refuerzo adicional mejora significativamente la integridad mecánica del

conjunto y contribuye a la durabilidad del sistema en condiciones de operación exigentes Kanakannavar et al. [2024].

Por último, las pruebas realizadas sobre el diseño final del módulo han demostrado que su impacto en el centro de masas del robot es mínimo. En concreto, se ha registrado un desplazamiento de menos de 1 mm en el eje X positivo y aproximadamente 9 mm en el eje Z, también en dirección positiva (Figura 4). Estos valores indican que no deben evidenciarse cambios significativos en la estabilidad general del robot, manteniéndose dentro de los márgenes operativos aceptables.



1 Posición centro de masas Go2Pro
2 Posición centro de masas Go2Pro + módulo

Figura 4: Variación del centro de masa debido a la aplicación del módulo: representación y superposición de las situaciones 1 (centro de masas del robot Go2Pro) y 2 (centro de masas del robot Go2Pro con el módulo incluido).

Por otro lado, aunque el módulo ha sido diseñado particularmente para el Go2Pro y descrito en las primeras etapas de este trabajo, se pretende poder integrar el módulo de forma rápida y sencilla a otros robots, así como a otros medios. Concretamente, se pretende adaptar el módulo a un vehículo terrestre, diseñado para entornos hospitalarios, y a un vehículo de superficie para entornos acuáticos.

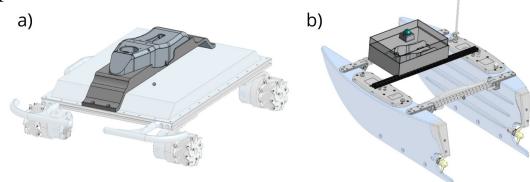


Figura 5: Diseño de integración del módulo a otros vehículos: (a) Integración del módulo a robot hospitalario mediante pieza intermedia. (b) Integración del módulo al blueboat mediante encapsulado en compartimento estanco.

Para permitir la integración del módulo al robot UJI se ha diseñado una pieza que permite fijar el módulo al chasis del vehículo (Figura 5.a). Esta pieza, fabricada mediante los mismos métodos y parámetros de fabricación que el módulo principal, tiene un peso de 230 g y un coste aproximado de 11 €. Para permitir la integración del módulo al robot BlueBoat, ha sido adaptado al interior de un compartimento estanco IP67, para garantizar la seguridad de los componentes y anclado al chasis del vehículo (Figura 5.b). El LiDAR pudo mantenerse

en el exterior del compartimento estanco, gracias a su propia protección IP67, para garantizar un mejor muestreo.

2.4.2. Diseño Electrónico

En este apartado, se busca garantizar la portabilidad del dispositivo para alimentar adecuadamente sus componentes, especialmente el sensor LiDAR y el computador a bordo (Tabla 1).

En el diseño del esquema (Figura 6) es fundamental añadir elementos que aislen los componentes de la batería de polímero de litio (*LiPo — Lithium Polymer*), que es comúnmente empleada en vehículos no tripulados. Estas baterías suelen estar diseñadas para alimentar motores sin escobillas o *brushless*, que usualmente requieren grandes cantidades de corriente instantánea. El factor de descarga C indica la magnitud máxima de corriente que la batería puede entregar de forma segura. Sin embargo, los componentes del módulo no operan bajo intensidades tan elevadas, por lo que una descarga instantánea puede resultar en daños irreversibles.

Componente	Nvidia Jetson Orin	Livox Mid360 LiDAR
Voltaje de alimentación	+12 V	+12 V
Corriente de trabajo	2.04 A	0.5 A

Tabla 1: Especificaciones eléctricas de los componentes

Para el caso de la batería seleccionada:

- Factor de descarga $C = 60$
- Capacidad de almacenamiento $Q = 5000 \text{ mAh}$

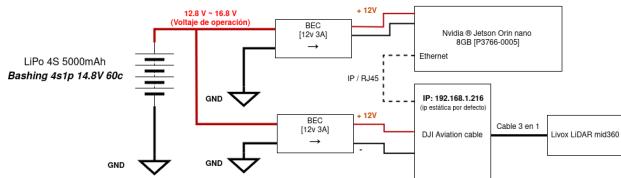


Figura 6: Esquema de componentes electrónicos.

La intensidad sería: $I_{\max} = C \cdot Q = 300 \text{ A}$. Esta corriente causaría daños irreversibles, por lo que se incorpora un componente que aísla la batería de los demás dispositivos. Para ello, se utiliza un BEC (*Battery Eliminator Circuit*), que separa los componentes del voltaje de potencia de la batería y suministra un voltaje y corriente limitados y regulados.

2.5. Integración

2.5.1. Posicionamiento del sensor en el módulo

Es de suma importancia conocer el marco de referencia del LiDAR (Figura 7). Esta información está disponible en el manual del fabricante. Este nos indica que el frontal del sensor está alineado con lo que medirá como coordenada X y, siguiendo la regla de la mano derecha, se definen los ejes Y-Z. Es decir, el sensor se ubica de forma que sus coordenadas coinciden con el eje X del centro de masas del módulo. Esto supone una ventaja, ya que no requiere correcciones significativas en el marco de referencia.

Entiéndase B como el marco de referencia del sensor y V como el marco de referencia del vehículo, donde calculamos la transformada de B a V Siciliano et al. [2009]:

$$F_V = {}^V R_B \cdot F_B + {}^V T_B$$

Donde solo se aplica la traslación, para obtener coordenadas con respecto al centro del vehículo.

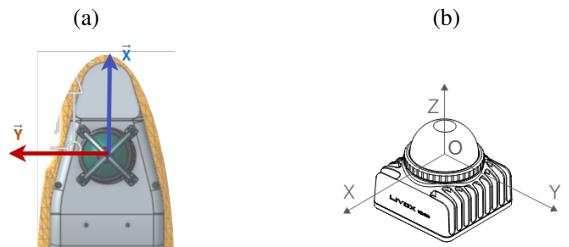


Figura 7: Montaje del sensor LiDAR basado en su sistema de coordenadas. (a) Sistema de referencia en el módulo. (b) Sistema de referencia según fabricante.

2.5.2. Interfaces de comunicación

El módulo es, a todos los efectos, el punto donde convergen diferentes tipos de datos que luego se procesan o se publican (*broadcast*). El sensor *Livox LiDAR mid360*, se comunica mediante ethernet. Esto implica que el sensor requiere una conexión física. Adicionalmente, su dirección IP es estática y se encuentra en la sub red 192.168.1.xxx. Por este motivo, su integración no es tan directa como otros sensores que utilizan USB.

Por lo mencionado anteriormente, se cambia la configuración estándar del puerto ethernet en la Jetson Orin Nano. De ahora en más, el puerto actuará como un punto de acceso dedicado, por lo que no podrá asumir el rol de cliente, es decir, ya no se podrá acceder a internet con esta interfaz.

Para acceder a una red y comunicarse con otros dispositivos, se usará la tarjeta de red inalámbrica integrada en la nvidia jetson. Para ello, se utiliza la herramienta Network Manager Red Hat, Inc. [2024], indicando que la tarjeta de red WiFi, representada por la interfaz virtual “wl1p1s0” será la que tenga mayor prioridad en las comunicaciones.

Una vez definidas las interfaces de comunicación (Tabla 2), se debe identificar la IP estática del LiDAR. Mediante el *driver* Livox para ROS2, es posible publicar mensajes en ROS2; para métodos de navegación, generalmente se utiliza un *CustomMsg* de Livox que cuenta con un *timestamp* sincronizado con la unidad inercial del sensor. Estos mensajes se pueden convertir manualmente a mensajes PCL (*Point Cloud Library*)Rusu and Cousins [2011], siempre que se respeten los tipos de datos.

Interfaz	Dispositivo	Dispositivo objetivo	Métrica
wl1p1s0	Dual Band	Módem WiFi	10
enP8p1s0	Ethernet	LiDAR	N/A
wlx1cbfce3b01bd	USB-WIFI	Punto de acceso	15
ttyACM0:57600	USB-Serial	Pixhawk4 FMU	N/A

Tabla 2: Interfaces de comunicación.

Por otro lado, se ha de configurar la tarjeta USB con chipset RTL8812BU como punto de acceso, respetando las restricciones propias del kernel provisto con el JetPack 6.2: 5.15.148-tegra, por lo que se deben apuntar a los *headers* antes de compilar el *driver*.

3. Resultados

El módulo diseñado particularmente para el Go2 Pro y descrito en las primeras etapas de este trabajo, ha sido adaptado exitosamente al robot, verificando la viabilidad del diseño y la adaptabilidad prevista de los componentes (Figura 8.a). Tras diferentes pruebas, se ha comprobado que el módulo se mantiene fijado, no presenta daños y mantiene los componentes con la refrigeración adecuada. Además se ha comprobado que su integración minimiza las interferencias. Así mismo ha podido validarse la integración en los vehículos hospitalario y Go2Pro, manteniendo compactos y protegidos los componentes del módulo (Figura 8.b,c). El funcionamiento del módulo se valida en los 3 robots realizando pruebas de mapeo utilizando el algoritmo FastLIO Xu and Zhang [2021].

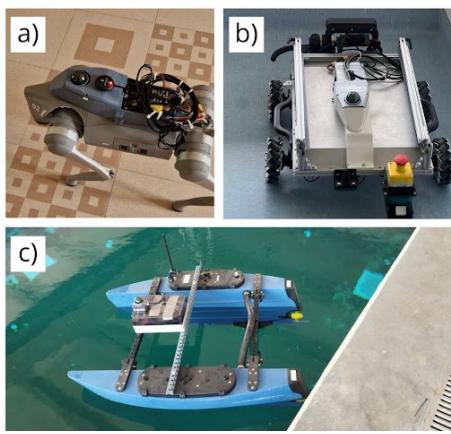


Figura 8: Integración del módulo con los vehículos: (a) Uni-tree Go2Pro ; (b) Robot hospitalario ; (c) BlueBoat.

3.1. Generación de datos útiles para navegación

Se ha entrenado un modelo de aprendizaje profundo para la detección de puertas. El modelo de red neuronal empleado es YOLOv11 Jocher and Qiu [2024], debido a su equilibrio entre velocidad y precisión. Este modelo ha sido reentrenado (Figura 9.a) mediante la técnica de *fine tuning* Yosinski et al. [2014]. Para ello, se han utilizado 3.000 imágenes, distribuidas en 2.800 para entrenamiento, 100 para validación y 100 para test. El entrenamiento se llevó a cabo durante 20 iteraciones, con un tamaño de lote (*batch size*) de 32. Se empleó una programación coseno (*cosine decay*) para la tasa de aprendizaje (*learning rate*) Loshchilov and Hutter [2016], y se aplicó *early stopping* con un umbral de 5 iteraciones sin mejora. El modelo alcanza una precisión del 94 % sobre el conjunto de prueba.

Se emplea la cámara a bordo del robot (robot UJI) como fuente de entrada para el modelo de detección de puertas (Figura 9.b). Una vez realizada la predicción del *bounding box* correspondiente a la puerta, se calcula el centroide del objeto detectado, el cual se utiliza posteriormente en las tareas de mapeo y navegación. La comunicación de la cámara del robot con el módulo propuesto se realiza tal como se indica en la Figura 9.c.

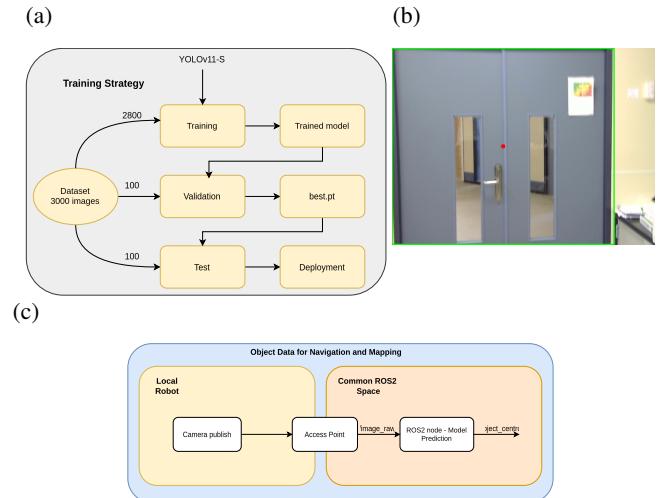


Figura 9: Uso de un detector para funciones de navegación. (a) Estrategia de entrenamiento. (b) Detección de puertas y centroide. (c) Generación de posiciones para navegación.

El algoritmo FastLIO (Figura 10) presenta limitaciones en entornos homogéneos, donde la geometría de las superficies dificulta la extracción de características distinguibles en los *point clouds*. Para abordar esta problemática, se ha integrado la red neuronal y la detección del centroide de las predicciones. Estos centroides actúan como marcadores espaciales adicionales, proporcionando referencias estructurales que enriquecen el mapa del entorno.

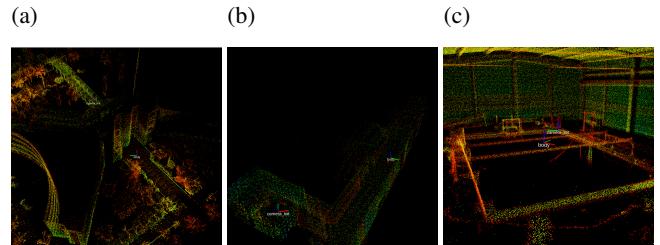


Figura 10: FastLIO en diferentes plataformas: (a) En interior/exterior utilizando Go2Pro. (b) En entorno clínico utilizando el robot UJI. (c) En tanque de agua utilizando Blueboat.

3.2. Primera configuración de mapeo vs módulo de navegación y mapeo



Figura 11: Montaje inicial usando un carrito de oficina para evaluar el sensor.

Uno de los usos de este módulo es la obtención de nubes de puntos persistentes (Figura 10) y este depende fuertemente

de las vibraciones y del tiempo en ejecución debido al error acumulado. Por esto realizamos una prueba comparando las vibraciones capturadas por el sensor de unidad de medición inercial integrado en el LiDAR entre un vehículo con 4 ruedas (Figura 11) y el robot Unitree Go2Pro. Como se observa en la Figura 12, el ruido obtenido en el vehículo de pruebas es inferior al obtenido en el cuadrúpedo, lo cual es razonable por la diferente naturaleza del movimiento de ambos vehículos.

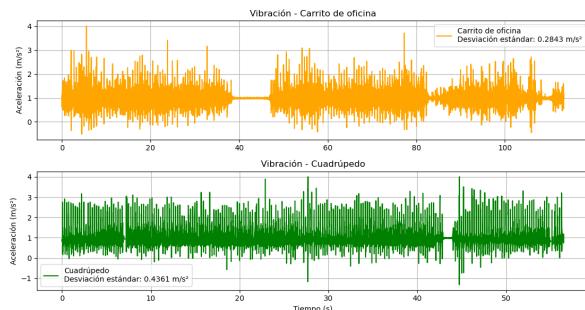


Figura 12: Desviación estándar de la aceleración en el eje z.

4. Conclusiones

En este trabajo se desarrolló un módulo de percepción compacto para tareas de navegación y mapeo, integrando un LiDAR Livox Mid-360 con una Jetson ejecutando ROS 2, bajo el marco metodológico de desarrollo mecatrónico VDI 2206:2020. Este módulo reemplaza una configuración anterior más voluminosa, compuesta por un inversor DC/AC, una fuente de voltaje variable, un computador portátil y un router.

El diseño mecánico, optimizado para impresión 3D, permite una rápida adaptación a plataformas terrestres y acuáticas, mejorando la versatilidad del sistema. En comparación con la arquitectura previa, el nuevo módulo reduce la complejidad energética y facilita significativamente su despliegue en campo.

Si bien la locomoción cuadrúpeda induce mayor variabilidad en la señal inercial, se evidenció una mayor eficiencia y estabilidad al atravesar terrenos irregulares. Este desarrollo demuestra la viabilidad de módulos sensoriales compactos en entornos reales y sienta las bases para futuras extensiones orientadas a la navegación autónoma y a una integración más robusta dentro del ecosistema ROS 2.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido desarrollado en el marco de los proyectos de investigación CENTAURO (PLEC2023-010360), fi-

nanciado por el Ministerio de Educación y Ciencia; TANDEM (PID2023-149910OB-C32), financiado por el Ministerio de Ciencia, Educación y Universidades; y H2020-ElPeacetolero, financiado por la Comisión Europea.

Referencias

- Grewal, M. S., Weill, L. R., Andrews, A. P., 2007. Global positioning systems, inertial navigation, and integration. John Wiley & Sons.
- Jocher, G., Qiu, J., 2024. Ultralytics yolo11. URL: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>
- Jung, Y. H., Cho, D. H., Hong, J. W., Han, S. H., Cho, S. B., Shin, D. Y., Lim, E. T., Kim, S. S., 2022. Development of multi-sensor module mounted mobile robot for disaster field investigation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLIII-B3-2022, 1103–1108. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLIII-B3-2022/1103/2022/> DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-1103-2022
- Kanakannavar, S., Shahapurkar, K., Kanaginahal, G., Mahale, R. S., Kakkar, P., 2024. Coating methods and materials for 3d printed fdm parts. In: 3D Printing of Polymer Materials for Functional Applications. CRC Press. DOI: 10.1201/9781032665351-6
- Loshchilov, I., Hutter, F., 2016. Sgdr: Stochastic gradient descent with warm restarts. arXiv preprint arXiv:1608.03983.
- Marqués, J., Marín, J., de Diego, M., Arbona, Á., Muñoz, J., Rogalskyy, E., Monteagut, P., Martí, J. V., Marín, R., Cervera, E., et al., 2023. Aprendizaje en el ámbito de la introducción a la robótica móvil: experiencia en la competición asti robotics challenge. In: XLIV Jornadas de Automática. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións, pp. 247–252.
- Red Hat, Inc., 2024. nmcli - NetworkManager Command Line Interface Manual. GNOME Project, <https://developer.gnome.org/NetworkManager/stable/nmcli.html>.
- Rusu, R. B., Cousins, S., 2011. 3d is here: Point cloud library (pcl). In: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, pp. 1–4.
- Siciliano, B., Sciacicco, L., Villani, L., Oriolo, G., 2009. Robotics: Modelling, Planning and Control, 1st Edition. Springer, London.
- Tirado-Bou, A., Marín-Prades, R., Baiguera Tambutti, L., Sanz, P. J., Martí, J. V., 2022. Desarrollo de una interfaz para el prototipado y validación de un robot móvil autónomo de uso hospitalario. In: XLIII Jornadas de Automática. Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións, pp. 156–164.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI), 2020. VDI 2206:2020 - Development of Cyber-Physical Mechatronic Systems. VDI-Handbuch Mechatronik, Düsseldorf, Germany, norma técnica.
- Wei, G., Gardner, J. W., Cole, M., Xing, Y., 2016. Multi-sensor module for a mobile robot operating in harsh environments. In: 2016 IEEE SENSORS. IEEE, pp. 1–3.
- Xu, W., Zhang, F., 2021. Fast-llo: A fast, robust lidar-inertial odometry package by tightly-coupled iterated kalman filter. IEEE Robotics and Automation Letters 6 (2), 3317–3324.
- Yosinski, J., Clune, J., Bengio, Y., Lipson, H., 2014. How transferable are features in deep neural networks? In: Advances in neural information processing systems. Vol. 27.