



# LiDAR de estado sólido multimodal para aplicaciones de percepción avanzada

## Multimodal solid-state LiDAR for advanced perception applications

AUTORES:

Pablo GARCÍA-GÓMEZ<sup>1\*</sup>, Noel RODRIGO<sup>1</sup>, Jordi RIU<sup>2</sup>, Josep R. CASAS<sup>3</sup>, Santiago ROYO<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Centre de Desenvolupament de Sensors, Instrumentació i Sistemes, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-CD6), Rambla Sant Nebridi 10, E08222, Terrassa, Spain.

<sup>2</sup> Beamagine S.L., Carrer de Bellesguard 16, 08755 Castellbisbal, Spain

<sup>3</sup> Grup de Processat d'Imatge, Departament TSC, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Carrer de Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, Spain.

### INTRODUCCIÓN

El auge del vehículo autónomo y la necesidad de percibir el entorno de una manera fiable han provocado un gran desarrollo en sensores y sistemas [1]. La combinación o fusión de sensores con distintos principios de funcionamiento y modos de fallo es la respuesta a este interesante desafío [2]. Su objetivo es **combinar la mayor información posible del entorno**, incluso redundante, para interpretar mejor el entorno y tomar decisiones con mayor fiabilidad [3]. En este marco, la transformación actual de los sensores LiDAR es el claro ejemplo de este intenso *market-pull* [4]. Gracias a ellos, se obtiene información geométrica 3D del entorno con gran resolución espacial.



Fig. 1: Mejora de la percepción de una escena gracias a la fusión de sensores. En este caso, se muestra una nube de puntos de un LiDAR fusionado con el color de una cámara convencional.

### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Para combinar la información de cada sensor, debemos entender como funciona cada uno individualmente (**Intrínsecos**) y conocer sus posiciones y orientaciones relativas (**Extrínsecos**).

**Extrínsecos**

(1) LiDAR - Cámara

**Intrínsecos**

(2) LiDAR - Entorno

(3) Cámara - Entorno

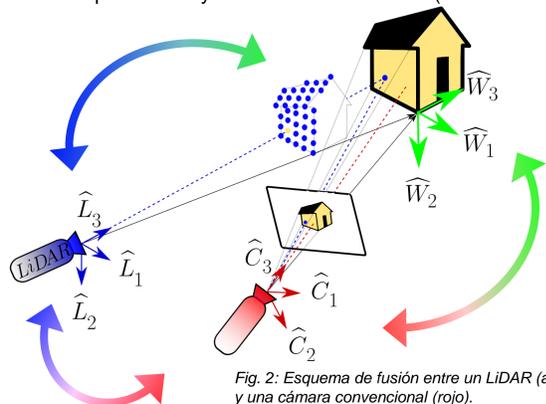


Fig. 2: Esquema de fusión entre un LiDAR (azul) y una cámara convencional (rojo).

(1)  $\mathbf{p}^c = [x, y, z]^c = \mathbf{p}^l \cdot \mathbf{R}_{L|C} + \mathbf{t}_{L|C}$  Extrínsecos del LiDAR -  $\mathbf{R}_{L|C}$  es la **orientación** respecto de la cámara -  $\mathbf{t}_{L|C}$  es la **posición**

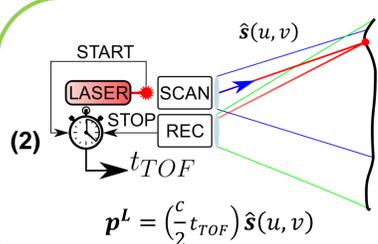


Fig. 3: Diagrama del funcionamiento de un escáner LiDAR pulsado [5].

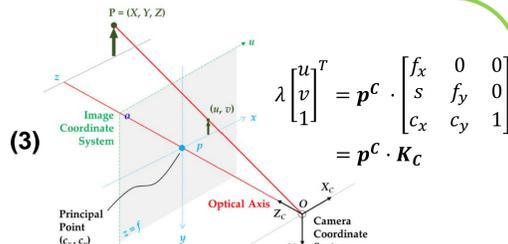


Fig. 4: Modelo de proyección de una cámara [2].

### SISTEMA CONSTRUIDO

Sistema de **fusión multimodal** basado en LiDAR que contiene los siguientes sensores:

Sensor	Medida	Rango	Tamaño (ancho x alto)	
LiDAR (L)	L3CAM	Geometría 3D	1064 nm	300 x 150
RGB (R)	PHX050S-CC	Color	Visible	1224 x 1024
POL (P)	PHX050S-PC	Polarización lineal	Visible	1224 x 1024
LWIR (T)	OPTRIS Xi 400	Temperatura	LWIR (7-14µm)	382 x 288

Tabla 1: Listado de los sensores del sistema de fusión.



Fig. 5: Sistema de fusión LiDAR multimodal propiedad de Beamagine

**Ventajas:**

- Nubes de puntos de alta densidad espacial (45 mil puntos por captura a 10 fps)
- Sistema activo (LiDAR) y robusto para nula iluminación externa (LWIR)
- Campos de visión parecidos y comunes
- Ensamblaje reducido y compacto

Conlleva a un **error de paralaje bajo** para la fusión

Pareja	L-R	L-P	L-T	R-P	R-T	P-T
Error [cm]	3,0	3,6	6,4	0,9	3,9	3,7

Tabla 2: Error de paralaje en la fusión en cm para cada pareja de sensores.

### RESULTADOS

#### 3D+RGB



Fig. 6: Fusión en color. (a) Color e intensidad a 1064 nm. (b) Color a 30 m. (c) Color a 120 m.

- ✓ Mayor interpretabilidad de la escena gracias al color
- ✓ Detección de objetos pequeños gracias al LiDAR
- ✓ Color da información adicional

- ✓ Contraste de objetos mejorado
- ✓ Fácil detección de objetos salientes en entornos marítimos
- ✓ Complementariedad para condiciones adversas

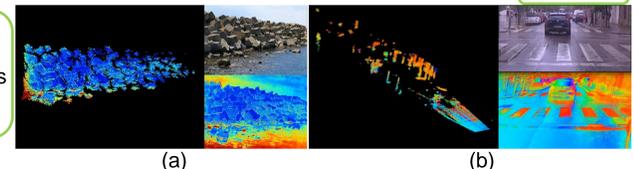


Fig. 7: Fusión polarimétrica. (a) Un espigón portuario para detección sobre agua. (b) Conducción urbana sobre pavimento mojado.

#### 3D+RGB+LWIR



Fig. 8: Fusión en 3D, color y térmica para detección de personas y objetos calientes.

- ✓ Fácil detección de objetos con contraste térmico
- ✓ Registro entre imágenes en color y térmicas preciso gracias al LiDAR
- ✓ Funcionamiento nocturno y bajo condiciones adversas robusto gracias a la LWIR

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Zhangjing WANG, Yu WU, Qingqing UN, "Multi-Sensor Fusion in Automated Driving: A Survey", IEEE Access, 8, 2847-2868, 2019.
- [2] De Jong YEONG, Gustavo VELASCO-HERNANDEZ, John BARRY, Joseph WALSH, "Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles: A Review", Sensors, 21, 6, 2140, 2021.
- [3] Pablo GARCÍA-GÓMEZ, Jordi RIU, Santiago ROYO, "Lidar and Data Fusion Increase AI Performance", Photonics.com, [https://www.photonics.com/Articles/Lidar\\_and\\_Data\\_Fusion\\_Increase\\_AI\\_Performance/a66490](https://www.photonics.com/Articles/Lidar_and_Data_Fusion_Increase_AI_Performance/a66490). (2021)
- [4] Santiago ROYO, Maria BALLESTA-GARCIA, "An Overview of Lidar Imaging Systems for Autonomous Vehicles", Applied Sciences, 9, 19, 4093, 2019.
- [5] Pablo GARCÍA-GÓMEZ, Santiago ROYO, Noel RODRIGO, Josep R. CASAS, "Geometric Model and Calibration Method for a Solid-State LiDAR", Sensors, 20, 10, 2898, 2020.

### CONCLUSIONES

Se ha presentado un **sistema de fusión multimodal basado en 3D** que contiene información **visible, polarimétrica, NIR (1064 nm) y LWIR (térmica)** que se puede combinar de manera precisa y exacta entre cualquier pareja de sensores.

Este sistema presenta un **error de paralaje reducido**, del orden de la incertidumbre de medida, gracias al método y a su ensamblaje compacto. Además, las oclusiones entre sensores también se ven reducidas al situarse tan cerca.

Los modos complementarios de imagen junto con la nube de puntos 3D se pueden fusionar *a priori* (early fusion) o *a posteriori* (late fusion) para **realzar la detección, el reconocimiento y la identificación** de los objetos del entorno.

Las virtudes y los modos de fallo de los sensores del sistema lo hacen **robusto bajo condiciones** de poca o **nula iluminación** y **condiciones adversas** como la lluvia, la niebla o el humo.

