

Tema 7: Inteligencia artificial aplicada al modelado de sistemas

MODELOS COMPUTACIONALES Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS
Curso 2025-2026



Índice

1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

Índice

- 1. Introducción**
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

1. Introducción

- Vamos a ver diferentes aplicaciones de **Robótica Móvil**.
- Partimos de la representación en **espacio de estados**:

Lineal

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) = Cx(t) + Du(t) \end{cases}$$

No Lineal

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \\ y(t) = g(x(t), u(t), t) \end{cases}$$

Índice

1. Introducción
2. **Localización: Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

2. Localización: Estimación de $x(t)$

- **Modelo de propagación:**

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k$$

$$f(x_k, u_k) = \begin{bmatrix} x_k + v_k \Delta t \cos \theta_k \\ y_k + v_k \Delta t \sin \theta_k \\ \theta_k + \omega_k \Delta t \end{bmatrix}$$

2. Localización: Estimación de $x(t)$

- **Modelo de observación:**

$$y_k = h(x_k) + v_k$$

$$\hat{y}_{k|k-1} = h(\hat{x}_{k|k-1})$$

$$\tilde{y}_k = y_k - \hat{y}_{k|k-1}$$

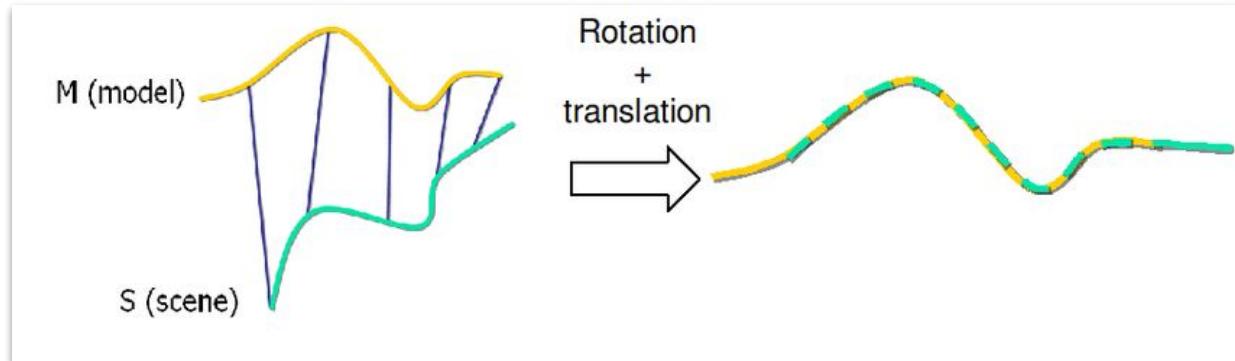
Índice

1. Introducción
2. Localización: Estimación de $x(t)$
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: Estimación de $u(t)$
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

2.a. Odometría LiDAR

- Con Iterative Closest Point y un LiDAR se puede obtener y_k

$$y_k = \begin{bmatrix} \hat{x}_k^{\text{lidar}} \\ \hat{y}_k^{\text{lidar}} \\ \hat{\theta}_k^{\text{lidar}} \end{bmatrix}$$



$$h(\hat{x}_k) = \hat{x}_k$$

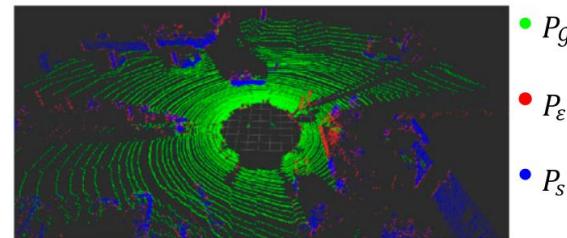
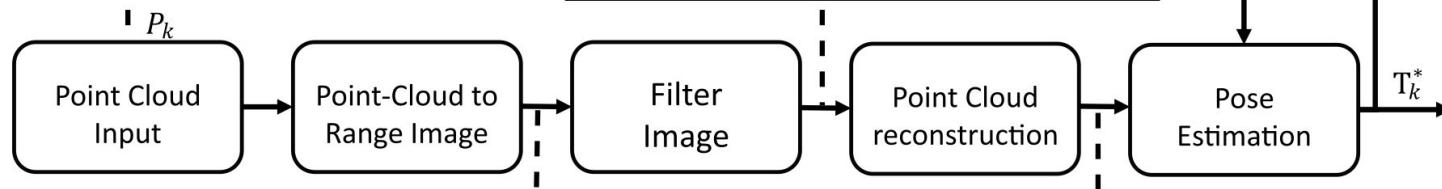
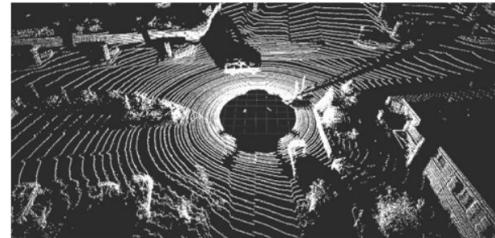
$$H_k = I$$



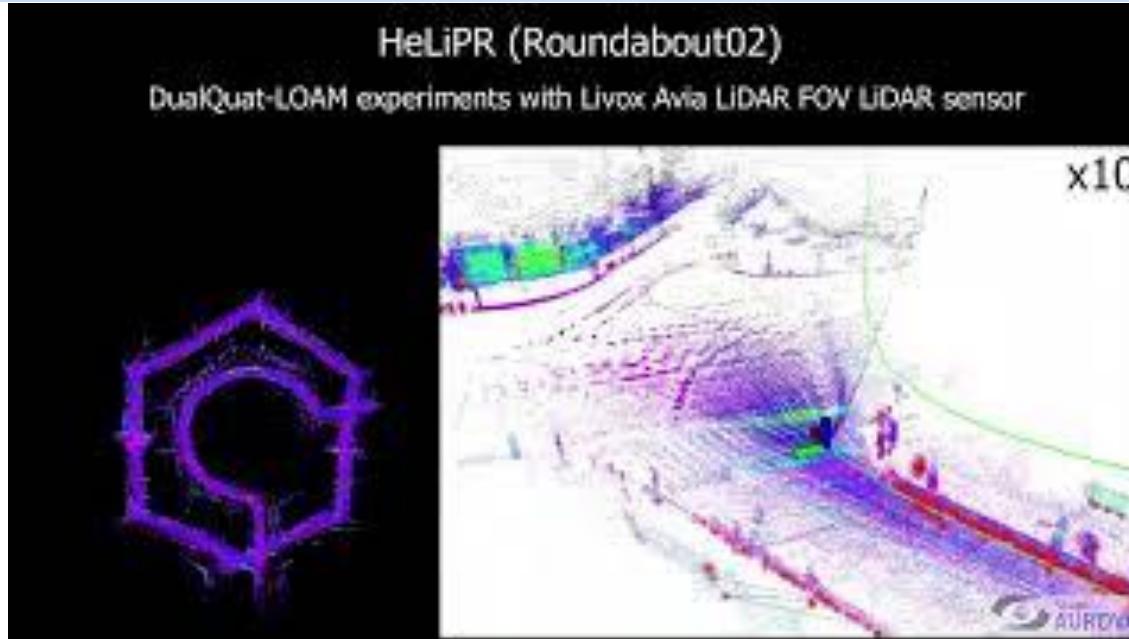
$$\tilde{y}_k = y_k - \hat{y}_{k|k-1}$$

$$\hat{y}_k = \hat{x}_k + v_k$$

2.a. Odometría LiDAR (caso real)

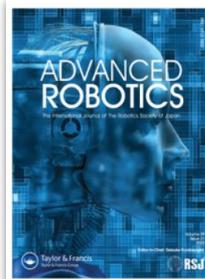


2.a. Odometría LiDAR (caso real)



<https://youtu.be/EDYU18tMmgI?si=Di5vVKBl1gdqWpV>

2.a. Odometría LiDAR (caso real)



Advanced Robotics

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

ISSN: 0169-1864 (Print) 1568-5535 (Online) Journal homepage: www.tandfonline.com/journals/tadr20

LiLO: lightweight and low-bias LiDAR odometry method based on spherical range image filtering

Edison P. Velasco-Sánchez, Miguel Ángel Muñoz-Bañón, Francisco A. Candelas, Santiago T. Puente & Fernando Torres

- Velasco-Sánchez, Edison P., et al. "LiLO: Lightweight and low-bias LiDAR odometry method based on spherical range image filtering." *Advanced Robotics* (2025): 1-17.

Índice

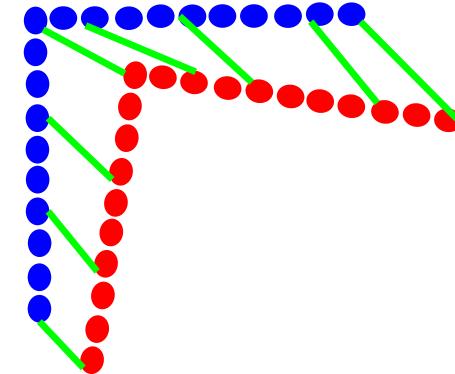
1. Introducción
2. **Localización: Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización**
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

2.a. Localización

- y_k viene dado por el conjunto de **puntos del LiDAR**
- Se asocian puntos del sensor con **puntos de un mapa**

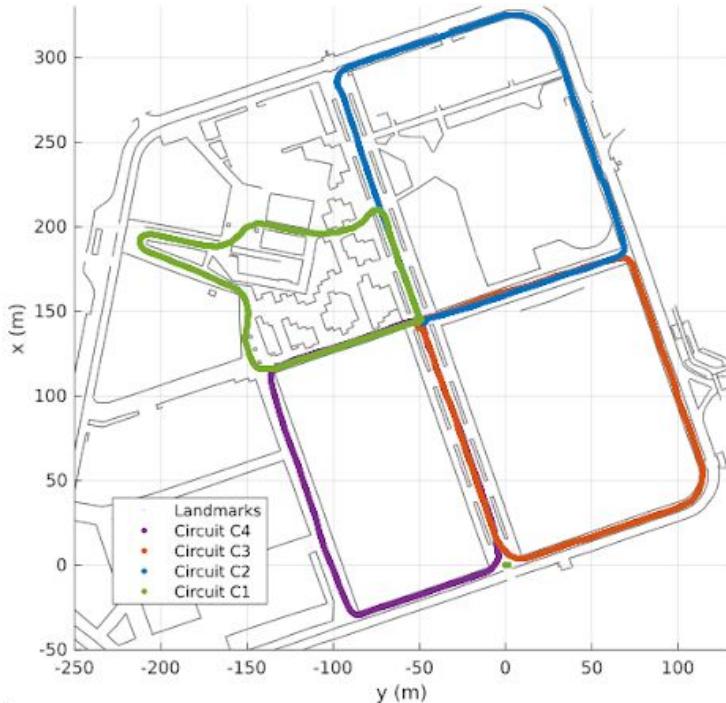
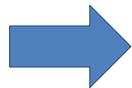
$$y_k = z_k = \begin{bmatrix} r_{k,1} \\ r_{k,2} \\ \vdots \\ r_{k,N} \end{bmatrix}$$

$$y_k = h(x_k) + v_k$$

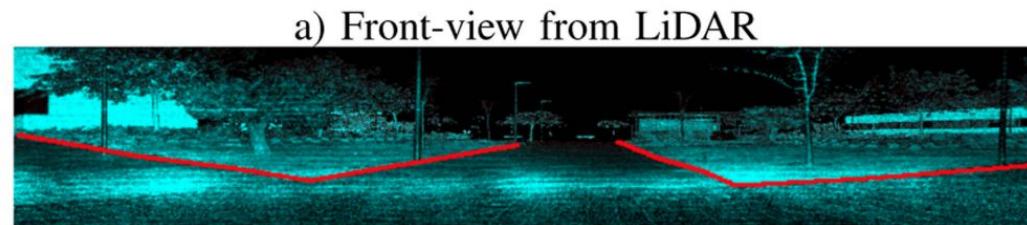


$$\tilde{y}_k = \textcircled{y}_k - \textcircled{\hat{y}}_{k|k-1}$$

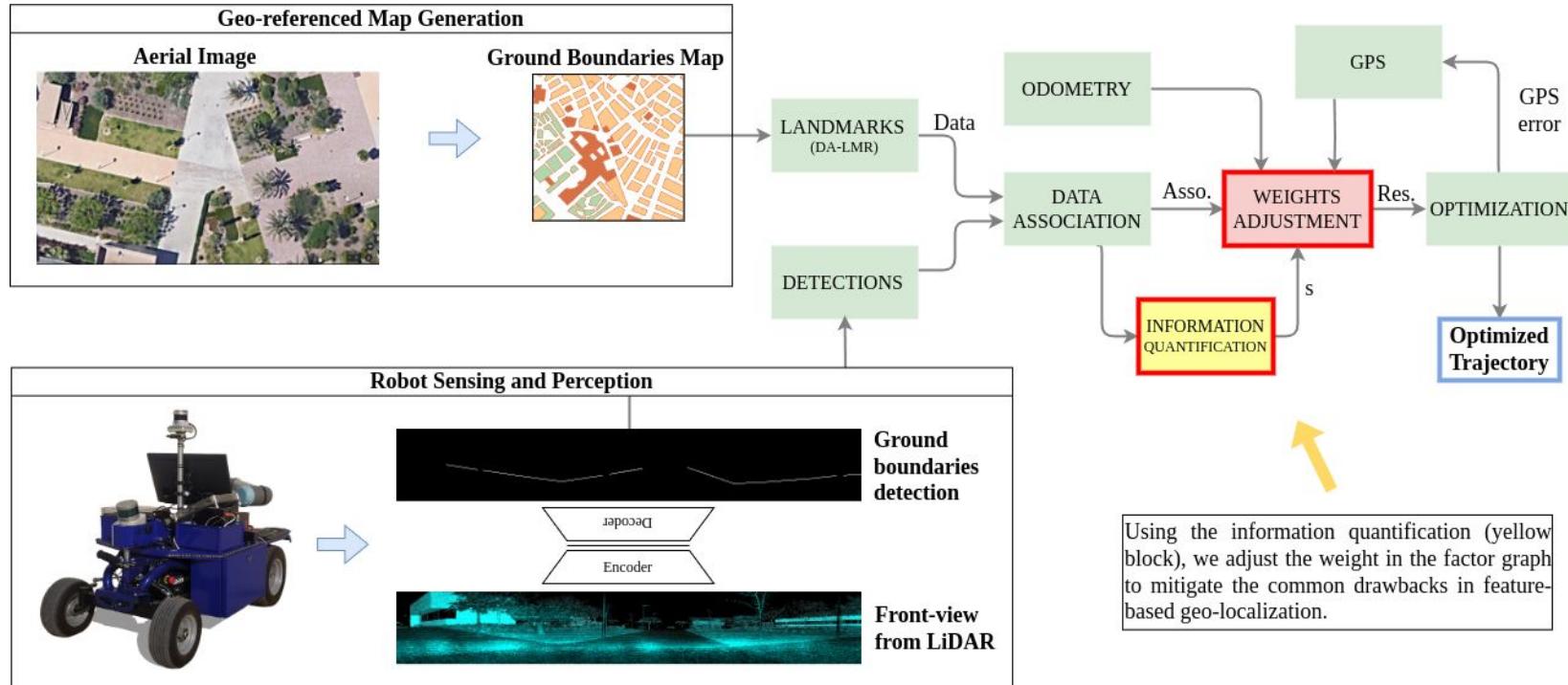
2.a. Geo-localización (caso real)



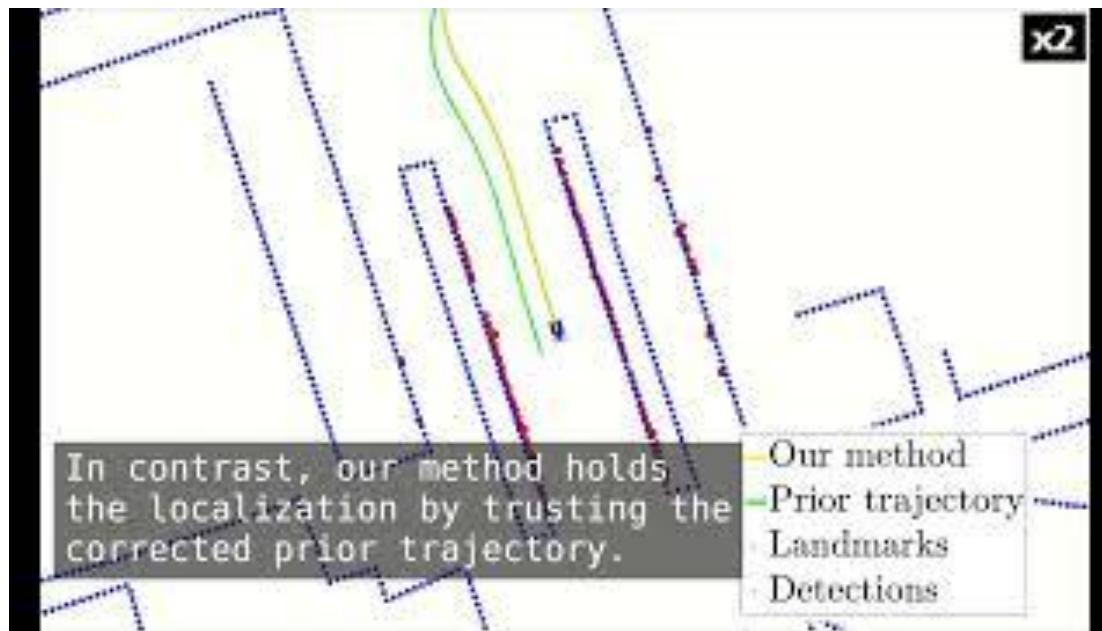
2.a. Geo-localización (caso real)



2.a. Geo-localización (caso real)



2.a. Geo-localización (caso real)



<https://youtu.be/z9zCJZAgoUU?si=B6SnEfz-DXs2jOml>

2.a. Geo-localización (caso real)



<https://www.mrt.kit.edu/english/index.php>



2.a. Geo-localización (caso real)

IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, VOL. 7, NO. 4, OCTOBER 2022



12339

Robust Self-Tuning Data Association for Geo-Referencing Using Lane Markings

Miguel Ángel Muñoz-Bañón , Jan-Hendrik Pauls , Haohao Hu , Christoph Stiller ,
Francisco A. Candelas , and Fernando Torres

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9928353>

2.a. Geo-localización (caso real)

IEEE ROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, VOL. 9, NO. 6, JUNE 2024

5599

Geo-Localization Based on Dynamically Weighted Factor-Graph

Miguel Ángel Muñoz-Bañón , Alejandro Olivas , Edison Velasco-Sánchez , Francisco A. Candelas ,
and Fernando Torres 

<https://ieeexplore.ieee.org/document/10517630>

Índice

1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. **Planificación y control: Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

3. Planificación y control: Estimación de $u(t)$

- La planificación y control se basa básicamente en encontrar u_k a partir de estado y las observaciones
 - Puede realizarse con algoritmos basados en geometría
 - O mediante aprendizaje

$$u_k = g(x_k, x_d, y_k)$$

Índice

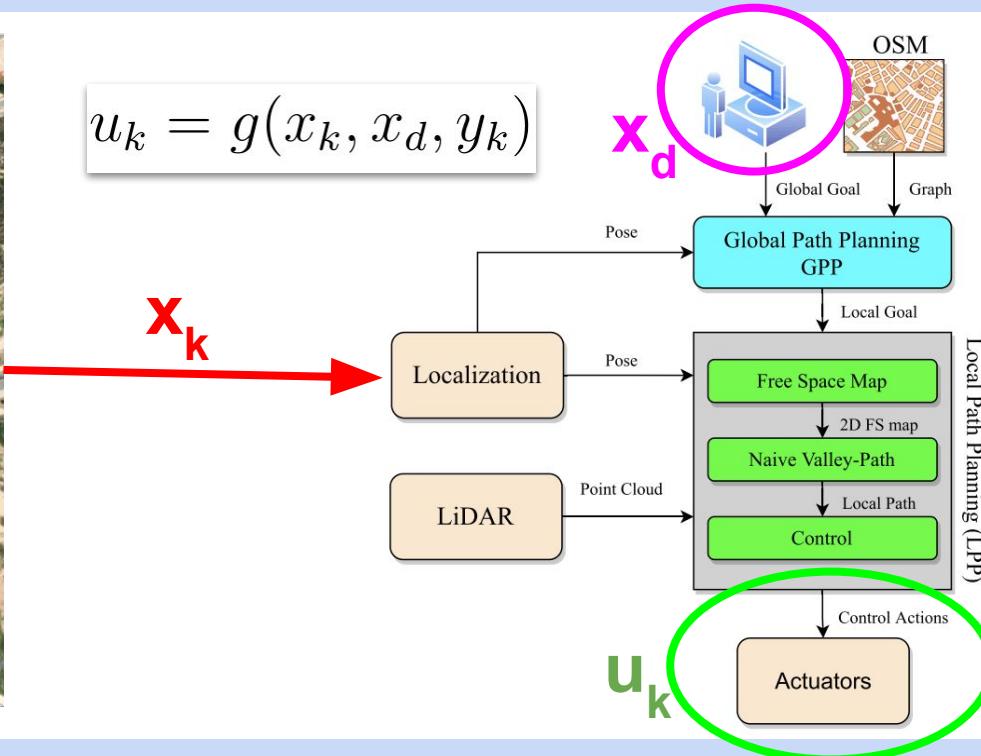
1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. **Planificación y control: Estimación de $u(t)$**
 - a. **Planificación local**
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

3.a. Planificación local



$$u_k = g(x_k, x_d, y_k)$$

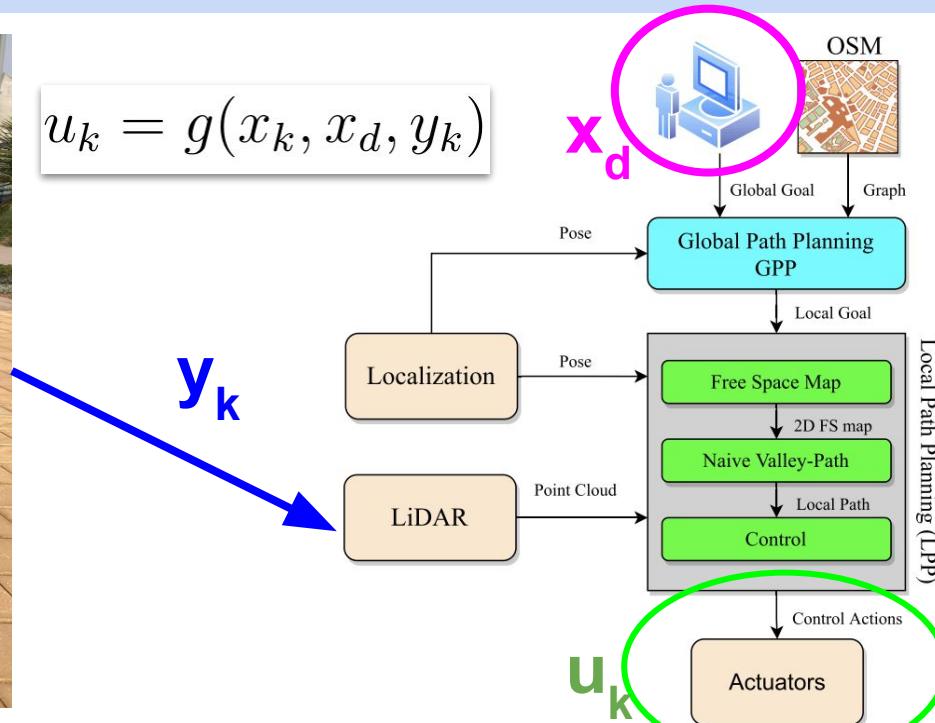
x_k



3.a. Planificación local



$$u_k = g(x_k, x_d, y_k)$$



3.a. Planificación local



<https://youtu.be/w0pikf8788k?si=XMBaObuxpOA32Owv>

3.a. Planificación local

24428

IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, VOL. 23, NO. 12, DECEMBER 2022

OpenStreetMap-Based Autonomous Navigation With LiDAR Naive-Valley-Path Obstacle Avoidance

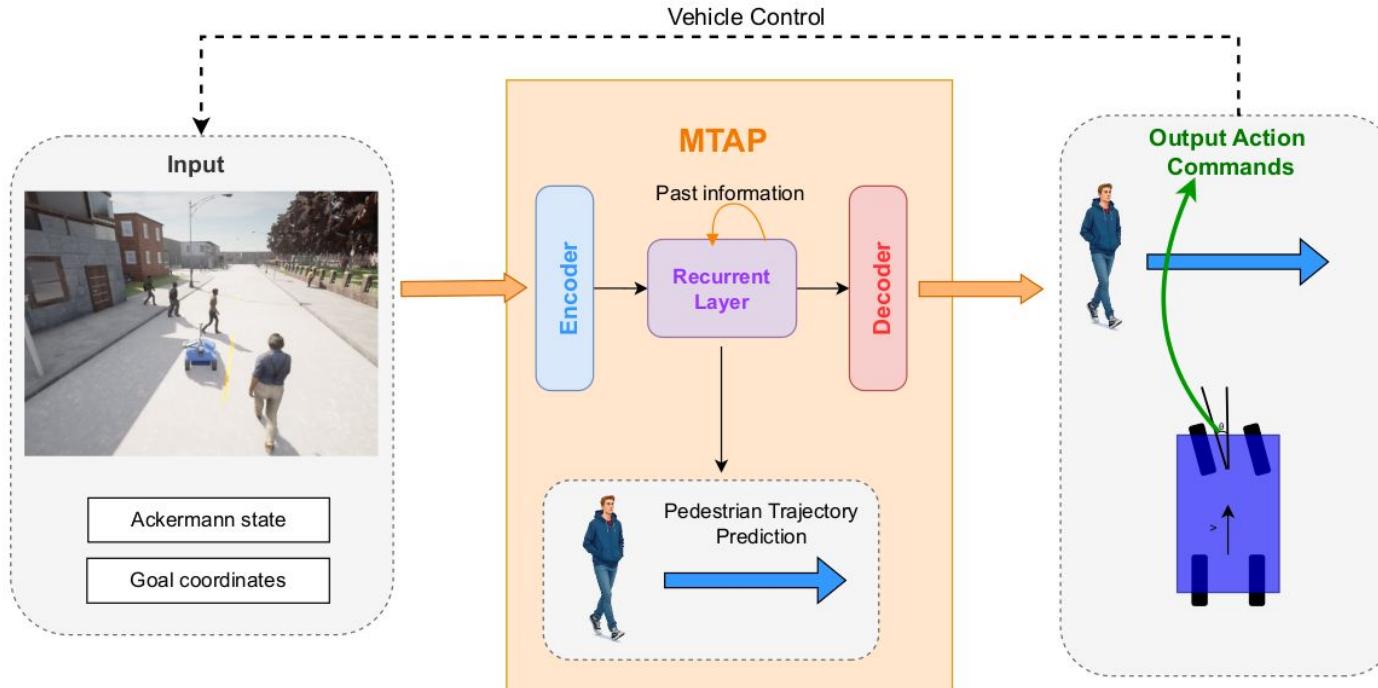
Miguel Ángel Muñoz-Bañón^{ID}, Edison Velasco-Sánchez^{ID}, Francisco A. Candelas^{ID},
and Fernando Torres^{ID}, *Senior member, IEEE*

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9906811>

Índice

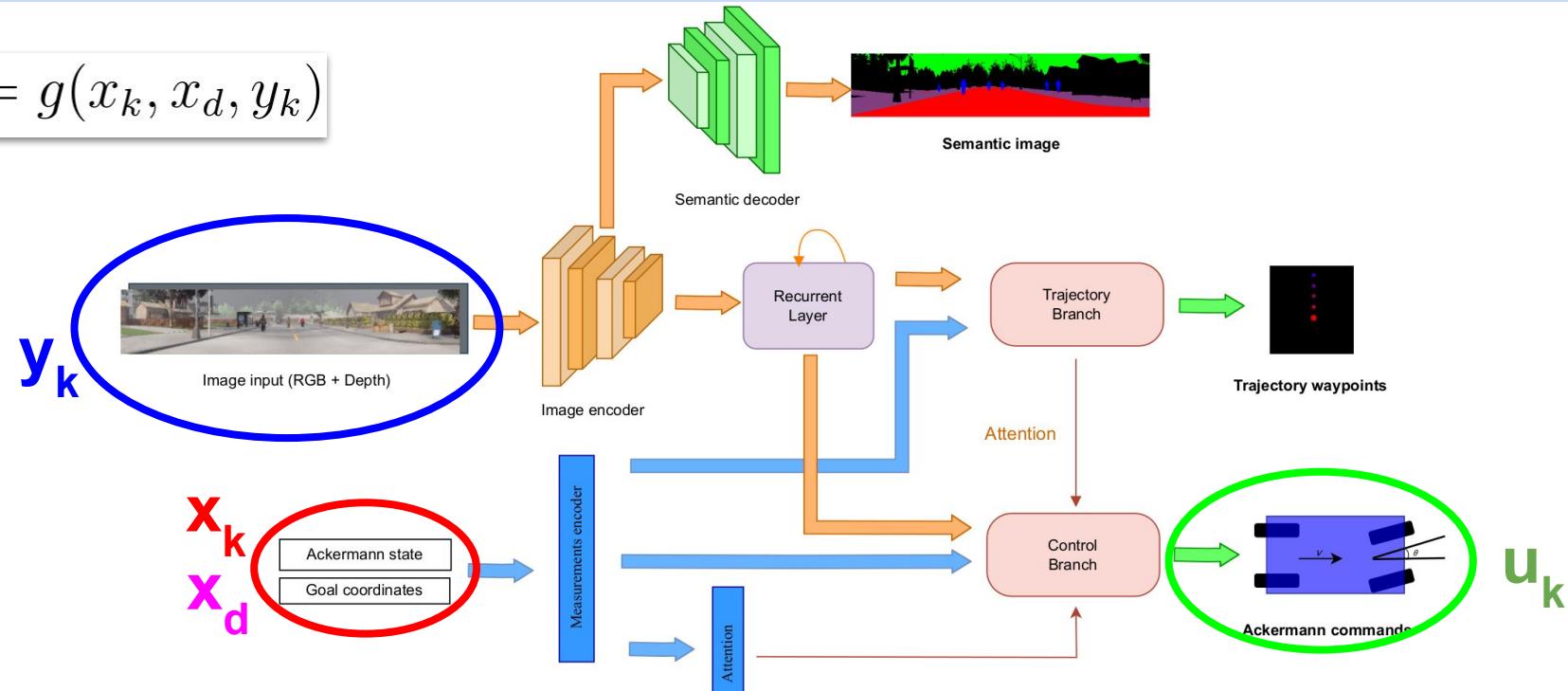
1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. **Planificación y control: Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje**
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

3.b. Planificación mediante aprendizaje (real)

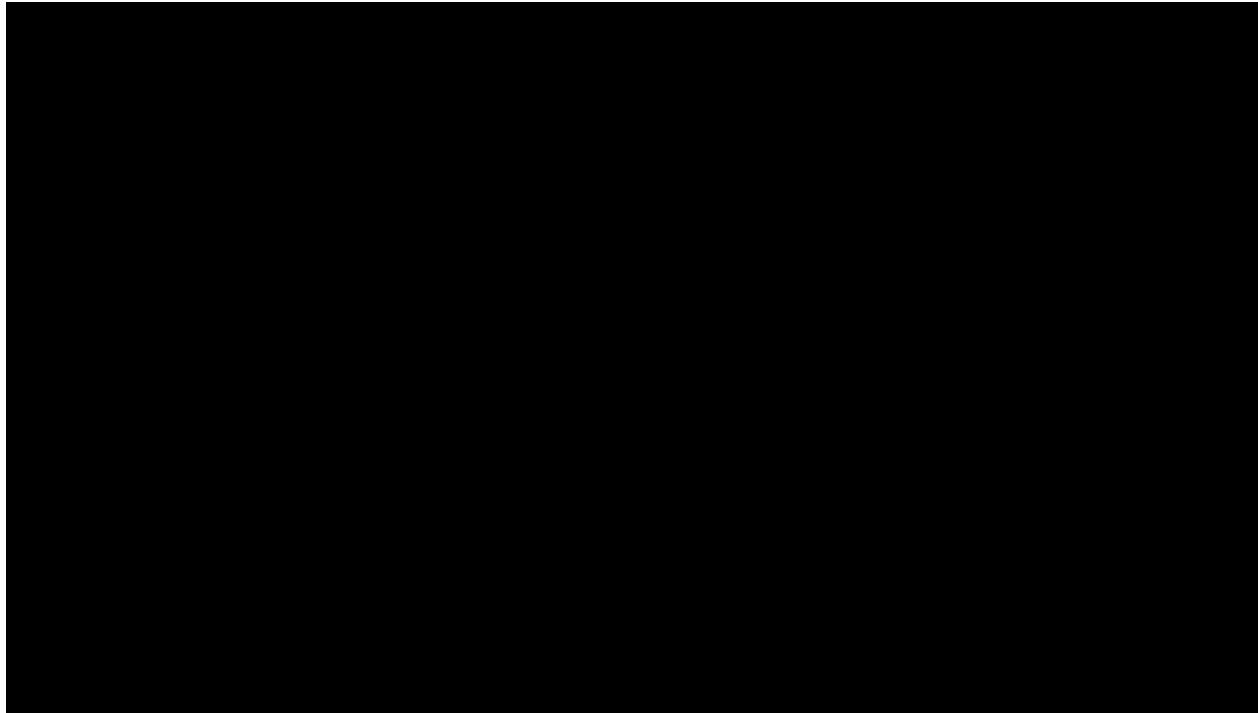


3.b. Planificación mediante aprendizaje (real)

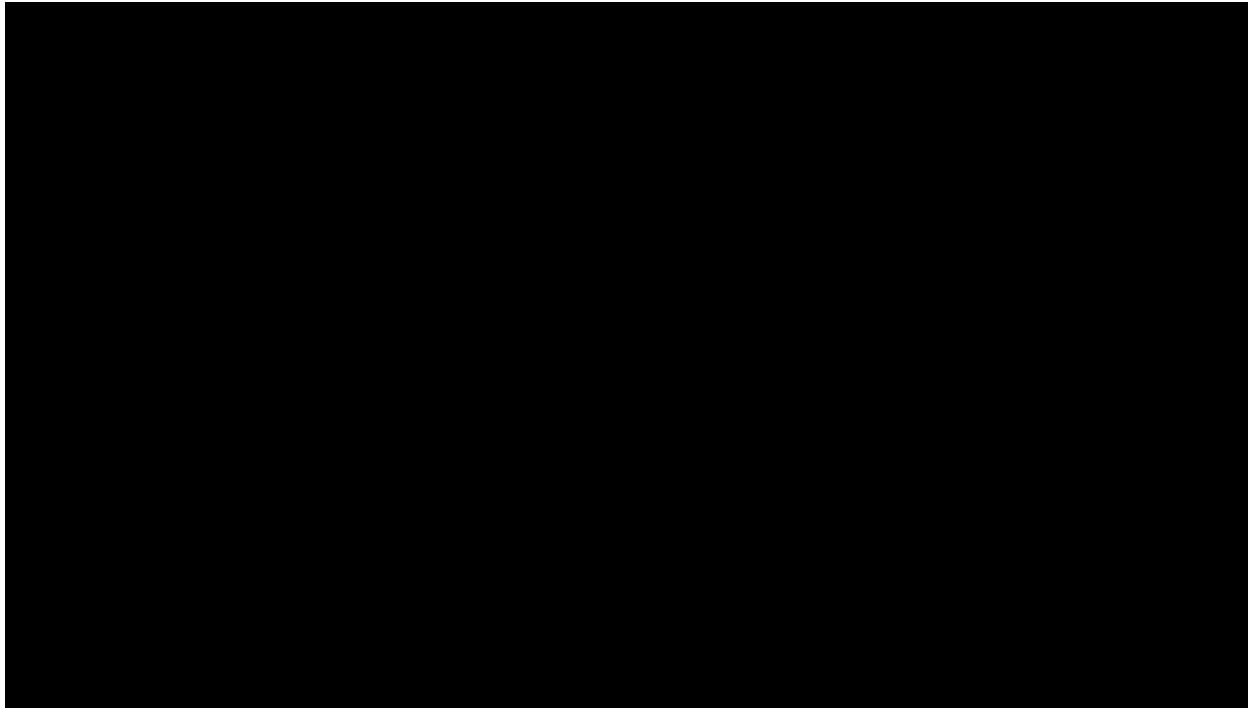
$$u_k = g(x_k, x_d, y_k)$$



3.b. Planificación mediante aprendizaje (real)



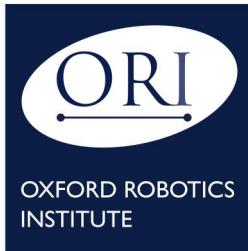
3.b. Planificación mediante aprendizaje (real)



Índice

1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. **Otros temas relacionados**
 - a. **Oxford Spires dataset**
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

4.a. Oxford Spires dataset



<https://ori.ox.ac.uk/>

<https://dynamic.robots.ox.ac.uk/>

<https://dynamic.robots.ox.ac.uk/datasets/oxford-spires/>

Oxford Spires Dataset

Yifu Tao, Miguel Ángel Muñoz-Bañón, Lintong Zhang, Jiahao Wang, Lanke Frank Tarimo Fu, Maurice Fallon



Arxiv



YouTube



Code



HuggingFace



GDrive



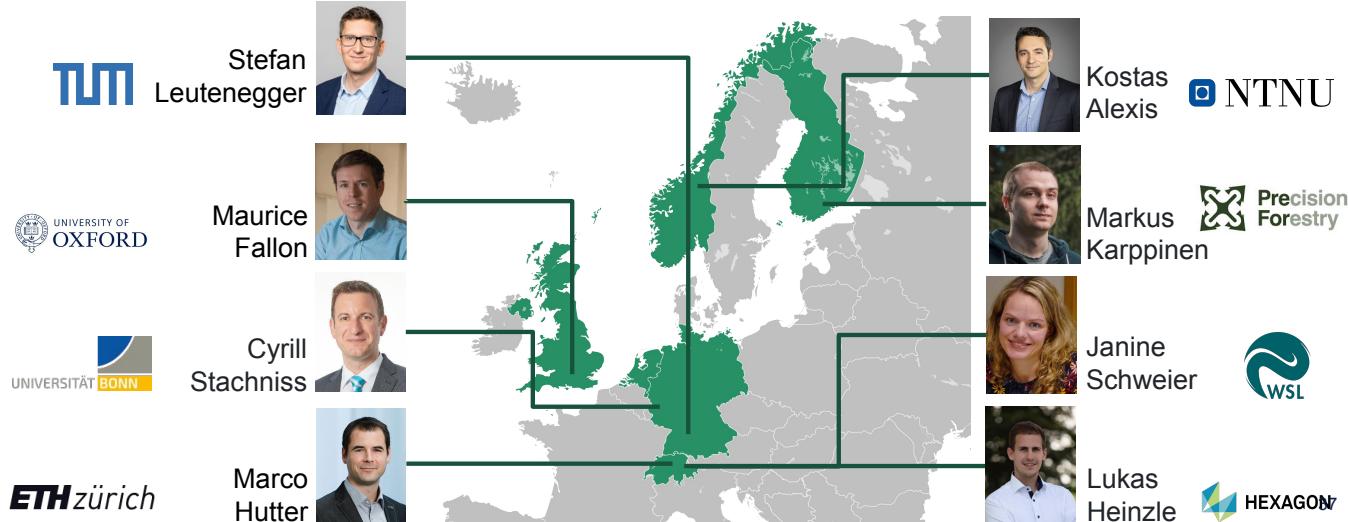
Índice

1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. **Otros temas relacionados**
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest**
 - c. Sapling-NeRF
5. Líneas de investigación abiertas

UA

UNIVERSITAT D'ALACANT
UNIVERSIDAD DE ALICANTE
Escola Politècnica Superior
Escuela Politécnica Superior

4.b. Proyecto Digiforest



<https://digiforest.eu/>

4.b. Proyecto Digiforest

<https://digiforest.eu/news/2025-02-17-oxford-demo>



4.b. Proyecto Digiforest

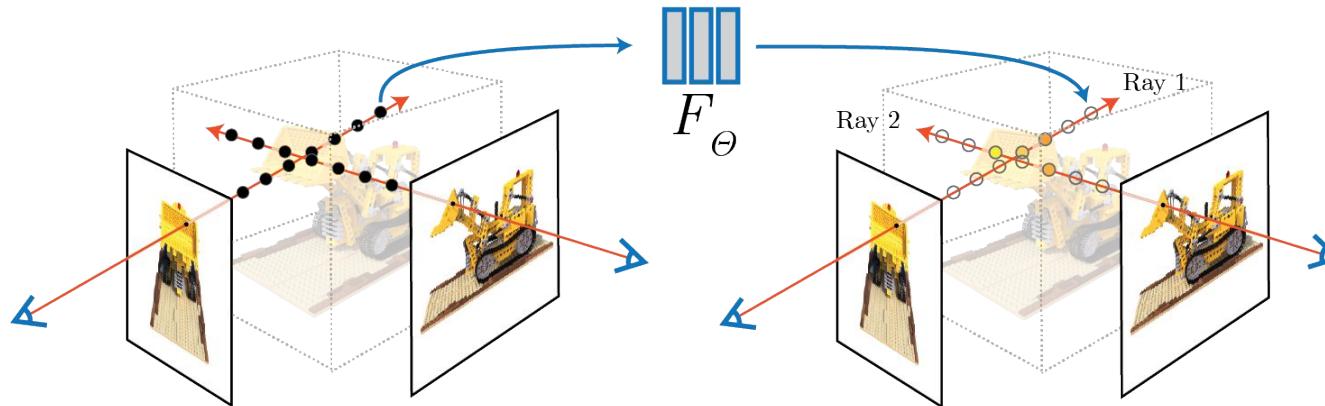


Índice

1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
- 4. Otros temas relacionados**
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF**
5. Líneas de investigación abiertas

4.c. Sapling-NeRF

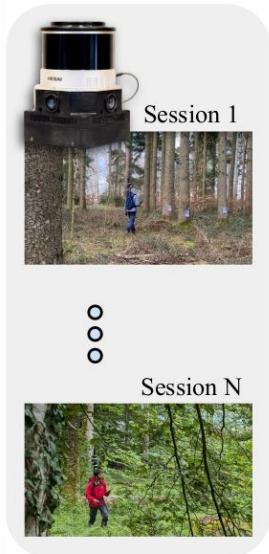
- **Neural Radiance Fields (NeRF)** es una tecnología que codifica el entorno en una red neuronal (volumetric representation).
 - Entrada: **Imágenes localizadas con precisión**.
 - Con pocas imágenes se puede obtener **imágenes sintéticas fotorealistas**.



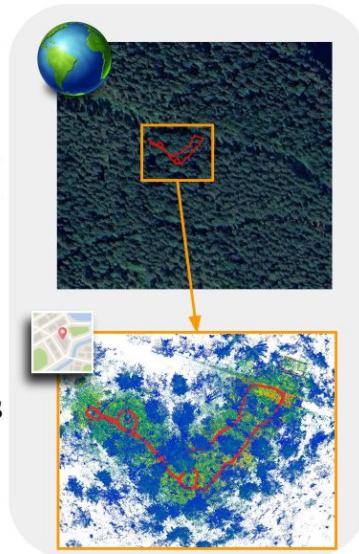
NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis
B Mildenhall, P. Srinivasan, M Tancik, J Barron, R Ramamoorthi, R Ng. 2020.

4.c. Sapling-NeRF

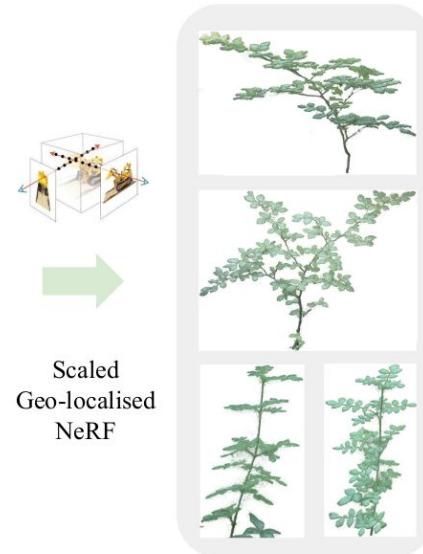
Data recording



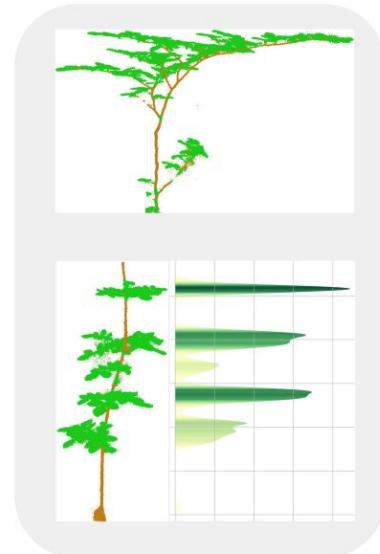
Global map



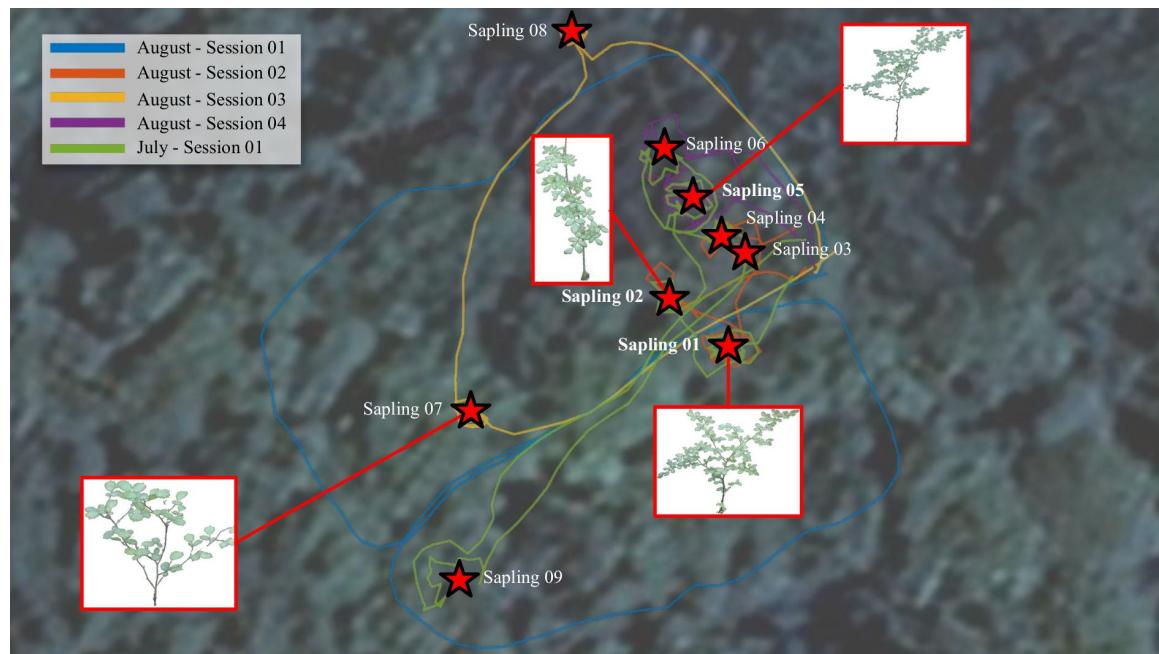
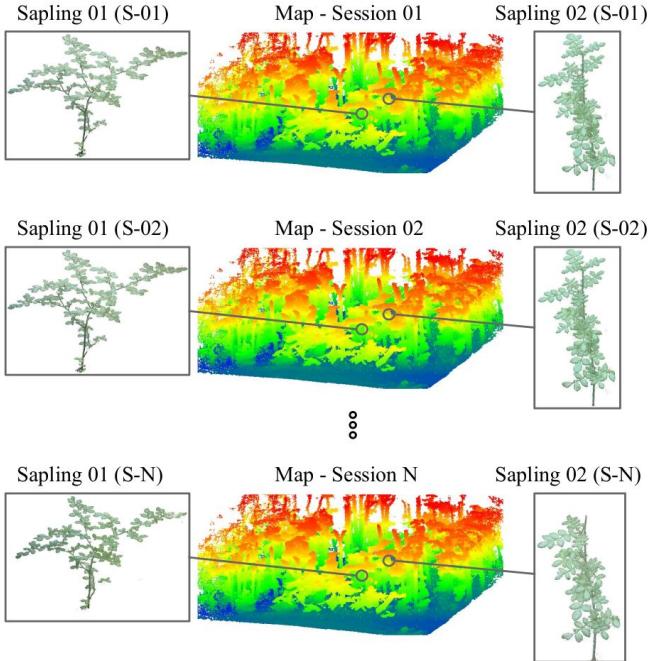
Dense sapling representation



Ecological monitoring



4.c. Sapling-NeRF



4.c. Sapling-NeRF

NeRF rendered video



Sapling recons. with **NeRF**



Sapling recons. with **LiDAR**



4.c. Sapling-NeRF

- Data recording for saplings in Wytham:



4.c. Sapling-NeRF

- Data recording for saplings in Wytham:



Sapling-NeRF: Geo-Localised Sapling Reconstruction in Forests for Ecological Monitoring

**Miguel Ángel Muñoz-Bañón^{1,2}, Nived Chebrolu¹, Sruthi M. Krishna Moorthy³,
Yifu Tao¹, Fernando Torres², Roberto Salguero-Gómez³ and Maurice Fallon¹**

¹Oxford Robotics Institute, Department of Engineering Science, University of Oxford, Oxford, UK

²Group of Automation, Robotics and Computer Vision, University of Alicante, Alicante, Spain

³Department of Biology, University of Oxford, Oxford, UK

Corresponding author: Miguel Ángel Muñoz-Bañón (email: miguelangel.munoz@ua.es).

This work is supported in part by the EU Horizon 2020 Project 101070405 (DigiForest) and a Royal Society University Research Fellowship. Miguel Ángel Muñoz-Bañón is supported by the Valencian Community Government and the European Union through the fellowship CIAPOS/2023/101

Índice

1. Introducción
2. Localización: **Estimación de $x(t)$**
 - a. Odometría LiDAR
 - b. Geo-localización
3. Planificación y control: **Estimación de $u(t)$**
 - a. Planificación local
 - b. Planificación local mediante aprendizaje
4. Otros temas relacionados
 - a. Oxford Spires dataset
 - b. Proyecto Digiforest
 - c. Sapling-NeRF
5. **Líneas de investigación abiertas**

5. Líneas de investigación abiertas

- **Geo-localización**
 - Utilizar aprendizaje automático
- **Planificación local mediante aprendizaje**
 - Sm-to-real para aprendizaje por refuerzo
- **Localización y planificación en bosques**
 - Mapeo de bosques para inventario de árboles secos (prevención de incendios)
 - Navegación autónoma con robot Unitree Go2
- **NeRF/3DGS para árboles pequeños en bosques**
 - Abordar problemas de iluminación
 - Integración de información multiespectral

Si a alguien le interesa realizar el TFG en alguno de estos temas contactar en: miguelangel.munoz@ua.es

Tema 7: Inteligencia artificial aplicada al modelado de sistemas

MODELOS COMPUTACIONALES Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS
Curso 2025-2026

