

# COBERTURA AUTÓNOMA CON ENJAMBRES UAV MEDIANTE ASIGNACIÓN ÓPTIMA DE TAREAS

M. Domínguez-Montero, V. Rivera, R. Tapia, J.R. Martínez-de Dios, A. Ollero

## Introducción

El uso de enjambres de vehículos aéreos no tripulados (*swarm aerial robotics*) permite distribuir la carga de trabajo entre múltiples robots, incrementando la cobertura y reduciendo el tiempo total de misión.

- ▶ Múltiples ventajas frente a una única plataforma: menor tiempo de operación, mayor eficiencia, mayor robustez, cooperación, ...
- ▶ Múltiples aplicaciones: agricultura de precisión, búsqueda y rescate, logística, seguridad pública, ...

Este trabajo presenta una arquitectura integrada de percepción, planificación y control off-board para cobertura autónoma con enjambres.

- ▶ **Motivación:** Necesidad de aumentar la eficiencia en misiones de cobertura que permita a enjambres detectar, asignar y cubrir posiciones.
- ▶ **Contribuciones:** (i) arquitectura percepción-planificación-control, (ii) control off-board multi-UAV escalable, (iii) validación en simulación SITL.

## Descripción del método

Sistema cooperativo autónomo capaz de detectar, asignar y cubrir posiciones objetivo (tareas) mediante un enjambre de UAVs (agentes).

- ▶ **Percepción cooperativa:** A partir de las imágenes, detecta marcadores y distribuye en red la información de las tareas detectadas.
- ▶ **Planificación para asignación:** Resuelve un problema de asignación que minimiza el tiempo total de la misión.
- ▶ **Control off-board multi-UAV:** Generan las trayectorias para que cada UAV alcance su objetivo.

## Percepción cooperativa

Detección cooperativa de marcadores fiduciales ArUco a partir de las imágenes captadas a bordo de los vehículos aéreos

1. Identificación de los marcadores.
2. PnP para pose relativa  ${}^C\mathbf{T}_M$ .
3. Conversión local  ${}^R\mathbf{T}_M = {}^R\mathbf{T}_C \cdot {}^C\mathbf{T}_M$ .
4. Conversión global  ${}^W\mathbf{T}_M = {}^W\mathbf{T}_R \cdot {}^R\mathbf{T}_M$ .

Los UAVs publican sus observaciones  $\mathbf{p}_k^{(i)}$  a un proceso central que las fusiona:

$$\mathbf{p}_k = \frac{1}{|\mathcal{R}_k|} \sum_{i \in \mathcal{R}_k} \mathbf{p}_k^{(i)},$$

donde  $\mathcal{R}_k$  es el conjunto de los robots que han detectado el marcador  $k$ -ésimo.

## Planificación para asignación

Asignación óptima entre UAVs y tareas detectadas por el sistema de percepción. Sea  $\mathcal{A} = a_1, \dots, a_m$  el conjunto de agentes y  $\mathcal{T} = \tau_1, \dots, \tau_n$  el conjunto de tareas, usamos como coste el tiempo estimado:

$$c_{ij} = t_{ij} = \frac{\|\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j\|_2}{\bar{v}_i},$$

donde  $\mathbf{p}_i$  es la posición del  $i$ -ésimo robot,  $\mathbf{p}_j$  es el  $j$ -ésimo punto objetivo y  $\bar{v}_i$  es la celeridad media.

**Problema de program. lineal entera:**

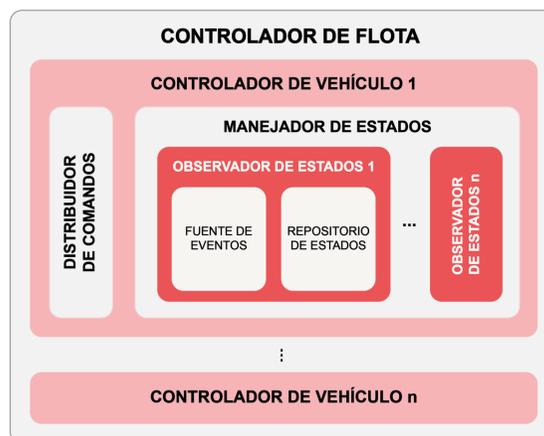
$$\min_{x_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i, \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall j, \\ x_{ij} \in \{0, 1\}.$$

- ▶ **Caso asignación perfecta ( $m = n$ ):** Hungarian Algorithm (Kuhn-Munkres).
- ▶ **Caso agentes ociosos ( $m > n$ ):** Introducir  $m-n$  tareas virtuales (coste 0).
- ▶ **Caso tareas prioritarias ( $m < n$ ):** Seleccionar  $m$  tareas más prioritarias.

## Control off-board multi-UAV

Específicamente diseñado para comandar enjambres de UAVs

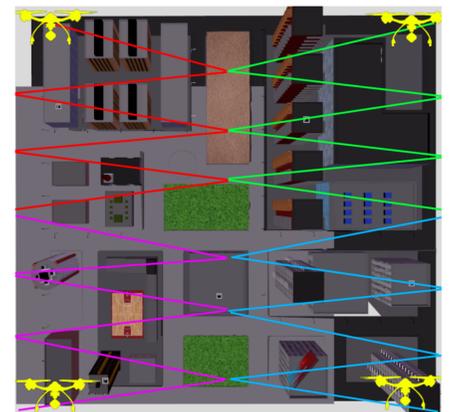
- ▶ Lógica de control desacoplada.
- ▶ Facilidad para integrar autopilotos.
- ▶ Escalabilidad.



- ▶ **Controlador de Flota:** Armado del enjambre, despegue, seguimiento de trayectorias, aterrizaje y vuelta a casa enviando órdenes a cada **Controlador de Vehículo**.
- ▶ **Controlador de Vehículo:** Armado, despegue, seguimiento de trayectorias, aterrizaje y vuelta a casa específicos para cada autopiloto a través del **Distribuidor de Comandos**.
- ▶ **Manejador de Estados:** Gestiona estados de los UAVs recibidos a través de una **Fuente de Eventos** (ROS, ROS2, gRPC, etc.), mapeados por un **Observador de Estados** y almacenados en un **Repositorio de Estados**.

## Resultados

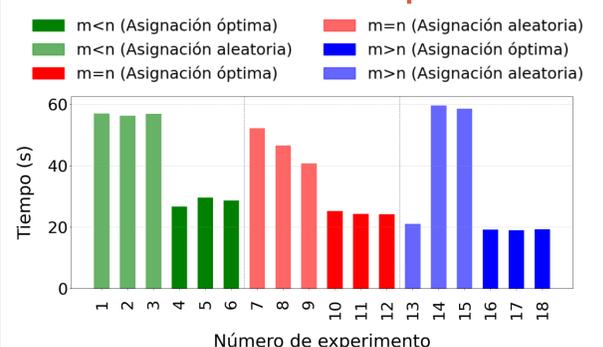
Validado en simulaciones SITL.



**Evaluación del sistema de percepción:**

	No cooperativo	Cooperativo
Vuelo 1	824.16 s	178.27 s
Vuelo 2	987.77 s	205.72 s
Vuelo 3	956.69 s	178.57 s
<b>Media</b>	<b>922.87 s</b>	<b>187.52 s</b>

**Evaluación del sistema de planificación:**



Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto **RAISE** (PID2023-149683OB-I00) del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del Gobierno de España.

Puedes ver el vídeo en YouTube escaneando el código QR



grvc.us.es  
@grvc\_us  
@GRVCRoboticsLaboratory  
linkedin.com/company/grvcus

Raul Tapia - raultapia@us.es  
Jornadas de Automática 2025