

# Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

Luis Alberto Ballado Aradias

CINVESTAV UNIDAD TAMAULIPAS

Cd. Victoria, Tamaulipas - 14 de agosto de 2023

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados

# Problemática



(a) Trabajos contra reloj en búsqueda de sobrevivientes.



(b) Desastre ocurrido 4:17 am. de un Lunes por la mañana según medios internacionales.

Figura 1: Terremoto Turquía y norte de Siria Febrero 2023.

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados

# Descripción del proyecto

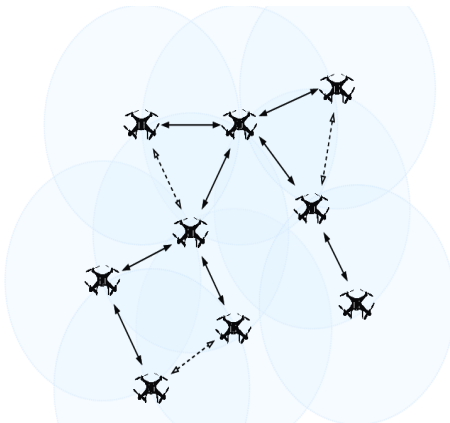


Figura 2: Cuadricópteros en una red descentralizada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tomar en cuenta la complejidad en la escalabilidad

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto**
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados

# Arquitectura híbrida

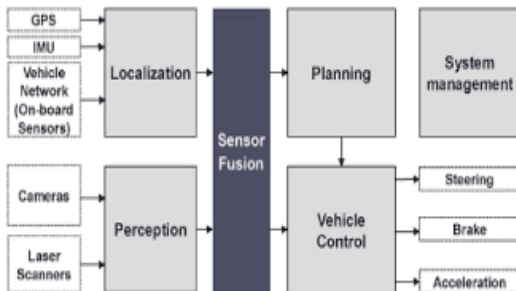


Figura 3: Control Autónomo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Software System of Autonomous Vehicles. Guo et al. 2020

# Planificación de trayectorias

Erickson and LaValle (2013)[5] Calcular la ruta más corta entre dos puntos en un ambiente 3D es un problema NP-HARD. La mayoría de planificadores de rutas hacen uso de heurísticas y metaheurísticas para generar el óptimo más cercano

## Beneficios coordinación múlti-VANT

- Eficiencia y cobertura
- Redundancia y tolerancia a fallos
- Adaptabilidad a entornos dinámicos
- Distribución de carga de trabajo
- Aprendizaje colaborativo



Comparación de métodos				
Metodo	Completo	Óptimo	Escalable	Notas
Grafo de Visibilidad	Si	Si	No	Poca escalabilidad, el robot pasa cerca de los obstáculos
Diagramas de Voronoi	Si	No	No	Poca escalabilidad
Campo de potencial artificial	Si	No	Depende del ambiente	Fácil de implementar, susceptible a mínimos locales
Dijkstra/A*/D*	Si	Grafo	No	A* usa una función heurística que guía la búsqueda más eficiente, Poca escalabilidad
PRM	Si	Grafo	Si	Eficiente para multi-búsquedas, completez probabilística
RRT	Si	No	Si	Eficiente para problemas simples, completez probabilística

# Representación del ambiente

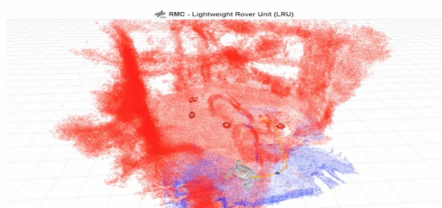
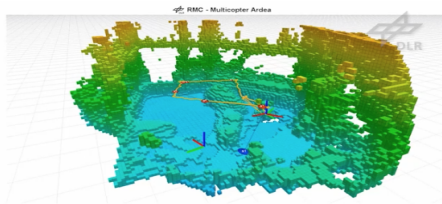


Figura 4: Mapa probabilístico 3D<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cooperación en robots heterogeneos Schuster et al.(2020)

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema**
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados

## Planteamiento del problema

Desarrollar una estrategia de exploración multi-VANT que reduzca el tiempo total de exploración dado un conjunto de  $N$  vehículos aéreos no tripulados. Las capacidades limitadas de energía y sensores a bordo de los VANTS les permiten navegar de forma autónoma. Teniendo en cuenta sus limitaciones de energía y la necesidad de una exploración eficiente, el objetivo es determinar la trayectoria, las rutas y la asignación de tareas óptimas ó sub-óptimas.

- Coordinación - Establecer comunicación efectiva entre los múltiples VANTS. Intercambiar información relevante. Tener baja latencia en su comunicación.

# Planteamiento del problema

Desarrollar una estrategia de exploración multi-VANT que reduzca el tiempo total de exploración dado un conjunto de  $N$  vehículos aéreos no tripulados. Las capacidades limitadas de energía y sensores abordo de los VANTS les permiten navegar de forma autónoma. Teniendo en cuenta sus limitaciones de energía y la necesidad de una exploración eficiente, el objetivo es determinar la trayectoria, las rutas y la asignación de tareas óptimas ó sub-óptimas.

- Coordinación - Establecer comunicación efectiva entre los múltiples VANTS. Intercambiar información relevante. Tener baja latencia en su comunicación.
- Planificación - Los VANTS deben coordinar sus movimientos para evitar colisiones y lograr una cobertura eficiente del área objetivo.

# Planteamiento del problema

Desarrollar una estrategia de exploración multi-VANT que reduzca el tiempo total de exploración dado un conjunto de  $N$  vehículos aéreos no tripulados. Las capacidades limitadas de energía y sensores a bordo de los VANTS les permiten navegar de forma autónoma. Teniendo en cuenta sus limitaciones de energía y la necesidad de una exploración eficiente, el objetivo es determinar la trayectoria, las rutas y la asignación de tareas óptimas ó sub-óptimas.

- Coordinación - Establecer comunicación efectiva entre los múltiples VANTS. Intercambiar información relevante. Tener baja latencia en su comunicación.
- Planificación - Los VANTS deben coordinar sus movimientos para evitar colisiones y lograr una cobertura eficiente del área objetivo.
- Asignación de tareas - Se busca evitar la duplicación de esfuerzos optimizando el uso de recursos disponibles.

El espacio de todas las posibles configuraciones, está compuesto por los espacios libres ( $C_{free}$ ) y espacios ocupado (con obstáculos)  $C_{obs}$ .

Sea  $\mathcal{W} = \mathbb{R}^3$  el mundo,  $\mathcal{O} \in \mathcal{W}$  el conjunto de obstáculos,  $\mathcal{A}(q)$  las configuraciones del robot  $q \in \mathcal{C}$

- $C_{free} = \{q \in \mathcal{C} | \mathcal{A}(q) \cap \mathcal{O} = \emptyset\}$
- $C_{obs} = \mathcal{C} \setminus C_{free}$

donde  $\mathcal{W} = \mathbb{R}^3$  es el espacio de trabajo del robot,  $\mathcal{O} \in \mathcal{W}$  es el conjunto de obstáculos, y  $\mathcal{A}(q)$  son las configuraciones del robot  $q \in \mathcal{C}$ .

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto**
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados



# Objetivos generales y específicos del proyecto

## 1 General

Diseñar una arquitectura de software descentralizada capaz de resolver los problemas de localización y coordinación multi-VANT en ambientes desconocidos y dinámicos para tareas de exploración en interiores.

# Objetivos generales y específicos del proyecto

## 1 General

Diseñar una arquitectura de software descentralizada capaz de resolver los problemas de localización y coordinación multi-VANT en ambientes desconocidos y dinámicos para tareas de exploración en interiores.

## 2 Particulares

- Construcción de solución en base a los algoritmos reportados en la literatura.
- Valoración propuesta (simulación de propuesta).

# Objetivos generales y específicos del proyecto

## 1 General

Diseñar una arquitectura de software descentralizada capaz de resolver los problemas de localización y coordinación multi-VANT en ambientes desconocidos y dinámicos para tareas de exploración en interiores.

## 2 Particulares

- Construcción de solución en base a los algoritmos reportados en la literatura.
- Valoración propuesta (simulación de propuesta).
- Comparación y análisis (escalabilidad, robustez y recursos computacionales).

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología**
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados

# Metodología

- ① Análisis y diseño de la solución propuesta
  - Revisión a grano fino del estado del arte
  - Evaluación de aptitudes
  - Elaboración de la solución

# Metodología

## ① Análisis y diseño de la solución propuesta

- Revisión a grano fino del estado del arte
- Evaluación de aptitudes
- Elaboración de la solución

## ② Implementación y validación

- Selección de Simulador
- Visualización de información (Construcción OctoMap)
- Control de desplazamientos (1 VANT, 2 VANT,..N)
- Exploración 1 VANT
- Exploración multi-VANT

# Metodología

## ① Análisis y diseño de la solución propuesta

- Revisión a grano fino del estado del arte
- Evaluación de aptitudes
- Elaboración de la solución

## ② Implementación y validación

- Selección de Simulador
- Visualización de información (Construcción OctoMap)
- Control de desplazamientos (1 VANT, 2 VANT,..N)
- Exploración 1 VANT
- Exploración multi-VANT

## ③ Evaluación experimental, resultados y conclusiones

- Experimentación de solución
- Recopilación de información
- Divulgación

	Cuatrimestre 1 <sup>a</sup>				Cuatrimestre 2 <sup>b</sup>				Cuatrimestre 3 <sup>c</sup>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<b>Etapas</b>												
<b>E1.A1. Revisión literatura relevante<sup>d</sup></b>												
<b>E1.A2. Selección de algoritmos</b>												
<b>E1.A3. Diseño de la arquitectura de software</b>												
<b>E1.A4. Documentación Etapa 1</b>												
<b>E1.A5. Revisión de tesis Etapa 1</b>												
<b>Etapas</b>												
<b>E2.A1. Selección Simulador</b>												
<b>E2.A2. Visualización de datos<sup>e</sup></b>												
<b>E2.A3. Control de desplazamientos<sup>f</sup></b>												
<b>E2.A4. Desarrollo de algoritmo de exploración</b>												
<b>E2.A5. Implementación y simulación<sup>g</sup></b>												
<b>E2.A6. Desarrollo de coordinación</b>												
<b>E2.A7. Implementación y simulación<sup>h</sup></b>												
<b>E2.A8. Documentación Etapa 2</b>												
<b>E2.A9. Revisión de tesis Etapa 2</b>												
<b>Etapas</b>												
<b>E3.A1. Experimentación de solución</b>												
<b>E3.A2. Recopilación resultados</b>												
<b>E3.A3. Documentación Etapa 3</b>												
<b>E3.A4. Revisión de tesis</b>												
<b>E3.A5. Divulgación<sup>i</sup></b>												
<b>E3.A6. Proceso de titulación</b>												

<sup>a</sup>Correspondiente a los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre del 2023

<sup>b</sup>Correspondiente a los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril del 2024

<sup>c</sup>Correspondiente a los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto del 2024

<sup>d</sup>Revisión de alertas de trabajos relacionados sobre la exploración y colaboración multi-VANT, evaluación de aptitudes en trabajos recientes

<sup>e</sup>Visualización Octomap en Simulador

<sup>f</sup>Un VANT

<sup>g</sup>Se considera un solo agente que resuelva la tarea de exploración autónoma con evasión de obstáculos

<sup>h</sup>Se considerarán los múltiples-VANT que resuelva la tarea de exploración autónoma con evasión de obstáculos

<sup>i</sup>Abierto a espacios de divulgación de acuerdo con las actividades de retribución social



# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte**
- 8 Contribuciones o resultados esperados

REFERENCIA	MAPA	Planificador de rutas	Generación trayectoria	MULTI-VANT
Cieslewski et al. [2017] [41]	Octomap	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	✗
Usenko et al. [2017] [42]	Cuadrícula egocéntrica	Offline RRT*	Curvas de Bezier	✗
Mohta et al. [2017] [43]	mapa 3D-Local y 2D-Global	A*	Progración cuadrática	✗
Lin et al. [2017] [44]	3D voxel array TSDF	A*	Optimización cuadrática	✗
Papachristos et al. [2017] [45]	Octomap	NBVP	Control directo de velocidad	✗
Oleynikova et al. [2018] [46]	Voxel Hashing TSDF	NBVP	Optimización cuadrática	✗
Gao et al. [2018] [47]	Mapa de cuadrícula	Método de marcha rápida	Optimización cuadrática	✗
Florence et al. [2018] [48]	Busqueda basada en visibilidad	2D A*	Control MPC	✗
Selin et al. [2019] [49]	Octomap	NBVP	Control directo de velocidad	✗
McGuire et al. [2019] [50]	NA	SGBA	Control directo de velocidad	✗
Collins and Michael [2020] [51]	KD Tree + Mapa en Voxel	Búsqueda en Grafo	Movimientos suaves	✗
Campos-Macías et al. [2020] [24]	Octree	RRT	Basado en contornos	✗
Zhou et al. [2023] [53]	Octomap HGrid	NBVP	Control directo de velocidad	✓

# Contenido

- 1 Resumen
- 2 Descripción del proyecto
- 3 Antecedentes y motivación para el proyecto
- 4 Planteamiento del problema
- 5 Objetivos generales y específicos del proyecto
- 6 Metodología
- 7 Estado del Arte
- 8 Contribuciones o resultados esperados**

# Contribuciones o resultados esperados

## 1 Documentación y códigos liberados

- Algoritmo para la exploración multi-VANT
- Algoritmo para la planificación de rutas multi-VANT
- Protocolo de comunicación y coordinación descentralizados multi-VANT que formaran parte de la arquitectura de software

# Contribuciones o resultados esperados

- ① Documentación y códigos liberados
  - Algoritmo para la exploración multi-VANT
  - Algoritmo para la planificación de rutas multi-VANT
  - Protocolo de comunicación y coordinación descentralizados multi-VANT que formaran parte de la arquitectura de software
- ② Simulación de la solución

# Contribuciones o resultados esperados

- ① Documentación y códigos liberados
  - Algoritmo para la exploración multi-VANT
  - Algoritmo para la planificación de rutas multi-VANT
  - Protocolo de comunicación y coordinación descentralizados multi-VANT que formaran parte de la arquitectura de software
- ② Simulación de la solución
- ③ Tesis impresa

# Bibliography

- L. Bartolomei, L. Teixeira, and M. Chli. Fast multi-uav decentralized exploration of forests. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 8(9): 5576–5583, 2023. doi: 10.1109/LRA.2023.3296037.
- L. Campos-Macías, R. Aldana-López, R. Guardia, J. I. Parra-Vilchis, and D. Gómez-Gutiérrez. Autonomous navigation of MAVs in unknown cluttered environments. *Journal of Field Robotics*, 38(2): 307–326, may 2020. doi: 10.1002/rob.21959. URL <https://doi.org/10.1002/rob.21959>.
- T. Cieslewski, E. Kaufmann, and D. Scaramuzza. Rapid exploration with multi-rotors: A frontier selection method for high speed flight. In *2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pages 2135–2142, 2017. doi: 10.1109/IROS.2017.8206030.
- M. Collins and N. Michael. Efficient planning for high-speed mav flight in unknown environments using online sparse topological graphs. In *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, pages 11450–11456, 2020. doi: 10.1109/ICRA40945.2020.9197167.