### Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

Luis Alberto Ballado Aradias

Asesores:

Dr. José Gabriel Ramírez-Torres Dr. Eduardo Rodriguez-Tello

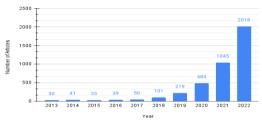
CINVESTAV UNIDAD TAMAULIPAS

Cd. Victoria, Tamaulipas - 24 Abril 2024

- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- **6** Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- 9 Cronograma de actividades

#### Antecedentes 1/3



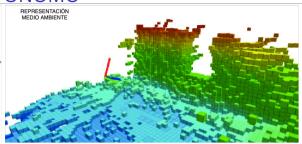


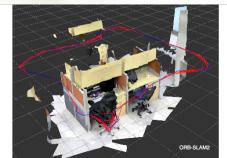
- UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado VANT)  $\implies$  UAS (Sistemas Aéreos No Tripulado SANT)
- Aplicaciones en lugares inaccesibles o peligrosos.
- **Múltiples VANT** pueden reducir el tiempo de exploración y aumentar la confianza del sistema.
- Limitaciones en carga, procesamiento y batería influyen en el tiempo de vuelo.

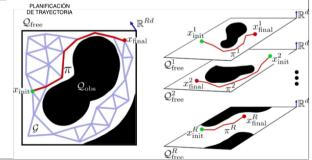
<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next [Nex et al. (2022)]

# Antecedentes 2/3 - ROBOT AUTÓNOMO

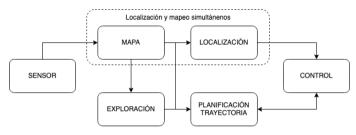






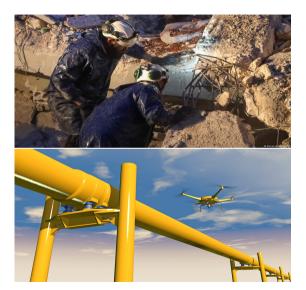


### Antecedentes 3/3 - EXPLORACIÓN



- Sensar
- Creación Mapa
- Localización en Mapa
- Exploración (Aumentar la base de conocimiento del mapa)
- Planificación trayectoria (Trayectorias hacia nuevas fronteras)
- Control (Toma de decisiones y ejecución de trayectorias)
  - El ciclo se repite hasta completar la exploración -

# Motivación del proyecto





- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- **6** Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- 9 Cronograma de actividades

# Planteamiento del problema

- Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- **6** Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- 9 Cronograma de actividades

### Hipótesis

Una estrategia que coordine y asigne tareas de exploración para múltiples VANTS de manera descentralizada, en combinación con una arquitectura de software diseñada para resolver problemas de localización, gestión de mapas y planificación de rutas, mejorará la eficiencia y cobertura de la exploración en interiores de un entorno desconocido.

### Preguntas de investigación

- ¿Qué características de la dinámica del VANT se deben considerar en el simulador para lograr trayectorias suavizadas y continúas?
- ¿El uso de un planificador de trayectorias que explote las regiones libres de obstáculos contribuirá a acelerar los desplazamientos de los VANTs y, por ende, a reducir los tiempos de exploración?
- ¿Qué mecanismos de coordinación existen dentro de la literatura que podrían ayudar en resolver el problema de exploración multi-VANT?

- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- 4 Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- 6 Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- Oronograma de actividades

### Objetivos generales y particulares

1 Objetivo General:

Desarrollar una estrategia de exploración descentralizada que permita resolver los problemas de coordinación para múltiples VANTS en ambientes desconocidos.

### Objetivos generales y particulares

1 Objetivo General:

Desarrollar una estrategia de exploración descentralizada que permita resolver los problemas de coordinación para múltiples VANTS en ambientes desconocidos.

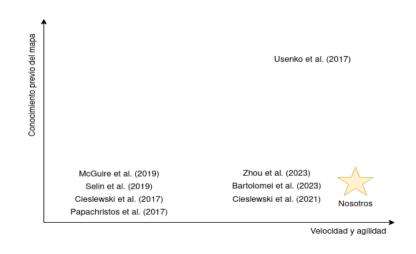
- Objetivos Particulares:
  - Desarrollar una arquitectura de software que resuelva los problemas de autonomía para un VANT (localización, manejo de mapas y planificación de trayectorias).
  - Implementar un mecanismo de coordinación descentralizado que asigne tareas de exploración.
  - Realizar pruebas y simulaciones de la solución propuesta en diversos entornos, analizando la relación tiempo de exploración y cobertura del área de interés.

- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- 4 Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- **6** Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- Oronograma de actividades

### Estado del arte

stado del al						
REFERENCIA	APLICACIÓN	GENERACION MAPA	PLANIFICACION DE RUTA	GENERACION TRAYECTORIA	SENSOR RGB-D	DINAMICA VANT
Cieslewski et al. (2017)[4]	Exploración	Octomap	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	1	×
Usenko et al. (2017)[15]	Punto Objetivo	Cuadrícula egocéntrica	Offline RRT*	Curvas de Bezier	×	1
Mohta et al. (2017)[10]	Punto Objetivo	mapa 3D-Local y 2D-Global	A*	Programación cuadrática	×	1
Lin et al. (2017)[8]	Punto Objetivo	3D voxel array TSDF	A*	Optimización cuadrática	×	x
Papachristos et al. (2017)[13]	Exploración	Octomap	Next Best View Planner (NBVP)	Control directo de velocidad	×	×
Oleynikova et al. (2018)[12]	Punto Objetivo	Voxel Hashing TSDF	Next Best View Planner (NBVP)	Optimización cuadrática	/	1
Gao et al. (2018)[7]	Punto Objetivo	Mapa de cuadrícula	Método de marcha rápida	Optimización cuadrática	×	1
Florence et al. (2018)[6]	Punto Objetivo	Busqueda basada en visi- bilidad	2D A*	Control predictivo por modelo (MPC)	1	/
Selin et al. (2019)[14]	Exploración	Octomap	Next Best View Planner (NBVP)	Control directo de velocidad	×	×
McGuire et al. (2019)[9]	Exploración	NA	Swarm Gradient Bug Algo- rithm (SGBA)	Control directo de velocidad	×	×
Collins and Michael (2020)[5]	Punto Objetivo	KD Tree + Mapa en Voxel	Búsqueda en Grafo	Movimientos suaves	/	1
Campos-Macías et al. (2020)[2]	Punto Objetivo	Octree	Rapidly Exploring Random Trees (RRT)	Basado en contornos	1	1
Cieslewski (2021)[3]	Exploración	Octomap	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	1	×
Zhou et al. (2023)[16]	Exploración	HGrid	Next Best View Planner (NBVP)	Control directo de velocidad	1	/
Bartolomei et al. (2023)[1]	Exploración	HGrid	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	1	/

#### Dirección estado del arte



- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- **6** Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones

### Enfoque propuesto

El objetivo principal es efectuar una exploración con multiples vants de forma coordinada y descentralizada.

- 1.- Conocer los fundamentos matematicos que nos aproximen realizar la tarea de exploración autonoma. Donde estoy, a donde voy y cómo llego ahí
- 2.- Definir el uso de un simulador que nos permita validar la solución propuesta
- 3.- Conocer los algoritmos que nos acerquen a la solucion
- 4.- Coordinar
- Crear la arquitectura para dotar de autonomia a los drones
- Crear una exploración autonoma para un VANT
- Evaluación de fronteras

- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- **6** Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- 9 Cronograma de actividades

#### Resultados

- El uso de ROS que nos resuelve el problema de computo distribuido, y comprender su arquitectura nos ayuda en formular y validar nuestra arquitectura que es escalable
- La configuración de un archivo .launch en ROS nos permite crear nodos con la cardinalidad de los VANT que deseamos en nuestra simulación
- Al completar la exploración de un VANT de forma autonoma, l

#### Discusión

EL USO DEL SIMULADOR Y COMPRENSION DEL SISTEMA ROS EN EL LENGUAJE C++ Y PYTHON Conocer las herramientas que nos permitirá la validación de nuestro enfoque

- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- 6 Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- 9 Cronograma de actividades

### Conclusiones

QUE PONEMOS

- 1 Antecedentes y motivación del proyecto
- 2 Planteamiento del problema
- 3 Hipótesis y preguntas de investigación
- Objetivos generales y particulares
- **5** Estado del arte
- 6 Enfoque propuesto
- Resultados
- 8 Conclusiones
- 9 Cronograma de actividades

# Cronograma de actividades

	Cuatrimestre 4			Cuatrimestre 6			Cuatrimestre 6					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Etapa 1												
E1.A1. Revisión literatura relevante												
E1.A2. Selección de algoritmos												
<b>E1.A3.</b> Diseño de la arquitectura de software												
E1.A4. Documentación Etapa 1												
E1.A5. Revisión de tesis Etapa 1												
Etapa 2												
E2.A1. Selección Simulador												
E2.A2. Visualización de datos												
E2.A3. Control de desplazamientos												
E2.A4. Desarrollo de algoritmo de exploración												
<b>E2.A5.</b> Implementación y simulación												
<b>E2.A6.</b> Desarrollo de coordinación												
E2.A7. Implementación y simulación												
<b>E2.A8.</b> Documentación Etapa 2												
<b>E2.A9.</b> Revisión de tesis Etapa 2												
Etapa 3				•	•							
E3.A1. Experimentación de solución												
E3.A2. Recopilación resultados												
E3.A3. Documentación Etapa 3												
E3.A4. Revisión de tesis												
E3.A5. Divulgación												
E3.A6. Proceso de titulación												

# Cronograma actualizado

		Cuatrimestre 4			Cuatrimestre 5			Cuatrimestre 6				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Etapa 1												
E1.A1. Revisión literatura relevante												
E1.A2. Selección de algoritmos												
E1.A3. Diseño de la arquitectura de software												
<b>E1.A4.</b> Documentación Etapa 1												
<b>E1.A5.</b> Revisión de tesis Etapa 1												
Etapa 2												
E2.A1. Selección Simulador												
E2.A2. Visualización de datos												
E2.A3. Control de desplazamientos												
E2.A4. Desarrollo de algoritmo de exploración												
<b>E2.A5.</b> Implementación y simulación												
<b>E2.A6.</b> Desarrollo de coordinación												
E2.A7. Implementación y simulación												
E2.A8. Documentación Etapa 2												
<b>E2.A9.</b> Revisión de tesis Etapa 2												
Etapa 3								_				
E3.A1. Experimentación de solución												
E3.A2. Recopilación resultados												
E3.A3. Documentación Etapa 3												
E3.A4. Revisión de tesis												
E3.A5. Divulgación												
E3.A6. Proceso de titulación												

### Bibliografía I

- 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. Decentralized Multi-Agent Visual SLAM. PhD thesis, University of Zurich, Febrero 2021. URL https://rpg.ifi.uzh.ch/docs/thesis Cieslewski final.pdf.
- 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.
- P. R. Florence, J. Carter, J. Ware, and R. Tedrake. Nanomap: Fast, uncertainty-aware proximity queries with lazy search over local 3d data, 2018.
- F. Gao, W. Wu, Y. Lin, and S. Shen. Online safe trajectory generation for quadrotors using fast marching method and bernstein basis polynomial. In 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pages 344–351, 2018. doi: 10.1109/ICRA.2018.8462878.
- Y. Lin, F. Gao, T. Qin, W. Gao, T. Liu, W. Wu, Z. Yang, and S. Shen. Autonomous aerial navigation using monocular visual-inertial fusion. *Journal of Field Robotics*, 35(1):23–51, July 2017. doi: 10.1002/rob.21732. URL https://doi.org/10.1002/rob.21732.
- K. N. McGuire, C. D. Wagter, K. Tuyls, H. J. Kappen, and G. C. H. E. de Croon. Minimal navigation solution for a swarm of tiny flying robots to explore an unknown environment. Science Robotics, 4(35):eaaw9710, 2019. doi: 10.1126/scirobotics.aaw9710. URL https://www.science.org/doi/abs/10.1126/scirobotics.aaw9710.
- K. Mohta, M. Watterson, Y. Mulgaonkar, S. Liu, C. Qu, A. Makineni, K. Saulnier, K. Sun, A. Zhu, J. Delmerico, K. Karydis, N. Atanasov, G. Loianno, D. Scaramuzza, K. Daniilidis, C. J. Taylor, and V. Kumar. Fast, autonomous flight in GPS-denied and cluttered environments. *Journal of Field Robotics*, 35 (1):101–120, Dec. 2017. doi: 10.1002/rob.21774. URL https://doi.org/10.1002/rob.21774.
- F. Nex, C. Armenakis, M. Cramer, D. Cucci, M. Gerke, E. Honkavaara, A. Kukko, C. Persello, and J. Skaloud. Uav in the advent of the twenties: Where we stand and what is next. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 184:215–242, Feb. 2022. ISSN 0924-2716. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006. URL http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.12.006.
- H. Oleynikova, Z. Taylor, R. Siegwart, and J. Nieto. Safe local exploration for replanning in cluttered unknown environments for microaerial vehicles. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(3):1474–1481, jul 2018. doi: 10.1109/lra.2018.2800109. URL https://doi.org/10.1109/lra.2018.2800109.

### Bibliografía II

- C. Papachristos, S. Khattak, and K. Alexis. Uncertainty-aware receding horizon exploration and mapping using aerial robots. In 2017 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pages 4568–4575, 2017. doi: 10.1109/ICRA.2017.7989531.
- M. Selin, M. Tiger, D. Duberg, F. Heintz, and P. Jensfelt. Efficient autonomous exploration planning of large-scale 3-d environments. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 4(2):1699–1706, 2019. doi: 10.1109/LRA.2019.2897343.
- V. Usenko, L. von Stumberg, A. Pangercic, and D. Cremers. Real-time trajectory replanning for MAVs using uniform b-splines and a 3d circular buffer. In 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). IEEE, sep 2017. doi: 10.1109/iros.2017.8202160. URL https://doi.org/10.1109/iros.2017.8202160.
- B. Zhou, H. Xu, and S. Shen. Racer: Rapid collaborative exploration with a decentralized multi-uav system. *IEEE Transactions on Robotics*, 39(3):1816–1835, 2023. doi: 10.1109/TRO.2023.3236945.