

Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT



Tesista: Luis Alberto Ballado Aradias

Asesores:

Dr. José Gabriel Ramírez-Torres

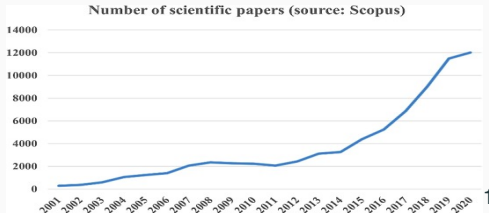
Dr. Eduardo Rodríguez-Tello

30 de mayo de 2024

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados - Unidad Tamaulipas

1. Introducción
2. Planteamiento del problema
3. Plan de cierre del trabajo
4. Conclusión

Introducción



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

¹ UAV in the advent of the twenties: Where we stand and what is next [Nex et al. (2022)]

Principales preguntas que un robot autónomo debe responder ²

- ¿Dónde estoy? \implies Localización
- ¿A dónde voy? \implies Cognición
- ¿Cómo llego hasta ahí? \implies Planificación de trayectoria

²Visual map making for a mobile robot [Brooks (1985)]

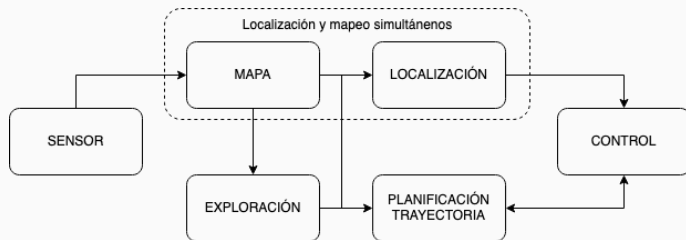
Principales preguntas que un robot autónomo debe responder ²

- ¿Dónde estoy? \implies Localización
- ¿A dónde voy? \implies Cognición
- ¿Cómo llego hasta ahí? \implies Planificación de trayectoria

Para resolver estas preguntas, el robot debe:

- Tener un modelo del ambiente (dado, o autónomamente construido)
- Localizarse dentro del ambiente
- Planear y ejecutar los movimientos

²Visual map making for a mobile robot [Brooks (1985)]



- **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)

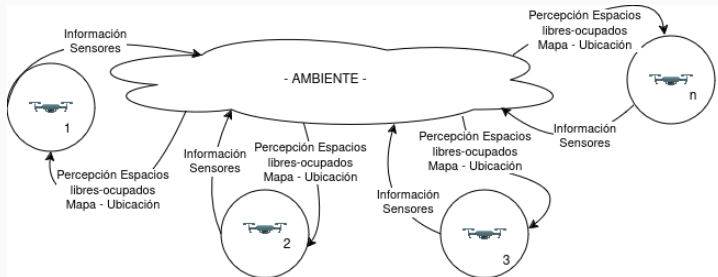
- El ciclo se repite hasta completar la exploración -

Motivación del proyecto



Planteamiento del problema

Planteamiento del problema



Dado un volumen de interés desconocido en un espacio cerrado que se desea explorar denotado como \mathcal{W} , tal que $\mathcal{W} \subset \mathbb{R}^3$.

- El volumen se discretiza usando unidades cúbicas tridimensionales (voxel) v_{libre} , v_{ocup} , v_{desc} .
- Un conjunto de VANTS con una cámara RGB-D embarcadas denotado como $\mathcal{V} = \{\mathcal{V}_1, \mathcal{V}_2, \mathcal{V}_3, \dots, \mathcal{V}_n\}$, comenzando cada uno en un estado inicial conocido $q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_n\}$, y terminando en una configuración que maximice la construcción de un mapa.
- Coordinar el conjunto de VANTS para reducir el tiempo total de exploración.

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.

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

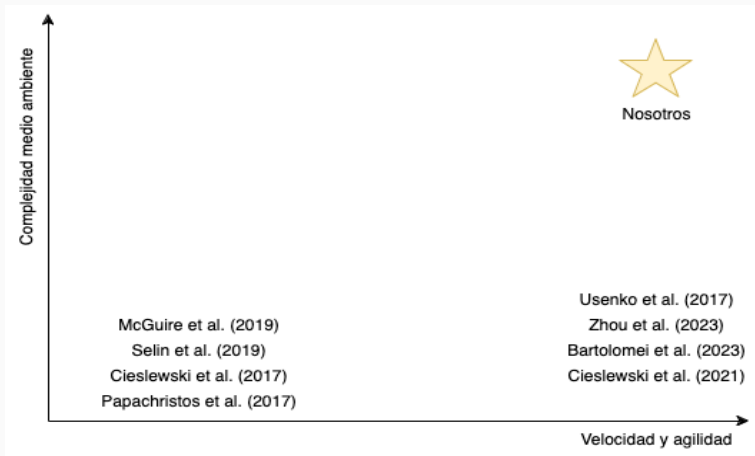
1. ¿Qué características de la dinámica del VANT son cruciales para lograr trayectorias suaves y continuas?
2. ¿Podría un planificador de trayectorias que aproveche las regiones libres de obstáculos acelerar los desplazamientos de los VANTs y, consecuentemente, reducir los tiempos de exploración?
3. ¿Qué mecanismos de coordinación existen dentro de la literatura que podrían ayudar en resolver el problema de exploración multi-VANT?

Objetivo General

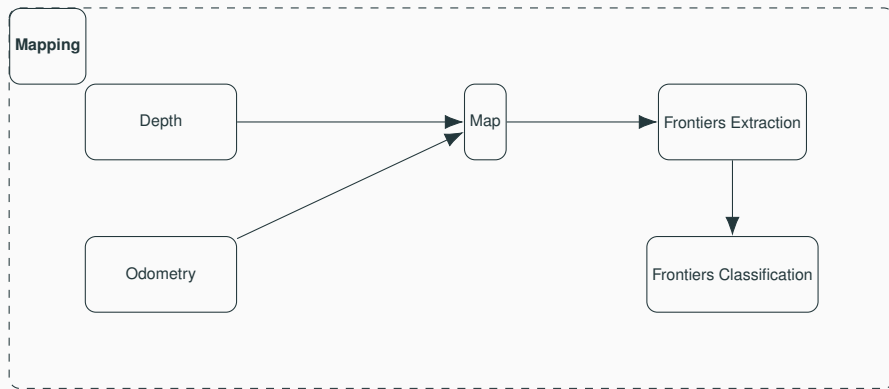
Desarrollar una estrategia de exploración descentralizada que permita resolver los problemas de coordinación para múltiples VANTS en ambientes desconocidos.

Objetivos Particulares

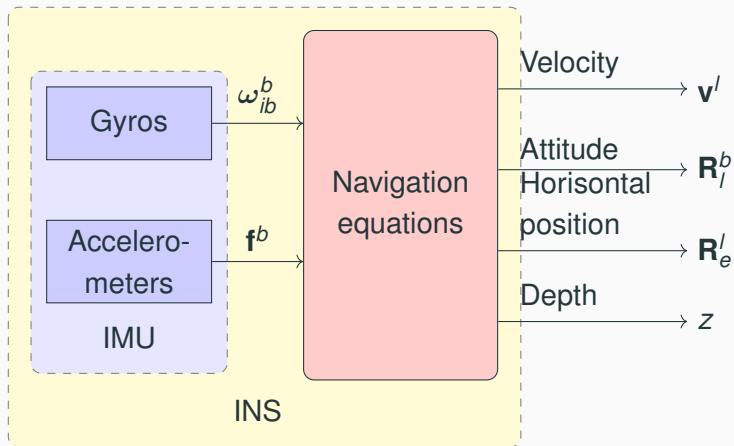
1. Desarrollar una arquitectura de software que resuelva los problemas de autonomía para un VANT (localización, manejo de mapas y planificación de trayectorias).
2. Implementar un mecanismo de coordinación descentralizado que asigne tareas de exploración.
3. Realizar pruebas y simulaciones de la solución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



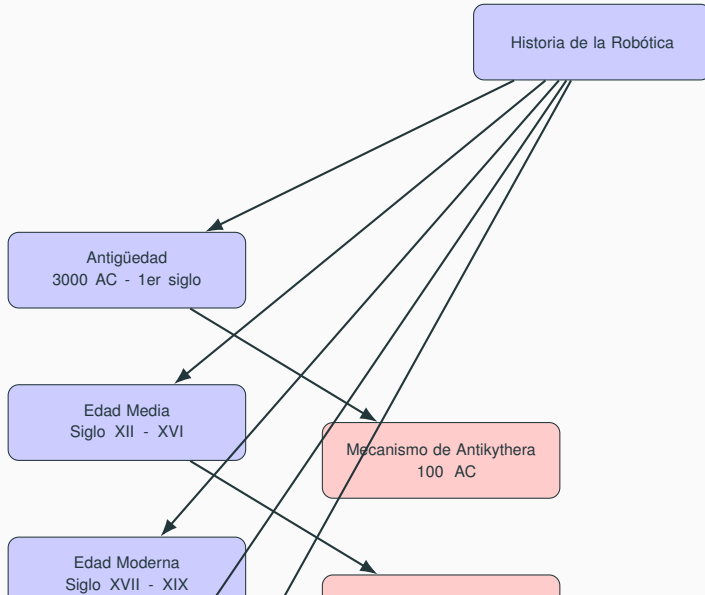
Plan de cierre del trabajo



Ejemplo

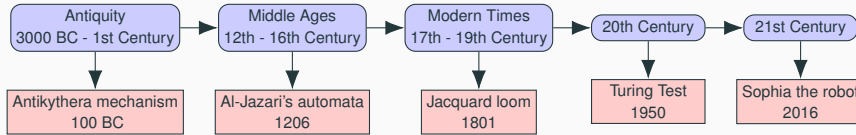


Plan de cierre del trabajo



Conclusión

Conclusiones



Sometimes, it is useful to add slides at the end of your presentation to refer to during audience questions.

The best way to do this is to include the `appendixnumberbeamer` package in your preamble and call `\appendix` before your backup slides.

METROPOLIS will automatically turn off slide numbering and progress bars for slides in the appendix.

Estado del arte

REFERENCIA	APLICACIÓN	GENERACION MAPA	PLANIFICACION DE RUTA	GENERACION TRAYECTORIA	SENSOR RGB-D	DINAMICA VANT
Cieslewski et al. (2017)[5]	Exploración	Octomap	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	✓	✗
Usenko et al. (2017)[16]	Punto Objetivo	Cuadrícula egocéntrica	Offline RRT*	Curvas de Bezier	✗	✓
Mohta et al. (2017)[11]	Punto Objetivo	mapa 3D-Local y 2D-Global	A*	Programación cuadrática	✗	✓
Lin et al. (2017)[9]	Punto Objetivo	3D voxel array TSDF	A*	Optimización cuadrática	✗	✗
Papachristos et al. (2017)[14]	Exploración	Octomap	Next Best View Planner (NBVP)	Control directo de velocidad	✗	✗
Oleynikova et al. (2018)[13]	Punto Objetivo	Voxel Hashing TSDF	Next Best View Planner (NBVP)	Optimización cuadrática	✓	✓
Gao et al. (2018)[8]	Punto Objetivo	Mapa de cuadrícula	Método de marcha rápida	Optimización cuadrática	✗	✓
Florence et al. (2018)[7]	Punto Objetivo	Busqueda basada en visibilidad	2D A*	Control predictivo por modelo (MPC)	✓	✓
Selin et al. (2019)[15]	Exploración	Octomap	Next Best View Planner (NBVP)	Control directo de velocidad	✗	✗
McGuire et al. (2019)[10]	Exploración	NA	Swarm Gradient Bug Algorithm (SGBA)	Control directo de velocidad	✗	✗
Collins and Michael (2020)[6]	Punto Objetivo	KD Tree + Mapa en Voxel	Búsqueda en Grafo	Movimientos suaves	✓	✓
Campos-Macías et al. (2020)[3]	Punto Objetivo	Octree	Rapidly Exploring Random Trees (RRT)	Basado en contornos	✓	✓
Cieslewski (2021)[4]	Exploración	Octomap	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	✓	✗
Zhou et al. (2023)[17]	Exploración	HGrid	Next Best View Planner (NBVP)	Control directo de velocidad	✓	✓
Bartolomei et al. (2023)[1]	Exploración	HGrid	Basado en fronteras	Control directo de velocidad	✓	✓

Referencias

- 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.
- R. Brooks. Visual map making for a mobile robot. In *Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, volume 2, pages 824–829, 1985. doi: 10.1109/ROBOT.1985.1087348.

- 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. Loiano, 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>.
- 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.