

Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

Luis Alberto Ballado Aradias

CINVESTAV UNIDAD TAMAULIPAS

Cd. Victoria, Tamaulipas - 17 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

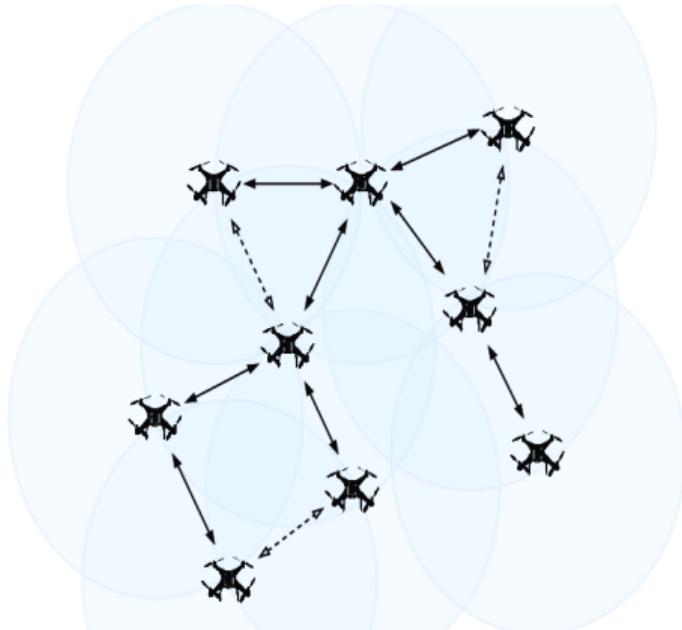


Figura 2: Cuadricópteros en una red descentralizada¹

¹Tomar 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

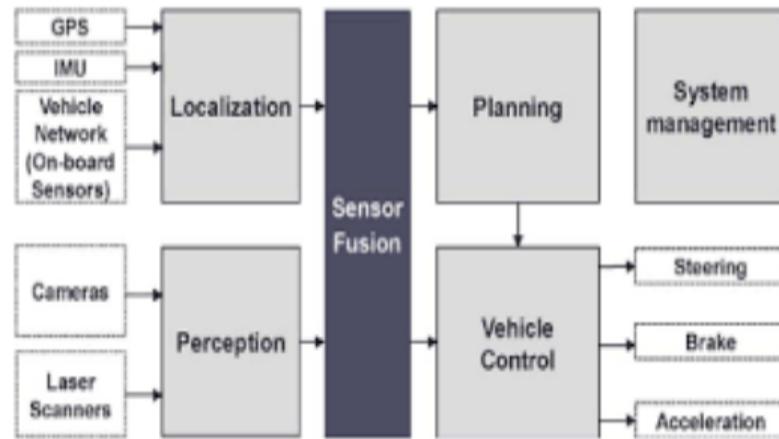


Figura 3: Control Autónomo¹

¹Software 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

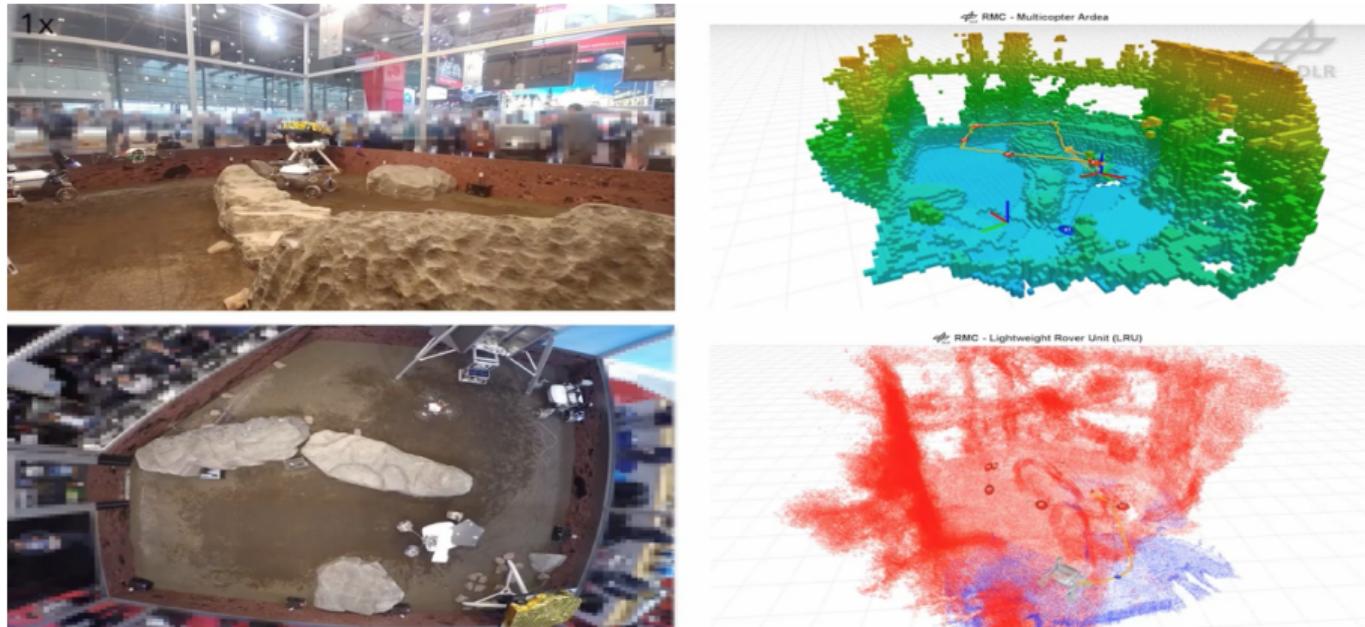


Figura 4: Mapa probabilistico 3D¹

¹Cooperación 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 \mathcal{V} 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.

Planteamiento del problema

Desarrollar una estrategia de exploración multi-VANT que reduzca el tiempo total de exploración dado un conjunto de \mathcal{V} 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 \mathcal{V} 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.
- Asignación de tareas - Se busca evitar la duplicación de esfuerzos optimizando el uso de recursos disponibles.

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

	Cuarto trimestre 1 ^a				Cuarto trimestre 2 ^b				Cuarto trimestre 3 ^c			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Etapa 1												
E1.A1. Revisión literatura relevante ^d												
E1.A2. Selección de algoritmos												
E1.A3. 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 ^e												
E2.A3. Control de desplazamientos ^f												
E2.A4. Desarrollo de algoritmo de exploración												
E2.A5. Implementación y simulación ^g												
E2.A6. Desarrollo de coordinación												
E2.A7. Implementación y simulación ^h												
E2.A8. Documentación Etapa 2												
E2.A9. 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 ⁱ												
E3.A6. Proceso de titulación												

^aCorrespondiente a los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre del 2023

^bCorrespondiente a los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril del 2024

^cCorrespondiente a los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto del 2024

^dRevisión de alertas de trabajos relacionados sobre la exploración y colaboración multi-VANT, evaluación de aptitudes en trabajos recientes

^eVisualización Octomap en Simulador

^fUn VANT

^gSe considera un solo agente que resuelva la tarea de exploración autónoma con evasión de obstáculos

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

Prueba Video

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-Macias 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 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, 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.

Bibliography II

- 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.
- L. H. Erickson and S. M. LaValle. A simple, but np-hard, motion planning problem. In *Proceedings of the Twenty-Seventh AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI'13*, page 1388–1393. AAAI Press, 2013.
- 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.

Bibliography III

- 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. 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>.
- 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>.

Bibliography IV

- 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. J. Schuster, M. G. Muller, S. G. Brunner, H. Lehner, P. Lehner, R. Sakagami, A. Domel, L. Meyer, B. Vodermayer, R. Giubilato, M. Vayugundla, J. Reill, F. Steidle, I. von Bargen, K. Bussmann, R. Belder, P. Lutz, W. Sturzl, M. Smisek, M. Maier, S. Stoneman, A. F. Prince, B. Rebele, M. Durner, E. Staudinger, S. Zhang, R. Pohlmann, E. Bischoff, C. Braun, S. Schroder, E. Dietz, S. Frohmann, A. Borner, H.-W. Hubers, B. Foing, R. Triebel, A. O. Albu-Schaffer, and A. Wedler. The ARCHES space-analogue demonstration mission: Towards heterogeneous teams of autonomous robots for collaborative scientific sampling in planetary exploration. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(4):5315–5322, Oct. 2020. doi: 10.1109/lra.2020.3007468. URL <https://doi.org/10.1109/lra.2020.3007468>.

Bibliography V

- 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>.
- J. Westheider, J. Rückin, and M. Popović. Multi-uav adaptive path planning using deep reinforcement learning, 2023.
- Z. Xiao, B. Zhu, Y. Wang, and P. Miao. Low-complexity path planning algorithm for unmanned aerial vehicles in complicated scenarios. *IEEE Access*, 6:57049–57055, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2873084.

Bibliography VI

- R. Zahroo, J. Liu, L. Zhou, and V. Kumar. Multi-robot localization and target tracking with connectivity maintenance and collision avoidance. In *2023 American Control Conference (ACC)*, pages 1331–1338, 2023. doi: 10.23919/ACC55779.2023.10155978.
- 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.