

Estrategias para la exploración coordinada multi-VANT

Luis Ballado

CINVESTAV - UNIDAD TAMAULIPAS

luis.ballado@cinvestav.mx

13 de julio de 2023

Contenido

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

Resumen

Las últimas décadas se ha visto una explosión en el interés de los Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs o drones), a la par que se han introducido nuevas tecnologías de comunicaciones y cómputo en la nube. Los avances en comunicación han permeado al control de VANTs logrando crear soluciones en búsqueda y rescate, así como soluciones de entrega en la última milla. La mayoría de estas aplicaciones carecen de ser autónomas. Para lograr la autonomía primero se deben resolver problemas clásicos en robótica móvil (Mapeo, Localización y Navegación).

Se ha demostrado que es posible dotar de autonomía a un VANT y la mayoría de las soluciones son en exteriores con una mejor lectura de un sensor GPS. Los drones del mañana deberán navegar en áreas urbanas de la mejor manera posible y tener la habilidad de trabajar en coordinación con múltiples agentes. El enfoque de este trabajo es la creación y propuesta de una arquitectura capaz de coordinar múltiples-VANTs.

Palabras claves: multi-VANT, coordinación multi-agente, arquitectura multi-VANT, 3D Path finding

Contenido

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

Descripción del proyecto

El proyecto de estrategias para la exploración coordinada múlti-VANT se centra en las ventajas de tener múltiples-VANT(s) trabajando en conjunto para mejorar la eficiencia y cobertura de la exploración proponiendo una arquitectura de software que con ayuda de algoritmos que permitan la coordinación eficiente de múltiples-VANT(s) para llevar a cabo tareas de exploración en entornos desconocidos y cambiantes.

Antecedentes y motivación para el proyecto

Millones de Vehículos Aéreos No Tripulados, o también conocidos como drones, han presentado una adopción masiva en diferentes aplicaciones, desde usos civiles (búsqueda y rescate, monitoreo industrial, vigilancia), hasta aplicaciones militares [1]. La popularidad de los VANTs es atribuida a su movilidad omnidireccional.

La idea de utilizar múltiples robots aéreos en un sistema coordinado se basa en el comportamiento de los enjambres de animales (como las abejas o los pájaros, que trabajan juntos de manera colaborativa para lograr objetivos comunes). Ésta inspiración biológica ha llevado al desarrollo de algoritmos y técnicas para coordinar y controlar múltiples VANTs en diferentes aplicaciones.

El interés en la investigación e innovación de soluciones con Vehículos Aéreos No Tripulados ha crecido exponencialmente en años recientes [2,7,8,9,10].

En recientes años, dotar a los VANTs de inteligencia para explotar la información recolectada de sensores a bordo ha sido y es un área de estudio en robótica móvil aérea (construcción de mapas)[3]. Así también los VANTs han sido un modelo interesante de estudio en control por ser marginalmente estable. Convirtiéndolos los problemas típicos de control 2D (péndulo inverso fijo) a ambientes 3D [4].

Calcular la ruta más corta entre dos puntos en un ambiente 3D es un problema NP-hard[21]. 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

Contenido

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

Planteamiento del problema

La coordinación multi-VANT es un desafío complejo y plantea diversas problemáticas que deben abordarse.

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

Planteamiento del problema

La coordinación multi-VANT es un desafío complejo y plantea diversas problemáticas que deben abordarse.

- 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

La coordinación multi-VANT es un desafío complejo y plantea diversas problemáticas que deben abordarse.

- 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.

Dada un área de interés **A** desconocido que se desea explorar, un conjunto de VANTs denotados como $V = V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$, donde n es el número total de VANTs disponibles, un conjunto de tareas de exploración denotados como $T = T_1, T_2, T_3, \dots, T_m$, donde m es el número total de tareas a realizar.

Teniendo restricciones y requisitos específicos del problema, como límites de tiempo, obstáculos a evitar ... etc.

Para las tareas de exploración T_m , se considerarán las siguientes variables:

- Posición inicial: $p_i(x, y, z)$, posición inicial VANTs
- Trayectoria: α_i , trayectoria seguida por los VANTs asignados a la tarea T_m en función del tiempo t
- Información recolectada: C_i , representa la información recolectada por los VANTs asignados durante la exploración

La función objetivo puede cambiar, algunos ejemplos pueden ser:

- Maximizar la cobertura del área de interés **A**
- Minimizar el tiempo total requerido para cubrir el área de interés **A**
- Maximizar la cantidad de información recolectada

Contenido

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

Objetivos generales y específicos del proyecto

1 General

Desarrollo e implementación de una arquitectura de software tolerante a fallas para la coordinación de múltiples VANTs con un enfoque simulado en búsqueda y rescate.

Objetivos generales y específicos del proyecto

① General

Desarrollo e implementación de una arquitectura de software tolerante a fallas para la coordinación de múltiples VANTs con un enfoque simulado en búsqueda y rescate.

② Particulares

- Generación del modelo dinámico de un VANT
- Creación de algoritmos reactivos de baja memoria que garanticen evitar colisiones

Objetivos generales y específicos del proyecto

① General

Desarrollo e implementación de una arquitectura de software tolerante a fallas para la coordinación de múltiples VANTs con un enfoque simulado en búsqueda y rescate.

② Particulares

- Generación del modelo dinámico de un VANT
- Creación de algoritmos reactivos de baja memoria que garanticen evitar colisiones
- Eficiencia y rendimiento del sistema

Objetivos generales y específicos del proyecto

① General

Desarrollo e implementación de una arquitectura de software tolerante a fallas para la coordinación de múltiples VANTs con un enfoque simulado en búsqueda y rescate.

② Particulares

- Generación del modelo dinámico de un VANT
- Creación de algoritmos reactivos de baja memoria que garanticen evitar colisiones
- Eficiencia y rendimiento del sistema
- Adaptabilidad y flexibilidad, la coordinación multi-VANT debe ser adaptable a cambios en el entorno, nuevos objetivos y adaptable a la incorporación o salida de VANTs durante la exploración

Contenido

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

Metodología

1 Revisión de literatura

- Realizar una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con la coordinación de múltiples VANTs
- Identificar los enfoques existentes, algoritmos y tecnologías usadas en la coordinación de múltiples VANTs

Metodología

1 Revisión de literatura

- Realizar una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con la coordinación de múltiples VANTs
- Identificar los enfoques existentes, algoritmos y tecnologías usadas en la coordinación de múltiples VANTs

2 Análisis y diseño de la solución propuesta

- Identificar los requisitos clave para una coordinación eficiente
- Propuesta de algoritmos y políticas de navegación que permitan la coordinación eficiente
- Estrategias para la repartición de tareas y gestión de recursos.

Metodología

① Revisión de literatura

- Realizar una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con la coordinación de múltiples VANTs
- Identificar los enfoques existentes, algoritmos y tecnologías usadas en la coordinación de múltiples VANTs

② Análisis y diseño de la solución propuesta

- Identificar los requisitos clave para una coordinación eficiente
- Propuesta de algoritmos y políticas de navegación que permitan la coordinación eficiente
- Estrategias para la repartición de tareas y gestión de recursos.

③ Implementación y validación

- Hacer uso de simuladores (Son baratos, rápidos .. pero la solución está lejos de la solución propuesta en el ambiente real).
- Evaluar el desempeño de la coordinación

Metodología

1 Revisión de literatura

- Realizar una revisión de la literatura científica y técnica relacionada con la coordinación de múltiples VANTs
- Identificar los enfoques existentes, algoritmos y tecnologías usadas en la coordinación de múltiples VANTs

2 Análisis y diseño de la solución propuesta

- Identificar los requisitos clave para una coordinación eficiente
- Propuesta de algoritmos y políticas de navegación que permitan la coordinación eficiente
- Estrategias para la repartición de tareas y gestión de recursos.

3 Implementación y validación

- Hacer uso de simuladores (Son baratos, rápidos .. pero la solución está lejos de la solución propuesta en el ambiente real).
- Evaluar el desempeño de la coordinación

4 Evaluación, resultados y conclusiones

- Analizar y comparar los resultados obtenidos con otros enfoques existentes.
- Identificar posibles mejoras y áreas de investigación futuras

Contenido

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

Estado del Arte

Robótica Móvil

- Robótica Móvil Terrestre
- Robótica Móvil Aérea
 - Dinámica de un Vehículo Aéreo No Tripulado
 - Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado
- Problemas en la Robótica Móvil
 - Mapas
 - Construcción y representación de mapas 3D
 - Percepción
 - Sensores LiDAR
 - Sensores Cámaras (Odometría Visual)
 - Localización
 - Planificación de trayectorias
- Robótica Colaborativa (múltiples robots)
 - Exploración
 - Coordinación
 - Colaboración
- Arquitectura de Software en robótica

La **robótica móvil** ha experimentado avances significativos en los últimos años, transformando múltiples sectores y abriendo nuevas posibilidades en la automatización.

Los robots móviles se pueden ver como sistemas autónomos capaces de moverse y operar en entornos cambiantes y complejos sin la necesidad de guías físicas.

En cuanto a la navegación, se han desarrollado técnicas de localización y mapeo simultáneos (SLAM) más precisas y eficientes, permitiendo construir mapas detallados de su entorno y ubicarse con mayor precisión en tiempo real. Además, se han mejorado los algoritmos de planificación de trayectorias para garantizar movimientos seguros y eficientes en entornos dinámicos.

Robótica Móvil

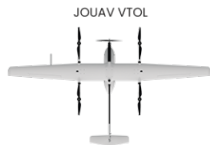
- Robótica Móvil Terrestre (con ruedas)
 - Ackerman
 - Triciclo clásico
 - Omnidireccionales
 - Diferenciales

Robótica Móvil

- Robótica Móvil Terrestre (con ruedas)
 - Ackerman
 - Triciclo clásico
 - Omnidireccionales
 - Diferenciales
- Robótica Móvil Aérea
 - Ala fija
 - Rotores
 - Rotor único
 - Multi-rotor

Robótica Móvil

- Robótica Móvil Terrestre (con ruedas)
 - Ackerman
 - Triciclo clásico
 - Omnidireccionales
 - Diferenciales
- Robótica Móvil Aérea
 - Ala fija
 - Rotores
 - Rotor único
 - Multi-rotor
- Híbridos VTOL



Take-off &
land anywhere



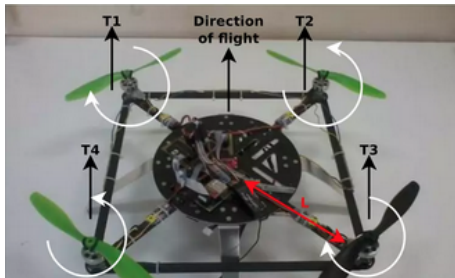
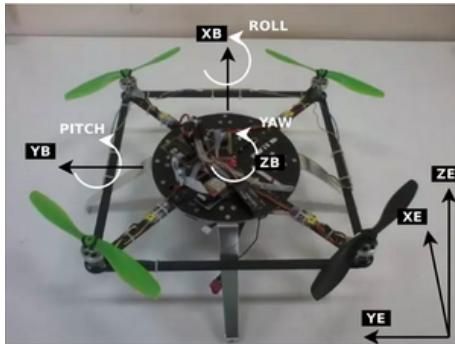
Long flight time



Easy to use



Dinámica de un Vehículo Aéreo No Tripulado



Problemas en la Robótica móvil

- Mapas
- Localización
- Planificación de trayectorias

Construcción y representación de mapas 3D

Percepción

- Sensores LiDAR
- Sensores Cámaras (Odometría Visual)

Planificación de trayectorias

Dentro de la literatura a esta problemática se encuentran estudios que minimizan el tiempo de vuelo [16], la altitud de vuelo [17], y la velocidad del dron [18].

Podemos categorizar los planificadores de trayectoria dos grupos **offline y online**

Los planificadores Online dado que utilizan sensores y reaccionan a obstáculos no garantizan en dar el camino más óptimo.

Apesar que existen múltiples estudios donde reducen el problema de 3D a 2D [19,20]. Limitando la movilidad del VANT haciendo que los algoritmos propuestos para robótica móvil terrestre puedan ser aplicados directamente.

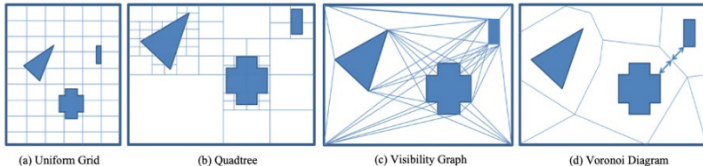


Figura: Representación del medio ambiente

Contenido

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

Contribuciones o resultados esperados

1 Códigos a disposición de la comunidad

Contribuciones o resultados esperados

- 1 Códigos a disposición de la comunidad
- 2 Simulación de solución

Contribuciones o resultados esperados

- 1 Códigos a disposición de la comunidad
- 2 Simulación de solución
- 3 Tesis impresa