

Actividad R 7: Control automático y navegación de un VANT

Oscar Ortiz Torres A01769292

Ana Itzel Hernández García A01737526

Yonathan Romero Amador A01737244

Implementación de robótica inteligente

Grupo 501

Tecnológico de Monterrey Campus Puebla

Viernes 6 de junio de 2025

Introducción

Un VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) es una aeronave que se puede controlar de forma remota o de manera autónoma. Para esto se necesita de la implementación de sensores como GPS, cámaras y acelerómetros para poder navegar.

En este reporte nos enfocaremos en el VANT de ala fija, estos como su nombre lo indica poseen alas rígidas, similares a las de los aviones tradicionales. Estás brinda sustentación al vehículo. Estos no poseen hélices múltiples para generar un empuje vertical, sino que para poder volar requieren avanzar hacia adelante. Debido a esto poseen una mejor forma aerodinámica lo cual genera que requieran menos energía para poder volar, resultando en mayor tiempo de vuelo.

Desarrollo

El principio de vuelo que hace que este tipo de drones vuelen se basa en el flujo de aire sobre las alas fijas, controlando el ángulo y su velocidad. Debido a esto se generan cuatro fuerzas principales, la sustentación es la fuerza ascendente que posee debido a las alas y la forma aerodinámica que posee el dron para poder contrarrestar el peso, el empuje generado por el motor lo que permite desplazarse hacia adelante al dron, generando la fuerza necesaria para despegar y finalmente tenemos la resistencia del viento la cual se opone al avance del dron. (Sánchez, 2023)

Este es un dron que posee 6 grados de libertad los cuales se encuentran en la Tabla 1.(*Grados de Libertad y Códigos de Restricción | SkyCiv Engineering*, 2023)

Tipo	Ejes	Movimiento asociado
Traslación	X (longitudinal)	Avance/retroceso
	Y (vertical)	Ascenso/descenso
	Z (lateral)	Desplazamiento lateral
Rotación	X (roll)	Inclinación alar
	Y (pitch)	Cabeceo (morro arriba/abajo)
	Z (yaw)	Guiñada (giro horizontal)

Tabla 1. Grados de libertad del VANT de ala fija

Ecuaciones dinámicas fundamentales

El modelo matemático se puede dividir en 2 subsistemas. Sistema de Dinámica longitudinal, el cual controla el movimiento en el plano vertical, es decir, el cabeceo y altitud. Se puede representar en la Ecuación 1.

$$\begin{cases} \dot{u} = -q\omega + \frac{X}{m} - g \sin \theta \\ \dot{\omega} = qu + \frac{Z}{m} + g \cos \theta \\ \dot{q} = \frac{M}{I_y} \end{cases}$$

Ecuación 1. Sistema de Dinámica longitudinal

Donde:

u, ω : Velocidades en el eje X, Z

q : Velocidad angular del cabeceo

X, Z : Fuerzas aerodinámicas

M : Momento de cabeceo

I_y : Inercia rotacional

El sistema de Dinámica lateral-direccional que controla el movimiento horizontal, es decir, guiñada y alabeo. Se puede ver representada en la Ecuación 2.

$$\begin{cases} \dot{v} = -ru + p\omega + \frac{Y}{m} + g \cos \theta \sin \phi \\ \dot{p} = \frac{L}{I_x} - \frac{I_z - I_y}{I_x} qr \\ \dot{r} = \frac{N}{I_z} - \frac{I_y - I_x}{I_z} pq \end{cases}$$

Ecuación 2. Sistema de dinámica lateral-direccional

Donde:

v : Velocidad lateral

p, r : Velocidades angulares de alabeo y guiñada

Y : Fuerza lateral aerodinámica

L, N : Movimiento de alabeo y guiñada

Sistemas de Control Automático y estabilización de vuelo

Para que un dron pueda garantizar tener un vuelo seguro es fundamental que este cuente con un sistema de control robusto que genere una navegación autónoma estable. Para esto necesita integrar sensores, algoritmos y actuadores para que se pueda generar, seguir y

mantener la trayectoria deseada. Así reduciendo y reaccionando a perturbaciones en el ambiente.

Los sensores de navegación se necesitan para poder ubicar al dron estos incluyen giroscopios, acelerómetros, magnetómetros, altímetros barométricos y GPS. Estos dan información sobre el entorno, ubicación y orientación del VANT, para posteriormente ser procesada por los controladores. Estas son computadoras que procesan la información, ejecutando algoritmos y sistemas de control para poder ajustar los actuadores. Los actuadores en estos sistemas son servomecanismos que mueven la superficie del VANT, como los alerones, timones de profundidad y timón de dirección. (*Control de Vuelo Para UAVs de Ala Fija | UAV Navigation*, s. f.)

Los componentes típicos para su control automático y estabilización del vuelo:

- *Autopiloto avanzado*: En algunos casos es la capacidad para múltiples configuraciones de ganancias adaptativas según velocidad aerodinámica, detección de fallos y maniobras automáticas de recuperación.
- *Algoritmos de control*: Controladores PID, control predictivo adaptativo y control robusto para estabilizar los movimientos longitudinales (pitch), latero-direccionales (roll y yaw) y mantener la trayectoria deseada. (Corona-Sanchez et al., s/f)
- *Software de planificación* : MATLAB y Simulink permiten diseñar, simular y validar los algoritmos de control y la generación de código para implementación directa en hardware de controladores de vuelo. (*VANT*, s. f.)
- *Sistemas de navegación y planificación de trayectorias*: Seguimiento de waypoints, gestión de órbitas y planificación de trayectorias complejas para vuelos autónomos sin colisiones.
- *Múltiples ganancias*: Permiten ajustar automáticamente los parámetros de control según condiciones de vuelo variables, optimizando la estabilidad y respuesta dinámica.
- *Capacidad multi-UAV*: Algunos sistemas permiten controlar múltiples VANT simultáneamente desde una sola estación de control, facilitando operaciones coordinadas

Técnicas de navegación y posicionamiento

Las técnicas y elementos para lograr una navegación autónoma precisa y confiable, se emplean para realizar vuelos planificados y cumplir misiones específicas. La navegación basada en GNSS (GPS) es el método principal para determinar la posición y velocidad en tiempo real, permitiendo la planificación y seguimiento de rutas mediante waypoints. A su vez, la Unidad de Medición Inercial (IMU) es la combinación de acelerómetros y giroscopios que mide la orientación, aceleración y velocidad angular, complementando la información del GPS para mantener la estabilidad y corregir desviaciones en la trayectoria. (Ríos-Hernández, 2021)

Agrega visión computacional debido a las cámaras con las que detecta objetos, puntos de interés o características del terreno, aplicando algoritmos de procesamiento de imágenes

(por ejemplo, SLAM visual) para navegación autónoma, especialmente útil en ambientes donde el GNSS es débil o inexistente. Los VANT planifican rutas de vuelo entre puntos definidos, usando algoritmos que consideran condiciones dinámicas y ambientales para optimizar la trayectoria y evitar obstáculos. (*Generalidades de los Vehículos Aéreos No Tripulados (Vant 'S)*, s. f.)

Se agrega una integración de datos de GPS, IMU, cámaras y otros sensores para mejorar la precisión y confiabilidad, mitigando errores individuales y proporcionando estimaciones robustas de posición y actitud.

Los elementos que intervienen son el Autopiloto, el cual es un sistema central que procesa toda la información sensorial y ejecuta comandos de control para mantener la ruta y estabilidad del VANT. Sensores como el GPS, IMU, cámaras, altímetros y magnetómetros proporcionan datos de posición, velocidad, orientación y entorno.

Una estación de control en tierra permite la planificación de la misión, monitoreo en tiempo real y ajustes de parámetros de navegación. Mientras que un sistema de comunicación contiene enlaces de radiofrecuencia para transmitir telemetría y recibir comandos.

Para generar precisión y confiabilidad se toman en cuenta los siguientes factores (I.-Definiciones & de Aplicación, s/f):

- *Redundancia sensorial*: Al combinar múltiples sensores, se compensan las limitaciones individuales, aumentando la robustez del sistema.
- *Fusión de datos*: Técnicas como filtros de Kalman y algoritmos de visión artificial permiten integrar y corregir las mediciones para obtener estimaciones precisas y confiables.
- *Planificación y simulación previa*: El diseño y validación de rutas y algoritmos en entornos simulados aseguran que se pueda adaptar a condiciones reales y responder a imprevistos.
- *Operación autónoma y supervisada*: Puede realizar vuelos sin intervención directa, pero con posibilidad de corrección remota, aumentando la seguridad y adaptabilidad.

Planificación de trayectorias y evasión de obstáculos

Para un desplazamiento seguro y eficiente, se debe contar con sistemas avanzados que integren planificación de trayectorias y detección/evitación de obstáculos, asegurando así el cumplimiento de la misión sin colisiones ni pérdidas de estabilidad.

En sus componentes principales se encuentran planificadores de trayectorias, es decir, algoritmos como Hybrid A y RRT (Rapidly-exploring Random Tree Star) comúnmente usados para generar rutas viables que eviten obstáculos y optimicen el recorrido entre waypoints. También hace uso de herramientas como MATLAB y Simulink que permiten modelar la arquitectura del VANT, simular condiciones ambientales antes de la implementación real, reduciendo riesgos. (*VANT*, s. f.)

Se utiliza control predictivo de modelos para optimizar y ajustar la trayectoria en tiempo real, adaptándose a cambios en el entorno o en la dinámica del vehículo. El VANT integra datos de sensores como LiDAR, cámaras y GPS, aplicando algoritmos de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) para mapear el entorno y detectar obstáculos en tiempo real. Igualmente integra software de misión y seguimiento de waypoints que permite definir rutas específicas y gestionar el seguimiento de la trayectoria, incluyendo maniobras de evasión cuando se detectan obstáculos. (*VANT*, s. f.)

Para un desplazamiento seguro y eficiente debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones (Ludwig et al., s. f.):

- *Conocimiento del terreno*: La planificación debe considerar características del área de operación para ajustar altitudes y rutas, evitando zonas de riesgo.
- *Precisión en la geolocalización*: Uso de GPS con corrección diferencial (DGPS) o sistemas de aumento como SBAS (EGNOS, WAAS) para mejorar la precisión en la ubicación.
- *Robustez en sensores*: Integra información para mejorar la confiabilidad en la detección de obstáculos y en la estimación de la posición.
- *Capacidad de respuesta* : El sistema debe ser capaz de modificar la trayectoria instantáneamente ante la detección de obstáculos imprevistos o cambios en las condiciones ambientales.

Conclusión

El estudio sobre el control y la navegación de un VANT de ala fija nos mostró la complejidad de la técnica y la precisión necesaria para garantizar vuelos seguros y autónomos. La combinación de sensores junto con los algoritmos de control, sistemas de planificación y las técnicas de percepción del entorno, nos permite que se ejecuten sus funciones de forma exitosa, adaptándose a condiciones dinámicas.

El uso de herramientas como MATLAB y Simulink en su diseño y validación de sistemas de control dan un refuerzo a la robustez del desarrollo, a su vez, la fusión sensorial otorga estimaciones precisas de posición y actitud. Estos elementos reafirman que el VANT de ala fija es un sistema versátil, capaz de operar de forma autónoma y con seguridad en entornos reales.

Bibliografía

Sánchez, A. (2023, 26 junio). *Drones de Ala Fija: Qué son, características y usos en 2023*.

UMILES. <https://umilesgroup.com/dron-ala-fija/>

Grados de libertad y códigos de restricción | SkyCiv Engineering. (2023, 23 octubre).

Software de Análisis Estructural En la Nube SkyCiv | Calculadoras y Software de Análisis Estructural En la Nube.

<https://skyciv.com/es/education/explaining-degrees-of-freedom/>

VANT. (s. f.). MATLAB & Simulink. <https://la.mathworks.com/solutions/robotics/uav.html>

Corona-Sanchez, J. J., Guzman-Caso, O. R., & Rodriguez-Cortes, y. H. (s/f). *Control en*

Tiempo Real de la Dinámica Lateral-Direccional de un Aeronave de Ala Fija.

Amca.mx. Recuperado el 6 de junio de 2025, de

<https://amca.mx/memorias/amca2017/media/files/0115.pdf>

Ríos-Hernández, R. (2021). *Uso de los Drones o Vehículos Aéreos no Tripulados en la*

Agricultura de Precisión. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/html/>

Generalidades de los Vehículos Aéreos no Tripulados (Vant's). (s. f.).

<https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/708-cyt-numero-60/1378-generalidades-de-los-vehiculos-aereos-no-tripulados-vant-s>

I.-Definiciones, T., & de Aplicación, C. Y. Á. (s/f). REGLAMENTO DE VEHÍCULOS

AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT) Y DE SISTEMAS DE VEHÍCULOS AÉREOS

NO TRIPULADOS (SVANT). Gob.ar. Recuperado el 6 de junio de 2025, de

<https://www.anac.gob.ar/anac/web/uploads/upcg/resoluciones-dnaypi/seguridad-operacional/if-2019-reglamento-vant-rs-885.pdf>

Ludwig, L., Mattedi, M. A., & Silva, R. (s. f.). *DILEMAS y PERSPECTIVAS DE*

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS EN EL CAMPO DE LA ARQUITECTURA

y URBANISMO I. <https://www.redalyc.org/journal/3517/351763475029/html/>