

Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Electrónica, Robótica y
Automática

Sistema multi-UAV para apoyo humano en
operaciones de inspección con múltiples vis-
tas

Autor: Damián Jesús Pérez Morales

Tutor: Jesús Capitán Fernández, Alfonso Ángel Alcántara Marín

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Máster
Máster en Ingeniería Electrónica, Robótica y Automática

Sistema multi-UAV para apoyo humano en operaciones de inspección con múltiples vistas

Autor:

Damián Jesús Pérez Morales

Tutor:

Jesús Capitán Fernández, Alfonso Ángel Alcántara Marín

Profesores Titulares

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Máster: Sistema multi-UAV para apoyo humano en operaciones de inspección con múltiples vistas

Autor: Damián Jesús Pérez Morales

Tutor: Jesús Capitán Fernández, Alfonso Ángel Alcántara Marín

El tribunal nombrado para juzgar el trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Abstract

We present a trajectory generation method for multi-UAV formations that monitors a mission of a wind turbine inspection. The main objective is to provide different views of the wind turbine to a ground operator, giving better perspectives of what is being supervised. To make this possible, we use a formation that follows a leader-follower scheme in a decentralized way. Each UAV infers an initial trajectory due to the operator's commands that maintains visual properties. Afterwards, these paths are optimized, minimizing accelerations in order to obtain smooth paths and, thus, avoiding jerky movements. Our method is evaluated with simulations and field experiments.

Índice

<i>Abstract</i>	I
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos	2
2 Metodología	3
2.1 Planteamiento del sistema	3
2.2 Formulación del problema	5
2.2.1 Modelo dinámico	5
2.2.2 Generación de trayectorias de referencia	5
2.2.3 Optimización de la trayectoria	6
3 Resultados	9
3.1 Entorno	9
3.2 Interfaz del operador	10
3.3 Simulación	11
3.4 Experimentos de la vida real	14
4 Conclusiones y líneas futuras	15

1 Introducción

1.1 Motivación

En la actualidad, los UAVs (*Unmanned Aerial Vehicules*) han estado evolucionando hasta el punto de emplearse en una gran variedad de aplicaciones, tales como para rodajes de cine, detección de incendios, detección de roturas o tareas de inspección. Sobresalen respecto a las otras arquitecturas de robot por ser pequeños y ligeros, permitiendo que puedan emplearse en escenarios complicados que requieren un alto grado de maniobrabilidad. Además, se le pueden acoplar una gran cantidad de sensores y/o actuadores, lo cual permite que tenga aún más potencial.

En principio, grabar vídeos de manera profesional con un dron requiere de tener a un operador entrenado y estar pendiente de los movimientos del mismo, lo cual no suele ser eficiente. La idea de desarrollar una aplicación con drones que puedan completar este tipo de tareas de manera autónoma es interesante para reducir la carga de los operadores de tierra. Además, las tareas de reparaciones en áreas peligrosas (turbinas de viento, torres eléctricas) siguen siendo desempeñadas por humanos. Teniendo la posibilidad de acoplar a un UAV una cámara que le permita tener al operador de tierra puntos de vista que un humano jamás llegaría a alcanzar y sin poner en riesgo la vida de una persona sería una gran mejora para el sector de la inspección.

Por si fuera poco tener la visión de un UAV, la visión de varios UAV podría mejorar significativamente el rango de visión que tendría el operario acerca de la estructura que está inspeccionando, ofreciendo también tener una inspección más rápida de la misma y un incremento de la robustez ante fallos de los robots.

Este trabajo se centra en una aplicación de una formación multi UAV que ofrece información visual a un operador que está inspeccionando la estructura desde el suelo. Además, estas imágenes en un futuro se pueden integrar en una interfaz de Realidad Aumentada (RA) a modo de tener un medio de interacción e intercambio de información con el sistema autónomo, incrementando la eficiencia de la Interacción Humano-Robot (HRI).

Sin embargo, es necesario contemplar que los sistemas multi UAV presentan también algunos problemas, entre ellos, la evitación de colisiones, problemas en las estrategias de coordinación entre ellos en tiempo real (preferiblemente de forma descentralizada), no solapar el campo de visión de los UAV, entre otras.

Además, al tratarse de una tarea donde la información visual es primordial, es necesario realizar una generación de trayectorias de los UAV donde se evite dentro de lo posible los movimientos bruscos para tener las imágenes lo más estables posibles.

Este proyecto está motivado por los objetivos fijados en DURABLE¹, cuyo propósito es desarrollar principalmente tareas de inspección para fuentes de energías renovables.

¹ durableproject.eu

1.2 Objetivos

El objetivo global de este proyecto es el desarrollo de un sistema multi UAV en el que se apoye la inspección de una turbina eólica, ofreciendo diferentes puntos de vista de la estructura a un operador de tierra. El operador puede mandar comandos de alto nivel a la formación y, para este trabajo, los objetivos están definidos:

- Generar trayectorias óptimas definiendo un problema de optimización que minimice las aceleraciones para conseguir trayectorias suaves.
- Ejecutar el sistema on-line y en tiempo real. Para este propósito, se emplea horizonte deslizante (receding horizon) y se ejecuta el sistema de manera descentralizada. Esto permite el recálculo de las trayectorias con una mayor tasa para tener en cuenta las posibles perturbaciones.
- Desarrollar la arquitectura del software del multi UAV en ROS.
- Realizar simulaciones SITL (Software In The Loop) para corroborar que el sistema está capacitado para generar las trayectorias de la formación de UAVs que está inspeccionando una turbina eólica.

2 Metodología

2.1 Planteamiento del sistema

Este trabajo apunta a desarrollar un sistema multi UAV para realizar tareas de inspección de una turbina eólica, pudiendo ser interactuado por comandos de alto nivel por un operador de tierra. Las nociones básicas de la aplicación son las siguientes.

- Punto a inspeccionar (Waypoint to inspect). Las cámaras a bordo de los UAV apuntan hacia dicho punto.
- Ángulo de formación (Formation angle). Este ángulo está representado en Fig 2.1. Es el ángulo que forman el UAV líder y el UAV seguidor.
- Distancia de inspección (Inspection distance). Es la distancia a la que se desea inspeccionar la estructura. Todos los UAV deben mantener dicha distancia.

La configuración que la formación de UAVs debe mantener depende de esencialmente de los parámetros mencionados anteriormente y son configurables por el operador.

En la Figura 2.2 se muestra la arquitectura del sistema. El UAV líder lleva consigo la cámara principal, mientras que los seguidores llevan cámaras auxiliares para ofrecer imágenes auxiliares.

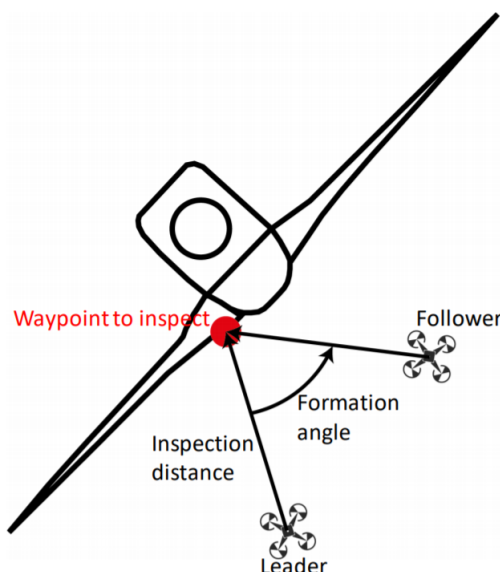


Figura 2.1 Esquema líder-seguidor en 2D.

En la Sección 2.2.2 se muestra cómo se hace la generación de las trayectorias de referencia a partir de los parámetros de la formación y de los puntos a los que se desee alcanzar (waypoints) para observar desde dicho punto la estructura. En la Sección 2.2.3 se muestra el problema de optimización planteado para obtener trayectorias suaves a partir de las trayectorias de referencia. El esquema de lo que hace cada UAV se muestra en los Algoritmos 1 y 2.

Algorithm 1 UAV líder

```

1: procedure LEADER(waypoints, punto a inspeccionar, distancia de inspección)
2:   Inicialización del sistema
3:   while Existan waypoints && Misión empezada do                                ▶ Por cada ciclo
4:     Trayectoria de referencia  $\leftarrow$  Punto a alcanzar, punto a inspeccionar, distancia de inspec-
       ción
5:     Trayectoria óptima  $\leftarrow$  Trayectoria de referencia
6:     Salida: Trayectoria del líder
  
```

Algorithm 2 UAV seguidor

```

1: procedure SEGUIDOR(Trayectoria de referencia del líder, ángulo de formación)
2:   System Initialization
3:   while Exista trayectoria de referencia del líder do                                ▶ Por cada ciclo
4:     Entrada: Trayectoria de referencia del líder, ángulo de formación
5:     Trayectoria de referencia del seguidor  $\leftarrow$  Rotar  $\pm$  ángulo de formación la trayectoria de
       referencia del líder
6:     Trayectoria óptima  $\leftarrow$  Trayectoria de referencia del seguidor
7:     Salida: Trayectoria del seguidor
  
```

Todos los elementos que se muestran en la Figura 2.2 (salvo la componente del operador) se ejecutan en cada UAV con un horizonte deslizante. Esto permite que el planificador on-line reaccione de manera adecuada a los cambios que mande el operador, además de evitar malos funcionamientos.

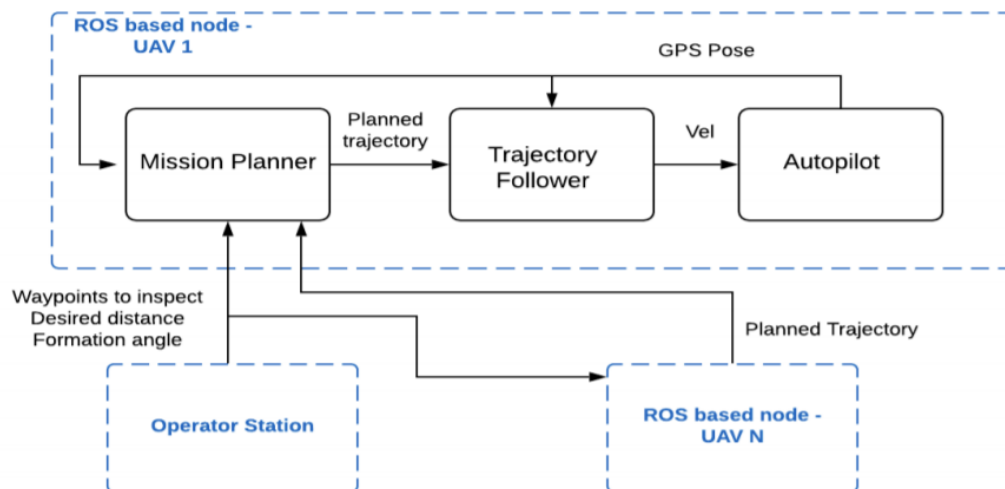


Figura 2.2 Esquema de software del sistema.

2.2 Formulación del problema

2.2.1 Modelo dinámico

Para el modelo dinámico, se emplea un seguidor de trayectorias, por lo que se puede emplear el modelo cinemático del UAV. Para la orientación de la cámara, se asume que existe un mecanismo para el gimbal en el que se desprecia las variaciones en roll de la cámara y que solo se controla el cabeceo y la guiñada (pitch y yaw).

La parte posicional del UAV del modelo dinámico se define como un doble integrador:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{p}} &= \mathbf{v}, \\ \dot{\mathbf{v}} &= \mathbf{a},\end{aligned}\tag{2.1}$$

donde $\mathbf{p} = [p_x \ p_y \ p_z]^T \in \mathbb{R}^3$ es la posición del UAV, $\mathbf{v} = [v_x \ v_y \ v_z]^T \in \mathbb{R}^3$ la velocidad lineal y $\mathbf{a} = [a_x \ a_y \ a_z]^T \in \mathbb{R}^3$ la aceleración lineal. La orientación de la cámara se define de la misma manera:

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{o}} &= \boldsymbol{\omega}, \\ \dot{\boldsymbol{\omega}} &= \boldsymbol{\theta},\end{aligned}\tag{2.2}$$

donde $\mathbf{o} = [\varphi \ \xi]^T$ representa la orientación del gimbal respecto al sistema de referencias global por sus ángulos de pitch y yaw $\boldsymbol{\omega} \in \mathbb{R}^2$ son las correspondientes velocidades angulares, y $\boldsymbol{\theta} \in \mathbb{R}^2$ las aceleraciones angulares. Para la descripción del método, se define un estado posicional del UAV $\mathbf{x}_p = [\mathbf{p}^T \ \mathbf{v}^T]^T \in \mathbb{R}^6$, un vector de entradas de control posicional $\mathbf{u}_p = \mathbf{a}$, un estado de orientación $\mathbf{x}_o = [\mathbf{o}^T \ \boldsymbol{\omega}^T]^T \in \mathbb{R}^4$, y un vector de entradas de control $\mathbf{u}_o = \boldsymbol{\theta}$.

2.2.2 Generación de trayectorias de referencia

La referencia del líder se generan a partir del punto a inspeccionar (waypoint), el punto a inspeccionar y la distancia a inspeccionar. Como resultado, se ofrece una trayectoria que encaja con un cilindro de radio igual a la distancia de inspección pasando por los waypoints comandados por el operador y manteniendo las restricciones visuales de los UAV para las imágenes. Para este propósito, es necesario realizar la parametrización en coordenadas polares y se aplica interpolación. Dado un waypoint $\mathbf{w}_0 = [r_0 \ \theta_0 \ z_0]$ y $\mathbf{w}_1 = [r_1 \ \theta_1 \ z_1]$ y un parámetro $t \in [0, 1]$. \mathbf{w}_0 representa la posición actual y \mathbf{w}_1 el siguiente punto a alcanzar, ambas en coordenadas cilíndricas.

$$\begin{aligned}r &= r_0 + (r_1 - r_0) * t \\ \theta &= \theta_0 + (\theta_{total}) * t \\ z &= z_0 + (z_1 - z_0) * t\end{aligned}\tag{2.3}$$

$$\theta_{total} = \begin{cases} \theta_2 - \theta_1 - 2\pi, & \text{if } \theta_2 - \theta_1 > \pi \\ \theta_2 - \theta_1, & \text{if } \theta_2 - \theta_1 < \pi \text{ y } \theta_2 - \theta_1 < 0 \\ \theta_2 - \theta_1 + 2\pi, & \text{if } \theta_2 - \theta_1 < -\pi \\ \theta_2 - \theta_1, & \text{if } \theta_2 - \theta_1 < \pi \text{ y } \theta_2 - \theta_1 > 0 \end{cases}\tag{2.4}$$

Se sabe que si $t=1$, la longitud de la curva L es:

$$L = \sqrt{(R^2(\theta_{total})^2 + (z_1 - z_0)^2)}\tag{2.5}$$

Para interpolar N puntos separados por t_{step} segundos a una velocidad de crucero V_c , aplicando regla de tres, para cada punto k se tiene la correspondiente t_k :

$$t_k = \frac{V_c * t_{step} * k}{\sqrt{(R\theta_{total})^2 + (z_1 - z_0)^2}} \quad (2.6)$$

En el caso de los seguidores, la trayectoria de referencia se calcula con una rotación alrededor del eje Z de $relative_angle$ rad a partir de la trayectoria de referencia del líder:

$$\mathbf{P}_{RF} = (\mathbf{P}_{RL} - \mathbf{p}_i) * R_Z(relative_angle) \quad (2.7)$$

Donde \mathbf{P}_{RF} es la trayectoria de referencia del follower, \mathbf{P}_{RL} es la trayectoria de referencia del líder, \mathbf{p}_i el punto a inspeccionar y R_Z es:

$$R_Z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.8)$$

2.2.3 Optimización de la trayectoria

El objetivo principal es generar trayectorias óptimas para conseguir trayectorias suaves. Para ello, se formula un problema de optimización minimizando las desviaciones respecto a la trayectoria de referencia y las aceleraciones para evitar movimientos bruscos. Además, se añade el modelo cinemático del UAV y las limitaciones dinámicas como restricciones del problema de optimización:

$$\underset{\substack{\mathbf{x}_0, \dots, \mathbf{x}_N \\ \mathbf{u}_0, \dots, \mathbf{u}_N}}{\text{minimize}} \sum_{k=1}^N (\|\mathbf{x}_{d,k} - \mathbf{x}_k\|^2 + \beta \|\mathbf{u}_{k-1}\|^2), \quad (2.9)$$

$$\text{subject to } \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}' \quad (2.9.a)$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = f(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (2.9.b)$$

$$\mathbf{u}_{min} \leq \mathbf{u}_k \leq \mathbf{u}_{max} \quad (2.9.c)$$

$$\mathbf{v}_{min} \leq \mathbf{v}_{Q,k} \leq \mathbf{v}_{max} \quad (2.9.d)$$

$$\mathbf{p}_{Q,k} \in \mathcal{F} \quad (2.9.e)$$

$$\|\mathbf{p}_{Q,k} - \mathbf{p}_O\|^2 \geq r_{inspection}^2 * \quad (2.9.f)$$

(2.10)

donde las variables de optimización $\mathbf{x}_k = [\mathbf{p}_{Q,k} \ \mathbf{v}_{Q,k}]$ y $\mathbf{u}_k = \mathbf{a}_k$ son los estados discretos (posición y velocidad) y las entradas de control (aceleración) del sistema en cada t_k . Se podría añadir como restricción 2.9.f, definiendo una zona de no vuelo. Sin embargo, como esta restricción es no convexa, se hace de manera implícita en la generación de trayectoria de referencia para evitar sobrecargar al resolutor.

En esta aplicación, las cámaras necesitan estar siempre apuntando al objetivo a filmar. Por ello, la orientación se obtiene:

$$\mathbf{o}_d = [\varphi_d \ \xi_d]^T = \left[\arctan(q_y, q_x) \ \sin\left(\frac{q_z}{\|q\|}\right) \right]^T. \quad (2.11)$$

El control de orientación es también definido como una problema de optimización cuadrática con restricciones con horizonte deslaciente para conseguir cambios de orientación suaves:

$$\underset{\mathbf{u}_0, \dots, \mathbf{u}_{N-1}}{\text{minimize}} \sum_{k=1}^N (\|\mathbf{o}_{d,k} - \mathbf{o}_k\|^2 + \gamma \|\mathbf{u}_{k-1}\|^2), \quad (2.12)$$

$$\text{subject to } \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}', \quad (2.12.a)$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = f_o(\mathbf{x}_k, \mathbf{u}_k) \quad \forall k \in \{0, \dots, N-1\}, \quad (2.12.b)$$

$$\omega_{min} \leq \omega_k \leq \omega_{max} \quad \forall k \in \{1, \dots, N\}, \quad (2.12.c)$$

$$\xi_{min} \leq \xi_k \leq \xi_{max} \quad \forall k \in \{1, \dots, N\}, \quad (2.12.d)$$

$$\mathbf{u}_{min} \leq \mathbf{u}_k \leq \mathbf{u}_{max} \quad \forall k \in \{0, \dots, N-1\}, \quad (2.12.e)$$

Para conseguir las trayectorias óptimas, se emplea el mismo problema para el líder que para el seguidor.

3 Resultados

3.1 Entorno

Para realizar las simulaciones se emplea el simulador Gazebo, cuyo mundo es la cancha de baloncesto en "La Plaza del Agua", (ETSI, Sevilla). Se empleará este mundo para las simulaciones debido a que los experimentos en la vida real se van a realizar en ese lugar.

Las cámaras en este trabajo son muy importantes, ya que proveen al operador de tierra la herramienta más elemental en tareas de inspección: la visión. El objetivo principal de este proyecto es la inspección de estructuras grandes con formas cilíndricas y, teniendo a la formación de UAV llevando consigo una cámara por cada UAV, el operador podrá detectar daños con mayor facilidad. En la Figura 3.2 se muestra la imagen que se obtiene de las cámaras en el entorno de simulación.

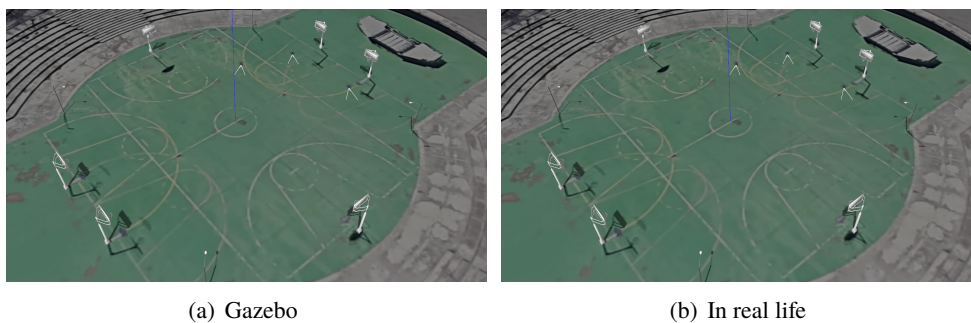


Figura 3.1 "Plaza del Agua".

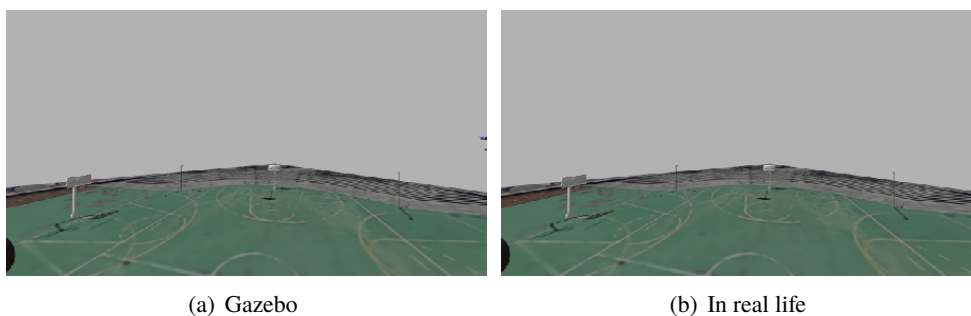


Figura 3.2 Vista de la cámara del UAV líder.

La interfaz de RViz proporciona información acerca de cómo está yendo la misión. Arroja información acerca de las trayectorias de referencia y reales de cada UAVs, las orientaciones de los UAVs, los puntos a inspeccionar, entre otras cosas. La apariencia del entorno de RViz se muestra en la Figura 3.3:

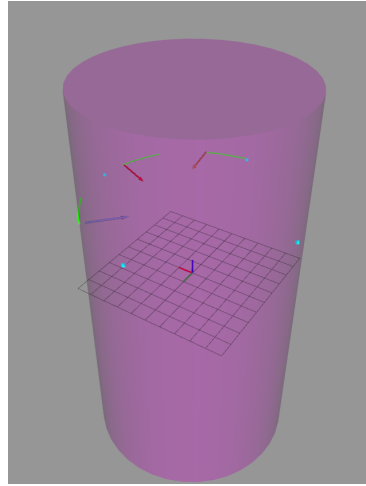


Figura 3.3 RViz en simulación.

Un vídeo de demostración en el entorno de simulación se ha subido a la plataforma de YouTube¹.

3.2 Interfaz del operador

La interfaz del operador tiene la posibilidad de ejecutar un archivo de auto-configuración donde se establecen ciertos parámetros por defecto, aunque se pueden modificar posteriormente a través de la consola que se le proporciona a través de comandos de alto nivel. El aspecto de la interfaz de la que dispone el operador se representa en la Figura 3.4, a través de la cual puede interaccionar con la formación de UAVs.

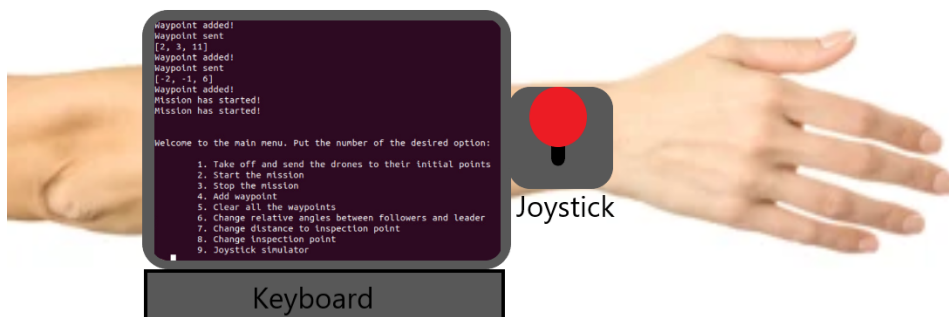


Figura 3.4 Operator's interface, selection of the menu.

¹ <https://www.youtube.com/watch?v=pXQHwkDVizw>

3.3 Simulación

En esta simulación, se va a simular el comportamiento que tendría el operador de tierra a la hora de ejecutar ciertos comandos, haciendo variar ligeramente la distancia al punto de inspección y el ángulo de la formación, además de añadir ciertos puntos a inspeccionar. En este caso, los puntos a inspeccionar se han seleccionado de forma que se describa una trayectoria circular para ver cómo de bien funciona la aplicación, la optimización de las trayectorias y la vista de las cámaras, sin aplicar cambios de sentido ni movimientos agresivos. El operario puede hacer variar la distancia y el ángulo a través del joystick de la interfaz del operario (Figura 3.4).

Es importante mencionar que en los resultados expuestos se consideran los datos obtenidos a partir de que los UAVs se encuentran moviéndose de manera circular (cilindro).

En la Figura 3.5 se representa la evolución de las trayectorias por incrementos de tiempo. Notar que de $\Delta t = 30$ s a $\Delta t = 40$ s hay un cambio de referencia en la distancia a inspeccionar (ver en la Figura 3.6, donde se puede observar un cambio de referencia en $\Delta t \approx 25$ s), haciendo que los UAVs se alejen de la circunferencia de la que partían y, en $\Delta t = 50$ s, este cambio se puede apreciar mejor.

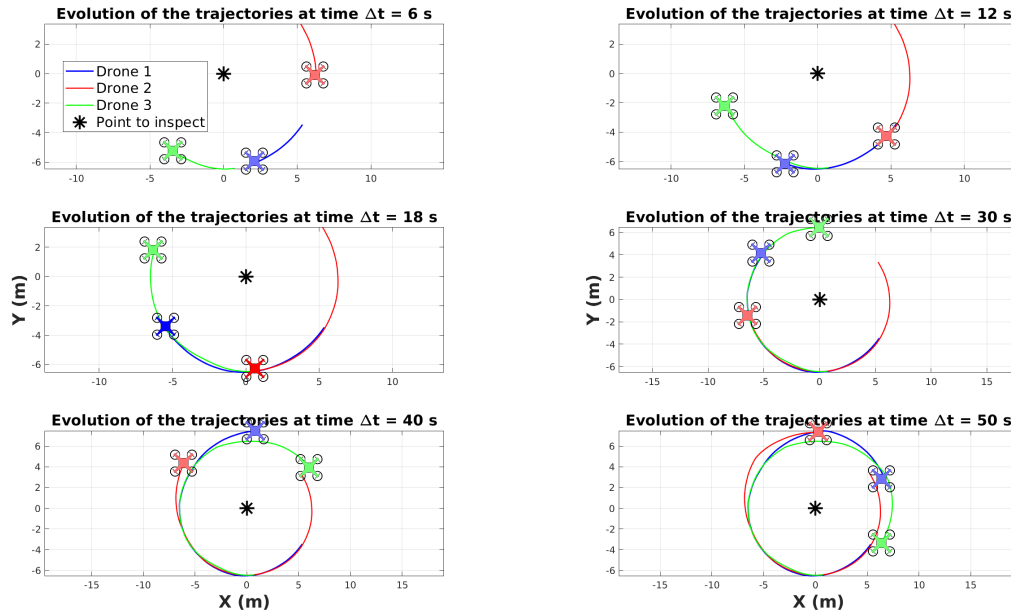


Figura 3.5 Simulación. Mosaico de las trayectorias descritas por los UAVs. Notar que el Drone 1 (líder) se encuentra entre dos UAV, que son los seguidores (Drone 2, Drone 3) y están describiendo un camino siempre en la misma dirección.

En la Figura 3.6, se representa la evolución de la distancia de inspección para cada UAV. Notar que hay un cambio de referencia en $t \approx 161$ s de 6.5 m a ~ 7.35 m y la formación tarda en alcanzar la referencia 15 s. Debido a la formulación usada en este trabajo (mirar Sección 2.2.2), el tiempo que tarda la formación en alcanzar el cambio de referencia depende de cómo de lejos esté el siguiente punto a inspeccionar desde el último alcanzado (parámetro t_k). El comportamiento sobreoscilatorio viene de la necesidad de detectar el punto a inspeccionar cuando no está lo suficientemente cerca y, justo después, las trayectorias que la formación describía sigue siendo la misma hasta que un nuevo punto a alcanzar esté disponible. En $t \approx 239$ s, hay otro cambio de referencia en la distancia de inspección, de ~ 7.35 m a ~ 6.7 m. La explicación es la misma en este caso.

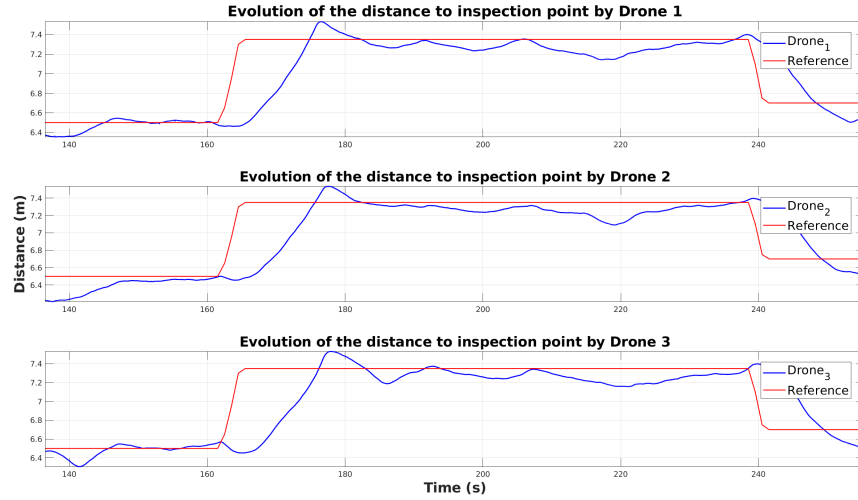


Figura 3.6 Simulación. Seguimiento del cambio de referencia de la distancia de inspección. Notar que en cada cambio de referencia, los UAVs parecen tener un comportamiento sobreoscilatorio. Esto se debe a la tolerancia dada para detectar el punto a inspeccionar, que puede ser un poco exigente y fuerza a que pase bastante cerca del punto a inspeccionar cuando hay un cambio de referencia.

En la Figura 3.7 se muestra la evolución de los ángulos de formación. En este caso, hay pendientes ciertas mejoras por añadir: implementar un virtual target y afinar la sincronización de las trayectorias de los UAV seguidores. Fijándose en el problema de seguimiento del ángulo de formación, se puede observar que hay un offset inevitable de algunos grados ($\sim 6-8^\circ$) debido a la mejorable sincronización que se tiene por el momento. Cuando el UAV seguidor está por detrás del UAV líder, este offset se añade al ángulo relativo real, estando más lejos de donde debería; mientras que si el UAV seguidor está delante del UAV líder, este offset se resta al ángulo relativo real, estando más cerca de donde debería.

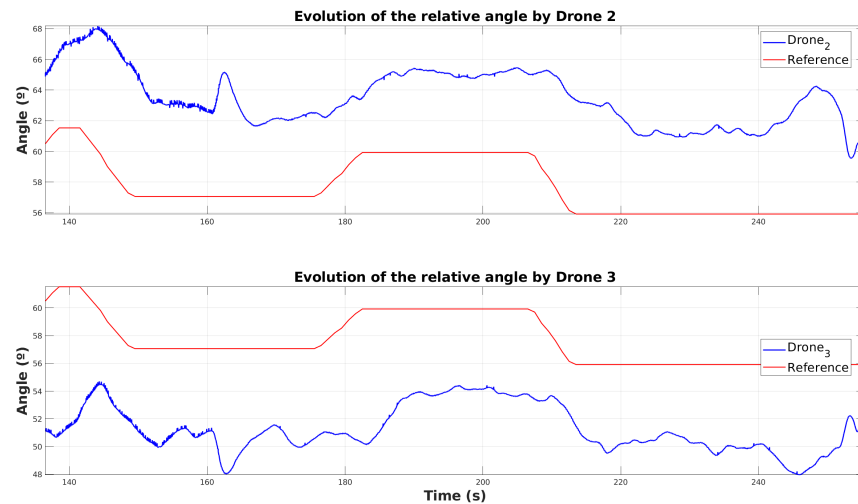


Figura 3.7 Simulación. Seguimiento del ángulo relativo de los UAVs.

La aceleración lineal de los UAVs se muestran en la Figura 3.8. Como se esperaba, debido a

la optimización de los caminos que los UAVs siguen, estas aceleraciones tienden a ser cercanas a 0, ya que estas están describiendo una circunferencia, lo que significa que debe tener algo de aceleración para que no sigan una línea recta. Cuando hay un cambio en el ángulo de la formación, las aceleraciones de los UAV seguidores pueden tener algunos picos para acercarse o alejarse del UAV líder. Incluso sin tener variaciones en los ángulos de la formación o en la distancia de inspección, las aceleraciones de los seguidores puede ser algo más irregular que las del líder, debido a que las trayectorias de los seguidores dependen directamente de la trayectoria del líder y deben adaptarse para mantener siempre el ángulo de formación con el líder.

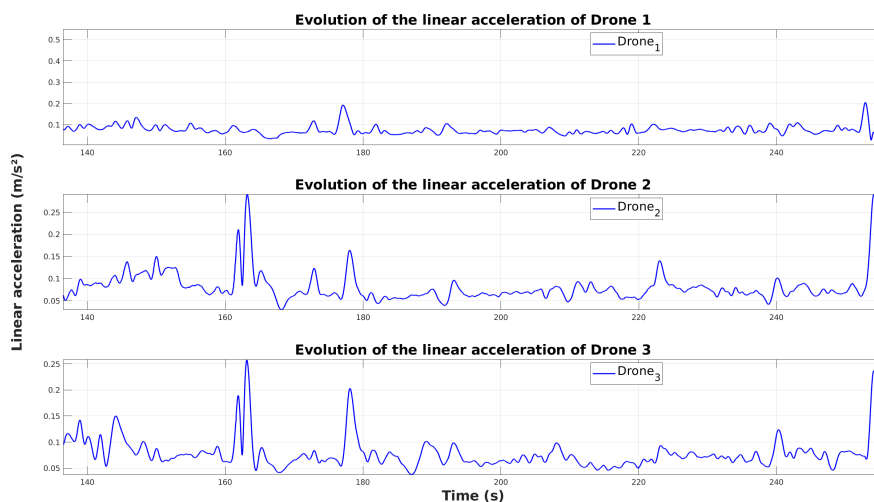


Figura 3.8 Simulación. Aceleración lineal de los UAV.

En la Figura 3.9 y en la Figura 3.10, las aceleraciones de yaw y pitch se muestran respectivamente. Ambas deben tener unas aceleraciones cercanas a 0 debido al problema de optimización, que pretende minimizar las aceleraciones de los UAVs. De este manera, las vistas de las cámaras tienden a ser suaves.

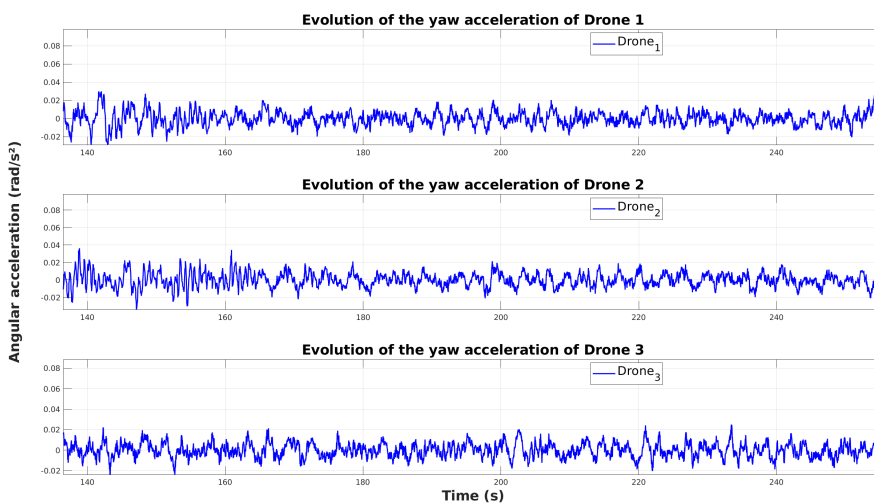


Figura 3.9 Simulación. Aceleración de yaw de los UAVs.

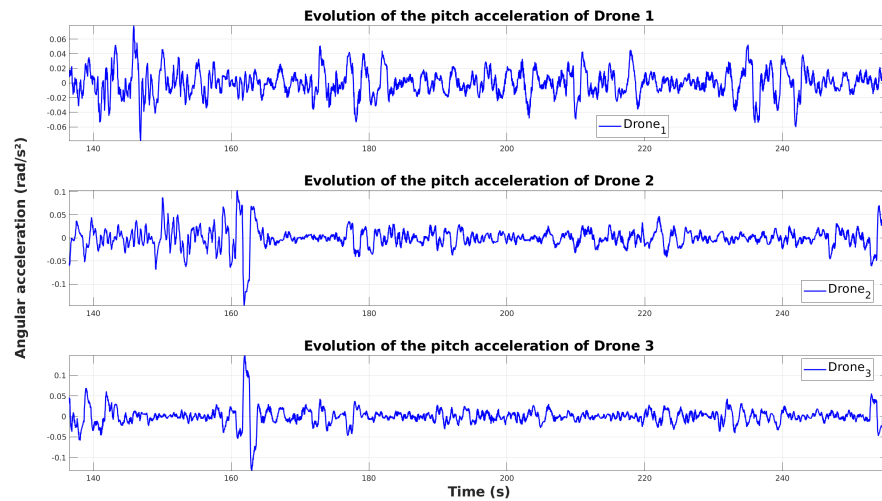


Figura 3.10 Simulación. Aceleración de pitch de los UAVs.

3.4 Experimentos de la vida real

TODO

4 Conclusiones y líneas futuras

Teniendo ahora la noción del proyecto y los resultados obtenidos en mente, se puede apreciar que esta aplicación tiene un gran potencial para las aplicaciones de inspección de estructuras de forma cilíndrica, donde la vista humana no alcanza a observar los puntos de interés. Además, el hecho de tener una formación multi-UAV permite tener diferentes puntos de vista de la estructura, lo que facilita al operador de tierra la inspección del mismo. El hecho de tener trayectorias óptimas generadas automáticamente para los UAV permite al operario tener una vista clara de lo que se desea inspeccionar. Por ello, este trabajo demuestra que esta herramienta sería muy útil para realizar la inspección de cualquier tipo de estructura con forma cilíndrica.

Respecto a las líneas futuras del trabajo, se debe mencionar que este proyecto sigue aún en proceso, lo que significa que todo lo que se va a mencionar aquí son tareas pendientes que están en desarrollo.

Antes que nada, en los resultados expuestos se ha podido ver que hay un problema con la sincronización de las trayectorias de los seguidores, teniendo ligeras variaciones en los ángulos de inspección respecto a los que se deberían tener realmente. Este sería, por tanto, la primera mejora a añadir para evitar futuros problemas.

Además, sería interesante añadir la evitación de obstáculos para poder acercar la formación más a la turbina eólica y poder evitar los movimientos de las aspas de la turbina para, así, poder detectar con mayor calidad de imagen las roturas que pueda llegar a tener la estructura.

También sería interesante añadir a las simulaciones un perfil de velocidades de viento para simular cómo funcionarían los drones ante las perturbaciones típicas que se encuentran en los entornos de turbinas eólicas.

Otra tarea pendiente que se tiene es implementar una interfaz de Realidad Aumentada (AR) para ofrecer información extra al operador de tierra acerca de la misión. Esta información podría ser representada en una pantalla o con gafas AR para permitir al operador tener la propia vista de los UAVs.