

## Capítulo 5

# Conclusiones y desarrollos futuros

### 5.1 QuadRotor

Como se comprobó durante la sintonización de los controladores y las simulaciones realizadas en Gazebo, el control de los movimientos básicos del quadrotor, en altura, *roll*, *pitch* y *yaw*, no ha supuesto una gran dificultad, existiendo un modelo matemático definido, siendo prácticamente independientes entre sí y alcanzándose unas buenas prestaciones en cuanto a las especificaciones de la respuesta, tanto en el transitorio como en el permanente, utilizando unos controladores PID simples.

Sin embargo, el control en X e Y es más complejo, no existiendo un modelo matemático sencillo debido a la alta dependencia de ambos con *roll* y *pitch*. Para la estrategia adoptada, lazos de control en X e Y sobre los controladores en *pitch* y en *roll* en forma de controladores maestro-esclavo, la respuesta tiende inevitablemente a sobreoscilar y con unos tiempos de establecimiento bastante altos. La sobreoscilación se solucionó limitando la velocidad de desplazamiento del quadrotor en estas direcciones mediante la limitación del *roll* y del *pitch* máximos de referencia que llegaban a los controladores de ambos, lo cual hace que aumente el tiempo en alcanzar la referencia y no mejora el tiempo de establecimiento notablemente. Como desarrollos futuros se plantean las siguientes opciones:

- Mejorar la sintonización de los PID's en X e Y por técnicas más avanzadas y añadir control anti-windup para solucionar el incremento en el tiempo de establecimiento que se observó en la simulación de seguimiento de trayectorias.
- Obtener un modelo matemático simple de los desplazamientos en X e Y mediante el método de mínimos cuadrados y utilizar un algoritmo de control predictivo o adaptativo.
- Utilizar otras técnicas de control: LQR o técnicas adaptativas (reguladores autoajustables STR).

Estas posibilidades no se llevaron a cabo en este proyecto debido a que el objetivo final era crear un simulador y obtener una primera visión del comportamiento del conjunto quadrotor-brazo manipulador, por lo que se trató de simplificar la etapa de control lo máximo posible, siempre dentro del buen funcionamiento de cada robot individualmente.

En cuanto a los resultados obtenidos en simulación para las velocidades de giro de los propulsores del quadrotor, se llega a las siguientes conclusiones:

- El impulso necesario para elevar y mantener el quadrotor a cierta altura, así como desplazarlo a otras posiciones, no conlleva unas velocidades de giro muy elevadas, llegando en torno a un cuarto de las velocidades de giro máximas permitidas para los motores de estudio. Esto es lo que permite incluir más dispositivos al quadrotor, tal y como se ha hecho añadiéndole el manipulador.
- Las mayores velocidades y, por tanto, el mayor consumo de energía y desgaste del quadrotor se dan en las variaciones de altura del quadrotor, siendo prácticamente despreciable el efecto de los giros o desplazamientos horizontales.

## 5.2 Manipulador

A la vista de los resultados de las simulaciones realizadas para el manipulador, se concluye que la capacidad de los servomotores en cuanto a esfuerzo es más que suficiente para mover el manipulador y cargar con barras de peso reducido, pudiendo añadirle reductoras para mejorar las prestaciones de su movimiento sin comprometer los momentos necesarios para su movimiento.

En cuanto al control, se ha comprobado que con unos controladores PID simples se consiguen unas buenas especificaciones en el movimiento de sus 3 articulaciones, solo debiéndose anotar la no despreciable sobreoscilación en el movimiento en dirección Z, evitable muy posiblemente realizando una compensación de la gravedad en los controladores articulares de modo que se elimine esa perturbación, lo cual se deja como una posible mejora. También a de comentarse la baja influencia existente entre las variables articulares controladas, que ha sido contrarrestada casi por completo con los controladores utilizados.

En cuanto a la planificación realizada para coger y soltar objetos en una posición deseada respecto al manipulador, se ha comprobado que, para el limitado espacio de trabajo con el que cuenta, es posible realizar trayectorias evitando colisionar en todo momento con el objetivo y minimizando las distancias a recorrer y el tiempo consumido para ello. Lamentablemente y debido a la dificultad para simular un agarre efectivo de los objetos por parte del efector, no se han podido realizar simulaciones para obtener información sobre el comportamiento del manipulador bajo carga, lo cual puede ser objeto de estudio para nuevos proyectos que usen la plataforma

ROS/Gazebo.

Como desarrollo futuro para este simulador, se propone añadirle una cámara de visión estéreo al manipulador, ya sea en su base o directamente sobre el chasis del efector, de modo que se le dote de la capacidad para localizar objetos y sea totalmente autónomo para realizar sus funciones.

### 5.3 QuadRotor equipado con el Manipulador

El desarrollo de una estrategia desacoplada que en principio se pensó aceptable, llevando luego a cabo modificaciones sobre los controladores según las influencias que se observen, a tenido éxito en cuanto al transporte del manipulador, pero no ha sido así en cuanto a la estabilidad del quadrotor durante las operaciones de manipulación del brazo, llegándose a demostrar al final del capítulo anterior la enorme influencia entre la estabilidad del quadrotor y los desplazamientos del efector del manipulador.

Esta influencia pondría verse disminuida notablemente si la masa total del robot tuviera una mayor concentración en el eje central del quadrotor, ya que el efecto de las reacciones sobre la dinámica del quadrotor disminuiría. Se deja como trabajo futuro un modelado más completo del quadrotor, añadiendo todos los componentes hardware que se colocarían en los platos centrales del mismo y que, como se ha comentado, posiblemente mejoren su estabilidad.

Una posible mejora de control que se propone, con el objetivo de disminuir el efecto de los pares aplicados en el manipulador sobre la estabilidad del quadrotor, sería incorporar inevitablemente una serie de reductoras para disminuir los pares aplicados a los mínimos necesarios, seguidos de una estrategia de control suave en cuanto a las trayectorias seguidas por el manipulador se refieren. De igual modo, podría modificarse físicamente la conexión entre el quadrotor y el manipulador, de forma que se añadiera algo de amortiguación entre ambos.

Otra forma que se propone para disminuir esta influencia, en este caso indirectamente, sería mediante algún tipo de algoritmo de control predictivo basado en modelo, de forma que las contra-reacciones se anticipen a las reacciones y acciones del manipulador, a diferencia con la estrategia adoptada en la que se aplicaban una vez que ya habían afectado.

