
CAPÍTULO 1

HARDWARE

La elección del hardware representa una parte muy importante del Proyecto. Una mala elección de alguno de los componentes puede acarrear complicaciones no previstas a la hora de la ejecución, causando contratiempos inesperados y trabajo excesivo. Es necesario, entonces, el estudio detallado de cada uno de los componentes a utilizar.

1.1. Plataforma física: Cuadricópteros

A la hora de la planificación del Proyecto se plantea la opción de partir de cero, diseñando completamente el cuadricóptero. Si bien esta opción tiene la ventaja de que se puede conocer completamente su funcionamiento, implica problemas de ingeniería mecánica que no se pretenden resolver, conocimientos de resistencia, flexibilidad y peso de materiales, así como también diversas complicaciones adicionales a la hora de fabricar y armar los distintos componentes. Dados los plazos del proyecto, y que su objetivo se centra en el control del vehículo, la necesidad de partir de un dispositivo electromecánico ya construido resulta imperiosa.



Figura 1.1: Turbo Ace X720

La plataforma escogida es el cuadricóptero Turbo Ace X720 (o LotusRc 850). Esta plataforma es controlada por un usuario a través de un control remoto comercial estándar (Walkera 2801). El sistema receptor se encarga de setear la velocidad angular de cada motor en función de la señal recibida.

Motores

Los motores de la plataforma son de tipo *Brushless*: son eléctricos con el rotor de imán permanente y tres pares de bobinas en el estator alimentados con corriente continua switchada. Tienen un sistema de conmutación eléctrico (ESC) , y presen-

tan relaciones lineales entre corriente y torque, y entre frecuencia y velocidad. Son comúnmente utilizados en vehículos radio-controlados por su eficiencia, potencia, durabilidad y su bajo peso (en comparación con los de tipo *Brushed*). Los motores *Brushless* son complicados de controlar, ya que la fase varía con la rotación del motor. Se requiere un *Controlador eléctrico de velocidad* (**ESC**¹).

Los ESCs incluidos en la plataforma reciben comandos mediante el protocolo I^2C , a $333kHz$.

Peso

Además de toda la instrumentación que incluye el cuadricóptero, se incorporará una placa de desarrollo, una de sensores (IMU), un GPS, una interfaz para comunicación Wi-Fi, y una batería dedicada exclusivamente a alimentar la electrónica agregada. Es de interés conservar la posibilidad de integrar una cámara fotográfica. La carga que puede levantar el cuadricóptero es de 1300g, de la que se debe descontar el peso de las baterías de la electrónica y de la alimentación a los motores.

Tiempo de vuelo

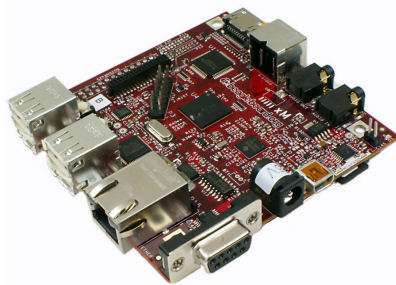
El tiempo de vuelo utilizando una batería de LiPo de 5300mAh (450g) y una carga de 500g es cercano a los 10-15 minutos.

Instrumentación e inteligencia

La instrumentación con la que cuenta el dispositivo está destinada a simplificar el manejo a control remoto, estabilizando el sistema. La misma incluye un barómetro y acelerómetro y giróscopo de 3 ejes. Cuenta además con una CPU que se encarga de la lectura de los datos proporcionados por los sensores y de definir las acciones de control sobre los motores.

No se dispone del código del programa presente en la CPU, y por lo tanto no es posible reutilizarlo, ni tampoco obtener la lectura de los sensores presentes. Se realizaron esfuerzos para conseguir dicha información del fabricante, quien se negó a proporcionarla. Por dicho motivo se opta por dotar al sistema de instrumentación adicional.

1.2. Inteligencia



Además de la plataforma física, deben seleccionarse componentes electrónicos capaces de procesar la información proveniente de los sensores, computar y ejecutar los algoritmos de control, y generar las señales necesarias para transmitir las instrucciones a los motores.

La solución implementada se basa en la plataforma de desarrollo *Beagleboard*. Esta plataforma posee un

Figura 1.2- Beagleboard
¹Electronic Speed Controller.

microprocesador TI ARM Cortex A8 de 1GHz y un DSP TMS320C64x+ de 800MHz. La memoria RAM es de 512 Mb. No tiene memoria no volátil, pero soporta tarjetas SD de hasta 4GB y es posible conectar memorias flash USB. Ver figura 1.2.

Dimensiones y peso

Cuanto menor sean las dimensiones y peso de la placa elegida, mayor carga útil quedará disponible. El peso total de la BeagleBoard con una batería, diseñada especialmente alimentarla es de aproximadamente 200 gramos, y sus dimensiones son de $10\text{cm} \times 8,5\text{cm} \times 5\text{cm}$. La autonomía de dicha batería es de aproximadamente 2 horas.

Sistema Operativo, Puertos y I/O

La BeagleBoard ofrece la posibilidad de cargar un kernel de *Linux* desde una tarjeta SD. El sistema operativo permite:

- Comunicación a través de una interfaz ethernet.
- Conexión de cuatro dispositivos USB de manera simultánea.
- Debugging a través de un puerto serie.
- Uso de bibliotecas para visión por computadora.
- Compatibilidad con módulos de cámaras VGA.

Existen *drivers* que permiten agregar una interfaz para WiFi conectando un módulo USB (Belkin wireless G).

La BeagleBoard cuenta con un puerto de expansión de 28 pines de proposito general. Los pines 23 y 24 de dicho puerto pueden ser configurados para exponer un puerto I^2C , fundamental para enviar comandos a los ESC. Los pines 23 y 24 corresponden a las líneas de datos y al reloj respectivamente. Por otra parte, los pines 8 y 6 pueden ser configurados para funcionar como pines de transmisión y recepción de un puerto serie, esto será fundamental para la comunicación con algunos de los sensores.

1.3. Instrumentación

Para poder controlar el sistema es importante poder conocer los valores que toman las variables de estado del mismo. Como se verá en el capítulo sobre el desarrollo del modelo físico del cuadricóptero, las variables que se deben conocer son:

- La orientación.
- La posición.
- La velocidad.
- La velocidad angular.

Por dicho motivo resulta imprescindible dotar al sistema de sensores capaces de medir dichas magnitudes, directa o indirectamente. Se compararon distintas alternativas comerciales, finalmente se optó por un dispositivo que integra varios sensores y un GPS.

1.3.1. IMU

Acelerómetro

Un acelerómetro es un dispositivo capaz de medir su aceleración propia en el marco de referencia de un sistema en caída libre. Se encarga de procesar las medidas, y convertirlas a una señal eléctrica (puede ser analógica o digital).

Existen diversos tipos de acelerómetros. Se eligió trabajar con un acelerómetro contenido en un circuito integrado, tecnología MEMS. Los acelerómetros basados en esta tecnologías miden cambios internos de la transferencia de calor causada por la aceleración, ofreciendo ventajas significativas sobre el empleo de una estructura tradicional sólida de masas de prueba.

Se optó por utilizar tecnología MEMS fundamentalmente por tamaño, peso y costo. Los mismos son más pequeños, livianos y baratos que otras tecnologías.

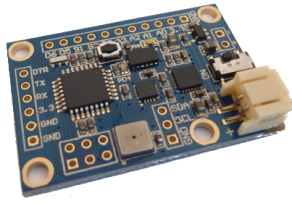
El acelerómetro cumple dos roles fundamentales:

1. Bajo la hipótesis de que las aceleraciones a las cuales se verá sometido el sistema **no** son comparables con g , sirve para determinar los ángulos de Pitch y de Roll.
2. Permite obtener una estimación de la velocidad, integrando su medida.

Giróscopo

Un giróscopo es un instrumento capaz de medir la velocidad angular de un sistema solidario a si mismo respecto a un sistema inercial. Las mismas restricciones sobre tamaño, peso y costo que se aplicaban para el acelerómetro se aplican aquí. Se vuelve a optar por tecnología MEMS.

Desde el punto de vista teórico, procesando la información obtenida a partir del acelerómetro y del giróscopo y partiendo de condiciones iniciales conocidas, se puede conocer, en todo momento, la posición del sistema y su orientación. En la práctica, sin embargo, esto no es así, ya que todas las medidas tienen un cierto error. Para obtener la orientación y la posición en cada instante se debe integrar y, por lo tanto, se integra también el error cometido. Esto produce una acumulación de errores que afecta, de forma considerable, el resultado final luego de cierta cantidad de muestras. Este problema se puede resolver integrando un GPS. Este último permitiría, cada cierto intervalo de tiempo, contar con una medida absoluta para comparar contra los resultados obtenidos de la integral de las medidas del acelerómetro y del giróscopo, permitiendo corregir errores debido a la deriva por integración del error.



(a) Mongoose



(b) Canmore GT-730F

Figura 1.3: Instrumentación

Sensor de presión

El GPS, mencionado en la sección anterior, provee una estimación de la altura absoluta, pero es poco precisa. Depende fuertemente de la cantidad de satélites disponibles y se ve fuertemente deteriorada por el efecto del rebote de las ondas en estructuras cercanas (en especial por los rebotes en el piso, que deterioran la precisión en la medida de altura cuando se está muy cerca del suelo). Por este motivo es necesario contar con otra fuente de información. Se optó por incorporar un barómetro que, midiendo la presión absoluta, permite determinar la altura del cuadricóptero en forma independiente al resto de los sensores.

Magnetómetro

El *drift* en la estimación del ángulo de Yaw a partir de la integración de datos del giróscopo y la falta de una referencia absoluta en dicha estimación, se resuelven agregando un magnetómetro. Permite ubicar el norte magnético (medida absoluta), complementando la información diferencial obtenida del giróscopo.

Sensor de temperatura

El control del sistema no depende directamente de la temperatura, pero la instrumentación presenta una dependencia con (y por ende tendrá errores asociados a) la temperatura. El contar con un sensor de temperatura permitirá utilizar una calibración que tome en cuenta dicha dependencia.

La Mongoose 9DoF IMU (1.3a) posee todos los sensores que se han nombrado hasta aquí, excepto el GPS. Las características de dichos sensores se resumen en el anexo ???. Posee además un microprocesador sencillo de programar, lo que permite realizar un preprocesamiento de los datos antes de la estimación del estado. Las modificaciones realizadas al código original se explican en el anexo ??.

1.3.2. GPS

La elección del GPS se basó fundamentalmente en lograr la simplicidad del sistema. Existían muchas opciones, placas de diversos tamaños, con distintos tipos de antenas, pero todas con especificaciones similares.

Se optó por utilizar un GPS *Canmore GT-730F*, como el mostrado en la figura 1.3b. Dentro de un margen de precios razonable las características de los distintos

GPS comerciales no difieren considerablemente en lo que refiere a tasa de muestreo, resolución y exactitud. La razón fundamental para elegir dicho instrumento sobre otros fue la facilidad de conexión ya que permite utilizar los puertos USB de la plataforma a cargo de la inteligencia y los drivers existentes para linux.