CAPÍTULO IV - Desarrollo

1. **Circuito de control de motores**
2. ***Circuito de lógica, sensores y comunicación***
3. ***Estimación de orientación del cuadricóptero***
   1. ***Convenciones respecto a los ángulos***

Para simplificar la implementación de los sistemas de control del cuadricóptero, se decidió representar la posición y velocidad angular del mismo en cada eje mediante ángulos de Euler, bajo la siguiente convención:

* Ángulo de Yaw: Ángulo de giro respecto al eje Z del acelerómetro y giroscopio.
* Ángulo de Pitch: Ángulo de giro respecto al eje Y del acelerómetro y giroscopio.
* Ángulo de Roll: Ángulo de giro respecto al eje X del acelerómetro y giroscopio.
* Velocidad de Yaw: Velocidad de giro respecto al eje Z del giroscopio.
* Velocidad de Pitch: Velocidad de giro respecto al eje Y del giroscopio.
* Velocidad de Roll: Velocidad de giro respecto al eje X del giroscopio.
  1. ***Descripción de la Unidad de Medición Inercial (IMU)***

Se utilizó una tarjeta Pololu MinIMU-9 v2, la cual está constituida porun giroscopio de 3 ejes L3GD20, y por un acelerómetro de 3 ejes y un compás de 3 ejes LSM303DLHC. La misma provee de una interfaz que permite acceder a las mediciones, por eje, de cada uno de sus sensores, e incluye un regulador de voltaje y un convertidor de nivel de voltaje que permite su operación con una entrada de voltaje de 2,5V a 5,5V.

Para la obtención de datos de la tarjeta Pololu MinIMU-9 v2 se utilizaron las librerías diseñadas por el fabricante para su manejo desde tarjetas Arduino, y se utilizó la configuración por defecto de las mismas en cuanto a tasa de salida de datos, ya que para la obtención de datos del acelerómetro era suficientemente rápida, y para la obtención de datos del giroscopio, es cercana a la velocidad de ejecución del ciclo de control más rápido del cuadricóptero. En principio, para mejorar la estimación incremental de ángulo y el sistema de control de velocidad angular, se aumentó la tasa de salida de datos del giroscopio a 380Hz, pero, ante la pérdida de sensibilidad total del sensor, se decidió utilizar la configuración por defecto del mismo, con una tasa de salida de 95Hz.

* 1. ***Cálculo de velocidad angular***

El cálculo de velocidad angular se realizó a partir de las mediciones realizadas con el giroscopio. Según la hoja de datos del sensor L3GD20, el mismo puede configurarse para obtener una sensibilidad de 8,75, 17,5 y 70 milésimas de grado por segundo por cada dígito de medición obtenido (mdps/digit – en inglés *millidegrees per second per digit*), y un rango de medición de 250, 500 y 2000 grados por segundo (dps – en inglés *degree per second*). Se decidió configurar el rango de medición a 250 grados por segundo y la senbilidad del sensor a 8,75 mdps/digit, por considerarse rango y senbilidad suficientes para medir las velocidades del cuadricóptero realizando movimientos simples en vuelo. En base a esto último se calculó la ganancia del giroscopio, para convertir todas las mediciones obtenidas mediante el mismo, en milésimas de grado por segundo, a grados por segundo, como se ilustra a continuación:

*siendo:*

* 1. ***Estimación de posición angular a partir del acelerómetro***
  2. ***Estimación de posición angular a partir del giroscopio***

Se realizó un estimado del ángulo de inclinación del cuadricóptero, mediante integración numérica de las velocidades de rotación de Yaw, Pitch y Roll, como se describe a continuación:

Durante un lapso corto de tiempo, este estimado del ángulo de inclinación en cada eje puede mantener una cierta precisión, pero, por las características de funcionamiento del sensor, y el proceso de integración numérica, tiende a sufrir deriva del valor real.

* 1. ***Combinación de las estimaciones de posición angular del acelerómetro y giroscopio***

Mejorar y terminar A continuación se describen algunas de las características de la estimación de ángulo que puede brindar cada sensor por separado:

* Acelerómetro: Mide la magnitud de las fuerzas sobre el sensor, y particularmente, la magnitud de la gravedad del planeta Tierra, brindando una descomposición de la de la misma en cada uno de sus 3 ejes. A partir de dicha descomposición de la fuerza de gravedad en cada eje del sensor, puede calcularse un estimado preciso de los ángulos de Roll y Pitch del mismo, que, sin embargo, suele ser bastante proclive a sufrir de ruido por la alta sensibilidad del acelerómetro.

Al combinar la precisión del acelerómetro para medir inclinación respecto al marco de referencia absoluto del planeta Tierra, con la sensibilidad y estabilidad del giroscopio para medir los movimientos de rotación alrededor de cada eje, puede obtenerse una estimación de ángulo precisa, estable, y de alta sensibilidad.

1. **Estimación de altura del cuadricóptero**
   1. **Descripción del sensor de altura utilizado**
   2. **Obtención de datos y cálculo de altura**
   3. **Filtrado de los datos? Validación de posición angular al calcular la altura en vuelo?**
2. ***Comunicación inalámbrica***
   1. ***Descripción de las características y configuración de los módulos XBEE utilizados***
   2. ***Descripción del protocolo de comunicación diseñado***
3. ***Sistemas de control***
   1. ***Sistema de control de velocidad angular***
   2. ***Sistema de control de posición angular***
   3. ***Sistema de control de altura***
4. ***Software de telemetría y comandos***
   1. ***Arquitectura del software***
   2. ***Secuencia de ejecución***
   3. ***Interfaz gráfica***
   4. ***Descripción del módulo principal***
   5. ***Descripción del módulo de comandos***
   6. ***Descripción del módulo de comunicación serial***
5. ***Plataforma de pruebas***
   1. ***Montaje para la ejecución de pruebas en un solo eje del cuadricóptero***
   2. ***Montaje para la ejecución de pruebas en vuelo restringido?***
   3. ***Montaje para la ejecución de pruebas en vuelo libre?***