

RESUMEN DE PROYECTO FINAL DE CARRERA:

**ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE COMPONENTES DE
AVIÓNICA PARA UAV'S**

Proyecto Fin de Carrera

Tutor: Prof. Dr. Aníbal Ollero

Javier Antonio Díez de la Cuesta

Javier Antonio Díez de la Cuesta

***A mis padres,
pues sin ellos todo esto
no hubiese sido posible***

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Estado del arte.....	4
1.2 Estructura del Proyecto.....	5
CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
2.1. Nave de radiocontrol.....	7
2.2. UAV de pilotaje autónomo.....	8
2.3. UAV con aterrizaje autónomo.....	11
CAPÍTULO 3. SENSORES PARA EL ATERRIZAJE AUTÓNOMO.....	12
3.1. Soluciones comerciales.....	12
3.2. Sensores de altitud.....	13
3.3. Sistemas Inerciales + GPS.....	16
3.4. Alineamiento con pista.....	16
3.5. Medición de la velocidad y la dirección del viento.....	18
3.6. Conclusión.....	20
CAPÍTULO 4. PRESENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE FIRMWARE PARA UN EJEMPLO CONCRETO.....	21
4.1. Manual de uso.....	25
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO.....	27

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Un vehículo aéreo no tripulado (por sus siglas UAV: *Unmanned Aerial Vehicle*), es un vehículo aéreo en el cual no va un piloto humano. Esto incluye a dos tipos distintos de vehículos aéreos: los vehículos aéreos de radiocontrol y los vehículos aéreos autónomos, capaces de volar sin necesidad de control humano.

Debido a lo amplio de la definición, se pueden entender como tal cualquier vehículo capaz de tener sustentación en el aire, como un misil, vehículo de ala fija, de ala móvil, dirigible... En nuestro caso, se trata de un vehículo de ala fija, más concretamente, se trata de un avión de modelismo y radiocontrol.

1.1. Estado del arte

Como otros muchos avances tecnológicos, los UAV se desarrollaron como instrumentos de uso militar entre la primera y segunda guerra mundial. Los primeros fueron diseñados en el periodo entre las dos guerras mundiales y fueron utilizados para entrenar a los operarios de los cañones antiaéreos. No es, sin embargo, hasta finales del siglo XX cuando éstos no empiezan a tener la característica de autonomía.

Hasta hace relativamente poco tiempo los UAV se utilizaban con fines militares, realizando tareas de soporte de comunicaciones, vigilancia, reconocimiento de áreas, etc. Sin embargo, el abaratamiento de las tecnologías necesarias, ha facilitado que se pase al uso civil. Las aplicaciones que se están investigando son variadas, tales como vigilancia de fronteras y detección de incendios.

Los UAV dependiendo su misión principal suelen ser clasificados en 6 tipos:

- **De blanco** - sirven para simular aviones o ataques enemigos en los sistemas de defensa de tierra o aire.
- **Reconocimiento** - enviando información militar.

- **Combate** - Combatiendo y llevando a cabo misiones que suelen ser muy peligrosas para los seres humanos.
- **Logística** - Diseñados para llevar carga.
- **Investigación y desarrollo** - En ellos se prueban e investigan los sistemas en desarrollo. Este es el caso que ocupa este proyecto.
- **UAV comerciales y civiles** - Son diseñados para propósitos civiles

1.2 Estructura del Proyecto

El UAV objeto de este proyecto, es un modelo de aeromodelismo radiocontrolado, modificado convenientemente para que pueda volar de forma autónoma. Se le han añadido sensores, un PC de a bordo y una placa de intercomunicación, entre otras cosas. Uno de los objetivos que se intentan alcanzar también en este UAV es el aterrizaje autónomo.

Este Proyecto se divide en tres partes: análisis de la situación actual, análisis de la sensorización para el aterrizaje autónomo en mayor profundidad y presentación de una solución, desarrollando un firmware de control de los procesos básicos, para el UAV con el que se ha comenzado este apartado.

En la primera parte, tal y como se ha dicho, se analizará la situación actual de los sistemas UAV, señalando que hay implementado en sistemas comerciales, que módulos y que información se requiere, así como los métodos necesarios para su control, y un pequeño análisis de las partes que lo componen.

En la siguiente parte se hace un análisis más concreto de la instrumentación para el aterrizaje autónomo de este UAV, y se analizará qué es lo que está implementado en los sistemas comerciales. Se repararán las diferentes opciones para la medida fiable de altitud a baja altura, así como el alineamiento respecto a pista y la medida del viento. Se presentarán soluciones concretas y sensores concretos, valorando las diferentes opciones

y comentando las razones y los motivos de las elecciones que se hagan.

En la última parte de este proyecto se trata sobre la placa de intercomunicación, que existe en casi cualquier sistema UAV para hacer de electrónica de pegamento entre sus diferentes partes, y así bajar, al nivel más inferior posible, el control de los dispositivos, de forma que se presente al PC de a bordo únicamente la información que necesita para el control y las funciones que éste realiza.

La placa actualmente implementada está diseñada sobre un microcontrolador PIC18 y debido a las características de éste, sus funciones están muy limitadas. Es por ello, que se ha decidido cambiarlo por otra placa diseñada sobre un PIC24, que aporta, debido a su mayor potencia y número de periféricos internos, una mayor versatilidad y la posibilidad de comunicar muchos más elementos de los que se puede tratar con la placa actual.

CAPÍTULO 2. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se comenta la solución general para el diseño de un UAV, estableciendo las partes necesarias para el correcto funcionamiento del mismo. Las partes que se necesitan para un UAV son: Fuselaje, Motores y Aviónica.

Este capítulo se va a desarrollar analizando los siguientes temas:

- Se comenzará comentando brevemente como son los aviones de radiocontrol.
- Se comentará que hay que añadirle para convertirlo en un UAV de pilotaje autónomo.
- Se introducirá la sensorización y módulos necesarios para poder añadir a este diseño el aterrizaje autónomo. Este último apartado será analizado con más profundidad en el tercer capítulo, añadiéndose ejemplos concretos y planteando posibles soluciones.

2.1. Nave de radiocontrol

Analizaremos en primer lugar los esbozos básicos de una pequeña nave de radiocontrol, con capacidad de volar y controlada mediante un mando de radiocontrol con múltiples canales.

Los modelos más básicos, son juguetes que apenas traen control alguno de la aeronave. Con un par de canales (motor y alas) se vuelan estos modelos, a bajas alturas y pequeñas distancias, limitadas por el pobre alcance de los transmisores utilizados en el mando de control.

2.2. UAV de pilotaje autónomo

Al sistema anterior hemos de añadirle sensorización y un sistema de control para que sea capaz de mantener el vuelo de forma autónoma, además de un canal de radio más para que podamos conmutar a control manual en caso de que el controlador falle. El controlador necesita conocer la posición de la nave y su velocidad. Pero esto no es un problema simple. Existen múltiples soluciones, y todas ellas combinadas permiten obtener la información necesaria. Hay que ser consciente de que la sensorización va a depender mucho de la solución planteada, así como de las funciones que vaya a desarrollar el UAV.

2.2.1. Sensores

Lo que a continuación se comenta, sirve sólo a modo de ejemplo, porque hay muchas soluciones distintas, y no todas ellas tienen porque usar los mismos sensores.

La posición absoluta puede ser hallada a partir de los datos ofrecidos por un GPS, siendo ésta una forma simple de obtener esta información. EL GPS suele ir complementado por la información proporcionada por una IMU (del inglés, *Inertial Measurement Unit*), que detectando la aceleración de la nave y los ángulos de cabeceo, alabeo y guiñada. Esta información es proporcionada al controlador para que averigüe la posición. El principal problema de la IMU es la acumulación de error, y por eso no es recomendable utilizarla por sí sola.

Continuaremos comentando otra sensorización que se le añade, para poder disponer de más información y corregir las inexactitudes de la IMU¹: Brújula digital, Barómetro (para medición de la altitud), Radar, Sónar, Pitot tube o Sensor de presión diferencial (para obtener la velocidad del viento), Cámara, Sensores de presión, Sensores Láser, Sensores de tensión para controlar el nivel de las baterías, Sensores para medir datos de interés relativos a la misión concreta (Biométricos, Químicos, Nucleares...)

1 No es necesario utilizar todos ellos, pues a veces pueden proporcionar información redundante. De hecho, muchos de los sensores que aquí se ilustran obtienen una medida del mismo dato.

En el PC de a bordo se van a realizar el control y los cálculos adicionales necesarios para la misión. Se añade un radiomódem para poder establecer comunicación con una base en tierra o en otro avión, el objetivo es poder comunicarse.

Antes de terminar este apartado, es necesario comentar las limitaciones que se imponen a estos sensores, pues no se puede poner cualquier cosa: Peso (hay que tener en cuenta la capacidad de carga de la nave), Consumo (esta restricción viene impuesta al ser un sistema móvil), Fragilidad (va a haber vibraciones que pueden ocasionar problemas si los sensores son muy sensibles al movimiento), Insensibilidad a las condiciones ambientales (es probable que las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidos los sensores varíen muy bruscamente)

2.2.2. Controladores

Los sistemas de control de vuelo, irán en el PC de a bordo, o si se prefiere la solución de un sistema comercial, irán en dentro del sistema en sí, y sólo habrá que configurarlo siguiendo las instrucciones.

Soluciones comerciales existen muchas. Se pueden citar fabricantes como Micropilot o UAV Navigation, con su sistema AP04. Estos sistemas comerciales suelen incluir despegue autónomo, vuelo autónomo y, a veces, también aterrizaje autónomo.

La ventaja de estos sistemas es que ya traen toda la sensorización necesaria incorporada dentro de ellos, con lo cual es poco lo que hay que añadir. Como desventaja habría que comentar la escasa flexibilidad, que en algunas ocasiones puede ser contraproducente, como por ejemplo en el caso que se desee implementar un sistema de aterrizaje autónomo propio. Sin embargo, si lo que se desea es un UAV para realizar con el tareas concretas y no preocuparse por los problemas de control de la nave, es la mejor opción.

En el caso en el que no se elija un controlador comercial, la solución pasa por

implementar los controladores y que vayan cargados y ejecutándose en el PC de a bordo. Por ello, es necesario diseñar un sistema fiable (a ser posible con redundancia) y con capacidad de detectar cuelgue o fallo, para poder avisar a la estación y que se conmute a control manual.

El problema del software de control de un UAV, requiere la utilización de sistemas operativos en tiempo real, para controlar la configuración del hardware, suministrar la distribución de tareas a lo ancho de la red del sistema, así como proporcionar los requisitos de resistencia/tolerancia al fallo aplicables².

La arquitectura de este software debe ser modular, rígida y por capas, para facilitar su desarrollo. La solución más común es dividir el sistema en dos capas: la capa del sistema operativo y la capa del software de aplicación. En esta última capa es donde irán las funciones específicas del sistema aviónico, esto es, los algoritmos correspondientes al control, guiado y navegación de la nave.

Los sistemas automáticos de control de vuelo, por tanto, son sistemas realimentados dotados de varios lazos o bucles superpuestos de realimentación.

2.2.3. Comunicaciones

Las comunicaciones son necesarias para la transferencia de información desde el PC de a bordo hasta una base receptora, generalmente en tierra.

La información a transmitir no sólo es el estado de la aeronave, sino también toda la información específica de la misión que se encuentra desarrollando el UAV. Por ejemplo, la transmisión del vídeo que se encuentra grabando, la recepción de Waypoints a seguir, alarmas activadas por el entorno que rodea al UAV.

Estas comunicaciones comentadas están separadas (y son independientes, por

² José C. Meizoso y Carlos Meizoso, *Compendio de aviónica digital: Sistemas de control y guiado*, de MBH, Madrid, 2000, Segundo Volumen, Página 2 - 160

seguridad) de la transmisión de información del radiomando (señales de los servos y estado manual o automático).

Éstas últimas deben ser seguras y lo más fiable posibles, así como independientes del PC de a bordo, para que en caso de cuelgue no se caiga la nave.

2.3. UAV con aterrizaje autónomo

El objetivo de añadir el aterrizaje autónomo es conseguir un UAV FAF (del inglés, *Full Autonomous Flight*). En el apartado anterior ya se consigue un vuelo autónomo, quedando pendiente el aterrizaje y el despegue. El despegue autónomo es un tanto más simple que el aterrizaje, y existen múltiples UAVs que lo implementan. Sin embargo, el aterrizaje no está tan extendido debido a su complejidad. Además la mayor parte de los que aterrizan de forma autónoma son modelos muy pequeños, en los cuales más que un aterrizaje es una caída controlada.

De los sistemas militares existentes son muy pocos los que aterrizan de forma autónoma. Esto lleva a que todos los aterrizajes sean realizados manualmente por pilotos en centros de control y esta situación no es deseable, debido a que todos los estudios realizados sobre los accidentes de los UAVs achacan a los seres humanos un altísimo porcentaje de culpabilidad en los mismos.

A la hora de afrontar el aterrizaje autónomo existen dos datos imprescindibles y que además es necesario que sean altamente fiables: la altitud y el alineamiento con pista.

Cualquier pequeño error puede provocar un choque o consecuencias no deseadas. Existe otro parámetro que es aconsejable manejar para evitar hacer maniobras bruscas en el momento del aterrizaje: la velocidad del viento en módulo y dirección.

CAPÍTULO 3. SENSORES PARA EL ATERRIZAJE AUTÓNOMO

Como ya se comentó en el estado del arte, en este proyecto se va a realizar también un pequeño análisis de la instrumentación existente para posibilitar un aterrizaje autónomo. En primer lugar detallaremos qué es lo que se encuentra instalado en sistemas comerciales, qué soluciones comerciales hay para UAVs y para terminar, analizaremos las distintas posibilidades para medida fiable de altitud a bajas alturas, así como las soluciones para alineamiento con pista y medida de la dirección y velocidad del viento³.

El objetivo es intentar hacer a la aeronave lo más independiente posible de la pista y que pueda aterrizar en el mayor número de lugares posibles con el mínimo despliegue en pista posible, incluyendo las instalaciones en ésta. La idea es que el UAV tenga la información suficiente disponible por sus propios sensores de a bordo, para que no sea necesaria la intervención de ningún elemento en tierra (pista). Este objetivo es demasiado complejo, pero es el fin que se persigue. Para ello se van a analizar todas las posibilidades encontradas, viendo si se ajustan a éstas necesidades.

También se hará un análisis de las necesidades de la medición de la velocidad y dirección del viento, y de la forma de llevar ésto a cabo.

3.1. Soluciones comerciales

En los aeropuertos, la solución que se encuentra implementada, son Sistemas de Aterrizaje Instrumental (**ILS**, por sus siglas en Inglés de *Instrument Landing System*). Un **ILS** consiste de dos subsistemas independientes: uno sirve para proporcionar guía lateral y el otro para proporcionar guía vertical.

Para la altitud se usan generalmente unas Radiobalizas en distintas posiciones, aunque esto está siendo sustituido por sistemas **DME** (Equipo telemétrico, *Distance*

3 En el último apartado, correspondiente a Referencias, existe una lista con un resumen de los fabricantes consultados, cuyos productos se ven reflejados en este estudio.

Measurement Equipment), en el cual el avión interroga con una secuencia de pares de pulsos separados a 12 microsegundos.

Comentar también que existen **MLS** (*Microwave Landing System*) que realiza unas funciones similares a las del **ILS**, pero en microondas.

Como se puede comprobar son sistemas complejos que son instalados bajo demanda, así que no serían una solución aceptable para nuestro sistema, debido al alto precio y la dependencia de la instalación.

3.1.1. Soluciones comerciales para UAVs

Existen soluciones comerciales para UAVs, que consisten en pequeños radares portátiles que transmiten al UAV toda la información necesaria, pero son sistemas caros y pesados, además de estar pensados para sistemas militares y UAVs de mayor tamaño.

La alternativa comercial es lo que se conoce como *Transponder Landing System*, y están diseñados para ser transportados por dos personas, que lo instalarán al lado de la pista que se vaya a utilizar. Un ejemplo de este sistema es el *Tactical Automatic Landing System* (**TALS**) de Sierra Nevada Corporation. Este sistema consta básicamente de dos partes, el radar en tierra y un equipo receptor a bordo del UAV.

También venden sistemas integrados de autopilotaje que también incluyen capacidades de aterrizaje y despegue autónomo, tales como el sistema flightTEK de L3 communications.

3.2. Sensores de altitud

Para sensores de altitud tenemos 4 opciones: radares de altimetría, ultrasonidos, láseres o sensores de flujo óptico. Dentro de estos sensores vamos a requerir unas características, de mucha importancia, que aunque también tendrían que ser cumplidas para el resto de los casos, aquí se hacen especialmente importantes. Estos criterios

básicos a seguir son:

- **Peso.** El peso debe de ser muy pequeño, pues la capacidad de carga de los UAV de momento está muy limitada y es un bien escaso.
- **Precisión.** O resolución en la altitud. Es muy importante la precisión de la medida, pues nos vamos a mover a pequeñas alturas, en las que un pequeño error puede significar un accidente.
- **Rango de funcionamiento.** Esto también es de elevada importancia (en especial el rango inferior), pues hemos de realizar las medidas a muy baja altura.
- **Precio.** Aunque esta última no desclasificadora como las anteriores, sigue siendo de mucha importancia.

3.2.1. Radares de altimetría

Una de las opciones, es utilizar un radar para la medida de la distancia a tierra desde el UAV. Los radares específicos utilizados para esta labor se denominan Radioaltímetro (*Radar altimeter, low range radio altimeter* (LRRA) o simplemente, RA).

Este es el método utilizado por los aviones comerciales para estimar la distancia al suelo de la aeronave. Se utilizan únicamente para medir la distancia en vertical al suelo, y no son capaces de medir hacia delante.

3.2.2. Ultrasonidos

Esta opción es descartada en nuestro caso debido a la velocidad del UAV. Al aterrizar, se lanzarían ondas de ultrasonidos al suelo, pero es muy probable que el funcionamiento se vea afectado, debido a que la velocidad haría que estas ondas rebotasen de una forma no estipulada, lo que provocaría un error en la medida.

De todas formas existen también UAV que llevan implementado este sistema, llevando un sensor en cada ala (y opcionalmente otro en cola).

3.2.3. Flujo Óptico

El flujo óptico se utiliza para la Navegación Óptica. Este sistema se basa en medir la variación de la imagen registrada y a través de una serie de cálculos matemáticos y la velocidad del vehículo, obtener una medida de la altura, así como la dirección de movimiento.

Gracias a este sensor, se puede determinar la altura del UAV, pero dependiendo de si sabemos la velocidad con la que se mueve el suelo, por ejemplo, del GPS. Esto puede ser especialmente crítico si la medida de velocidad del GPS contiene errores, pues al calcular la altura a partir de una velocidad errónea, nos podemos encontrar con un rango de error demasiado grande en la medida de la altura. Otra desventaja es la dependencia de las características ambientales de luminosidad.

La gran ventaja de este sistema es que es un pequeño chip que se incluye en la parte inferior del UAV. Su peso es completamente despreciable, así como su tamaño.

3.2.4. Láser

La tecnología Láser tiene muchas aplicaciones. Una de ellas es la medida de la distancia. Si ponemos un sensor de distancias Láser en nuestro UAV, que apunte hacia abajo, obtendremos directamente la medida de la altura, aprovechándonos de todas las ventajas de esta tecnología.

Con éste método se pueden obtener buenas medidas a distancias cortas, que es el caso que nos ocupa. El problema radica en que no tiene tanto alcance como, por ejemplo, el radar. Siendo típico una resolución mayor que la de los radares, pero que sin embargo no funciona hasta tanta altura como los radares. Este sistema tiene buen rendimiento en exteriores, y funciona tanto de día como de noche.

3.3. Sistemas Inerciales + GPS

Esta opción a analizar es el sistema GPS + Sistema Inercial. Esta opción se descartó desde el principio debido a la inexactitud del sistema GPS (a no ser que se utilice el GPS diferencial) y a lo complejo de montar este tipo de sistemas. De todas formas, es una opción válida y existen modelos de UAVs que aterrizan con este sistema, pero debido a su mala relación complejidad-eficacia no se va a utilizar.

3.4. Alineamiento con pista

Para el alineamiento con pista se pueden utilizar varios sistemas: visión, sistemas similares a los utilizados en el **ILS** (un conjunto de antenas en tierra más un receptor a bordo) o un conjunto de radiobalizas situadas en tierra.

3.4.1. Sistemas de visión a bordo

Estos sistemas poseen al menos una cámara que apunte a la pista a bordo del UAV, y a partir de las imágenes obtenidas, obtener la posición y orientación de la pista.

Estos sistemas además de ser complejos y caros, no poseen demasiada fiabilidad, pues son muy dependientes de las características de iluminación (no se puede volar de noche) y del ajuste de la cámara.

3.4.2. Sistemas de visión en pista

Otra de las aplicaciones de la visión artificial para nuestro problema sería la de averiguar la posición del avión desde tierra y mandarle a éste la información para que obre en consecuencia.

El problema de esta solución es, una vez más, la dependencia del sistema de aterrizaje con la pista. El sistema se basaría en un par de cámaras situadas en sendos lados de la pista y apuntando hacia un punto lejano perteneciente a la línea central de la pista. A

partir de las imágenes captadas por estas dos cámaras se puede hallar la posición de la nave y su altura por triangulación.

3.4.3. Antenas y receptor a bordo

La idea de este sistema es copiar a los **ILS**. Esto se puede realizar de varias formas. De entre ellas, elegimos dos posibilidades, las más simples y eficaces.

3.4.3.1. Diferencia de tiempo de vuelo

Esta solución (*Time Difference of Arrival, RDF*) se basa en cambiar el receptor entre dos antenas a una alta tasa. Cuando ambas antenas están a la misma distancia del transmisor, la fase recibida por ambas antenas será idéntica. Si las dos antenas están a diferentes distancias del transmisor, habrá una fase distinta en cada una de ellas. Si cambiamos entre las antenas 500 veces por segundo, este cambio de fase será detectado por un receptor FM como un tono de 500 Hz.

Las antenas estarán perpendiculares al transmisor cuando recibamos un cero en el tono. Lo malo de este sistema es que no puedes saber si te estás aproximando o alejando de la pista. Pero en nuestro caso dispondremos de otros sistemas para solucionarlo.

3.4.3.2. Dos antenas a distinta frecuencia

Este sistema es muy parecido al que se utiliza en los **ILS**.

Se pueden usar dos antenas Yagi separadas cada una 15° de la línea central de la pista. Si transmitimos a la misma frecuencia, pero modulamos la señal a frecuencias distintas en cada una de las antenas. El receptor de a bordo mide la diferencia en la profundidad de modulación de las dos señales, y cuando ésta es cero, está centrado. De esta forma, podemos también saber si nos encontramos descentrados a la derecha o a la izquierda.

3.4.4. Radiobalizas

Este caso consiste en plantar en tierra cuatro radiobalizas, cada una de ellas en una esquina de la pista. Estas radiobalizas, emitirían una señal distinta cada una que sería recibida por un receptor a bordo del UAV. Este receptor utilizaría la información **RSSI** (*Received Signal Strength Indicator*) para averiguar la distancia a la que se encuentra cada uno de los transmisores.

A partir de esa información y unos cálculos de triangulación, se puede averiguar la posición del UAV respecto a la pista, y obrar en consecuencia. Esto requiere cierta capacidad de cálculo a bordo de la nave, así como el montaje de las radiobalizas y el receptor de a bordo, debido a que no existen soluciones comerciales que resuelvan este problema. Esto supone un problema adicional, pues el montaje de los transmisores y el del receptor requeriría tiempo, así como la comprobación de que funciona todo correctamente.

3.4.5. Sistemas basados en GPS

Existen sistemas comerciales que emplean sistemas GPS diferenciales para el aterrizaje. Estos sistemas se utilizan como sustitutos de los sistemas **ILS**. Un ejemplo de este sistema es *Local Area Augmentation System (LAAS)*, que es un sistema basado en la corrección en tiempo real de la señal GPS. Desde la base (en tierra) se envían señales de corrección de GPS a los sistemas de a bordo, y éstos presentan la información al piloto como si fuese un sistema **ILS**.

Las aplicaciones a nuestro problema serían varias. La primera y la más simple sería la de utilizar un GPS diferencial, que fuese más fiable y establecer al avión unas *waypoints* para el aterrizaje.

3.5. Medición de la velocidad y la dirección del viento

La situación es la que sigue: se desea conocer la velocidad y dirección del viento

en la zona de aterrizaje, para poder actuar convenientemente en el aterrizaje autónomo. Una forma de conocer esto, es una estimación a partir de la dirección deseada y la dirección realmente seguida (obtenida del GPS). Pero no deja de ser una estimación, con mucho error intrínseco, y que no es fiable para poder utilizarla para el aterrizaje autónomo.

Los aviones comerciales utilizan dos tipos de sensores para conocer la velocidad del viento los Tubos Pitot y Sensores de presión diferencial. Pero esta medida sólo te proporciona la velocidad del fluido, no la dirección.

Una forma de medir la velocidad y dirección del viento volando en línea recta es a partir de la información proporcionada por los siguientes dispositivos debidamente calibrados: GPS, Sensor de velocidad del viento, Temperatura exterior del aire, Brújula digital, Presión altitud.

El mayor problema de esta solución es que está limitado por la precisión y fiabilidad de la brújula. Otro problema, es que al aterrizar la velocidad del viento depende mucho del terreno y posibles obstáculos, con lo cual podría no ser tan fiable la medida.

Existen más posibilidades, entre ellas la que parece más factible, que consistiría en la resta de dos vectores. El primero sería la velocidad respecto a tierra y la dirección real⁴, al que le restaríamos el segundo: la velocidad del viento⁵ y la orientación respecto al verdadero norte⁶. Esta resta nos daría la velocidad del viento y su dirección.

Por último consideraremos la opción de la medida directa del ángulo beta (o de deslizamiento) de la nave, para determinar así la dirección del viento.

4 Obtenida del GPS.

5 Obtenida de un tubo Pitot, por ejemplo.

6 Brújula menos declinación magnética.

3.6. Conclusión

Tras este análisis de la casuística que se presenta y tras sopesar las diferentes opciones se pueden contemplar una serie de opciones.

En primer lugar, para medir la altitud, el tipo de sensor recomendado es un sensor de distancia láser. Los motivos son diversos, pero a destacar el precio y la alta precisión (milimétrica). Además el peso de estos dispositivos no es demasiado elevado y se puede llevar sin ningún tipo de problema. De hecho, se contempla la posibilidad de incluir dos sensores de éste tipo, uno apuntando directamente hacia el suelo y otro ligeramente inclinado, de forma que no sólo se mida la altitud, sino la posible variabilidad del terreno.

La decisión de la solución de alineamiento con pista, no es tan clara, pues hay que tener en cuenta muchos factores, y no se dispone de sistemas comerciales asequibles, con lo cual la decisión a éste respecto quedaría pospuesta a la realización de pruebas con diferentes métodos. Los métodos más factibles son el uso de GPS diferencial, o algún sistema basado en éstas medidas, debido a lo simple del mismo. Otro sería las balizas, aunque presentan demasiados inconvenientes.

En cuanto a la problemática de la medición del viento, una vez más serían necesarias la realización de pruebas, pero la solución consistente en la resta de dos vectores parece la más plausible, requiriendo poca sensorización adicional y algo de cálculo computacional.

CAPÍTULO 4. PRESENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN DE FIRMWARE PARA UN EJEMPLO CONCRETO

En este último capítulo, tal y como se comentó al principio, se va a desarrollar un ejemplo concreto de Firmware para interconectar los elementos básicos de un sistema UAV. El de la foto es el UAV en el que se introducirá la placa finalmente diseñada.

En este apartado analizamos las necesidades del UAV concreto, fruto de las cuales se va a derivar el diseño del circuito. En primer lugar tenemos un avión con un PC a bordo y una serie de sensores, que tenemos que interconectar entre ellos. El circuito a diseñar se encargará de la intercomunicación con el PC, del que recibirá la posición de control de los servomotores en caso de control automático y al que enviará toda la información recopilada de los sensores y del radiomando. También será el encargado de leer los pulsos procedentes del Radio mando (conmutación Manual-Automático), así como la información relativa a las órdenes enviadas.

El circuito en cuestión va a poseer un micro (PIC24HJXXXGP206 de Microchip) y una alimentación de 5'5V – 6 V.

El avión posee:

- 4 servos, con control **PPM**, para: motor, alaveo, profundidad y timón de cola.
- Radio mando control (receptor) con otros cuatro canales **PPM** para los motores, y uno para la conmutación Manual-Automático.
- Sónar, por I²C
- Brújula digital, por I²C
- Sensor Altura, medida analógica.

- Sensor velocidad, medida analógica.
- Sensores tensión, medida analógica.
- PC de a bordo, con el que se comunica a través de un puerto RS-232.

En el siguiente esquema se muestra la situación de interconexión que se ha de resolver:

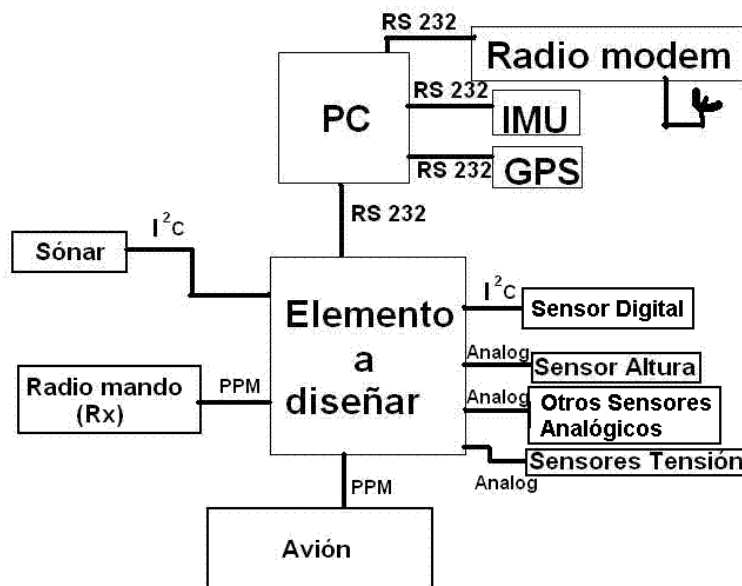


Ilustración 1: Esquema del circuito a diseñar

El PC de a bordo, está asimismo conectado a un IMU, un GPS y un radiomódem, los tres por RS-232. La configuración de esta comunicación será 8N1 (8bits de datos, ninguno de paridad y 1 bit de stop), a 57600 baudios.

Los canales **PPM**, están caracterizados de la siguiente forma:

- Ancho de pulso: aproximadamente 20 ms.
- Tiempo característico: de 900 a 2100 μ s.

Asimismo, el error de lectura o escritura en estos canales puede ser como máximo de 1 μ s. La solución adoptada ofrece una resolución de 0'25 μ s. Por lo que habrá que incluir una conversión al trasvasar información del PC de a bordo al elemento diseñado, pues el PC de a bordo trabaja con microsegundos como unidad.

También considerar que el enlace PC – circuito a diseñar ya tiene la trama montada y tiene slots para 8 lecturas AD. Debe incluirse además un puerto RS-232 libre para futuras ampliaciones.

Debido a las características del problema, se va a diseñar un circuito basado en un PIC24, pues es un dispositivo lo suficientemente rápido, que posee las salidas y entradas necesarias para cumplir satisfactoriamente los requisitos. El circuito, por tanto, va a poseer un microcontrolador (PIC24HJ128GP206 de Microchip). Se ha elegido éste en concreto por la configuración de periféricos que lo componen.

Actualmente hay un circuito que intenta cumplir unas funciones equivalentes, pero al tener un PIC menos potente, no es capaz de manejar toda la información que se requiere, ni a la velocidad necesaria.

Nuestro PIC24 tiene:

- 8 canales de lectura AD.
- 2 puertos RS-232, que nos soluciona las conexiones con PC y el libre para futuras ampliaciones.
- Dos conectores por I²C, que cumple con nuestras necesidades.

- 4 puertos de salida para las señales **PPM** (los Output Compare)
- 5 puertos de entrada para las señales del Radiocontrol (los Input Capture)

Con lo cual además de configurar todas estas conexiones hace falta configurar la lectura de pulsos del control manual, la generación de pulsos a los servos y la detección de la orden de configuración de control (si se desea un control manual o automático). En cuanto al resto de periféricos del microcontrolador, hace falta configurar el convertidor analógico digital para que lea las lecturas necesarias, los contadores de tiempo, y los canales de la UART.

Este proyecto ha sido encargado del desarrollo de la comunicación por RS-232 (tanto recepción como transmisión) como todo lo relacionado con el radiomando y los servomotores. Esta parte ha sido probada en simulación y en la placa prototipo, siendo su comportamiento el previsto.

También se ha probado en simulación la configuración de las lecturas analógicas (de todos los elementos), ampliable a mayor número de lecturas, cambiando tan sólo unas pocas líneas de código.

Debido a que no se sabe con seguridad cuáles son los dispositivos por I²C que se van a conectar, o si realmente se van a conectar por I²C, sólo se ha realizado el código de configuración, pues si se hubiesen realizado rutinas para algún dispositivo en concreto, como es muy posible que no fuesen con los que se va a realizar las pruebas, habría que rehacer la mayor parte del código, y es un trabajo innecesario. Con lo cual, se ha decidido realizar sólo el código de configuración y un modelo en el Proteus para las simulaciones.

4.1. Manual de uso

En este apartado y a modo de resumen de los apartados anteriores se va a mostrar el funcionamiento de la placa prototipo con el software creado. Hasta ahora hemos tratado el sistema desde dentro, analizando a fondo el funcionamiento y el comportamiento del software creado, a continuación vamos a invertir el punto de vista, para pasar a mirarlo desde fuera, desde el punto de vista del usuario.

Para comprobar el funcionamiento⁷ lo primero a realizar es comprobar las conexiones. Comprobamos que está conectado el puerto serie al puerto correspondiente a la UART1 y que el cable que conecta con el receptor de radio está debidamente conectado, esto es: el canal uno de la radio va la entrada del IC5 y el segundo a la entrada del IC1. El cable de programación no debe estar conectado.

Una vez pasado el paso de comprobación de conexionado, pasamos a conectar la batería al receptor de radio, que de esta forma alimentará también nuestra placa. Tras esto estamos listos para comprobar el funcionamiento. Empezamos con la comunicación serie. Se debe estar enviando periódicamente cada 20ms la información al PC, que si tenemos abierto un monitor del puerto serie, deberíamos ser capaces de verlo. Podemos enviar también desde éste monitor las siguientes tramas para comprobación:

```
252,252,006,032,006,032,006,032,006,032,000,000, //las dos salidas a cero
```

```
252,252,006,032,006,032,006,032,006,032,010,010, //'salida 1' a 1
```

```
252,252,006,032,006,032,006,032,006,032,001,001, //'salida 2' a 1
```

```
252,252,006,032,006,032,006,032,006,032,011,011, //'salida 1' y 'salida 2' a 1
```

Para comprobar el funcionamiento de la conmutación de control y que realmente se mueven los servomotores de la forma adecuada, tenemos que tener un servomotor

⁷ A partir de ahora vamos a suponer que el microcontrolador ya ha sido programado, es decir, tiene el programa en memoria.

conectado a la salida etiquetada como Servo 1. Para moverlo, tenemos que poner al sistema en Modo Manual. Para ello tenemos que mover la rueda correspondiente al primer canal de la radio de forma que esté dentro del tercio superior de su campo de rotación. En cuanto se encienda el LED amarillo, sabremos que hemos entrado en Modo Manual. En éste modo, al mover el gatillo correspondiente al segundo canal, se puede comprobar que se mueve el servo conectado. Si realizamos esto mismo, pero con el Modo Automático, vemos que no se realiza ningún movimiento en el servo, pero se sigue enviando la información a través del puerto serie.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO

En éste último capítulo se van a desarrollar las conclusiones extraídas a lo largo del proyecto y se van a dar unas breves pinceladas sobre las líneas futuras de investigación que siguen a este proyecto, así como otros aspectos a desarrollar.

Comenzaremos con las conclusiones de las soluciones para el aterrizaje autónomo, intentando no repetir lo que ya se ha comentado en el apartado homónimo de ese tema.

Sería recomendable realizar un estudio más detallado de la triangulación por radiobalizas, analizando si realmente la medida de la distancia aportada por el valor RSSI es adecuada para este caso, o si, por el contrario, el error conlleva una inexactitud demasiado elevada en la solución.

Como se comentó, se han de realizar pruebas con el GPS diferencial, pues puede que sea más que suficiente para solucionar el problema del alineamiento con pista. Sería necesario hacer aterrizajes manuales y comprobar las medidas aportadas por este sistema, para posteriormente analizar su fiabilidad, exactitud y estabilidad de la medida.

En cuanto a la medida de la altitud habría que comprobar que el láser funciona correctamente y que no se ve afectado por reflexiones espúreas, así como si realmente el rango de funcionamiento final es el especificado por el fabricante. El problema principal de este sensor es la altura máxima a la que proporciona una medida, pues esta altura puede ser demasiado pequeña y que a esa altura la medida del GPS no sea fiable⁸. También habría que analizar en mayor profundidad la necesidad del segundo láser para previsión de obstáculos y para confirmar la medida del anterior.

Y habría que seguir analizando la problemática de la medida del viento, comprobando si las soluciones propuestas son realizables ya adecuadas.

⁸ Problema que sería solucionado si se usase un GPS diferencial, pues la altura proporcionada por este sistema si es fiable en ese rango.

Además de todo esto habría que ser conscientes de que se quiere hacer lo más general posible, y que se quiere instalar este sistema en dos UAV distintos.

Los algoritmos de aterrizaje se tendrían que desarrollar también, así como analizar las condiciones en las que se pasaría al modo de aterrizaje, y cuándo abortar éste.

En cuanto a la placa desarrollada, faltaría por decidir qué sensores concretos se instalan finalmente en el UAV, para desarrollar el código concreto para estos sensores y elaborar un código definitivo. Habría que hacer múltiples pruebas con éste código para comprobar su estabilidad en múltiples situaciones. Posteriormente se tendría que desarrollar la placa definitiva (más pequeña, con la parte analógica y digital separada...) y volver a comprobar el funcionamiento.

También habría que analizar si algunas de las funciones que se realizan en el PC de a bordo pueden ser pasadas a esta placa, para descargar su carga. Sin olvidar que si se aumenta considerablemente la carga del PIC, sería necesario implementar la política de prioridad de interrupciones ya analizada en el apartado correspondiente.

Visto todo esto, podemos concluir que se han dado los primeros pasos para solucionar el problema del aterrizaje autónomo, pero que le queda un gran camino por delante hasta que sea resuelto adecuadamente, y se ha establecido la base para la actualización de la placa de interconexión a la nueva arquitectura, faltando la especificación a la electrónica final y el desarrollo de la placa definitiva.