

Premios Ejército del Aire 2015

Modalidad «Investigación Aeroespacial Universitaria»

JOAQUÍN AGUIRRE ARRIBAS
Comandante del Ejército del Aire



BHLAS¹, SISTEMA DE ASISTENCIA AL PILOTO EN ATERRIZAJES DE HELICÓPTEROS EN CONDICIONES DE BROWN-OUT

La convocatoria² de los premios Ejército del Aire 2015 (XXXVII edición) en relación a la modalidad de Investigación Aeroespacial Universitaria³, desarrolla las bases de dichos premios de la siguiente manera:

Estos trabajos desarrollarán líneas de estudio de investigadores univer-

sitarios en las diferentes ramas existentes en el sector aeroespacial y que profundizan en los avances de la industria de defensa española. En este contexto el Ejército del Aire quiere recompensar este esfuerzo, fomentar la vocación por la ingeniería aeroespacial y colaborar en su divulgación.

Los trabajos deberán ser proyectos de fin de carrera o tesis doctorales presentadas en cualquier facultad o escuela técnica universitaria española durante los cursos 2012-2013 ó 2013-2014, que versen sobre aplicaciones militares de tecnología aeroespacial innovadora.

El sistema BHLAS fue presentado como Proyecto Fin de Carrera (Ingeniería Industrial) en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED, obteniendo una calificación de Matrícula de Honor (10).

MOTIVACIÓN PERSONAL

El tema a desarrollar en una monografía, trabajo fin de curso, proyecto fin de carrera o tesis doctoral, presenta desde el inicio el problema de su propia elección, a no ser que nos venga impuesto. En este caso se realizó



La frase anterior, vale por sí sola como motivación a la hora de decidir el tema de un proyecto de fin de carrera, además de tratar de encontrar una solución tecnológica a un problema que no solo se mide en millones de dólares, sino en pérdidas de vidas, y que el autor ha sufrido en varias ocasiones durante las distintas misiones que participó en Afganistán dentro de la misión de ISAF⁵ desde abril de 2005 hasta febrero de 2012.

BROWN-OUT

Antes de profundizar en el proyecto, merece la pena aclarar⁶ que se entiende por Brown-Out. Una de las definiciones más descriptivas es esta:

Degradación de la visibilidad producida por el polvo o la arena en suspensión cuando se realiza una aproximación a toma en una zona no preparada. Este fenómeno puede causar accidentes fatales debido a la desorientación espacial (Spatial Disorientation) y la pérdida de conciencia de la situación (SA-Situational Awareness). Este fenómeno se produce sobre todo durante la toma de helicópteros debido a las nubes de polvo producidas por la circulación del aire debido al movimiento del rotor principal.

La denominación “White-Out” se utiliza cuando se produce la misma degradación visual pero en despegues y aterrizajes sobre zonas nevadas con nieve polvo, cuando esta no está compactada sino suelta. En este caso

se puede afirmar que los riesgos son idénticos que en el caso del Brown-Out.

SISTEMA BHLAS

BHLAS es un sistema 2D (2 dimensiones) de simbología autónomo que proporciona información para un aterrizaje seguro, de manera integrada al piloto en la parte más crítica de la toma bajo condiciones de Brown-Out, y cuando este pierde las referencias exteriores.

Representa información sobre la actitud de la aeronave (alabeo-roll y cabeceo-pitch), inclinación de la zona de toma, desplazamientos en el plano horizontal, velocidad/régimen de descenso, altura sobre la zona de aterrizaje y rumbo de aproximación. Esta información integrada se considera la mínima imprescindible para poder realizar un aterrizaje sin referencias exteriores debido a una degradación del campo visual.

Dicho sistema no está enfocado a ser empleado en helicópteros de nueva generación, que probablemente contarán con sistemas de apoyo mucho más avanzados y presentarán una imagen completa de la zona de aterrizaje. Por ello, una de las limitaciones del sistema es el no poder dar información sobre los posibles objetos verticales en la zona, por lo que solo puede asistir al piloto en tomas en zonas aisladas.

Hoy en día existen diferentes aproximaciones en la industria mucho

la propuesta al Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control (ETSII de la UNED) que lo aprobó y, posteriormente designó como director de proyecto a Francisco Mur Pérez⁴.

Respecto a las razones para la elección del tema del proyecto, se pueden resumir en la siguiente frase:

Helicopter Brownout is a \$100 Million per year problem for the U.S. Military in Afghanistan and Iraq, the Army cites brownout in three out of every four helicopters accidents there. U.S Defence Department (2007).





más complejas en su desarrollo e implementación, como el 3D Flash LADAR⁷ (que proporciona una imagen de 3 dimensiones basado en tecnología láser), el sistema HALS⁸ basado en una combinación de sensores electropticos y radáricos, el proyecto denominado BLAST⁹ con simbología BOSS-Brownout Symbology System o el sistema AVS-Augmented Visionics System.

La filosofía del sistema que nos ocupa consiste en proporcionar e integrar en un solo interfaz la información anteriormente descrita, en un primer paso mediante un prototipo basado en tecnología Arduino¹⁰ y posteriormente poder extrapolar el diseño a un helicóptero real, en nuestro caso el AS332 Super Puma.

La presentación podrá implementarse tanto en displays convencionales HDD (Head Down Displays), HUD (Head Up Displays) o en HMDS (Helmet Mounted Displays Systems).

Antes de profundizar más en el proyecto, se debe tener en cuenta que el sistema BHLAS, cuenta con las siguientes ventajas e inconvenientes:

- Es un sistema considerablemente más barato y simple que los diseños que están desarrollándose en la industria, tales como la representación sintética en 3D.

- Al tratarse de un interface con el piloto, no es necesario una complicada integración con el resto de sistemas con que cuenta un helicóptero.

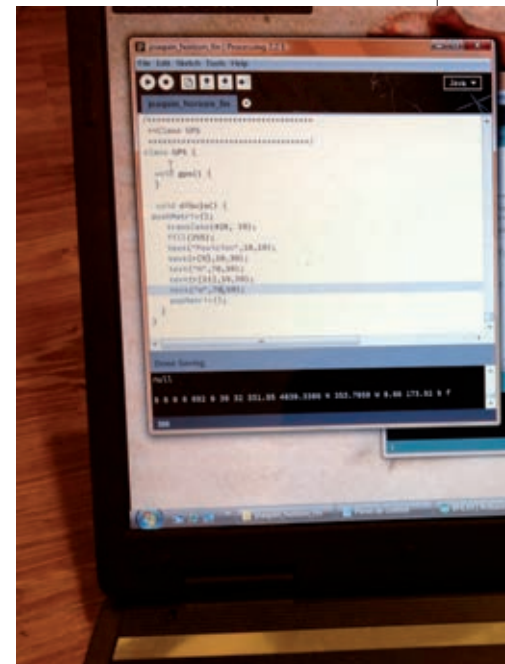
- Proporciona información de los mínimos parámetros para realizar el aterrizaje con garantías, evitando saturar la piloto con datos innecesarios.

- No puede discriminar respecto a las posibles colisiones con objetos verticales en la zona de aterrizaje, por lo que solo puede asistir al piloto en tomas en zonas aisladas.

Dado a que la mayor parte de los accidentes ocurren debido a una o la suma de los siguientes efectos: desplazamientos laterales inadvertidos, error en la actitud de la aeronave, inclinación excesiva del terreno... necesitamos una serie de elementos para poder obtener la información requerida cuando no se disponga de referencias visuales externas, el sistema BHLAS proporciona una representación simple de los datos necesarios para un aterrizaje controlado en aquellas condiciones.

La intención del sistema es presentar solo la mínima información, evitando como se ha dicho la saturación de datos innecesarios. Al igual que en una aproximación en condiciones instrumentales de precisión (ILS-Instrumental Landing System) el piloto, con la técnica de comprobación

cruzada, no es capaz de mantener más de 4 parámetros (actitud de la aeronave, rumbo/localizador, régimen de descenso/senda y velocidad), BHLAS solo representará 5 parámetros (actitud de la aeronave, desplazamientos laterales, velocidad de descenso, rumbo e inclinación del terreno) de los cuales solo 4 parámetros deberán controlarse simultáneamente ya que la inclinación del terreno es



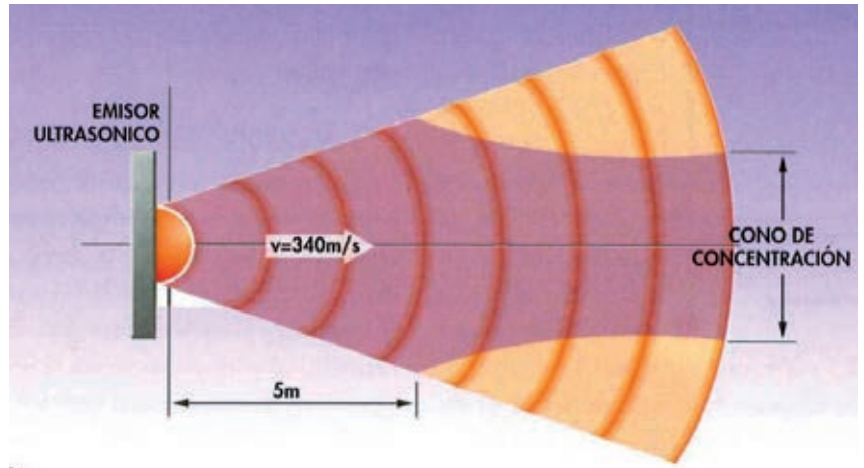
un parámetro limitante que solo deberá tenerse en cuenta al inicio de la maniobra.

El sistema BHLAS es el desarrollo teórico-práctico (mediante un prototipo a escala 1:10 del helicóptero AS332 denominado HEX332-01) para la obtención de una presentación 2D de una serie de parámetros necesarios para un aterrizaje controlado en un ambiente de visibilidad degradada.

El prototipo está estructurado según los siguientes módulos: una serie de sensores, integrados o no, en una IMU (Inertial Measure Unit), una unidad de control (una placa con un microcontrolador Arduino TMega con una serie de pines de entrada/salida) y un interfaz máquina-hombre (Display).

PROTOTIPO BHLAS

El prototipo está realizado sobre un chasis de madera de 1.20 x 0.40 metros (el dibujo en planta del AS332¹¹ está a una escala de 1:10) donde se monta una placa (protoboard) con conectores de alimentación donde a su vez están dispuestos la IMU, el sensor GPS, el sensor barométrico y el microprocesador. Fuera y orientados hacia abajo se encuentran una serie de medidores de distancia ultrasóni-



cos. Tanto la IMU como los restantes sensores se conectan al microprocesador vía la placa de conectores mediante cables de $\varnothing=15$ cm. El microprocesador Arduino TMega a su vez se conecta al PC mediante un conector mini USB.

SENSORES

En el prototipo del sistema BHLAS encontramos sensores enfocados a medir la actitud de la aeronave (giróscopos), velocidad vertical (variómetro/sensores de ultrasonidos), desplazamientos sobre el plano horizontal (GPS/sensores de ultrasonidos), rumbo de aproximación (GPS) e inclinación y altura sobre el terreno (sensores de ultrasonidos). En el sistema implementado en el helicóptero estos cambiarán por sensores propios del modelo como giróscopos, radioaltímetros etc...

IMU (UNIDAD DE MEDIDA INERCIAL)

Las unidades de medición inercial son dispositivos electrónicos que miden la velocidad angular y la aceleración que experimenta la aeronave, usando una combinación de acelerómetros y giróscopos.

Básicamente las IMU's son sistemas que constan de diversos componentes eléctricos y electrónicos montados en un circuito impreso (PCB). En nuestro caso el sistema de medición inercial 9DOF Razor IMU dispone de 3 sensores de alta calidad¹², un giróscopo de tres ejes ITG3200, un acelerómetro ADXL345 de 3 ejes, y un compás/magnetómetro HMC5883L de 3 ejes.

MÓDULO GPS (GLOBAL POSITION SYSTEM)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), permite determinar la posición de un objeto, vehículo o persona con coordenadas de latitud, longitud y altura.

En nuestro caso, el sensor GPS está basado en el chip MTK3339, capaz del seguimiento de 22 satélites en 66 canales, el tiempo, la fecha, la posición y la altura se actualiza cada 15 segundos. Potente y compacto con antena incorporada y muy bajo consumo.

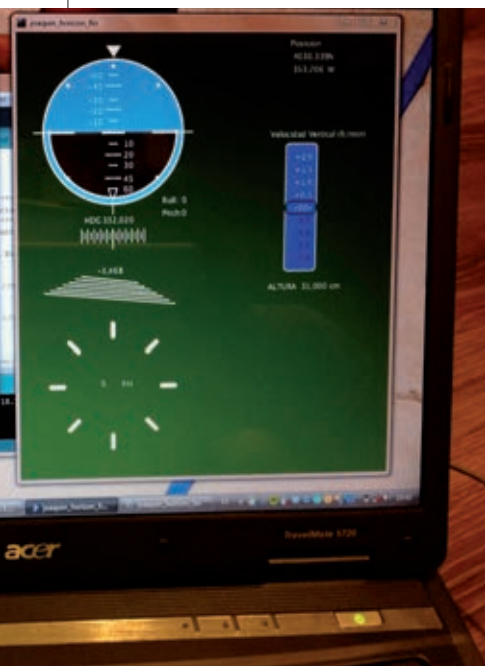
El funcionamiento de este sensor, se basa en el proceso y recepción de los datos que se emiten a través de NAVSTAR, que es una serie de 24 satélites, que orbitan a una altura de 20.200 kilómetros aproximadamente por encima de la superficie terrestre.

MEDIDOR DE DISTANCIAS (ULTRASONICOS)

El sensor medidor de distancias ultrasónico usa un sonar para la detección de obstáculos. Por uno de sus sonares envía la onda sonora en un cono de unos 30° hacia delante, y por la otra recibe de nuevo la onda sonora, que vuelve tras haber chocado con el obstáculo.

Tienen un alcance que va desde los 2 cm hasta los 4 m, con una precisión de 3mm. Su funcionamiento no se ve afectado por la luz ni por ninguna superficie negra.

Dispone de un indicador LED y tan sólo requiere de un pin para su funcionamiento. El sensor envía ecos de ultrasonidos por un lado y recibe el



eco por otro, mide el tiempo de rebote del sonido. En su pin de salida podremos medir el ancho de pulso PWM en función de la distancia del obstáculo.

Internamente está constituido por un microcontrolador y dos cápsulas ultrasónicas de 40kHz. Una para el disparo y otra para recibir el eco.

SISTEMA BAROMÉTRICO

El variómetro o indicador de velocidad vertical muestra al piloto dos cosas:

- Si el helicóptero está ascendiendo, descendiendo, o vuela nivelado.
- La velocidad vertical o régimen del ascenso o descenso.

Esta placa incluye un sensor de presión barométrica BMP180 de alta precisión con un rango de medida de entre 300 y 1100 hPa con un margen de error mínimo de tan sólo 0,03 hPa. Está basado en tecnología piezo-resistiva de alta eficiencia, linealidad y larga duración. El sensor tiene un rango de alimentación de entre 1,8 y 3,6 V. Está diseñado para ser conectado directamente a un microcontrolador mediante su interfaz I2C.

Este sensor proporciona información de presión y es capaz de dar variaciones de altitud de hasta 30 cm, también proporciona información de temperatura en grados Celsius.

UNIDAD DE CONTROL (INTEGRACIÓN Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN)

En relación con la unidad de control, esta es básicamente un procesador (ATMega) que recoge la información de una serie de sensores, la procesa y la representa de manera comprensible para el hombre.

Se ha elegido la plataforma Arduino para el diseño ya que proporciona facilidad en el uso y programación, además tiene unos costes asequibles. A diferencia de otros microprocesadores esta plataforma facilita la configuración gracias a unas librerías que se pueden encontrar en su página oficial.

Arduino sigue la línea de código abierto y está basado en una sencilla placa con entradas y salidas analógicas y digitales, en un entorno de de-



sarrollo que luego se implementa con el lenguaje de programación Processing.

INTERFACE HOMBRE-MÁQUINA

El interfaz puede ser una pantalla de las denominadas Head Down Displays, Head Up Displays, integrada en el visor del casco HMDS (Helmet Mounted Display System). En nuestro caso la información del prototipo aparecerá en la pantalla de un PC.

En una misma pantalla se integrará información sobre altura, presentación de actitud, presentación de desplazamientos en el plano horizontal, rumbo, velocidad vertical e inclinación del terreno.

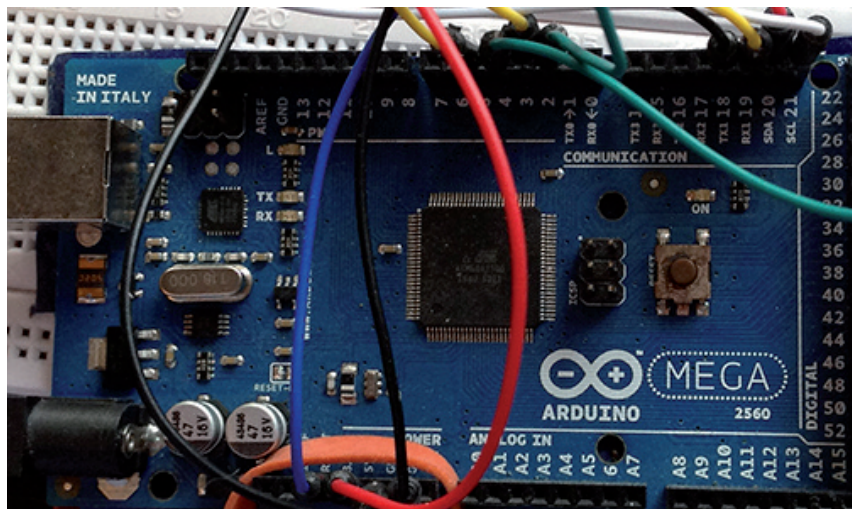
BHLAS está diseñado para funcionar por debajo de una altura sobre el

suelo (AGL¹³) de 70 ft, la aproximación se realiza en visual con referencias exteriores hasta el momento en el que el piloto a los mandos deja de tener dichas referencias exteriores debido al efecto del Brown-Out.

SOFTWARE

Para el desarrollo del software, se ha empleado el lenguaje de Arduino, basado en Wiring e implementado en C/C++, y cuyo entorno de programación (gráficos) se basa en Processing.

El microcontrolador de la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino y en su entorno de desarrollo (IDE¹⁴ Arduino), la representación se realiza en el IDE de Processing (versión 2.1.1).



El entorno de desarrollo Arduino está constituido por un editor de texto para escribir el código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para las funciones comunes, y una serie de menús. Permite la conexión con el hardware de Arduino para cargar los programas y comunicarse con ellos.

Processing es un lenguaje de programación y entorno de desarrollo integrado de código abierto basado en Java, de fácil utilización, y que sirve como medio para la enseñanza y producción de proyectos multimedia e interactivos de diseño digital. Fue desarrollado en el MIT¹⁵ por el Grupo de Computación y Estética del MediaLab, dirigido por John Maeda (1996-2003).

Respecto al entorno de desarrollo, se dispone de versiones para Mac, Windows o Linux, al igual que en Wiring cuenta con un compilador y un conjunto de librerías.

CONCLUSIONES

A la hora de concluir y a modo de resumen, se puede destacar los siguientes puntos fuertes y debilidades del sistema BHLAS.

Como puntos fuertes o ventajas respecto a otros sistemas o iniciativas:

- La eficiencia en tiempo y costes del sistema respecto a otras iniciati-



vas actuales, donde la mayoría de ellos no están todavía desarrollados.

- El sistema es totalmente autónomo y no requiere de apoyos en tierra para completar con éxito la aproximación.

- La fácil implementación en el helicóptero, tanto del sistema en sí, como de una posible certificación aeronáutica.

- Proporciona información de los parámetros mínimos para realizar el aterrizaje con garantías, evitando saturar a la tripulación con datos innecesarios.

- Aumenta la conciencia situacional de la tripulación durante los aterrizajes en ambientes con visibilidad degradada.

- Por último, cabe destacar que la información que proporciona sobre inclinación del terreno, no solo es indispensable en aterrizajes en condiciones de visibilidad degradada, sino que también en cualquier aterrizaje, ya que en la mayoría no se dispone de esa información hasta que se está a punto de tomar.

Como desventajas o puntos débiles:

- Imposibilidad de detectar y por tanto discriminar respecto a las posibles colisiones con objetos verticales en la zona de aterrizaje.

- No es un sistema basado en automatismos, por lo que depende en parte de la pericia del piloto a la hora de mantener los parámetros que el sistema presenta. •

NOTAS

¹Brown-Out Helicopter Landing Aid System.

²BOE nº 262 de 29 de octubre de 2014.

³Patrocinado por SENER Ingeniería y Sistemas S.A.

⁴Doctor Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UNED) e Ingeniero Industrial, especialidad Electricidad, intensificación Electrónica y Automática por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (UPM). Actualmente es Profesor Titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, ETSII de la UNED.

⁵International Security Assistance Force, Fuerza Internacional de Asistencia para la Seguridad en Afganistán, activada en diciembre de 2001 (Resolución ONU 1386) y liderada por la OTAN desde el año 2003.

⁶NASA definition: "Helicopter Brownout is a dangerous phenomena experienced by many helicopters when making landing approaches in dusty environments, whereby sand or dust particles become swept up in the rotor outwash and obscure the pilot's vision of the terrain. This is particularly dangerous because the pilot needs those visual cues from their surroundings in order to make a safe landing".

⁷Laser Detection and Ranging, sistema que proporciona una imagen 3D basándose en la emisión y recepción de energía electromagnética en la frecuencia de trabajo del láser.

⁸Helicopter Autonomous Landing System, Sistema en desarrollo por la

empresa SNC Sierra Nevada Corporation que proporciona una imagen sintética en 3D de la zona de aterrizaje.

⁹Brownout Landing Aid System Technology, Sistema desarrollado por la empresa BAE System usa un sensor radar de 94 GHz.

¹⁰Arduino es una plataforma de desarrollo de computación física (physical computing) de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software. (programas) para la placa. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en un ordenador (ej. Flash, Processing, MaxMSP).

¹¹Aérospatiale 332, modelo de helicóptero bimotor de tamaño medio "SuperPuma".

¹²Sistemas Microelectromecánicos (Microelectromechanical Systems, MEMS) se refieren a la tecnología electromecánica, micrométrica a escalas relativamente pequeñas (escala nanométrica).

¹³Above Ground Level. Acrónimo del inglés, traducido como sobre el nivel del suelo, término utilizado en aeronáutica para referirse a la altura real de la aeronave sobre el suelo, normalmente en pies (ft).

¹⁴Integrated Development Environment, programa informático compuesto por una serie de herramientas de programación para ser utilizado con uno o varios lenguajes de programación.

¹⁵ Instituto Tecnológico de Massachussets.