

Sistemas UAVs

JOAQUIN MACIAS PULIDO

jmacias@sfe.indra.es

Este artículo presenta un claro ejemplo de sistemas con tecnología dual, en los cuales las comunicaciones son una parte esencial del

En los últimos años, han aparecido en los sectores de las altas tecnologías (especialmente en el área de electrónica y comunicaciones) las que hemos dado en llamar "tecnologías duales". Aquellas tecnologías de aplicación tanto en el campo militar, como en el civil.

Tras el fin de la guerra fría, las aplicaciones civiles derivadas de sistemas que anteriormente se concebían para uso exclusivamente en el ámbito militar, han ido tomando cada vez mayor importancia. Un claro exponente de estas tecnologías duales son los Sistemas UAV (Unmanned Aerial Vehicle) vehículos aéreos no tripulados, comandados y controlados desde tierra por Estaciones de Control.

DEFINICION DEL SISTEMA

Un Sistema UAV, tiene dos segmentos claramente definidos :

Segmento de Vuelo : Formado por el Subsistema Vehículo Aéreo y el Subsistema de Recuperación.

Segmento de Tierra : Formado por el Subsistema Estación de Control y el Subsistema Lanzador.

El Subsistema Vehículo Aéreo consta de la célula, el motor, sistema de navegación y guiado (generalmente un GPS ó DGPS y a veces un sistema inercial, además de un ordenador), sistema de radiocomunicaciones y la "carga de pago".

El Subsistema de Recuperación puede ser de diversos tipos : aterrizaje sobre ruedas o patines, red, cable, paracaídas.

El Subsistema Estación de Control se basa en shelter (cabinas transportables) que alojan en su interior los equipos para comunicaciones, proceso de datos, cálculo, visualización, monitorización y control, etc.

Las aplicaciones civiles derivadas de sistemas que anteriormente se concebían para uso exclusivamente en el ámbito militar han ido tomando cada vez mayor importancia.

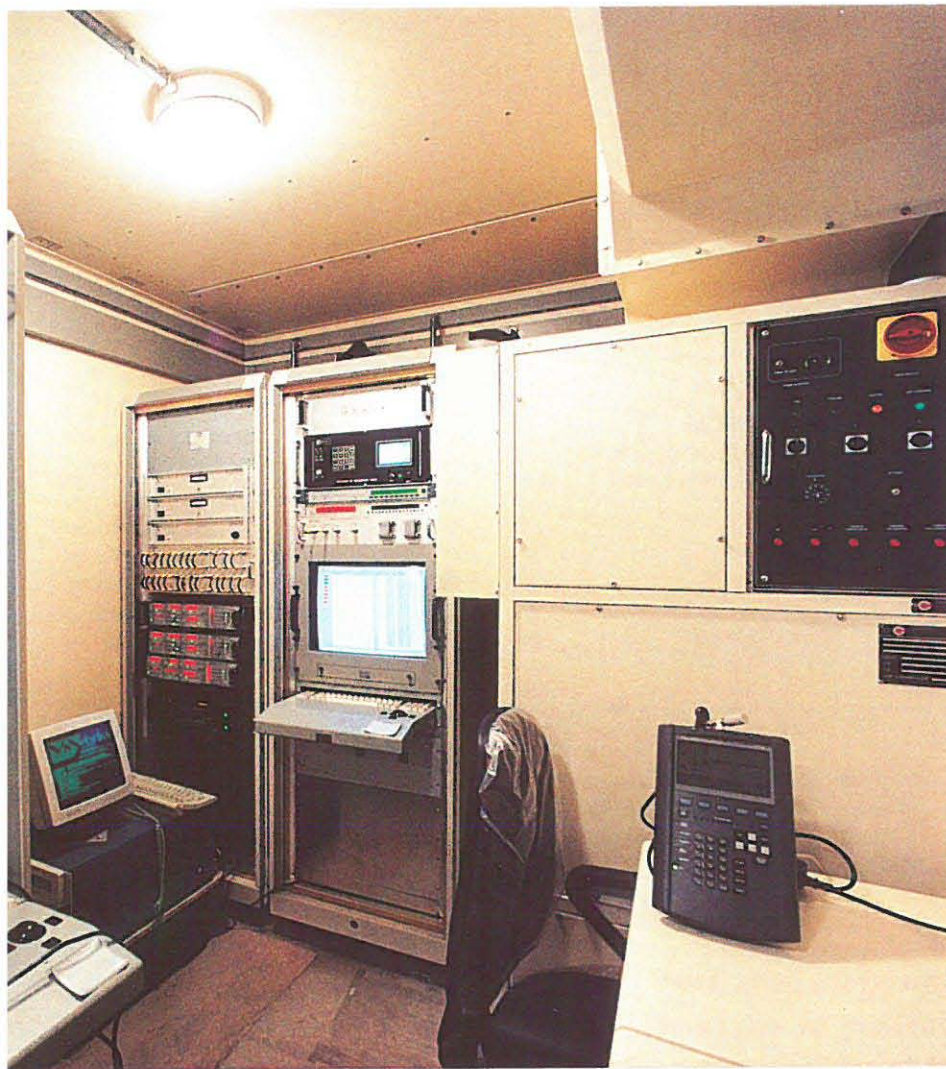
El Subsistema Lanzador consta de una plataforma que lanza el vehículo mediante diferentes técnicas : catapulta, neumática, hidráulica, cohete

NECESIDAD DE CONTROLAR EL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO (GUERRA ELECTRONICA)

Anteriormente, las misiones de reconocimiento y vigilancia en el



campo militar, así como las misiones de salvamento y ayuda humanitaria en el campo civil, entrañaban un altísimo riesgo para las vidas de aquellas personas que las llevaban a cabo, debido a la complejidad del entorno en que se desarrollan estas misiones, a las características de las mismas y a la necesidad imperiosa de una rápida actuación. Razones por las que el poder programar previamente la misión en base a datos geográficos y técnicos de misión anteriores (para de este modo evitar la presencia humana en el vehículo aéreo); disponer de unas comunicaciones fiables y seguras, aún en los entornos más adversos, que nos permitan el comando y control del avión así como la monitorización de sus equipos de a bordo, junto con la recepción en tiempo casi real de la información de imágenes y datos



**JOAQUIN
MACIAS
PULIDO**

verán sometidos a fuertes interferencias (jamming) con el fin de obstaculizar esas comunicaciones y poner en peligro el éxito de la misión.

Evidentemente un vuelo lo más automático posible, podría en parte obviar este problema. Ya que el enlace ascendente se emplea para control del UAV y sus sensores, gran parte de la navegación podría ser preprogramada y ejecutada por un ordenador embarcado, así como cierto control de los sensores. Pero siempre será necesario al final comandar algún ajuste de los mismos y en el caso de la navegación pueden surgir diversas circunstancias que aconsejen alterar manualmente durante el vuelo la ruta prevista, bien por motivos de seguridad o efectividad de la misión. En el enlace descendente la solución es más difícil, pues el gran interés de estos sistemas es que nos facilitan información de su entorno en tiempo real. Con lo que es necesario que dicho enlace esté

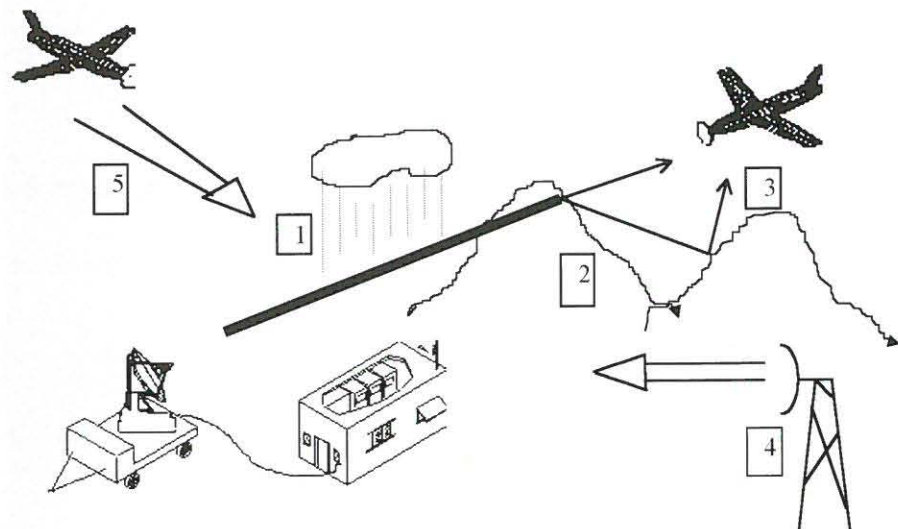
asociados de vuelo, todo ello permite llevar a cabo hoy en día esas misiones de alto riesgo, con un abaratamiento de costes muy significativo (VIDAS HUMANAS).

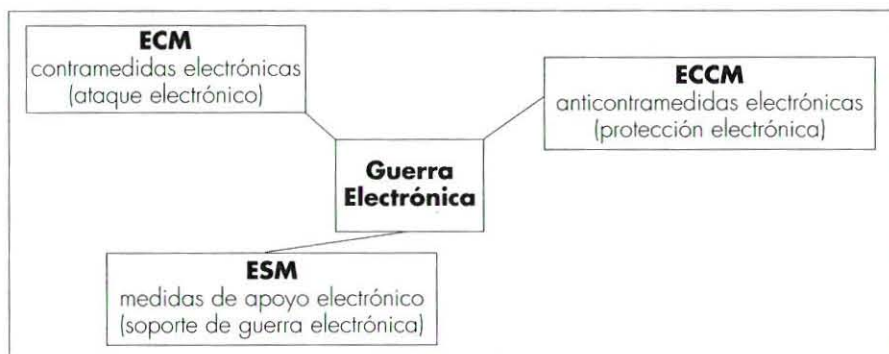
Los avances de las Comunicaciones en técnicas como la Guerra Electrónica y la Criptografía, han hecho que las posibles interferencias y perturbaciones (intencionadas o no) o las eventuales detecciones indeseadas de estas señales se hayan protegido eficazmente incluso en entornos electromagnéticos muy hostiles. Ver figura 1.

ANTIJAMMING. RESISTENCIA ECM

Cuando un UAV se adentra en territorio enemigo, sus enlaces de datos ascendente (de control desde la estación de tierra) y descendente (información de vigilancia en tiempo real) se

Figura 1





operativo un gran porcentaje del tiempo.

De aquí que el enlace de datos (descendente y ascendente) debe ser difícilmente detectable por las Medidas Electrónicas de Vigilancia (E.S.M. = Electronic Surveillance Measures) para evitar descubrir la localización de la estación de control de tierra y el UAV. Y aún siendo detectado, el enlace de datos debe ser capaz de resistir Medidas Contra Electrónicas (E.C.M. = Electronic Counter Measures) suprimiendo o contraactuando cualquier intento de interferencia en las comunicaciones entre UAV y su estación de control.

Medidas para controlar la intercepción y el jamming :

- transmitir la mínima potencia requerida para tener en el receptor la relación S/N requerida (en caso de interferencia se aumentaría la potencia para contrarrestar sus efectos)
- antenas embarcadas y de tierra muy directivas, con lo que el campo electromagnético queda muy concentrado en la dirección deseada reduciendo la posibilidad de intercepción y jamming, suponiendo que los niveles de lóbulos secundarios son bajos.
- transmisión en modo ráfagas

mediante la compresión de la información. La desventaja es que el ancho de banda de transmisión necesario aumenta.

Los sistemas UAV evitan el coste de vidas humanas en aquellas misiones que por sus características entrañan un alto riesgo para las mismas.

- filtrado adaptativo de la señal recibida en el dominio del tiempo o del espacio colocando nulos de recepción en la banda de paso del receptor o las direcciones de antena de acuerdo a la frecuencia o dirección de las señales interferentes. Requiere complejos procesadores adaptativos y en el caso de filtrado espacial requiere un array de antenas.
- transmisión en espectro ensanchado (spreading spectrum). Produce una forma de onda cuyo ancho de banda de transmisión es mucho mayor que el requerido para la transmisión de la información. Las dos principales formas de ensanchar el espectro son : Salto de Frecuencia (F.H. = Frequency Hopping) de acuerdo a un código pseudoaleatorio predeterminado y Secuencia Directa (D.S. = Direct Sequence) en la que el código pseudoaleatorio está incluido en la información que soporta la secuencia de datos antes de la modulación de una portadora. La DS obtiene su ganancia de proceso mediante la supresión de la interferencia, mientras que la FH la obtiene evitándola. La principal ventaja de la DS frente a la FH es que no se requiere un rápido y

APLICACIONES DE LOS SISTEMAS UAV

MILITARES :

- * Vigilancia de posiciones enemigas
- * Vigilancia de fronteras
- * Vigilancia de costas
- * Reconocimiento de blancos
- * Reconocimiento y adquisición de objetivos
- * Control de fuego propio sobre el enemigo (corrección de línea de tiro)

CIVILES :

- * Detección y control de incendios
- * Detección de bancos de pesca
- * Control de tráfico de carreteras
- * Rescate de naufragos
- * Control de cosechas
- * Control del entorno ecológico
- * Situaciones de emergencia y catástrofes

ágil sintetizador de frecuencia.

El conocimiento de la secuencia pseudoaleatoria o código permitirá la recuperación de la información usando un proceso de correlación.

El empleo de técnicas de codificación de espectro ensanchado (spreading spectrum) mejoran el margen de jamming (interferencia hostil con el fin de perturbar las comunicaciones. Bien interrumpiendo la transmisión y/o cegando el receptor).

El grado de protección de una codificación de este tipo, viene dado principalmente por la longitud del código (medida en "chips") y el esquema de correlación: serie o paralelo.

Los correladores serie tienen la ventaja de admitir códigos de mayor longitud y por tanto ofrecen un mayor margen anti-jamming, pero a costa de necesitar un mayor tiempo para adquirir la sincronización que los correladores paralelo. Este tiempo suele ser un factor igual a la longitud del código.

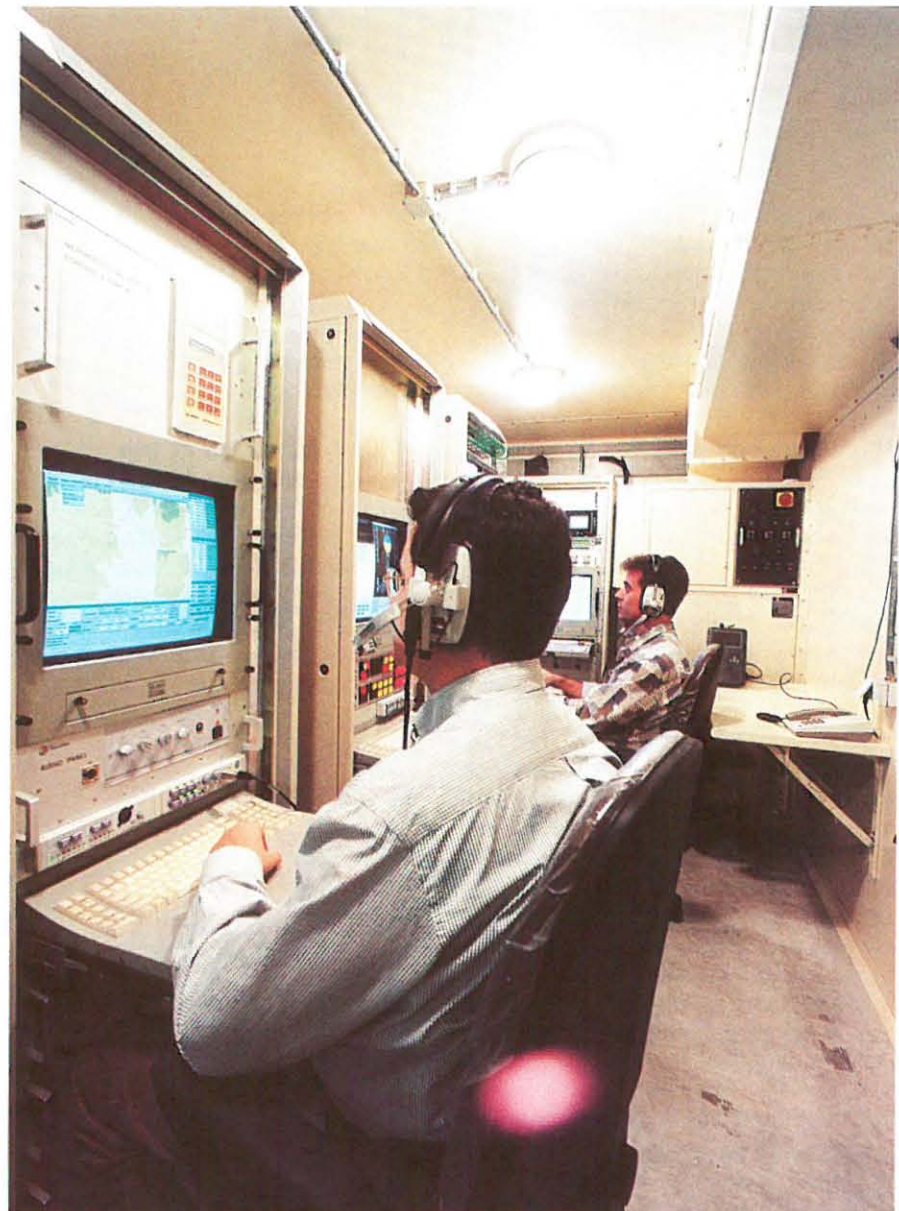
El margen anti-jamming (AJM) puede ser definido como la relación entre la potencia interferente y la potencia de la señal deseada en el ancho de banda de entrada del receptor.

$AJM = \text{Ganancia de Proceso} - C/N (\text{mín.}) - \text{Pérdidas de implementación} + \text{Ganancia de Codificación}$

El enlace ascendente se hace muy difícil de interferir si :

- el ancho de haz de la antena embarcada es estrecho
- la frecuencia de operación es alta
- se utiliza codificación de espectro ensanchado
- se utiliza codificación de corrección de error
- se opera en modo ráfaga

La intercepción del enlace ascendente se hace muy difícil, ya que la



Posiciones de operador de la Estación de Control

potencia total transmitida se distribuye sobre un ancho de banda 2047 veces mayor, de forma que la densidad espectral de potencia se reduce en 33 dB. Esto reducirá la distancia de intercepción de la estación de tierra por un factor de 45 haciendo muy difícil que los receptores buscadores de dirección puedan localizarla.

El enlace descendente se hace muy difícil de interferir si :

- el ancho de haz de la antena terrestre es muy estrecho
- la frecuencia de operación es alta
- se utiliza codificación de espectro ensanchado para la telemetría y la

información de temporización del sensor

- se utiliza codificación de corrección de error

La información de telemetría, tal como estado del UAV y sensores y la confirmación de los comandos de control de vuelo y sensores, puede tener un formato de transmisión de espectro ensanchado con secuencia directa. Sin embargo, la información de vigilancia al ser de por sí de banda ancha no admite ensancharla en frecuencia. Ya que ambas pueden requerir ser transmitidas simultáneamente, existe el problema de como combinarlas.

Si se usan canales separados, sería un derroche de potencia en el UAV y necesitaría dos transmisores en el vehículo aéreo, no deseable en tamaño, peso y coste.

Se podría usar AM para modular la forma de onda del video analógico en la parte superior de la señal de amplitud constante de espectro ensanchado. Pero esto es proclive a interferencias y tiene líneas espectrales significativas en las frecuencias de TV de sincronización, haciéndola fácil de detectar e interferir. Todos los otros esquemas de modulación analógicos requieren cambio de fase que interferirían con la información auxiliar haciendo las dos señales inseparables.

Otra posibilidad es usar FM de banda ancha para transmitir la señal de video con la información auxiliar insertada durante los intervalos redundantes en la señal de video, es decir, durante el borrado de línea y cuadro. Esto permitiría un proceso de detección de FM simple. Sin embargo una técnica digital tiene las ventajas:

- mejor características de ruido
- permite encriptación de datos
- mejor calidad de imagen usando corrección de errores
- la forma de onda no es fácilmente reconocible como una señal de video
- se puede aprovechar la redundancia asociada a las señales de TV para reducir el ancho de banda
- compatibilidad de ancho de banda entre la información de vigilancia y la auxiliar codificada pseudoaleatoriamente.

El video puede ser transmitido con buena calidad a velocidades inferiores a los 30 Mbit/s mediante el uso por ejemplo de DPCM. El enlace descendente de telemetría puede ser codificado con espectro ensanchado y multiplexado con el stream del video digitalizado para obtener una velocidad de datos compuesta de alrededor de 36 Mbit/s. Las palabras de sincronización de video por ser claves para el correcto funcionamiento se pueden insertar en los datos de telemetría para ser también protegidas

por el código ensanchado. Así la información de video es más difícil de decodificar que en un sistema analógico equivalente y también se encuentra más protegida frente a interferencias al estarlo los parámetros críticos de temporización.

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS UAV

Una característica fundamental de estos sistemas es su transportabilidad, puesto que su emplazamiento es cambiante. Esto les confiere una alta rentabilidad y potencialidad, lo cual se puede conseguir gracias a la facilidad

La información de video es más difícil de codificar que en un sistema analógico equivalente y se encuentra más protegido frente a interferencias.

de dichos sistemas para adaptarse a las condiciones del entorno de operación.

Los resultados se obtienen en un tiempo muy corto desde la planificación de la misión.

La obtención de información privilegiada en tiempo real, su facilidad de manejo y transporte, los bajos costes de mantenimiento y operación, el bajo coste por unidad del sistema que permite se puedan emplear varios UAV's en una determinada zona. Todo ello les hace ser unos sistemas muy rentables y en corto tiempo.

CONCLUSIONES

Los sistemas UAV han demostrado sobradamente en diferentes escenarios y última y especialmente en la

Guerra del Golfo y en la Guerra de Bosnia, el gran potencial que pueden tener. En cuanto a la obtención, manejo y transmisión de la información, gracias a la aplicación de nuevas técnicas de protección de la misma (Guerra electrónica, criptografía) es posible conseguir unas comunicaciones más seguras, difíciles de detectar e interferir. A pesar de los grandes avances en estas tecnologías, las experiencias anteriormente citadas demuestran que se siguen produciendo fallos en el sistema o errores de operación. Lo cual significa que hay todavía muchos elementos a perfeccionar (sistemas de propulsión, estaciones de control, sistemas de transmisión/recepción de datos, navegadores GPS, sensores). Cosa no muy difícil teniendo en cuenta el estado de la tecnología actual, aunque el precio que irremediamente haya que pagar sean unos costes más elevados. A pesar de ello, las ventajas que ofrecen estos sistemas son tan grandes que todos los ejércitos modernos que no lo tienen todavía, o bien están en fase de adquisición, en fase de especificación o informándose en profundidad de sus características y prestaciones.

En España se está completando la fase final de integración y pruebas de un sistema UAV llamado SIVA (Sistema Integrado de Vigilancia Aérea), en el que el I.N.T.A. (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) es responsable del desarrollo del Segmento de Vuelo y la empresa española INDRA DTD ha desarrollado la Estación de Control de Tierra para dicho sistema. ■

*JOAQUÍN MACÍAS PULIDO

Joaquín Macías Pulido. Ingeniero Sup. de Telecomunicación por la ETSITM 1981. Especialista en Radiocomunicaciones por la ETSITM 1995. Jefe de Sección en la División de Simulación de INDRA DTD y director técnico del Proyecto SIVA (Estación de Control).
e-mail: jmacias@sfe.indra.es