

Sistemas de RF para RPAS: tendencias y previsiones.

Manuel Carbonell Alanís

m_carbonell_alanis@hotmail.com

INTA-E.T.S.I. Universidad de Huelva (Máster RPAS)





Índice

➔ **1. Sistemas de RF de plataforma.**

➔ **2. Sistemas de RF en cargas de pago.**

➔ **3. Subsistemas de RF.**

➔ **4. Nuevos retos.**

➔ **5. Conclusiones.**

➔ **6. Agradecimientos.**



1. Sistemas de RF de plataforma.

- **CNPC (Control and Non-Payload Communications):**

* **Alta fiabilidad (vuelo seguro):** enlazan al piloto (GS) con el RPA.

* **Enlace ascendente (comandos de control) y descendente (datos de telemetría de la aeronave)**

- **DL (Data link):** radioenlace descendente (datos de los sensores de misión en la carga útil)

- **ATC (Air Traffic Control):** radioenlaces entre RPAS (RPA & GS) con los operadores de ATC. Servicio integral (comunicaciones, navegación, vigilancia y anticolidión) que garantice la operación segura en el espacio aéreo no segregado.

- **Satélite:** actualmente sólo en determinados RPAS militares. Previsto para el control de RPA a larga distancia (BLOS, tras el horizonte)

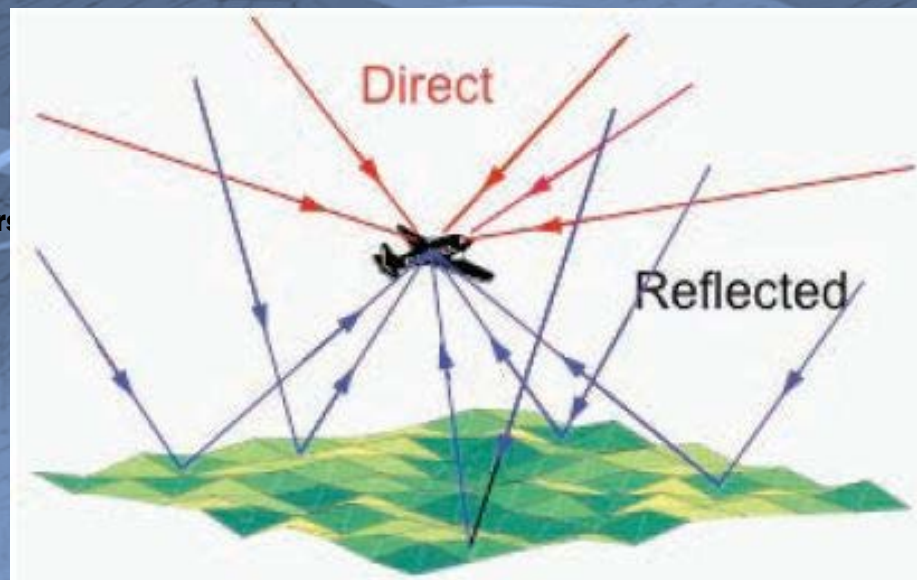
- **Integración del RPA en otras redes (IoT, redes 4G/5G)**



2. Sistemas de RF en cargas de pago.

- **Activos (con Tx):** radar (SAR, GPR), repetidores y pasarelas, enlace inter-RPA, activación de sensores IoT, etc.
- **Pasivos (sólo Rx):** analizadores de espectro (medida de Tx, vigilancia del espectro), radiómetros sensores de superficie (cosechas, vegetación, humedad, oleaje), etc.

Monitorización de superficie por análisis de dispersión de señales GNSS (según *Application of GNSS to Environmental Studies, Penina Axelrad*)



3. Subsistemas de RF.

3.1 Frecuencias: coordinación y planificación.

Frecuencias superiores a las actuales, permitiendo mayor ancho de banda; sea por transferir más información (DL de video en alta resolución, datos SAR, etc) o para permitir enlaces CNPC BLOS vía satélite.

Frecuencias coordinadas según lo requieran los diferentes radioenlaces:

- **CNPC (Comando y Control):** TC (enlace ascendente de comandos de control) y TM (enlace descendente de datos de telemetría) entre el RPA y el piloto en la estación de tierra (GS)
- **DL (*Data link*):** enlace descendente con los datos de los sensores embarcados en la carga útil, entre el RPA y su operador en la GS.
- **ATC (*Air Traffic Control*):** diversos radioenlaces entre RPAS (RPA & GS) y los operadores de ATC (comunicaciones, navegación, vigilancia y anticolidión), que permitan la integración en el espacio aéreo no segregado. La tendencia sería integrarlos en los enlaces CNPC.





Remarcar que el ancho de banda necesario puede variar mucho:

- **CNPC y ATC:** según sea su integración (dentro del espacio aéreo no segregado o fuera de él) y las prioridades de la misión (redundancia: radioenlaces duplicados)
- **DL:** dependiendo de los sensores de la misión y sus especificaciones.
 - * **Banda ancha (varios MHz: video de alta resolución, radar)**
 - * **Banda estrecha (algunos kHz: sensores de temperatura)**

Enlaces CNPC y ATC de RPAS civiles: prioridad de las próximas WRC de la ITU coordinadas con ICAO y diferenciando según el tipo y uso del RPAS.

- **Frecuencias de uso común (*unlicensed*)**
- **Frecuencias de uso público (redes 4G/5G)**
- **Frecuencias dedicadas (WRC-12 y WRC-15)**



3.2 Equipos: transmisores (Tx) y receptores (Rx)

- **Uso de equipos SDR (Software Defined Radio), que permiten alta integración, flexibilizar y modificar por software -tanto la cadena Tx como la Rx- sin apenas modificar el hardware (filtros o antenas)**
- **Amplificadores de potencia con transistores de tecnología GaN**

3.3 Antenas.

- **Modelado numérico completo sobre la estructura: garantizar la cobertura y evitar interferencias entre los diversos enlaces embarcados.**
- **A. MIMO (arrays de múltiples entradas/salidas): reconfigurar dinámicamente los diagramas de radiación para permitir el enlace en momentos críticos del vuelo (cambio de posición o interferencias) o que una sola GS pueda manejar varios RPA simultáneos.**
- **A. activas: un módulo T/R (SDR) en cada elemento del array de la antena.**
- **A. integradas en el fuselaje: menor peso, mejor aerodinámica y más robustez.**



3.4 Propagación de ondas: simuladores de canal.

- **Mejorar las predicciones en las pérdidas de enlace para evaluar diversos escenarios: uso genérico (sólo topografía digital) o particularizar incluyendo detalles (entorno urbano, rural o marino)**
- **Inclusión de efectos fijos (sólo superficie) y variables: cambios de ruta, de frecuencias, aparición de interferencias, efectos meteorológicos, etc.**

3.5 Modulaciones.

Nuevas formas de onda digitales que optimicen el ancho de banda, robustas al multitrayecto y a interferencias con otros RPAS cercanos (ejm. OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)



3.6 Interferencias.

- Optimizar el diseño para disminuirlas (*cosite interference* y EMC)
- Antenas MIMO + SDR: optimización de RF (potencia radiada, frecuencia, polarización, diagramas multihaz) para cada RPA, reducción temporal del ancho de banda, modulaciones resistentes a interferencias, salto de frecuencia, espectro ensanchado, etc.
- Sistemas anti-drones (protección del RPA propio o defensa frente a una amenaza en RPA): perturbación (*hijacking* o secuestro, *spoofing* o engaño de ubicación, *phishing* o suplantación de identidad, *sniffing* o aprovechamiento de enlaces, etc) o saturación.

3.7 Sección radar (*RCS: Radar Cross Section*)

- Mejorar la detección de los RPA aumentando su RCS hasta niveles de seguridad compatibles con los sistemas ATC y S&A, adelantando la alerta en sistemas activos (radar) anti-drones.
- Nuevos materiales de fabricación (metalizados), geometrías (forma y tamaño del RPA), inclusión de estructuras del alta RCS (diedros, triedros, lentes Lüneburg, etc)





4. Nuevos retos.

Dentro del programa *Horizon 2020* se evalúa la modernización de la gestión del tráfico aéreo (*SESAR: Single European Sky ATM Research*), integrando los RPAS en el espacio aéreo no segregado.

4.1 Compatibilidad y planificación de frecuencias.

Esta inclusión de los RPAS en el espacio aéreo no segregado pasa por la integración de las comunicaciones GS/RPA en los sistemas ATC:

- Protegiendo los enlaces CNPC usando frecuencias reservadas al servicio móvil aeronáutico en ruta (WRC-12 en enlaces LOS y WRC-15 en BLOS)**
- Asignando 34 MHz (en 960-1164 y 5030-5091 MHz) para enlaces LOS y 56 MHz (en bandas Ku y Ka) para enlaces BLOS a través de satélite.**



4.2 Sistemas anticollisión (*Sense & Avoid*)

La inclusión de RPAS en el espacio aéreo no segregado necesitará de sistemas S&A que le permitan comportarse como si hubiese un piloto embarcado y permitiendo una seguridad similar.

Los sistemas S&A constan de dos funciones:

- *Sense* (observar el entorno y la presencia de posibles intrusos que impliquen riesgo de colisión)
- *Avoid* (procesar dicha información y decidir si hay que efectuar alguna maniobra evasiva)

La regulación en este campo es provisional y sigue la tecnología de RF de los sistemas S&A actuales embarcados en aviones civiles:

- **ACAS/TCAS:** el transpondedor del RPA manda una señal interrogadora (ejm. 1030-1090 MHz) que contestaría otra aeronave próxima -con sus datos de posición y velocidad- para ser evaluados por el RPA emisor y decidir el riesgo y la siguiente maniobra.
- **ADS:** la aeronave emite regularmente sus datos 4D (instante y posición) a través de un DL dedicado y en el que cabrían muchas opciones (identificación con SIM, sensores IoT, integración en redes, etc)





- Radar mm ($f > 30$ GHz):

- * Válido para blancos no cooperativos.**
- * Alta resolución (detección de blancos pequeños)**
- * Antenas muy pequeñas (pocos cm)**

Probablemente se llegue a soluciones combinadas: una parte de RF (radar primario o secundario y/o difusión de datos 4D) complementando sistemas S&A ópticos (inefectivos con poca visibilidad)

4.3 Sistemas de protección (anti-drones)

Estas tecnologías de RF vienen del campo militar (guerra electrónica): a partir de análisis de señales radiadas (*SigInt*) se encadenan diversas medidas y contramedidas (protección y ataque) que evolucionan una tras la otra.





Los puntos más vulnerables son los enlaces de RF, que pueden hacer fallar la misión o perder el RPA.

Dos aspectos diferentes:

- **Protección del RPAS propio frente a ataques externos.**
- **Capacidad de neutralizar un RPAS ajeno que pudiera ser una amenaza.**

Ajustados al tipo de amenaza:

- **Leve (actividades molestas o invasión de la privacidad)**
- **Grave (tráfico ilegal de mercancías)**
- **Muy peligrosa (invasión del espacio aéreo, ataques a infraestructuras o a la población, etc)**





La protección con técnicas de RF se basan en una secuencia de 3 pasos:

- **Detección:** pasiva (monitorizando los enlaces de RF del RPAS) o activa (detectando al RPA mediante un radar) Deberá localizar al RPA (o incluso a la GS) y evaluar el tiempo de respuesta.
- **Identificación:** estimará si se trata de una amenaza y deberá clasificar su nivel de riesgo. Se facilitaría si fuera obligado (tarjeta SIM, integración en red)
- **Neutralización de un RPA hostil perturbando sus sistemas de RF:**
 - * **Interferir localmente la señal de geolocalización (GPS, Galileo, etc) en el RPA y/o solaparla para indicarle que está en una posición diferente (*spoofing*)**
 - * **Interferir los enlaces CNPC entre RPA y GS, sea por saturación (*jamming*) o tomando el control del mismo si se utilizara un cifrado débil (*hacking*)**
 - * **Barreras de RF (*jammers*) que interfieran un perímetro de protección determinado. Útil para drones que usan frecuencias en bandas de uso común, por ser conocidas (ejm. 434 MHz, 2.4 y 5.8 GHz) y la potencia emitida muy baja (10 ~ 100 mW)**






5. Conclusiones.

Además del uso de sistemas de RF en diversas cargas de pago, tanto el aumento de RPA como su inclusión en el espacio aéreo no segregado impondrán nuevos retos en el área de RF, garantizando radioenlaces fiables (CNPC, DL, S&A) y manteniendo la seguridad (sistemas S&A y anti-drones)

6. Agradecimientos.

A los directores y coordinadores del Máster Sistemas Aéreos Pilotados de forma Remota (RPAS) de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Universidad de Huelva, por su apoyo en la presentación de esta ponencia.





**¡GRACIAS POR
SU ATENCIÓN!**



**MASTER
RPAS**
Remotely Piloted
Aircraft Systems



Fundación de la Energía de
la Comunidad de Madrid



**Comunidad
de Madrid**

