

En Profundidad

Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de defensa (ART)

Javier Carretero Moya, Advanced Radar Technologies S.A.

Palabras clave: radar de alta resolución, protección de instalaciones y bases avanzadas, alerta temprana.

Metas tecnológicas relacionadas: MT 2.2.2.; MT 5.5.1.

Los avances tecnológicos de los últimos años han hecho viable el despliegue de sistemas integrados de vigilancia multi-sensor para dar respuesta a las demandas del mercado de Seguridad y Defensa en, al menos, tres aplicaciones clave como son la vigilancia de fronteras, la protección de infraestructuras críticas y la seguridad en misiones internacionales de las fuerzas armadas. En concreto, las necesidades principales son:

1. La detección temprana de intrusos y atacantes.
2. El seguimiento, clasificación e identificación de las amenazas.

3. La gestión eficiente de los recursos disponibles para la interceptación de las amenazas.

La complejidad de este problema viene dada por la necesidad de garantizar que estas funciones sean satisfechas en escenarios muy diversos (desiertos, vegetación densa, fronteras fluviales, costas) y ante amenazas muy variables, desde personas caminando o vehículos ligeros hasta embarcaciones improvisadas. Estas

necesidades solamente pueden ser abordadas mediante el despliegue de sistemas integrados de vigilancia multi-sensor del que los radares de altas prestaciones son elementos clave debido al rol que desempeñan: el principal sensor de alerta temprana en el sistema.

ART Midrange es un ejemplo de esta nueva generación de radares de vigilancia superficial de alta resolución, integrables en red y específicamente diseñado para satisfacer las demandas de los usuarios finales en las aplicaciones de Seguridad Civil anteriormente reseñadas (Figura 1a).

Las características iniciales de este sensor radar respondían a las necesidades concretas de ese mercado (Tabla 1). No obstante, las tecnologías empleadas (Figura 1b), las prestaciones de partida del producto civil (como la capacidad de detectar a una persona caminando a 4.500 metros de distancia), y la metodología de diseño utilizada convertían la militarización del ART Midrange en una tarea viable.

La transición a una versión militarizada fue el objetivo fundamental de un proyecto en el marco del Programa COINCIDENTE "Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de Defensa (ART)". El proyecto ha sido desarrollado por Advanced Radar Technologies S.A.



Fig. 1a. Radar de vigilancia superficial de alta resolución ART Midrange. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A).

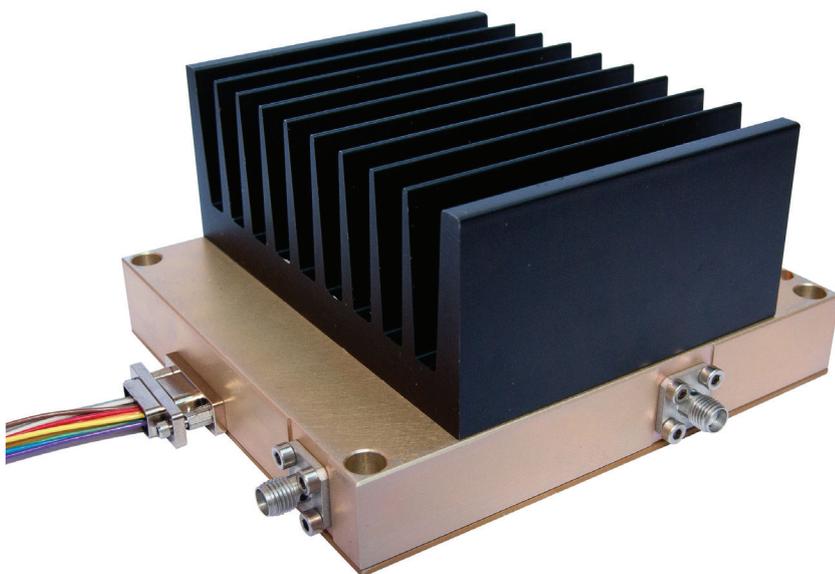


Fig. 1b. Transmisor de estado sólido del radar ART Midrange. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

Tipo	Sistema CWLFM Doppler coherente de banda ancha. Baja probabilidad de interceptación (LPI)
Banda	Ku
Ancho de banda	1 GHz
Alcance instrumental/acimut	5000 metros /360 grados
Área de cobertura	78 km ²
Tipo de blancos	Personas y vehículos, estáticos o en movimiento
Alcance (persona / vehículo)	4500 metros (típico) /5000 metros (típico)
Velocidad de exploración	60 rpm
Resolución en distancia	1 metro – 0.2 metros (configurable)
Precisión en distancia	0.25 metros – 0.05 metros
Procesado	Integración coherente y procesado Doppler, agilidad en frecuencia
Mapa de clutter adaptativo, track while scan y track before detect	

Tabla 1. Especificaciones del radar ART Midrange (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A).

junto con la Universidad Politécnica de Madrid y el Instituto Tecnológico La Marañosa (ITM).

Este objetivo se concretó en dos tareas de muy diferente naturaleza pero imprescindibles para la adecuación del producto resultante a las necesidades de Defensa:

1) La adaptación de la cadena de procesado del radar a los requisitos operativos derivados de su aplicación militar.

2) Garantizar la robustez del demostrador ante las muy diferentes condiciones ambientales que caracterizan los escenarios de aplicación del producto civil y su variante militarizada.

Campaña de adquisición de datos radar reales

El modelado y la simulación resultan fundamentales en muchas áreas de la ingeniería y el ámbito del radar no es una excepción. En los últimos años,



Fig. 2. Instalación del radar en las instalaciones del Instituto Tecnológico La Marañosa. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

se han producido grandes avances teóricos en forma de modelos analíticos y de simulación que tienen un papel fundamental en muchas etapas del ciclo de vida de un sistema radar.

No obstante, el uso de modelos tiene importantes limitaciones que han de ser adecuadamente valoradas. En ocasiones, por ejemplo, no existen modelos con un grado de realismo suficiente, como es el caso de algunos tipos de clutter¹, de naturaleza no-estacionaria. En otras, es frecuente la disponibilidad de distintos modelos a priori alternativos pero que, en la práctica, dan lugar a predicciones de prestaciones muy diferentes.

Existe un amplio consenso en la necesidad de recurrir a datos radar reales, incluso en fases tempranas del ciclo de vida de un sistema radar. Por un lado, permiten seleccionar de entre los modelos existentes los más adecuados para un escenario concreto o incluso el desarrollo de nuevos modelos en los casos en los que los disponibles no sean suficientemente representativos de la realidad. Por otro, permiten analizar los procesos de detección mediante el procesado *offline* de los datos reales, obteniéndose así unos resultados de mayor calidad que los proporcionados por un modelo de simulación, necesariamente limitado.

Fue precisamente esta la metodología seleccionada para la consecución de uno de los objetivos del proyecto: el diseño apoyado en el uso de datos experimentales de una cadena de detección optimizada para maximizar las prestaciones de ART Midrange ante blancos de interés militar en escenarios representativos de las zonas de despliegue de este tipo de sistemas.

El punto de partida para el proceso de adaptación de la cadena de procesado del radar a los requisitos operativos derivados de su aplicación militar fue un análisis riguroso de sus posibles escenarios de uso. Esto hizo posible formalizar las funcionalidades y prestaciones necesarias, la definición de un protocolo de pruebas-validación y la selección de emplazamientos con características adecuadas para la eje-

¹ El término *clutter* hace referencia a los retornos radar no deseados, procedentes por ejemplo del terreno o de la vegetación, y que compiten con la señal recibida de los propios blancos de interés.



Fig. 3. Instalación temporal del radar en el ITM, empleando un mástil para despliegue rápido en campo. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

cución del mismo. Más concretamente, el plan de pruebas del proyecto incluía dos objetivos clave:

1. La creación de una base de datos radar, tanto de blancos como de *clutter*, representativos de la aplicación objetivo y adquiridos en escenarios de interés para Defensa.
2. La comprobación experimental de determinados parámetros radar considerados como críticos desde el punto de vista de Defensa.

A partir de estos objetivos fundamentales se estructuró la campaña de ensayos en tres fases diferentes:

1. Adquisición de datos radar de blancos de oportunidad y *clutter* heterogéneo (urbano).
2. Adquisición de datos de *clutter* de interés para Defensa por su similitud al entorno de la zona de operaciones, sin blancos controlados, en ubicaciones en campo en del ITM (Figura 2).
3. Adquisición de datos de blancos controlados en ubicaciones en campo en las instalaciones del ITM (Figura 3).

El conjunto de grabaciones realizadas incluye:

1. Grabaciones de referencia para calibración, empleando reflectores tetraédricos y un procedimiento diseñado específicamente para el proyecto (Figura 4).

2. *Clutter* representativo de la aplicación objetivo:

- a. Terreno plano y despejado.
- b. Terreno plano con grupos de árboles dispersos.
- c. Caminos sin asfaltar.
- d. Terreno con colinas y vegetación baja (Figura 5).

- e. Terreno con vegetación espesa.
 - f. Lluvia y niebla.
3. Blancos de oportunidad.
 4. Blancos controlados, con las correspondientes trazas GPS para hacer posible la correlación de los datos radar con la dinámica real de cada blanco:
 - a. Persona caminando.
 - b. Personas caminando agrupadas.
 - c. Personas caminando en fila.
 - d. Vehículos ligeros.
 - e. Vehículos.

Además, es importante destacar que el conjunto de comportamientos (dinámica) de los blancos durante los ensayos de campo comprendía casos de especial interés como son los siguientes:

1. Detección de blancos en trayectorias de aproximación por vía asfaltada/sin asfaltar. Situación muy frecuente caracterizada por un nivel de *clutter* bajo, tanto por las características de la superficie como por el ángulo de incidencia (relieve mínimo).
2. Detección de blancos débiles (de baja sección radar) en trayectorias de aproximación lenta por zonas de



Fig. 4. Reflector tetraédrico en zona de bajo nivel de clutter en el ITM. Procedimiento de calibración del sensor. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

en profundidad

mayor desnivel (Figura 6). Situación adversa para la operación de este tipo de sensores debido tanto a la naturaleza del blanco (sección radar y velocidad radial) como al nivel de *clutter* (ángulo de incidencia debido al desnivel del terreno).

3. Detección de blancos débiles (de baja sección radar) en trayectorias tangenciales con desnivel del terreno. Situación muy adversa debido a la muy baja velocidad radial y al nivel de *clutter*.
4. Detección de blancos débiles (de baja sección radar) en trayectorias de aproximación desde zonas de *clutter* intenso (grupo de árboles).

La campaña de ensayos de campo se prolongó durante cerca de 20 meses dando lugar a una completa base de datos radar, uno de los resultados clave del proyecto y un recurso de gran valor intrínseco en el ámbito de la defensa: los blancos seleccionados y el entorno utilizado son totalmente representativos de aplicaciones objetivo como la protección de despliegues temporales o bases operativas avanzadas. Esto es consecuencia tanto de las prestaciones del radar empleado (en especial debido a la resolución en distancia de escasos centímetros del sensor) como de las capturas que componen el conjunto de datos adquiridos.



Fig. 5. Uno de los terrenos seleccionados para la campaña de pruebas de campo por ser representativo de la aplicación objetivo. Colinas con vegetación baja y grupos de árboles aislados. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

Caracterización de datos radar y evaluación de las prestaciones de cadenas de procesamiento alternativas

La reducción del tamaño de la celda de resolución es una técnica inmediata para mejorar las prestaciones de un sensor radar debido a que implica una disminución de la potencia de los retornos radar no deseados que compiten con el blanco en el muy frecuen-

te escenario de detección limitada por *clutter*. No obstante, esta estrategia tiene, al menos, dos inconvenientes que deben ser tenidos en cuenta en la fase de diseño de los sistemas radar de alta resolución para poder alcanzar la potencial mejora de prestaciones. En primer lugar, si la resolución en distancia sobrepasa un determinado valor dependiente de la aplicación, la energía procedente de los blancos se distribuirá en varias celdas de distancia adyacentes. Ajustar el tamaño de la celda de resolución a las dimensiones físicas del blanco a detectar es una posible manera de evitar el problema. En segundo lugar, el *clutter* en radares de alta resolución tiene un comportamiento diferente al de baja resolución, complicando significativamente la derivación de esquemas de detección adecuados.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, la disponibilidad de datos radar reales (y en crudo) resulta crucial. El análisis estadístico de datos experimentales es un requisito fundamental para determinar las estrategias de detección de alta resolución más adecuadas de entre las decenas de propuestas teóricas de diversa índole existentes, así como para el diseño de técnicas novedosas fundamentadas en bases sólidas. Por estos motivos, la disponibilidad de datos reales, tanto de *clutter* superficial como de una serie de blancos representativos, fue uno de los aspectos más interesantes del



Fig. 6. Ensayo con tres personas caminando con separación radial de tres metros en zona de *clutter* intenso debido al elevado desnivel del terreno. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)

proyecto al hacer posible las siguientes actividades:

1. El diseño e implementación de una herramienta de caracterización de datos radar reales.
2. La aplicación de dicha herramienta al conjunto de datos disponibles para realizar una pre-selección de las estrategias de detección candidatas.
3. El diseño apoyado por el uso de datos experimentales de una cadena de detección optimizada para maximizar las prestaciones de ART Midrange ante blancos de interés militar en escenarios representativos de las zonas de despliegue de este tipo de sistemas.

El estudio de los datos reales empleando la herramienta de caracterización estadística desarrollada permitió determinar los aspectos a considerar en el diseño de las posibles cadenas de procesado:

1. El compromiso entre la resolución en distancia y agilidad en frecuencia.
2. La naturaleza del procesado Doppler a realizar.
3. La conveniencia de emplear esquemas de detección avanzados basadas en el concepto de mapa de *clutter* pero adaptados a entornos de *clutter* no-gaussiano.

Desafortunadamente, este problema no tiene solución teórica a priori y ha sido escasamente tratado en la biblio-

grafía libre acceso sobre el tema. Por todos estos motivos, las conclusiones obtenidas son especialmente relevantes puesto que son el resultado de uno de los pocos estudios experimentales expresamente diseñados para tal fin y realizado a las elevadas resoluciones en distancia consideradas (del orden de centímetros).

Las cadenas de procesado a evaluar se construyeron mediante la combinación de bloques funcionales expresamente diseñados para analizar el impacto en las prestaciones operativas del radar de cada uno de los tres aspectos enumerados anteriormente. Para ello se desarrolló una herramienta gráfica que, de manera intuitiva, hace posible:

1. La definición de la cadena a evaluar mediante la introducción de los parámetros necesarios.
2. La selección de los datos reales (ensayos de campo) a los que aplicar la cadena de procesado a caracterizar.
3. La obtención de resultados gráficos como, por ejemplo, la representación de la salida de la cadena de detección sobre una ortofotografía del terreno.
4. La obtención de resultados cuantitativos: la estimación de la probabilidad de detección y probabilidad de falsa alarma para una cadena de procesado determinada.
5. La capacidad de comparar tanto gráficamente como de forma

cuantitativa las prestaciones obtenidas por cada posible cadena de procesado en presencia de los datos reales (Figura 7).

La herramienta gráfica desarrollada permitió analizar la respuesta de 12 cadenas de procesado diferentes ante los datos reales disponibles. Entre las conclusiones obtenidas destaca la confirmación experimental de que la alta resolución mejora las prestaciones del sistema radar incluso para resoluciones tales que los blancos de interés resulten divididos en varias celdas de distancia.

Conclusiones

El proyecto COINCIDENTE "Adaptación de un radar de vigilancia y alta resolución para aplicaciones de defensa (ART)" destaca por haber empleado un enfoque completamente experimental para garantizar que el sistema ART Midrange cumple con los requisitos operativos y de fiabilidad necesarios para su utilización en defensa.

La superación con éxito de una campaña de pruebas de campo, de más de veinte meses de duración y basada en un amplio y cuidadosamente seleccionado conjunto de ensayos con blancos de especial interés, supone un claro aval para el proyecto. Además, el análisis de los datos disponibles ha permitido demostrar que las prestaciones de algoritmos diseñados para la detección de blancos distribuidos en varias celdas de distancia, denominados habitualmente blancos extensos, son mejores que las proporcionadas por un sistema de baja resolución en el que el blanco esté confinado en una única celda.

La capacidad de proporcionar una alerta temprana al detectar y realizar el seguimiento automático de posibles amenazas a distancias significativas (una persona caminando a más de 4.500 metros), junto con su muy reducido tiempo e infraestructura de despliegue (Figura 3), lo convierten en un elemento clave para garantizar la seguridad en aplicaciones más allá de la vigilancia de fronteras o de infraestructuras críticas, tales como la protección de despliegues temporales o de bases operativas avanzadas de nuestras Fuerzas Armadas.

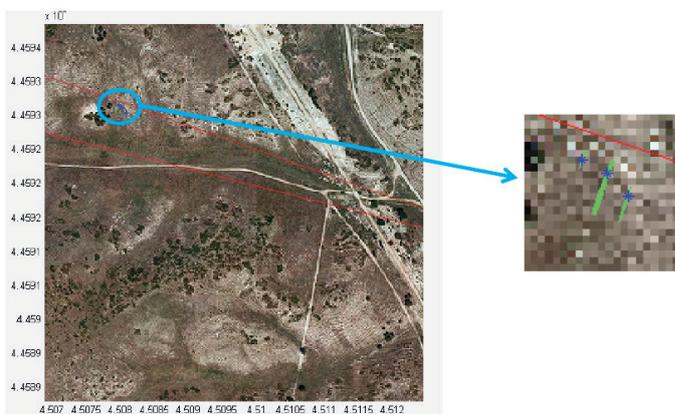


Fig. 7. Representación gráfica de la salida (detecciones) de una de las cadenas de procesado analizadas. Datos radar reales correspondientes a tres personas caminando en una zona de clutter intenso. (Fuente: Advanced Radar Technologies S.A)