GANANCIA DE DETECTABILIDAD EN RADARES DE ALTA RESOLUCION

A. Broquetas, J.C. André, A. Elías, A. Farina (*)
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cataluña
Apdo. 30002, 08080 Barcelona
(*) Alenia S.p.A, Via Tiburtina km 12.400, 00131 Roma, Italia

ABSTRACT

The paper presents an evaluation of a high resolution technique intended to enhance the radar detectability of targets. The method is based on the coherent integration of the individually resolved target scatterers. The measured radar signatures of two scaled-down aircrafts are used to validate the proposed approach. Also the possibility of using this technique to identify the target has been addressed.

INTRODUCCION

En los radares covencionales de vigilancia aérea se trabaja con anchos de banda pequeños que conllevan una baja resolución en distancia de los blancos. Las señales de alta resolución de mayor ancho de banda se emplean en aquellos casos en que interesa identificar el blanco o incluso formar una imagen de éste [1]. Recientemente se ha propuesto la utilización de sistemas de alta resolución [2,3] para mejorar la detectabilidad de los blancos en general y en particular los concebidos para baja visibilidad radar o 'stealth'.

En un radar de baja resolución el eco radar está formado por la superposición de las respuestas de las diferentes partes del avión según los mecanismos de dispersión involucrados. Dichas contribuciones poseen fases incoherentes lo que resulta en ocasiones en una baja sección recta (RCS) y por lo tanto en un eco de baja energía. Un radar con suficiente resolución en distancia es capaz de individualizar las diferentes respuestas de la estructura del avión. De esta forma en principio es posible optimizar la integración de la respuesta en el propio sistema radar con el objetivo de maximizar la relación señal a ruido del eco recibido que se traduce directamente en una mejora de detectabilidad del blanco.

Esta comunicación presenta una evaluación experimental de estas técnicas trabajando con medidas radar de modelos de avión a escala reducida, realizadas en un Campo Compacto [4].

RECEPTOR OPTIMO

Llamaremos $s(t)$ a la señal de emisión del radar expresada en banda base en sus componentes de fase y cuadratura. Podemos caracterizar el blanco a una frecuencia, polarización y ángulo de iluminación determinados por su firma o respuesta impulsional $h(t)$ que se obtendría al iluminar con un pulso rectangular suficientemente estrecho para resolver el detalle de su estructura, a la banda de frecuencias de interés. En condiciones de

ruido térmico, un receptor dotado de un filtro adaptado a la señal de eco, maximiza a su salida la relación de señal a ruido de pico y la probabilidad de detectar el blanco. En un radar de baja resolución (LRR), la respuesta frecuencial del blanco $H(f) = \mathcal{F}\{ h(t) \}$ es prácticamente plana dado el reducido ancho de banda de la señal de iluminación $S(f) = \mathcal{F}\{ s(t) \}$, por lo que la señal de eco que llamaremos $s_r(t)$ es prácticamente una réplica atenuada y retardada de la señal de emitida $s_r(t) \approx s(t)$. Esta aproximación no es válida con radares de alta resolución (HRR) y el eco debe evaluarse como convolución

$$s_r(t) = s(t) * h(t)$$

En general el filtro adaptado al eco posee una repuesta impulsional dada por

$$h_m(t) = s_r^*(-t) = s^*(-t) * h^*(-t)$$

en un LRR esta respuesta no depende del blanco y se obtiene directamente de la señal de iluminación. Sin embargo en un HRR el filtro adaptado dependerá del blanco según $h(t)$.

EMISOR OPTIMO

Si tenemos en cuenta que la respuesta frecuencial del blanco presenta variaciones dentro del ancho de banda propio de un HRR, la energía del eco dispersado dependerá de las características de las señal de iluminación. Por ejemplo intuitivamente convendrá concentrar la densidad espectral emitida en las regiones de máxima respuesta de $H(f) = \mathcal{F}\{ h(t) \}$. La elección de una señal de iluminación que maximice (S/N) a la salida del receptor no es obvia [2], en este trabajo se ha ensayado una señal adaptada a la respuesta impulsional del blanco $s(t) = h^*(-t)$ [3], que presenta la particularidad de proporcionar un eco con máxima potencia de pico y que preserva el ancho de banda utilizado en la obtención de $h(t)$.

La señal a la salida del filtro adaptado del receptor $y(t)$ será en este caso:

$$y(t) = A \cdot \mathbb{R}\{\mathbb{R}\{h(t)\}\}$$

donde A es una constante que dependerá de las características del radar y distancia del blanco y $\mathbb{R}$ es un operador que realiza la autocorrelación.

RESULTADOS

La técnica de emisión/recepción adaptadas al blanco se ha verificado mediante simulaciones numéricas utilizando firmas editadas de forma que reproduzcan los centros de dispersión usuales en aviones: morro, alas y cola. Se han calculado las relaciones (S/N) a la salida del receptor para los siguientes pulsos de emisión: pulso rectangular de 1 μs de duración (LRR), y dos señales de lata resolución: pulso chirp convencional (HRR) de duración 1 μs con un ancho de banda de 100 MHz (resolución en distancia 1.5 m) y pulso adaptado a la firma del blanco (MHRR) con un ancho de banda similar al del caso HRR. La ganancia de detectabilidad no es más que la mejora de relación (S/N) de pico a la salida del receptor en iguales condiciones de energía del pulso emitido. Para ello todas las señales de

emisión se han normalizado a energía unidad. Asímismo para garantizar que se trabaja en las mismas condiciones de ruido, se han normalizado las ganancias de los diferentes filtros utilizados en el receptor de forma que la potencia de ruido térmico a su salida sea la misma.

Las ganancias obtenidas en simulación han sido del orden de 5 o 6 dB al utilizar MHRR en lugar de HRR. La mejora entre MHRR y LRR ha sido baja debido a que las firmas de partida editadas poseían una fase muy correlada y la integración de la firma realizada por un LRR era muy coherente.

Para realizar una evaluación más realista se ha trabajado con firmas experimentales correspondientes a dos modelos de avión de unos 40 cm de longitud: un avión A de caza convencional y un avión B de transporte bimotor a hélice. Se han realizado medidas en Banda K (18-26 GHz) en cámara anecoica trabajando con incidencia frontal y polarización horizontal. Las figuras 1 y 2 muestran las firmas temporales, normalizadas a la unidad, de ambos aviones que corresponden básicamente a una transformada inversa de Fourier de las medidas. Se ha tenido en cuenta el factor de escala (1:50) de los modelos para obtener medidas similares a las de los aviones reales. Las figuras 3 y 4 muestran las formas de onda obtenidas a la salida del sistema adaptado MHRR y las ganancias respecto a un sistema LRR. Se ha obtenido una mejora muy notable (12.5 dB) con el avión de caza, situándose ésta en 2.7 dB para el otro avión. Esta disparidad se explica por la mayor complejidad de la respuesta del avión A que muestra una respuesta con dos picos de energía elevada (toma de aire de motores y alas) con fases muy distintas. El avión B presenta en cambio una firma más agrupada en torno a un único pico importante que corresponde al borde de ataque de las alas y motores. Las mejoras entre un sistema MHRR y un radar de alta resolución convencional HRR han sido de 5.7 dB para el avión A y de 1.9 dB para el avión B.

Un sistema MHRR se basa en el conocimiento 'a priori' de las firmas de los posibles blancos a detectar. Si existen pérdidas importantes en la respuesta obtenida cuando la hipótesis empleada en la señal de interrogación y filtro no coincide con el blanco real, el MHRR puede utilizarse además para clasificar el blanco observado. Para estudiar esta posibilidad se han determinado las detectabilidades cruzadas de los dos aviones considerados. las figura 5 muestra la forma de onda obtenida a la salida del receptor de un MHRR adaptado al avión A cuando en realidad se está observando el avión B. La pérdida de detectabilidad respecto al caso de observar el avión A es de 4 dB. La figura 6 muestra el resultado recíproco, se está observando el avión A con el MHRR adaptado al B, la pérdida en este caso es de 9.5 dB. Ambas pérdidas son distintas puesto que el avión B presenta una sección recta (RCS) sensiblemente mayor al A y en la obtención de resultados se han utilizado las firmas sin normalizar a diferencia de las presentadas en las figs. 1,2.

CONCLUSIONES y LINEAS FUTURAS

Los radares de alta resolución además de permitir resolver la estructura de un blanco permiten además una mejora sustancial en su detección. Para ello es necesario un cierto conocimiento 'a priori' de su firma o respuesta impulsional. Los resultados experimentales han puesto de manifiesto mejoras sustanciales respecto a los radares de baja resolución. Se ha constatado que la mejora depende fuertemente de las características de la firma aumentando la ganancia con su complejidad e incoherencia de fase.

Se ha estudiado también la capacidad de discriminar blancos utilizando un MHRR dotado de una biblioteca de firmas, los resultados muestran una sensibilidad importante del

MHRR al tipo de blanco, por lo que esta opción parece prometedora.

La filosofía del método es realizar una superposición en óptimas condiciones de coherencia de los diferentes centros de dispersión del blanco. Con un MHRR esto puede realizarse sólo en la dirección longitudinal, la técnica podría extenderse a dos dimensiones utilizando un radar de imagen ISAR lo que en principio debería mejorar aún más la detección.

No se ha determinado la sensibilidad del método al ángulo de iluminación del blanco, este aspecto así como la extensión de este trabajo utilizando una caracterización estadística de los blancos será abordado en estudios futuros.

REFERENCIAS

[1] D.R.Wehner, "High resolution radar", Artech House, 1987.

[2] A.Farina, F.A. Studer, "Detection with high resolution radar: great promise, big challenge", Microwave Journal, May 1991, pp.263-273.

[3] A.Farina, F.A.Studer, "High resolution radar for enhanced target detection", to be presented in the IEE Radar Conference, Brighton (UK) 1992.

[4] A.Broquetas, X.Fábregas, J.Xarrié, L.Jofre, A.Cardama, "A Compact system for RCS measurement and imaging up to 40 GHz", Proceedings de Journées Internationales de Nice sur les Antennes (JINA-90)s), pp.596-599, Nice (France), Nov. 1990.

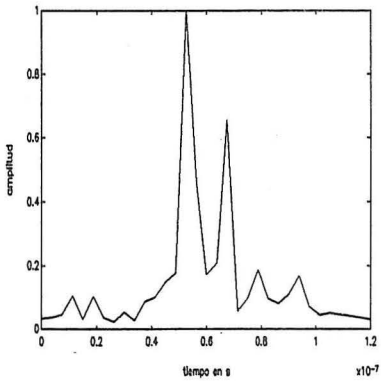

Fig.1 Firma experimental normalizada de un avión de caza (A), incidencia frontal, polarización HH.

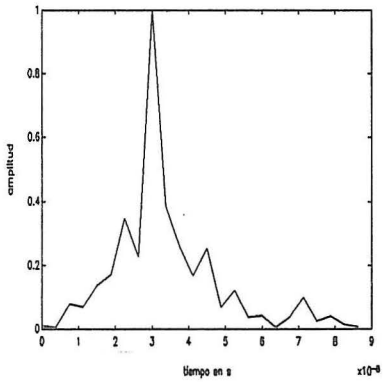

Fig.2 Firma experimental normalizada de un avión bimotor de transporte (B), incidencia frontal, polarización HH.

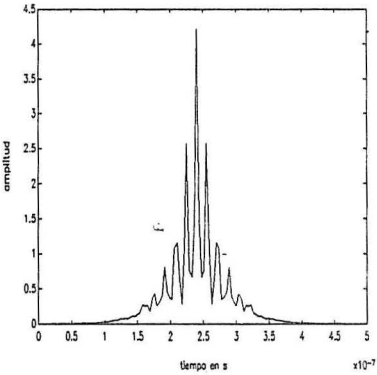

Fig. 3 Señal a la salida de un MHRR adaptado a la firma del avión A. Ganancia: 12.5 dB respecto a LRR.

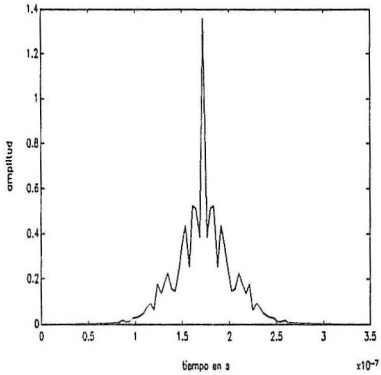

Fig.4 Señal a la salida de un MHRR adptado a la firma del avión B. Ganancia: 2.7 dB respecto a un LRR.

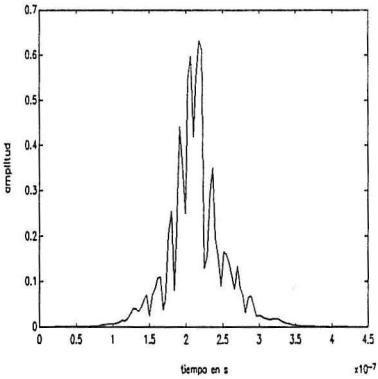

Fig.5 Señal a la salida de un MHRR adaptado al avión A cuando se observa B. Gan.: - 4 dB respecto a observar A.

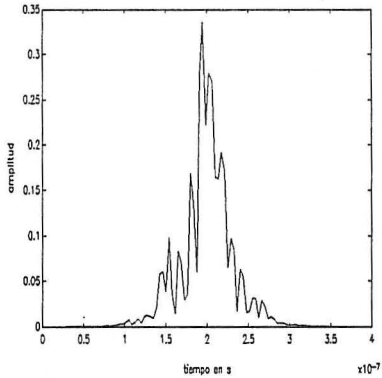

Fig. 6 Señal a la salida de un MHRR adaptado a B cuando se observa a A. Gan.: -9.5 dB respecto a observar B.