

Simulación de un Sistema Radar MTI no Coherente

F. Quesada Pereira, J. L. Gómez Tornero, D. Cañete Rebenaque, J. Pascual García, A. Alvarez Melcón
Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Universidad Politécnica de Cartagena
e-mail: fernando.quesada@upct.es

Abstract—En este artículo presentamos un algoritmo de cálculo simple que sirve para simular el funcionamiento de un Radar para Detección de Blancos Móviles (MTI), basado en detección no coherente. El sistema se basa en el almacenamiento en memoria del video crudo recibido en varios barridos en la antena. Posteriormente se aplica un cancelador a la señal almacenada entre los diferentes barridos. El procedimiento desarrollado sirve para generar de forma artificial el clutter fijo de montañas, así como para evaluar la capacidad de detección de blancos móviles del sistema propuesto.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas Radares para la indicación de blancos móviles (MTI) se conocen ya desde algún tiempo, y son muy utilizados en un gran rango de aplicaciones, que van desde control de tráfico aéreo hasta la cobertura de necesidades de vigilancia aérea en aplicaciones militares.

Dentro de los sistemas MTI, los más populares y precisos están basados en detectores coherentes que extraen los canales en fase (I) y cuadratura (Q), con el fin de evitar las fases ciegas que pueden existir en este tipo de sistemas [1]. Sin embargo estos sistemas son en general complejos y caros, y su empleo se reduce para aplicaciones donde se requiere mucha precisión y seguridad en los blancos extraídos por el radar.

Para aplicaciones sencillas donde un parámetro fundamental sea el económico, así como la reducción en peso y volumen del equipo completo, los sistemas MTI empleados hasta ahora se basan en detectores no coherentes. Estos sistemas simplifican mucho la parte detectora, ya que con un simple detector de envolvente se pueden extraer las variaciones en amplitud de la señal recibida por el radar. Por su parte, la indicación de blancos móviles en estos radares se fundamenta en la extracción de las variaciones de amplitud debidas al desplazamiento Doppler introducido por un blanco en movimiento. Sin embargo, es conocido que para que un desplazamiento Doppler induzca variaciones en la amplitud de la señal recibida, es necesaria la intervención o presencia de un fuerte clutter mezclado con la propia señal reflejada por el blanco [2], [3], [4]. En ambientes donde la señal que devuelve el clutter sea débil, el sistema no funciona correctamente, y la indicación de blancos móviles puede fallar fácilmente. Para evitar esta dependencia con el nivel de clutter, algunos sistemas se complican almacenando una señal de clutter artificial. Cuando el radar opera en condiciones de clutter débil, es el propio radar el que utilizar el clutter artificial almacenado para simular el nivel de clutter real que se precisa para un correcto funcionamiento del indicador de blancos móviles.

El sistema que se propone ahora está basado en una concepción que trata de eliminar la dependencia del nivel de clutter para el correcto funcionamiento del indicador de blancos móviles con detector no coherente. Es más, el sistema funciona perfectamente aunque no exista clutter, e incluso la calidad de la detección de blancos móviles se facilita con la ausencia total de clutter. Esto hace que el sistema propuesto combine la robustez en la detección de blancos móviles con la simplicidad de un radar basado en detección no coherente (ahora la fiabilidad de detección ya no depende de algo tan aleatorio como es el nivel de clutter). La única desventaja para la implementación del nuevo sistema propuesto es que requiere mucha más memoria de almacenamiento que un radar convencional (un mínimo de dos veces más de memoria es requerida). Sin embargo, actualmente la tecnología en la fabricación de memoria digital ha avanzado mucho, de manera que ahora los circuitos de memoria son muy poco voluminosos, con una capacidad de almacenamiento muy grande, e incluso con unos precios muy bajos. Por todo ello, dada la tecnología existente ahora mismo, el mayor requerimiento de memoria no parece un obstáculo serio para considerar al nuevo sistema atractivo e interesante para muchas aplicaciones que cuenten con bajo presupuesto o que requieran equipos portátiles.

Finalmente, existe un segundo inconveniente, y es que el sistema propuesto presenta un tiempo de adquisición de datos mayor que para un radar MTI convencional normal. En concreto, una vez puesto en funcionamiento el radar, hay que esperar hasta un mínimo de dos barridos en azimut completos de la antena para empezar a recibir información útil de los blancos. Este efecto se puede resumir, en que el transitorio de adquisición de datos es más grande para el sistema que ahora se propone, que para un radar convencional. En este artículo presentamos unos algoritmos simples que permiten evaluar el comportamiento de este sistema Radar.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La idea básica del sistema MTI que se propone, consiste en almacenar en una memoria la señal digitalizada recibida durante al menos dos barridos completos en azimut de la antena. Toda la señal correspondiente a los dos barridos de la antena puede almacenarse en dos memorias rango-azimut de las que disponen los radares clásicos (ver Fig. 1). Entre un barrido en azimut de la antena y el siguiente, el eco enviado por un objeto que se mueve ha tenido suficiente tiempo como para que cambie considerablemente (incluso el blanco aparecerá en una celda de rango diferente o en una

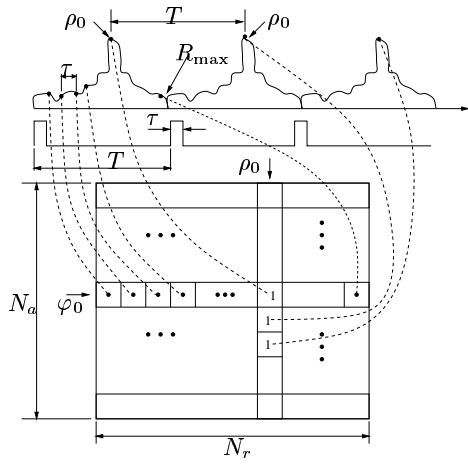


Fig. 1. Estructura de la memoria en un radar convencional.

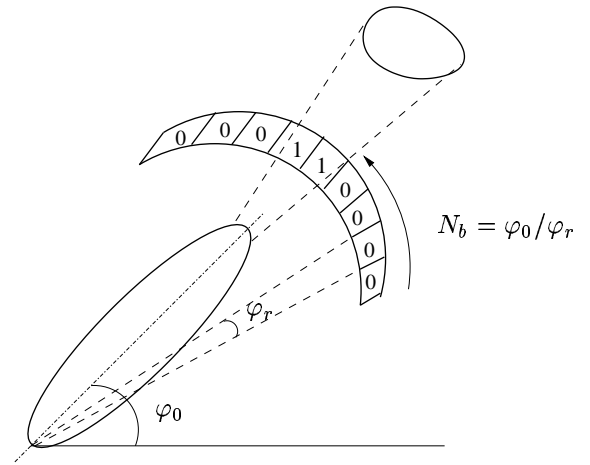


Fig. 2. Columna de distancia dentro de la matrix de la Fig. 1.

celda de azimut diferente). Sin embargo los ecos enviados por las montañas, edificios, terreno, o en general cualquier forma de clutter fijo, va a variar muy poco entre barrido y barrido de la antena. Una vez que tenemos varias memorias rango-azimut rellenas con la información de los diferentes barridos, podemos aplicar un cancelador entre ellas. Al aplicar el cancelador, los blancos que no han cambiado entre un barrido y el siguiente corresponden a clutter fijo y serán eliminados, mientras que los blancos que han cambiado deben corresponder a objetos o vehículos en movimiento.

En cuanto al cancelador de ecos que puede utilizarse, se proponen modelos sencillos de órdenes bajos con el fin de no aumentar en exceso el transitorio del radar. Efectivamente, dada la concepción del radar planteado, hay que esperar a que las memorias estén rellenas para poder aplicar el procesamiento de señal entre ellas. Si se elige un cancelador de orden 5, deberemos esperar hasta cinco barridos completos en azimut de la antena para que podamos obtener información útil de los blancos móviles. En la práctica, un cancelador de orden 2 o 3 se muestra suficiente para eliminar las pequeñas variaciones sufridas por el clutter entre barrido y barrido, a la vez que reduce el transitorio del radar, por lo que se considera el más adecuado al sistema propuesto.

III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Para simular el comportamiento del sistema radar MTI descrito, vamos a considerar un radar de exploración con un ancho de haz del diagrama de radiación en azimut de $\varphi_{3\text{dB}} = 10^\circ$, velocidad angular de exploración de la antena $\Omega = 1\text{rad/seg}$, y frecuencia de repetición de pulsos $PRF = 0.3\text{KHz}$.

Con el fin de ilustrar el funcionamiento del radar MTI, vamos a generar la señal que llegaría en una columna de distancia de la matriz de la Fig. 1, y en tres barridos consecutivos de la antena en azimut. La situación se representa esquemáticamente en la Fig. 2, para un blanco a una distancia ρ_0 que se encuentra en una dirección φ_0 con respecto del eje del radar. La señal recibida en esta columna de distancia será almacenada para tres barridos consecutivos en azimut de la antena.

En primer lugar vamos a generar un clutter poco variable y artificial devuelto por las montañas que existen en el entorno de operación del radar. Para ello definimos unos pocos puntos espaciales dentro del rango máximo no ambiguo del radar, y los generamos de forma aleatoria aplicando una distribución uniforme entre cero y uno. A continuación generamos la señal del clutter fijo utilizando una interpolación cúbica entre los puntos generados. El resultado es una señal que simula el clutter devuelto por las montañas donde opera el radar, tal y como se muestra en la Fig. 3.

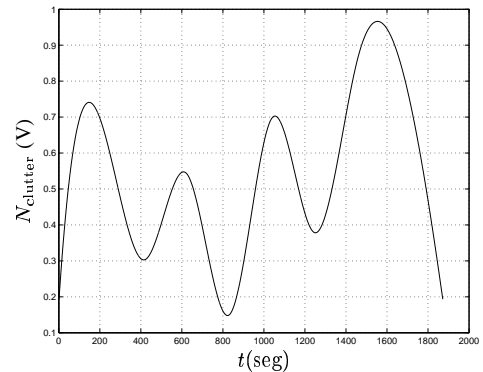


Fig. 3. Señal generada para simular el clutter fijo de montañas.

El siguiente paso es generar la señal que devuelve un blanco móvil, para posteriormente sumar la señal del blanco con la del clutter. Vamos a suponer ahora que el nivel de la señal que devuelve el blanco es mucho más débil que la señal del clutter, siendo tan solo del 5% de ésta. En un primer momento vamos a suponer que el blanco se encuentra en la dirección azimutal $\varphi = 60^\circ$ con respecto del eje del blanco. En estas condiciones la señal blanco más clutter puede apreciarse en la Fig. 4. Como puede verse claramente la detección del blanco en presencia de las montañas se hace prácticamente imposible.

El siguiente paso para simular el comportamiento del nuevo sistema es almacenar la información correspondiente a esta celda de distancia en tres barridos de azimut diferentes de la

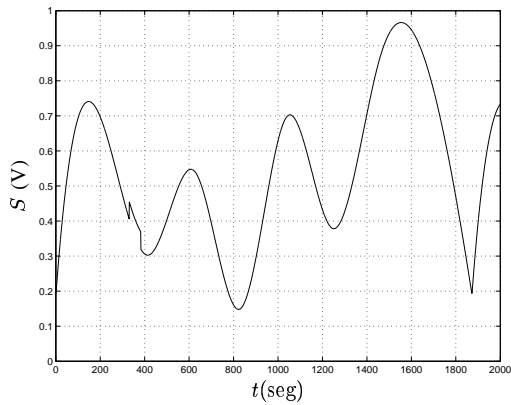


Fig. 4. Señal del blanco mas el clutter de montañas.

antena. Para esta simulación vamos a suponer que el clutter es completamente estacionario (fijo), entre un barrido y el siguiente. Por contra el blanco se ha movido, y esto lo vamos a simular suponiendo que ha cambiado su dirección de llegada con respecto del eje del radar entre un barrido y el siguiente. Es decir, como el blanco se mueve entre un barrido y el siguiente de la antenna, la señal reflejada por el blanco sí cambia entre un barrido y el siguiente. Este cambio podemos simularlo suponiendo que la dirección en azimut en la que se ve el blanco cambia entre barrido y barrido. Si el blanco en el primer barrido está en la dirección 60° , entonces podemos suponer que en los sucesivos barridos el blanco estará en otras direcciones diferentes. Estas direcciones diferentes las vamos a calcular sumando a la dirección de partida (60°), un número aleatorio distribuido uniformemente entre cero y 0.1 radianes. Usando este procedimiento, la señal de clutter mas la señal del blanco recibida en tres barridos consecutivos en azimut de la antenna se presenta en la Fig. 5.

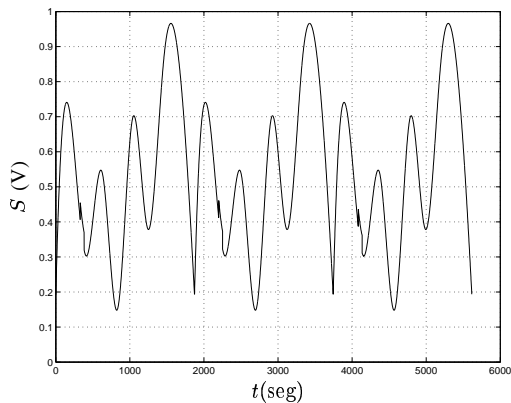


Fig. 5. Señal del blanco mas el clutter en tres barridos consecutivos de la antenna.

Finalmente vamos a aplicar un cancelador de ecos de orden tres a la señal de la Fig. 5. Para ello hay que reorganizar los datos recibidos en forma de una matriz de tres filas correspondientes a los tres barridos, siendo la longitud de cada fila la correspondiente al rango máximo no ambiguo del radar. La señal resultante que se obtiene a la salida del cancelador

puede verse en la Fig. 6.

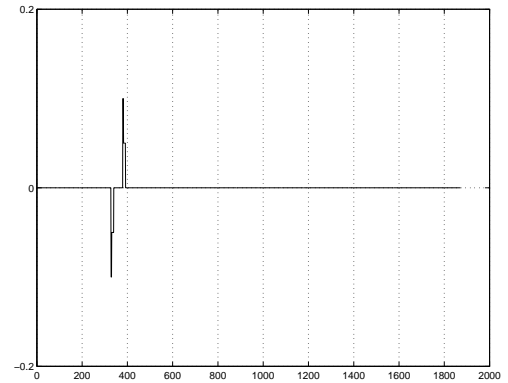


Fig. 6. Señal obtenida a la salida del cancelador de orden tres.

Como se puede apreciar en los resultados obtenidos, en este caso el clutter ha sido eliminado perfectamente, ya que el clutter se ha supuesto totalmente fijo. Por otro lado se observa que ahora si es posible la detección del blanco móvil.

En una situación de operación real, el funcionamiento del radar continuaría después del periodo primero de adquisición de datos, realizando operaciones con la señal obtenida en los últimos tres barridos de azimut de la antenna. En la Fig. 7 se muestra un ejemplo de operación continuada del radar en 10 barridos de la antenna. La figura también se muestra

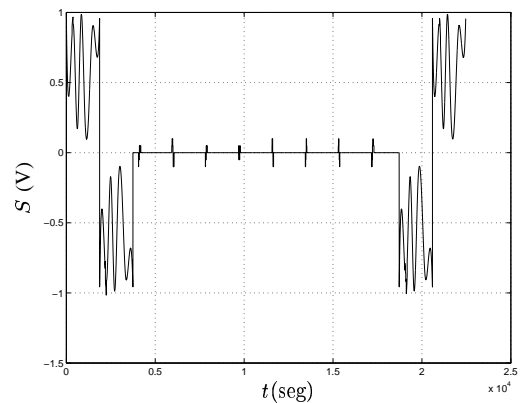


Fig. 7. Ejemplo de operación continua del radar en 10 barridos de la antenna, mostrando el transitorio de adquisición de datos.

el transitorio de adquisición de datos donde la información procesada no es útil para la extracción del blanco móvil.

Con el fin de comprobar el impacto que tiene el transitorio de adquisición de datos en la operación del radar, presentamos en la Fig. 8 los resultados obtenidos cuando se utiliza un cancelador de orden 5, y con una operación durante 10 barridos en azimut de la antenna. En este caso puede apreciarse cómo el tiempo transitorio aumenta con respecto al caso anterior, pero una vez pasado dicho periodo transitorio la detección del blanco móvil se hace perfecta.

El siguiente paso para comprobar el funcionamiento del nuevo sistema propuesto, es estudiar su comportamiento cuando el clutter experimenta pequeñas variaciones entre un

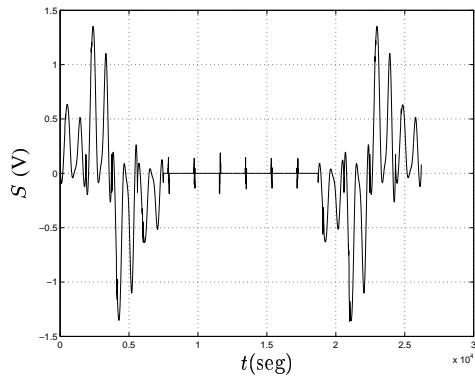


Fig. 8. Operación continuada del radar durante 10 barridos de la antena cuando se utiliza un cancelador de orden 5.

barrido en azimut de la antena y el siguiente. Para realizar esta simulación hemos seguido una estrategia similar al anterior estudio. En concreto generamos en primer lugar el clutter durante el primer barrido de la antena, usando la distribución uniforme para obtener los puntos base, y posterior interpolación cúbica. Para el siguiente barrido, tomamos los mismos puntos base que para el barrido anterior, pero los perturbamos por un ruido gaussiano de media cero y varianza 0.01. Finalmente, utilizamos la interpolación cúbica sobre los nuevos puntos base perturbados. De esta forma podemos simular eficientemente las variaciones lentas del clutter entre barrido y barrido de la antena. La Fig. 9 presenta los resultados obtenidos cuando la varianza en el clutter fijo es de 0.01, y se aplica el cancelador de orden 3.

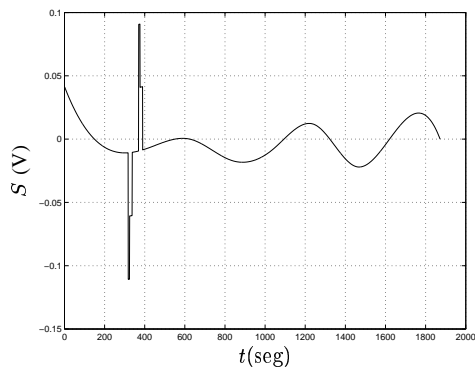


Fig. 9. Comportamiento del sistema para clutter variable con varianza 0.01.

Si siguiendo con el mismo razonamiento, presentamos en la Fig. 10 la salida del cancelador cuando la varianza del clutter es de 0.02. Como podemos observar todavía es posible detectar el blanco. Finalmente, en la Fig. 11 presentamos la señal de salida del cancelador cuando la varianza del clutter sube a 0.03. En este caso podemos comprobar que la detección del blanco móvil es posible, aunque ya pueden existir falsas alarmas durante su operación. Como se puede apreciar, el sistema permite variaciones lentas de clutter de tipo gaussiano entre los diferentes barridos de la antena, con niveles de varianzas menores de 0.03 (para un nivel normalizado de clutter de un voltio). Un estudio similar se ha efectuado con

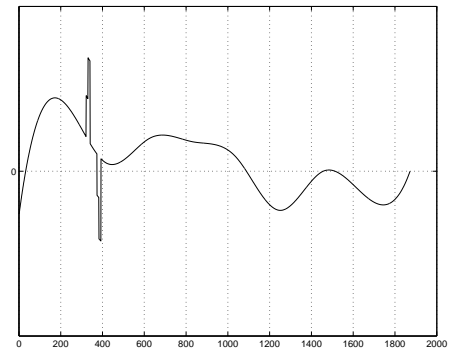


Fig. 10. Comportamiento del sistema para clutter variable con varianza 0.02.

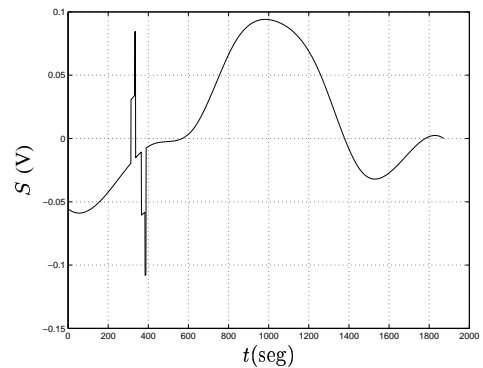


Fig. 11. Comportamiento del sistema para clutter variable con varianza 0.03.

un cancelador de orden 5, no obteniendo mejoras apreciables.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido desarrollado gracias a los proyectos nacionales ESP2001-4546-PE, TIC2000-0591-C03-03 y proyecto Séneca 2003.

REFERENCES

- [1] M. I. Skolnik, "Introduction to radar systems," *McGraw-Hill*, 2001.
- [2] D. K. Barton, and S. A. Leonov, "Radar technology encyclopedia," Artech House, 1997.
- [3] B. R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB," *Chapman and Hall/CRC*, 2000.
- [4] D. K. Barton, "Modern Radar System Analysis," *Artech House*, 2000.