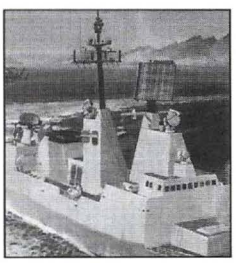
EL RADAR ISAR
(Radar de Apertura Sintética Inversa).

Ian Kümmerlin Gottschald *



Prefacio.

La siguiente síntesis corresponde a un resumen adaptado del trabajo de investigación presentado por el autor como tesis de grado para optar al título de Ingeniero Naval Electrónico de la Academia Politécnica Naval en diciembre de 1996, titulado "Estudio de Factibilidad de Transformar el Radar VARAN en un Radar de Apertura Sintética Inversa".

El trabajo realizado es un estudio técnico, orientado a determinar la factibilidad de transformar el radar Varan en un radar de apertura sintética inversa.

Las conclusiones del estudio fueron obtenidas a partir del análisis teórico de las características de los radares de alta resolución, teoría del procesamiento de señales de radar, la técnica de apertura sintética y las características del radar Varan. En la comprobación y evaluación de los procesos involucrados se empleó una simulación a través de la herramienta MATLAB®.

Las conclusiones estaban orientadas a servir como un elemento de apoyo en una evaluación de las alternativas de solución del problema de clasificación de blancos navales desde aeronaves.

Por ser las características del radar estudiado, materia de carácter Reservado, se ha adaptado el enfoque del estudio original con el objeto de producir un artículo de tipo informativo, que pretende intentar explicar al lector la teoría, características y bondades de los radares ISAR.

Introducción.

Las aeronaves de exploración aeromarítima tienen como funciones principales la detección, traqueo y clasificación o identificación de unidades de superficie y submarinas.

La clasificación e identificación de contactos de superficie que navegan en silencio de emisiones se realiza normalmente en forma visual. La aeronave debe acercarse a distancias que generalmente son menores al alcance efectivo del armamento AA de la unidad a observar, quedando muy vulnerables a acciones defensivas.

Otra forma de clasificación e identificación es a través de dispositivos optrónicos o infrarrojos (Miras optrónicas, FLIR, etc.). Sin embargo, estos métodos dependen fuertemente de las condiciones atmosféricas, y su rendimiento se ve muy degradado por la presencia de nubes o neblina.

La alternativa que permite una clasificación a una distancia mayor, y que no se ve tan afectada por las condiciones del medio, es el uso de *radares de alta resolución* que generan imágenes de los blancos. Estos radares se conocen como radares de apertura sintética SAR (Synthetic Aperture Radar) y apertura sintética inversa ISAR (Inverse Synthetic Aperture Radar).

* Teniente 1°. Ingeniero Naval Electrónico.

El radar VARAN montado en nuestras aeronaves es un radar que cumple con algunos de los requisitos básicos de un radar de alta resolución. El estudio realizado fue motivado por la necesidad de analizar la factibilidad de transformar este radar en un radar de apertura sintética inversa.

Antecedentes.

El desarrollo de radares destinados a la creación de imágenes se remonta hasta comienzos de los años 50, con la aparición en 1953 de una primera versión de un radar de apertura sintética. Esta primera versión de un radar SAR fue desarrollada por un grupo de investigadores de la Universidad de Illinois. El radar estaba montado en una aeronave y creaba imágenes o mapas de la superficie que iluminaba, analizando el contenido de frecuencias de las señales recibidas.

Con el desarrollo en la tecnología de sistemas de radar y en lo métodos de procesamiento de señales, se ha logrado un gran avance en este tipo de radares, tanto en el ámbito civil como militar.

En la actualidad se emplean radares de apertura sintética en aplicaciones hidrográficas, geográficas, de monitoreo y control de contaminación y para fines operacionales. Estos sistemas están disponibles comercialmente, aunque a un elevado costo, y ya han sido incorporados a las aeronaves militares y civiles de una serie de países a nivel mundial.

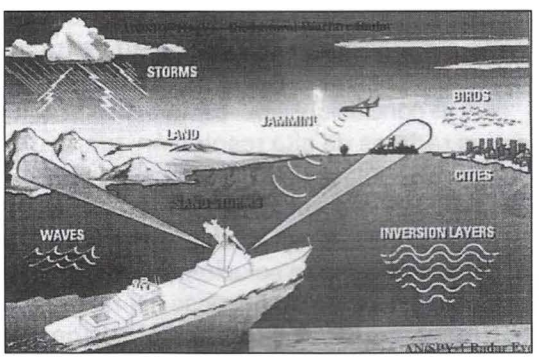
Radares de Alta Resolución.

La resolución en un sistema de radar se relaciona con la capacidad de distinguir las características del blanco iluminado. Estas características están definidas por la ubicación, comportamiento y forma física. En cualquiera de estos casos, se ha demostrado que existe una relación directa entre el ancho de banda de las señales transmitidas y procesadas por el radar y la cantidad de información que poseen los ecos que ellas producen. El concepto de resolución también puede ser extendido a la capacidad que tiene un radar para determinar velocidades, o bien distinguir corrimientos (o frecuencias) Doppler.

Un radar de compresión de pulsos, como el radar Varan, es un radar de alta resolución en virtud de que la señal que transmite tiene un gran ancho de banda.

Empleo de señales de radar de banda ancha.

Una señal de radar de banda ancha tiene un gran contenido de frecuencias. La respuesta del blanco al ser iluminado por una señal de este tipo será distinta para cada una de estas frecuencias. Por lo tanto, también estará disponible en los ecos de radar una mayor cantidad de información del blanco. A las características de la señal recibida se le denomina *reflectividad de radar.*



La señal recibida se denomina reflectividad de radar.

Un radar pulsado de banda angosta, por ejemplo un radar que transmite pulsos largos, generalmente puede obtener datos de reflectividad en *una sola dimensión*: reflectividad versus ángulo de observación (aspecto que presenta el blanco a la señal del radar). Es decir, puede solamente medir la cantidad de energía reflejada por el blanco en ese ángulo de observación. El radar no es capaz de resolver o discriminar las características del blanco a partir de la información disponible.

Un radar que emplea un mayor ancho de banda, por ejemplo transmitiendo pulsos de corta duración y alta resolución, obtiene datos de reflectividad en *dos dimen-*

siones. Para cada sector del blanco que el radar puede resolver (distinguir), se obtiene distintos datos de reflectividad. Por lo tanto, se puede diferenciar cada sector por las características de la señal recibida. Si para cada uno de estos sectores se varía además el ángulo de observación, entonces se tiene otro dato adicional.

El ángulo de observación, en general, no es un parámetro que se conoce. Sin embargo, el hecho de que este ángulo varíe permite obtener esta mayor información, ya sea moviendo el radar que ilumina con respecto a la posición del blanco, o a través del movimiento propio del blanco.

Al observar blancos tales como buques o aeronaves bajo las condiciones mencionadas anteriormente, es posible obtener información de reflectividad relacionada con sus características físicas. Los datos de amplitud y fase de los ecos, y sus respectivas frecuencias y ángulos de observación, pueden ser convertidos en estimaciones de la reflectividad del blanco versus una o más de las dimensiones espaciales del blanco (eslora, altura). Estos datos, llamados "*imagen de radar del blanco*", entregan información acerca de la identidad o clasificación del blanco iluminado.

Es posible también hacer una evaluación *cuantitativa* de los beneficios que tiene el uso de un mayor ancho de banda, relacionando el contenido de datos de reflectividad con el ancho de banda y tiempo de recolección de información (sin considerar si tiene o no un aporte adicional de información del blanco). Por ejemplo, si se transmite un pulso de ancho de banda β, deberá ser muestreado a una frecuencia de 2β (de acuerdo al criterio de muestreo de Nyquist). Considerando un período de muestreo δt, dado por el tiempo en que se ilumina el blanco, entonces se tendrán $2\beta\delta t$ muestras independientes de reflectividad. Por lo tanto, se aprecia que la cantidad de información disponible, para un período (δt) dado, será directamente proporcional al ancho de banda β.

Formas de determinar resolución.

a. Resolución en distancia.

La resolución en distancia de un radar se puede definir como la habilidad que posee para distinguir o resolver blancos separados en distancia. Resolución en el dominio de distancia corresponde a resolución en el dominio del tiempo. Un radar que es capaz de resolver pulsos de eco separados en el tiempo por un intervalo Δt, puede resolver blancos separados en una distancia de $c\Delta t/2$ (c = velocidad de propagación de los pulsos).

En un radar que emplea señales moduladas en frecuencia (FM), como el caso de un radar de compresión de pulsos, la resolución en distancia está dada por la capacidad de distinguir dos ecos distintos a la salida del filtro adaptado de recepción.

Tanto para el radar de frecuencia fija como para el radar FM, el intervalo de tiempo entre pulsos que puede ser resuelto está dado por:

$$\Delta t = 1/\beta$$

donde β es el ancho de banda del pulso. Es importante notar que la capacidad de distinguir no está relacionada con el tiempo (ancho de pulso), sino con el *ancho de banda*.

Por lo tanto, en un sistema correctamente adaptado, la resolución depende del ancho de banda de la señal transmitida y puede concluirse que se obtiene a partir de:

$$\Delta r_s = \frac{c}{2 \cdot \beta}$$

Esta forma de determinar la resolución permite evaluar la condición de operación de un sistema cualquiera, sin la necesidad de conocer en forma exacta la forma de onda empleada.

b.- Resolución de Doppler.

La resolución de un radar puede referirse también a la capacidad que éste tiene para resolver velocidades radiales de los blancos. La frecuencia o corrimiento Doppler f_D que

produce un blanco puntual con velocidad radial v_t está dada por:

$$f_D = \frac{2v_t}{\lambda} = \frac{2fv_t}{c} \quad ; f \gg f_D$$

donde f es la frecuencia del radar, λ el largo de onda, v_t la velocidad del blanco y c la velocidad de propagación.

La resolución Doppler se relaciona con la forma de procesamiento de los ecos y en forma especial con la duración del intervalo de observación.

Para discriminar una componente de frecuencia cualquiera, se debe poder observar al menos un período completo de la señal. Esta situación restringe la resolución Doppler que puede lograr un radar a la siguiente condición:

$$\Delta f_D = 1/T$$

donde T es el período de observación.

Considerando que los corrimientos Doppler son mucho menores (en términos relativos) que la frecuencia de portadora o frecuencia central de transmisión, entonces será muy probable que el período (en este caso T) tenga una duración mucho mayor que la del pulso. En este caso se hace necesario observar el corrimiento Doppler a partir de la información contenida en *varios* pulsos. Estas observaciones serán discretas, y por lo tanto la frecuencia de observación (PRF) deberá cumplir con condiciones de muestreo especiales.

En una aplicación de radar de alta resolución, la obtención de frecuencias se realiza por lo general a través de una Transformada Discreta de Fourier (DFT), materializada en una transformada rápida de Fourier (FFT).

Integración coherente.

Integración coherente en radares, se refiere al empleo de señales generadas con una referencia común de fase. Es decir, la fase de la señal transmitida (para cada pulso) es conocida, o bien está relacionada con una referencia (o señal de referencia) común. Supóngase que una señal coherente es transmitida por un radar. Si existe un blanco con movimiento radial con respecto al radar, entonces existirá una diferencia de fase entre el eco y la referencia para cada pulso. Esta diferencia de fase indica un corrimiento Doppler en la señal recibida. Este corrimiento Doppler podrá ser observado a partir de la diferencia de fase que exista en un número N de pulsos.

Compresión de pulso.

Un *radar de compresión de pulsos* transmite pulsos codificados relativamente largos y procesa los ecos resultantes para obtener respuestas de alta resolución. La energía transmitida puede estar codificada en fase o en frecuencia, a través de técnicas análogas o digitales. La codificación análoga de frecuencia es la técnica más extensamente empleada actualmente. En especial, la modulación lineal de frecuencia será detallada por ser el tipo de modulación que el radar Varan posee, y que es considerada en el análisis del procesamiento ISAR más adelante.

Una de las ventajas principales del radar de compresión de pulsos, desde el punto de vista de aplicaciones de alta resolución, es el hecho de que un ancho de banda grande en la señal transmitida es compatible tanto con la detección como con la precisión en la medición de distancia. Esta última característica es fundamental en la técnica ISAR. En un radar convencional, el aumento del ancho de banda aumenta también el ruido en el receptor. Un radar de compresión de pulsos trabaja en base a un esquema de filtro adaptado, y optimiza también la detección.

Detección en cuadratura.

En el proceso de obtención de corrimientos Doppler contenidos en los ecos de radar, se requiere poder determinar la fase que tiene la señal recibida al momento de observación.

La detección en cuadratura se emplea en radares coherentes para determinar la fase de la señal recibida con respecto a la portadora o frecuencia central de transmisión. La diferencia de fase entre pulso y pulso recibido, con respecto a esta referencia, es una indicación de una variación en frecuencia. La amplitud y fase del eco recibido son registrados para cada celda de resolución de distancia.

Generalidades de la Teoría de Apertura Sintética.

La técnica de apertura sintética inversa ISAR permite generar imágenes de blancos, tales como buques o aeronaves, aprovechando principalmente el movimiento que presentan estos blancos durante el tiempo en que son iluminados por un radar de alta resolución.

Apertura sintética se refiere a la obtención de una alta resolución en forma perpendicular a la línea de mira del radar. Lo anterior equivale a tener un haz de radar muy angosto, lo que sólo puede ser logrado con una gran apertura de antena. El ancho de haz de esta antena está dado, en términos generales por una constante que depende de la distribución de la corriente a través de la apertura de la antena, el largo de onda y el ancho físico de la antena. Para lograr un haz angosto, se requiere básicamente una antena de grandes dimensiones.

El tamaño de una antena está restringido por razones prácticas de implementación. Se puede pensar entonces en generar una apertura en forma secuencial y no simultánea, como en el caso de antenas convencionales, es decir, recibir la información de un mismo sector iluminado moviendo la antena. Para recibir la información en forma secuencial, y poder lograr el mismo efecto que si se recibiera toda la información en forma simultánea, se requiere que los pulsos transmitidos tengan alguna referencia en común. Esta referencia permite procesarlos, y determinar el contenido de información que poseen para un mismo sector iluminado. La referencia en el caso de señales de radar, es la fase de la señal transmitida. Lo anterior hace necesario que los radares de apertura sintética sean coherentes.

Un radar de apertura sintética recibe los ecos provenientes de una zona iluminada, y los procesa para obtener una imagen o mapa. La variación del ángulo de observación se logra moviendo el radar. El mismo efecto se podría lograr si el sector iluminado se moviera en torno al radar. En este último principio se basa el radar de *apertura sintética inversa*.

Funcionamiento del radar apertura sintética inversa.

Para describir en forma más clara el procedimiento de obtención y procesamiento de información ISAR, se hará una explicación de los conceptos básicos involucrados.

a.- Empleo de la resolución Doppler

Suponiendo, en primer término, el caso sencillo de un blanco puntual con velocidad v iluminado por un radar. Si el radar transmite un pulso a una frecuencia central f, entonces en el eco se producirá un corrimiento Doppler f_D, que depende de f y v. Por lo tanto, la frecuencia del eco será $(f+f_D)$. Este corrimiento Doppler puede ser observado o distinguido si el radar es capaz de eliminar la frecuencia central f. Esta frecuencia Doppler es pequeña comparada con la frecuencia central de transmisión, y tiene un período más extenso que la duración del pulso transmitido. Para poder entonces discriminar este corrimiento, será necesario obtener información de más de un pulso, almacenarla y procesarla coherentemente. Las muestras que se obtienen pulso a pulso del corrimiento Doppler, estarán separadas por intervalos de tiempo iguales al período de repetición de pulsos (PRI).

Se requiere, por lo tanto, obtener una cantidad de muestras tal, que la suma de los intervalos entre muestras sea al menos igual al período de la frecuencia Doppler.

Como se estableció anteriormente, el blanco tiene una velocidad v hacia el radar. Esta velocidad lineal puede ser producto de

que el blanco se está moviendo hacia el radar, o bien porque está *rotando* en torno a un eje y a una velocidad angular ω. Esta situación se muestra en la figura 1.

La velocidad v en este caso está dada por:

$$v = \varpi \cdot d$$

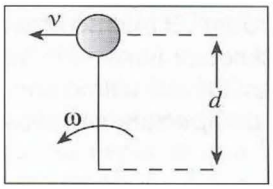


Figura 1.

Un blanco compuesto por 2 blancos puntuales, como el de la figura 2, producirá un eco que contenga 2 frecuencias Doppler. Estas frecuencias dependen de las respectivas velocidades lineales que tengan los blancos puntuales:

$$v_1 = \varpi \cdot d_1 \qquad v_2 = \varpi \cdot d_2$$

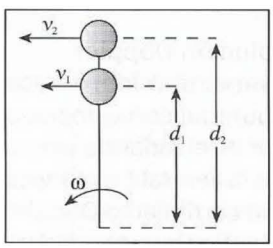


Figura 2.

Si el radar es capaz de distinguir estas dos frecuencias Doppler, entonces podrá determinar que un blanco está más lejos del eje de rotación que el otro. Esta situación se puede extender al caso de un blanco compuesto por n blancos puntuales. Si la cantidad de blancos (n) crece hasta el punto en que conforman un blanco continuo, entonces en los ecos se producirá una gradiente Doppler, más que una suma de corrimientos discretos. La figura 3 muestra una extensión de la situación anterior, en que el blanco está constituido por una sección de un buque.

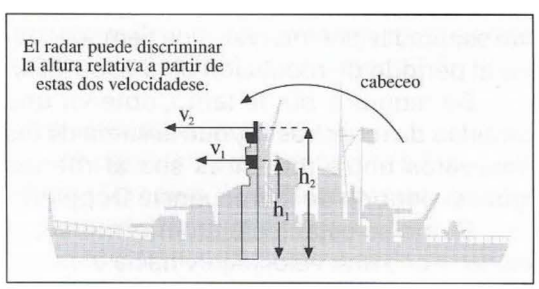


Figura 3.

b.- Empleo de la resolución en distancia.

La descripción anterior se basó en el caso en que el blanco puede ser distinguido con perfecta claridad, es decir, está contenido dentro de una celda de resolución en distancia. Supóngase ahora el caso de 2 blancos puntuales que tienen una velocidad v hacia el radar, uno más alejado del radar que el otro. La única manera en que el radar puede distinguir los 2 ecos que se producirán, es teniendo una resolución en distancia igual o mayor (celda de resolución más pequeña) a la distancia que separa los blancos. Esto se ilustra en la figura 4. De esta forma, el radar puede muestrear los ecos recibidos en intervalos de tiempo Δt=1/β (β= ancho de banda de la señal transmitida) y obtener información para cada uno de los blancos por separado.

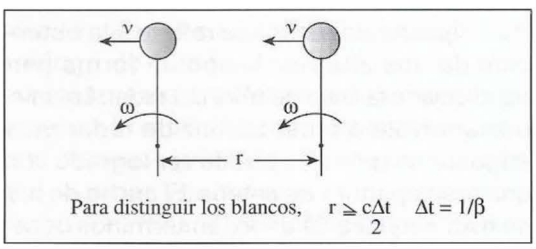


Figura 4.

La figura 5 muestra la forma en que la resolución en distancia es empleada en un radar ISAR que ilumina un buque. El radar obtiene información para distintas secciones longitudinales del blanco.

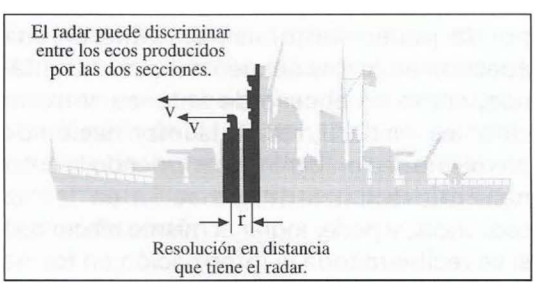


Figura 5.

Según lo explicado anteriormente, se aprecia que para lograr un procesamiento ISAR, se debe considerar al blanco como una colección de reflectores. Estos reflectores se

distribuyen en secciones longitudinales (resueltas empleando señales de banda ancha), y dentro de estas secciones según su altura (resueltas utilizando un procesamiento de los corrimientos Doppler).

Un radar ISAR tiene la capacidad de separar todos los reflectores por separado, para llevar estos datos a una imagen. Este efecto combinado de resolución en distancia y resolución Doppler es el principio de funcionamiento fundamental de la técnica ISAR considerada en la investigación realizada.

Antes de hacer un análisis más general de lo explicado anteriormente, se hace necesario definir algunos conceptos relacionados con la forma en que se estructuran los datos de reflectividad necesarios para crear una imagen.

Se define el *rango de distancia de interés*, como el intervalo de distancia en que está contenido el blanco en la dirección de la línea de mira del radar.

Los *perfiles de distancia* corresponden a la respuesta que se recibe en el radar en el rango de distancia de interés. El perfil de distancia resulta ser entonces, la señal de eco que genera el blanco al ser iluminado. Estos perfiles serán muestreados de tal forma, que cada observación corresponda a la respuesta de sectores del blanco separados en una distancia igual a la resolución en distancia que tenga el radar.

La información obtenida proviene de la observación de N pulsos. Esta cantidad N depende de la mínima frecuencia Doppler que se desee determinar. Es decir, se debe transmitir un número tal de pulsos, que permita muestrear un período completo de la señal Doppler de mínima frecuencia.

c.- Obtención de información para la creación de imágenes de radar.

De acuerdo a lo explicado en las secciones anteriores, es posible ahora desarrollar en forma más general los principios de obtención de información para la creación de una imagen de radar, y establecer estos conceptos en forma analítica.

Para cada pulso, se tendrá una respuesta en el rango de distancias de interés, como se muestra en la figura 6. El rango de distancias de interés estará compuesto por ξS celdas de resolución de distancia.

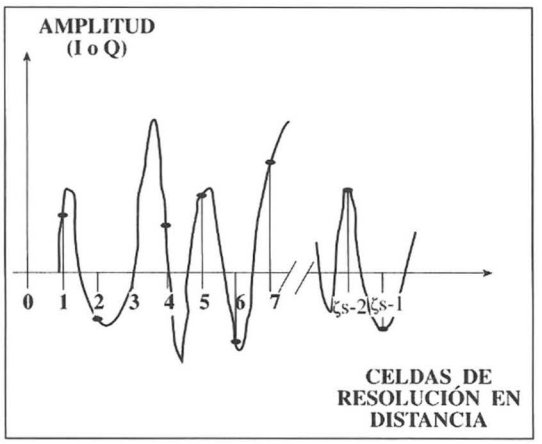


Figura 6.

Cada uno de los N pulsos considerados es muestreado en fase y en cuadratura, obteniéndose un total de muestras que definen un intervalo de observación T.

Si cada celda de resolución corresponde al mismo sector reflector del blanco durante todo el período de observación, entonces será posible observar un cierto número de ciclos de corrimiento Doppler producidos por ese sector del blanco a través del tiempo, como se muestra en la figura 7. El corrimiento Doppler producido por un sector reflector a través de una rotación $\Delta\theta$, es proporcional a la razón de rotación angular y a la distancia del reflector al centro de rotación. Es posible obtener una o más componentes para el corrimiento Doppler, cada una correspondiendo a un reflector resuelto en el dominio de la frecuencia. La magnitud de la línea espectral es proporcional al coeficiente de reflectividad de cada elemento resuelto.

Es posible, por lo tanto, mapear los datos de reflectividad del blanco en relación a dos parámetros: distancia radial (dada por cada celda de resolución en distancia) y distancia tangencial (referida a la línea de mira

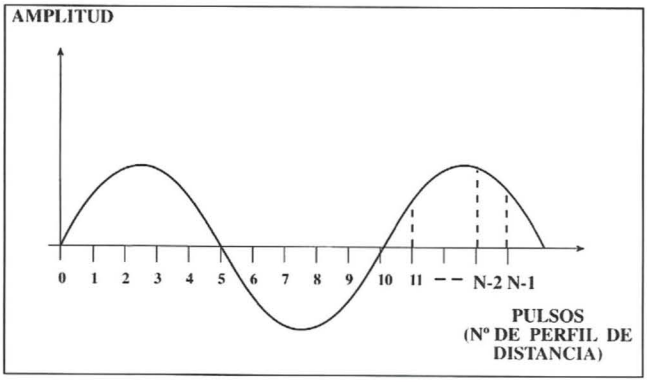
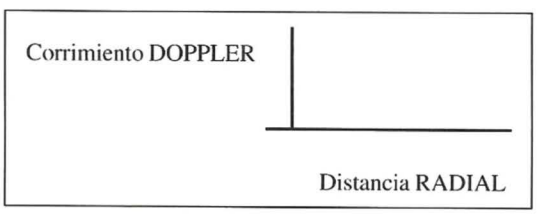


Figura 7.

del radar). La distancia tangencial es obtenida a partir del procesamiento del corrimiento Doppler. La orientación del eje de rotación del blanco relativo a la línea de mira del radar (dada por una línea imaginaria ubicada al centro del haz de radar que la antena produce), establece la orientación del plano de imagen del blanco.

Plano de imagen del blanco.

La imagen del blanco que se genera a partir de la información recibida, corresponde a una gráfica en un sistema de coordenadas cuyos ejes corresponden a distancia radial y corrimiento Doppler (distancia tangencial):



Ambos ejes forman el plano de imagen del blanco. Este plano es perpendicular al vector de rotación efectivo, y la línea de mira del radar se encuentra en este plano.

El vector de rotación efectivo corresponde a la proyección del vector de rotación angular sobre un plano perpendicular a la línea de mira.

El corrimiento Doppler instantáneo $f_D(t)$ producido a una frecuencia f por un blanco con velocidad radial v_f hacia el radar, es una función vectorial tridimensional (3 dimensiones espaciales) de Vt y depende además de las siguientes cantidades vectoriales dependientes del tiempo: vector de rotación del blanco $\varepsilon_\Sigma(t)$ (debido a que el blanco no necesariamente rota sólo en forma perpendicular a la línea de mira del radar), vector de velocidad del reflector $V_{vect}(t)$ (el vector tiene velocidad en tres ejes de coordenadas) producido por la rotación del blanco, y un vector unitario en la dirección de la línea de mira R_{vect} (t). Se requiere definir estos parámetros en forma vectorial, ya que sólo algunas de sus respectivas componentes tienen incidencia para efectos de generar información útil en el procesamiento ISAR.

El tratamiento vectorial no se detallará, en atención a que no produce aporte al entendimiento de los conceptos básicos de los radares ISAR, y sólo basta considerar que el vector de rotación tiene una sola dimensión, ortogonal al plano de imagen. El proceso de descomponer el movimiento del buque en las respectivas componentes de un sistema de referencia tridimensional, para crear una imagen que sea una proyección en un plano de dos dimensiones, es un proceso muy complejo, y que durante el estudio solamente fue planteado analíticamente.

El efecto del vector de rotación en el resultante plano de imagen ISAR se puede

Figura 8.

observar en las gráficas de la figura 8. Estas gráficas corresponden al plano de imagen de un buque, en que el vector de rotación se encuentra perpendicular al plano de la hoja y el radar en el plano de la hoja dirigido sobre el blanco. El procesamiento ISAR debe entregar teóricamente este tipo de imágenes.

La primera gráfica de la figura muestra la imagen obtenida por movimiento de cabeceo en torno al eje de rotación, con el radar iluminado desde proa o popa. La segunda gráfica corresponde al caso de rotación producida por balanceo, con el radar iluminando por la cuadra.

Procesamiento ISAR para radares de compresión de pulso.

Los perfiles de distancia para el procesamiento ISAR se obtienen, en un radar de compresión de pulso, muestreando y almacenando la amplitud y fase de los ecos recibidos. Estas muestras se ordenan de tal manera de poder procesar las muestras correspondientes a cada sección resuelta del blanco, y determinar el contenido de frecuencias. Este ordenamiento de muestras corresponde a construir una matriz de datos. Las filas de la matriz corresponden a los perfiles de distancia de cada pulso y las columnas corresponden a la historia temporal de cada una de las secciones del blanco. El proceso DFT (para obtener distancia tangencial) se realiza, por lo tanto, a cada columna de esta matriz.

Los perfiles de distancia para cada uno de los N pulsos empleados, son producidos a la salida del filtro de compresión de pulso a una frecuencia intermedia fl. En este punto, se realiza una detección en cuadratura llevando la señal a banda base.* A continuación sigue un proceso de muestreo y digitalización.

Cada perfil de distancia está compuesto de ξ_S pares I-Q de muestras (1 par para cada sección del blanco que es capaz de distinguir el radar, dado por su resolución). Un conjunto de N perfiles de distancia se deben procesar para formar imágenes ISAR. Se debe obtener una muestra compleja para cada celda de resolución de distancia del perfil completo. De acuerdo a esto, el número de muestras complejas recolectadas para cada celda de resolución durante el tiempo de observación (integración) dado por los N pulsos, será ψ_C=N.

Alineación de los perfiles de distancia.

Una situación que se presenta y debe ser considerada, es el hecho de que la distancia entre el radar y el blanco no es constante. Supóngase que para cada pulso, el radar obtiene muestras en intervalos de tiempo equivalentes a una unidad de distancia arbitraria. El muestreo está sincronizado con el trigger de transmisión y con la salida del pulso. Si la distancia entre el radar y el blanco se mantiene constante, entonces la i-ésima muestra de cada uno de los perfiles de distancia corresponderá al mismo sector del blanco.

Si ahora la distancia entre el blanco y el radar varía de pulso a pulso, entonces la i-ésima muestra obtenida del eco corresponderá a sectores distintos del blanco.

Para solucionar este problema, se debe establecer una ventana de muestreo. Esta ventana se debe mantener posicionada sobre el blanco. Si el muestreo se sincroniza con el inicio de la ventana y no con la salida del pulso, entonces se asegura que las respectivas muestras correspondan al mismo sector del blanco.

Simulación de Procesamiento ISAR.

La simulación de señales de radar tiene la fundamental ventaja de permitir analizar y evaluar el comportamiento de sistemas a un bajo costo, y con un nivel de exactitud controlado por quien realiza la simulación. Los métodos analíticos resultan ser sumamente complejos y casi impracticables.

* Existen otros dispositivos de obtención de fase, aparte del detector en cuadratura, que realizan funciones similares, pero se analizó esta alternativa por adaptarse en forma adecuada al tipo de señales y a la configuración de los elementos de un radar de compresión de pulsos.

La simulación de radar realizada en el estudio, tuvo por objeto evaluar la capacidad de obtener información a través de algoritmos de procesamiento digital de señales, relacionados con el procesamiento de señales en un radar ISAR. Los resultados obtenidos de la simulación fueron empleados básicamente para comprobar la teoría de procesamiento descrita anteriormente. Una vez determinada la capacidad de obtención de información se pudo pasar a la etapa de definición de requerimientos que debía tener el radar en estudio para darle la capacidad ISAR.

Las etapas de simulación fueron las siguientes:

- Simulación de procesamiento FFT.
- Simulación de perfiles de distancia de un blanco arbitrario (el que se debía mapear).
- Obtención de información espectral de los ecos recibidos.
- Creación de la imagen del blanco a partir de la información obtenida.
- Variación de parámetros del blanco y análisis del efecto sobre la imagen.

El radar VARAN.

El radar VARAN fue diseñado para la detección y traqueo de blancos navales. Emplea compresión de pulso y agilidad en frecuencia para mejorar la detección en ambiente de clutter, aumentar la resolución en distancia y para disminuir la susceptibilidad a jamming.

El radar es parte integral del sistema T.R.E.S. (Tactical Radar and ESM System), y existen algunas diferencias entre las versiones montadas en las aeronaves de EAM y los montados en los Helicópteros Cougar.

Desde el punto de vista del estudio realizado, el radar fue estudiado ya que algunos de sus parámetros operacionales cumplen con los requerimientos necesarios de un radar de alta resolución que podría ser empleado en una aplicación ISAR.

Conclusiones.

Conclusiones del estudio.

Las conclusiones que se obtuvo del estudio, se enmarcaron en consideraciones relacionadas con el ámbito en que éstas fueron obtenidas. La aplicación de los procesos descritos en el estudio se materializó en la simulación del procesamiento ISAR. La simulación entrega resultados de los cuales se pueden obtener importantes conclusiones, especialmente considerando las ventajas que generan las posibilidades de iteración casi ilimitadas. En la medida que se conocen los parámetros que afectan un proceso, entonces también es posible controlarlos en una simulación y observar detalladamente cómo afecta su variación en el resultado final.

El principal requerimiento en este proceso de simulación es definir modelos de simulación que entreguen resultados válidos. Primeramentre existe toda una etapa de validación de modelos, donde se expresa en toda su extensión la capacidad de abstracción y entendimiento del modelador. Un buen modelo entrega resultados que permiten llegar a conclusiones válidas. Por el contrario, un mal modelo puede llevar a conclusiones malas o incompletas.

Durante el estudio resultó fundamental profundizar en la teoría de información, que analiza desde un punto de vista cuantitativo la información contenida en las señales transmitidas y recibidas. Esta cantidad de información depende de los parámetros que modelan la señal, como de la probabilidad que se asocia a cada uno de los factores que afectan a estos parámetros. La evaluación probabilística de los factores descritos, se tradujo en la determinación de los rangos de tolerancia en que se deben mantener estos factores.

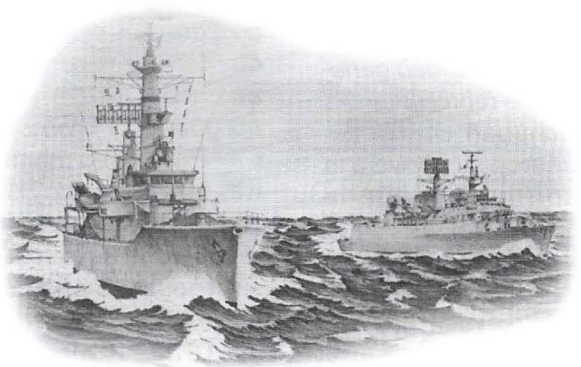
La factibilidad de transformar el radar Varan en un radar de apertura sintética inversa existe. Exige, sin embargo, una serie de modificaciones y, principalmente, un estudio más profundo de los procesos que se requieren para obtener del radar toda la información necesaria para crear las imágenes

de los blancos. El costo y tiempo necesarios para lo anterior no fueron evaluados, pero se estima que la mejor alternativa de solución al problema global de contar con radares ISAR es la adquisición de un radar diseñado como tal y probado. La alternativa de transformar el radar Varan puede ser considerada para darle una capacidad adicional a los radares montados en los helicópteros, cuya función principal no es la identificación de blancos.

Conclusiones finales al artículo.

Desde que el estudio fue realizado hasta la fecha, han existido grandes avances en el desarrollo de radares ISAR, principalmente debido a la mayor capacidad de procesamiento de información que han alcanzado los sistemas digitales. Considerando que el procesamiento de señales es la base de la capacidad de apertura sintética inversa en la creación de imágenes, podemos deducir que los progresos en el desarrollo de este tipo de radar serán aun mayores a futuro.

La teoría presentada sigue siendo, en términos generales, la misma. La implementación del radar y de los sistemas de procesamiento de información podrán variar en alguna medida, pero las bondades de cualquier sistema serán prácticamente idénticas.

Actualmente, existe un amplia gama de ofertas de radares ISAR para aplicaciones civiles y militares principalmente. Además, existe un número creciente de universidades, centros de investigación y laboratorios que se dedican a desarrollar nueva tecnología y sistemas de procesamiento para mejorar la calidad de la información que entregan los radares de apertura sintética. Es muy probable que en un futuro cercano nuestra Institución esté en condiciones de incorporar esta nueva herramienta, que ayudaría en gran medida a la solución del problema de la clasificación e identificación de contactos de radar desde aeronaves.

* * *