



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 284 152**

51 Int. Cl.:  
**G01S 13/90** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05445017 .6**

86 Fecha de presentación : **29.03.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1707987**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **04.10.2006**

54 Título: **Método para cartografiar el escenario de un objetivo utilizando un radar de exploración.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**01.11.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**01.11.2007**

73 Titular/es: **SAAB AB.**  
**581 88 Linköping, SE**

72 Inventor/es: **Hämäläinen, Mikael**

74 Agente: **Durán Moya, Carlos**

ES 2 284 152 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Método para cartografiar el escenario de un objetivo utilizando un radar de exploración.

La presente invención se refiere a un método para cartografiar un escenario objetivo utilizando un radar de exploración que utiliza el efecto Doppler que se produce en caso de movimiento entre el radar y el escenario objetivo, en el cual se calcula el movimiento de una plataforma sobre la que está montada la antena del radar, utilizando datos de navegación obtenidos para la plataforma.

Dado que el radar es uno de los pocos sensores disponibles para un cartografiado detallado del terreno, existen exigencias continuadas para un desarrollo adicional de la tecnología. Otros sensores utilizados corrientemente, tales como los sensores de infrarrojos y de vídeo, utilizan únicamente el procesamiento de imágenes para el análisis de las imágenes, mientras que utilizando la tecnología de radar, es también posible aprovechar las características de la señal que son únicas para cada objetivo específico. La tecnología de radar tiene de este modo la ventaja de que pueden combinarse el procesamiento de señales y el procesamiento de imágenes.

Visto históricamente, el radar ha sido de gran importancia asociado con aplicaciones militares. En sus inicios, la tecnología hizo posible la detección de aeronaves y buques. A pesar de las limitaciones de los sistemas de aquellos tiempos, generalmente podía detectarse el enemigo con tiempo suficiente con lo cual se evitaban pérdidas innecesarias. Hoy en día, gracias a los desarrollos en tecnología, ha mejorado considerablemente la capacidad de detección. Dado que la moderna tecnología del radar, en combinación con el procesamiento complejo de señal y de imagen, permite en muchos casos que las imágenes de radar sean de calidad fotográfica, siendo hoy en día el reconocimiento del suelo y en el interior de los archipiélagos una aplicación normal del radar.

A pesar de los desarrollos, siguen existiendo problemas que limitan la utilización del radar. Uno de dichos problemas se refiere a la capacidad para generar imágenes de radar de alta resolución dentro de un intervalo angular adyacente, alrededor de la dirección de movimiento de la plataforma. Los fenómenos que limitan la generación de imágenes incluyen la variación Doppler y la gama o variación de las distancias. Ambos fenómenos se comentarán más adelante con mayor detalle, haciendo referencia a las figuras. Una situación como la descrita anteriormente con un radar de exploración hacia adelante es muy corriente en aplicaciones militares, en la que se espera que tenga lugar una aproximación en la dirección del objetivo.

Desde que fueron conocidos los principios de resolución Doppler, los técnicos de radar han intentado utilizar de una forma óptima el efecto Doppler que se produce cuando existe movimiento entre el radar y el escenario del objetivo. Se demostrará más adelante que el ancho de banda Doppler es de decisiva importancia para la magnitud de la resolución angular. Dado que el ángulo de iluminación, que es el ángulo entre el vector de movimiento y el objetivo, tiene una gran influencia en las características Doppler del objetivo iluminado, la resolución angular depende asimismo de un ángulo correspondiente. La resolución angular, que viene dada por el ancho  $\Psi_c$  del haz efectivo de la antena, dividido por un factor predefinido de adelgazamiento del haz  $R_{FSAR}$ , se deduce a continuación según:

$$\psi_d = \frac{\psi_c}{R_{FSAR}} = \frac{\lambda/l}{\frac{2\lambda v_p}{\omega_s l^2} \sin(\phi)} = \frac{\omega_s l}{2v_p \sin(\phi)}$$

en que  $\lambda$  corresponde a la longitud de onda de la señal,  $l$  es la dimensión física de la antena,  $v_p$  es la velocidad de la plataforma,  $\omega_s$  es la proporción de exploración de la antena y  $\Phi$  es el ángulo de la antena.

Con una proporción de exploración constante, puede suponerse que todos los parámetros aparte de  $\sin(\Phi)$  son constantes. Como la expresión  $\sin(\Phi)$  se encuentra en el denominador en la correlación anterior, puede observarse que la resolución óptima se obtiene para un ángulo del objetivo de  $90^\circ$ , mientras que los ángulos reducidos del objetivo ( $\rightarrow 0^\circ$ ) no permiten ninguna integración coherente. El ángulo de  $0^\circ$  corresponde aquí a la dirección de desplazamiento de la plataforma, mientras que el ángulo de  $90^\circ$  corresponde a un ángulo de la antena perpendicular a la dirección de desplazamiento.

En una aplicación de búsqueda de objetivos, es particularmente de gran interés un intervalo angular de una dimensión aproximada de  $\pm 30^\circ$ , ya que se supone que la aproximación está teniendo lugar hacia un objeto amenazador.

Tradicionalmente, los modos de radar que utilizan antenas de exploración hacia adelante han sido clasificados dentro de la categoría DBS (Adelgazamiento de haz Doppler), consultar Donald R. Wehner "Radar de alta resolución, segunda edición", ISBN 0-89006-727-9. Artech House 1995.

A partir del artículo de B.R. Mahafza y otros: "Formación de imágenes para un SAR de búsqueda hacia adelante utilizando una disposición lineal con movimiento transversal", XP010146741, publicado en las actas de la IEEE de

Southeastcon '93, Charlotte, USA, 4-7 de Abril de 1993, se conoce un sistema SAR de búsqueda hacia adelante para cartografiar el escenario de un objetivo.

El enfoque que tradicionalmente se llevaba a cabo mediante filtrado, requería a menudo aplicar bancos de filtros extremadamente complejos. Dado que cada subfiltro estaba optimizado para una zona espectral dada (con respecto al ancho de banda y a la manipulación del lóbulo lateral) se requería un gran número de subfiltros con el fin de abarcar la totalidad de la zona espectral.

Dado que el análisis espectral moderno utiliza cada vez más herramientas basadas en FFT (Transformación rápida de Fourier), estos métodos han ido sustituyendo progresivamente la tecnología anterior. Utilizando métodos relacionados con la FFT, puede realizarse el filtrado tradicional del paso de banda de forma más precisa y además se hace posible el filtrado encajado con mayor precisión. Los métodos difieren en su ejecución y también en como la cantidad de señal recibida debe ser pre-procesada. El enfoque mediante el filtrado del paso de banda requiere una señal de frecuencia ampliada con el fin de conseguir el enfoque. A su vez, el filtrado encajado requiere una cantidad de señal desmodulada en la que los objetivos separados angularmente se distinguen mediante la frecuencia.

- El filtrado encajado integra toda la energía de la señal perteneciente a un componente de una frecuencia determinada (un objetivo particular).
- El filtrado del paso de banda suprime componentes de frecuencia no deseados.

La gran diferencia en las técnicas de enfoque, de integración de señal y de reducción de señal, respectivamente, ha conducido a que la tecnología anterior haya sido clasificada cada vez más como SAR (Radar de apertura sintética), consultar Carrara, Goodman, Majewski, "Proyector de radar de apertura sintética, Algoritmos de procesamiento de señales", ISBN 0-89006-728-7 Artech House 1995, en vez de DBS. De este modo, al método desarrollado de acuerdo con la invención se le ha dado el nombre de "Radar de apertura sintética de exploración hacia adelante (FFSAR)". Haciendo referencia a los dibujos adjuntos, se comentará más adelante con mayor detalle como se prepara la cantidad de señal captada para una integración coherente.

El objetivo de la presente invención es conseguir un método, mediante el cual pueden generarse imágenes de radar de alta resolución en una aplicación de exploración hacia adelante.

El objetivo de la invención se consigue por medio de un método caracterizado porque para la compensación de la aproximación, una cantidad de señal recibida por el radar con referencia a los impulsos transmitidos, se transforma impulso a impulso en una cantidad de señal correspondiente corregida en el movimiento, mediante el desplazamiento en tiempo y fase dependiente del desplazamiento de la plataforma siguiendo un desplazamiento imaginario de la plataforma dirigido de tal manera que la dirección instantánea de la antena está esencialmente a 90° con el vector de movimiento para el desplazamiento de la plataforma imaginaria.

La compensación de aproximación se lleva a cabo de manera ventajosa en el campo de la frecuencia, y su magnitud en tiempo  $T$  y fase  $\theta$  se calcula mediante las correlaciones:

$$T = 2R/c$$

y

$$\theta = (4\pi/\lambda_c) R$$

en las que  $R$  es la distancia a la que debe desplazarse hasta un eco respectivo,  $c$  es la velocidad de propagación y  $\lambda_c$ , es la longitud de onda de la señal. Al llevar a cabo la compensación de aproximación en el campo de la frecuencia, ésta puede llevarse a cabo de manera efectiva y en combinación con la compresión de impulsos. La compresión de impulsos es conocida asociada con aplicaciones de radar, pero no en combinación con otras etapas comprendidas en nuestro método, cuyas etapas actúan entre sí de una forma favorable.

De acuerdo con otro desarrollo adicional del método según la invención, se crea una función de referencia mediante:

1. la colocación de un objetivo de referencia en la dirección del desplazamiento de la plataforma.
2. la suposición de que el objetivo de referencia está iluminado durante todo el movimiento de la plataforma y en todos los ángulos de la antena.
3. el cálculo de la variación de fase  $\theta_{ref}$  que se ha originado.
4. la creación de una señal de referencia según  $S_{ref} = \exp(j\theta_{ref})$ .

5. la compensación de la aproximación  $S_{ref}$ .

y mediante la cantidad de señal que ha sido desmodulada mediante la multiplicación por la conjugada de la función de referencia. Por consiguiente, la cantidad de señal desmodulada puede ser enfocada angularmente de manera ventajosa, preferentemente mediante un factor de cálculo por medio de la transformación de Fourier (FFT).

Todavía según otro desarrollo adicional del método según la invención, la cantidad de señal enfocada angularmente es proyectada en una escala lineal de frecuencias, con lo cual se obtiene una correlación lineal entre la posición inicial del objetivo en tiempo y su posición final en frecuencia.

De acuerdo con una realización del método según la invención, se mantiene constante la proporción de exploración del radar de exploración. De esta forma, los sistemas de radar construidos para una proporción constante de exploración, que se encuentran habitualmente en el mercado, pueden ser utilizados para realizar el método.

Según una realización alternativa del método, puede modificarse la proporción de exploración del radar para obtener una resolución esencialmente constante dentro del área de exploración. Para ello se determina de manera adecuada la proporción de exploración del radar  $\omega_s$  mediante la correlación:

$$\omega_s = \frac{2\lambda v_p}{R_{FSAR} l^2} \sin(\phi)$$

en la que  $\lambda$  corresponde a la longitud de onda de la señal,  $v_p$  es la velocidad de la plataforma,  $R_{FSAR}$  es el factor de adelgazamiento del haz,  $l$  es la dimensión física de la antena y  $\phi$  es el ángulo de la antena.

El método según la invención es particularmente ventajoso dentro de un intervalo angular limitado en la dirección del movimiento de la plataforma del radar y, según una realización adecuada del método, se lleva a cabo el cartografiado del escenario del objetivo dentro de un margen angular de un tamaño aproximado de  $\pm 30^\circ$  durante la aproximación hacia el escenario objetivo.

Todavía según otra realización del método, éste comprende un sistema IMU conectado a la plataforma del radar que mide continuamente el desplazamiento de la plataforma. En combinación con el sistema IMU existe además un sistema INS que incluye un filtro de cálculo del movimiento. De esta manera, la combinación de IMU y de INS significa que puede mantenerse actualizado con gran precisión el desplazamiento de la plataforma, lo cual es un requisito para el método según la invención.

Los principios básicos según el método anterior pueden estar combinados con otros métodos de cartografiado basados en radar, y un desarrollo adicional del método está caracterizado porque los demás métodos de cartografiado basados en radar son utilizados en combinación con el método en partes de la gama angular a cartografiar.

A continuación se describirá la invención con mayor detalle haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra, de manera esquemática, las funciones que componen el método según la invención;

la figura 2 muestra un ejemplo de simulación de la geometría con las posiciones del objetivo, incluyendo el intervalo de exploración y la forma geométrica de la plataforma;

la figura 3 muestra un ejemplo del movimiento de la plataforma antes y después de la corrección de la aproximación mediante ampliación de la zona de la plataforma según la figura 2;

la figura 4a muestra un ejemplo del efecto de la variación de la distancia en la cantidad de señal sin corrección del tiempo, para un radar con exploración constante;

la figura 4b muestra un ejemplo del efecto de la variación de la distancia según la figura 4a en la cantidad de señal, pero habiendo introducido la corrección de tiempo;

la figura 5a muestra un ejemplo del desplazamiento de la frecuencia dependiente del ángulo, sin corrección de fase;

la figura 5b muestra un ejemplo del efecto del desplazamiento de la frecuencia dependiente del ángulo, según la figura 5a, pero con corrección de fase;

la figura 6a muestra la función de referencia propuesta junto con puntos objetivo simulados, según la figura 2;

las figuras 6b y 7a muestran la función conjugada de referencia, según la figura 6a, y los puntos objetivo simulados según la figura 2 después de la desmodulación, utilizando la función de referencia;

la figura 7b muestra un enfoque angular del objetivo basado en FFT, según la figura 7a, en la que la figura 7a es idéntica a la figura 6b;

las figuras 8a-8c muestran la proyección de un espectro no lineal según la figura 7b sobre un espectro lineal según la figura 8c, con las escalas de frecuencia lineales y no lineales que están ilustradas en la figura 8b;

la figura 9 muestra un ejemplo de como puede modificarse la proporción de exploración del radar con el objeto de conseguir una resolución angular constante, en la que el ángulo de  $180^\circ$  corresponde a la dirección de movimiento de la plataforma;

la figura 10a muestra un ejemplo del efecto de la variación de la distancia en la cantidad de señal, sin corrección de tiempo, para un radar con una proporción de exploración variable;

la figura 10b muestra un ejemplo del efecto de la variación de la distancia según la figura 10a, en la cantidad de señal, pero con la introducción de la corrección de tiempo;

la figura 11 muestra un ejemplo de la variación de frecuencia del objetivo con compensación de la aproximación;

la figura 12a muestra un ejemplo de una función de referencia propuesta para la desmodulación de objetivos iluminados junto con los objetivos según la figura 2;

la figura 12b muestra la conjugada de la función de referencia de la figura 12a y los objetivos, después de la desmodulación;

la figura 13 muestra, para un caso con resolución angular constante, el resultado de la cantidad de señal desmodulada después del enfoque FFT y su proyección en una escala angular lineal.

A continuación se describirá el método de manera esquemática, haciendo referencia a la figura 1, y luego se comentará con mayor detalle haciendo referencia a los dibujos posteriores.

Según la figura 1, existe una cantidad de señal recibida en forma de datos sin depurar (1). La cantidad de señal comprende reflexiones de un impulso transmitido previamente. La gama angular o diagrama de distancia (2) ilustra la propagación de la cantidad de señal en distancia y en ángulo para un punto objetivo (3). Como no se ha llevado a cabo la compresión de la señal, la señal se extiende en las dimensiones respectivas. Además de la propagación de la señal, en el diagrama (2) de la distancia angular se muestra también el efecto de la variación de la distancia que se produce debido al movimiento de aproximación de la plataforma del radar.

Como una primera etapa, se lleva a cabo la compresión de impulsos de la cantidad de señales recibidas de acuerdo con los principios conocidos dentro del sector de la tecnología del radar. Al bloque de funciones se le ha asignado el numeral de referencia (4). La compresión de impulsos que integra la energía de la señal en gama, es llevada a cabo en el plano de la frecuencia. El diagrama anterior (5) de distancia angular muestra la propagación de la señal (6) después de la compresión de impulsos.

Asociada a la compresión de impulsos, o como un elemento posterior, se lleva a cabo la compensación de aproximación en un bloque de función (7). En principio, se lleva a cabo un movimiento imaginario de la plataforma del radar, en base al movimiento real de la plataforma del radar y de la dirección de exploración en relación con el escenario del objetivo. La compensación de la aproximación compensa el tiempo dependiente del movimiento de la plataforma y el desplazamiento de fase. El diagrama de distancia angular (8) muestra cómo la señal de energía para un punto objetivo (9) está situada en la misma gama de entrada después que se ha llevado a cabo la compensación de tiempo. Un diagrama (10) de la frecuencia angular muestra cómo la variación de frecuencia del objetivo está centrada alrededor de la frecuencia cero después de la correspondiente compensación de fase. La compensación de la aproximación es llevada a cabo de forma más efectiva en el plano de frecuencias, por cuyo motivo la realización está combinada de manera adecuada con la compresión de impulsos.

Un bloque de función (11) crea una función de referencia y utiliza esta función de referencia para la desmodulación de la variación de frecuencia del objetivo. En otro lugar en esta descripción se describe cómo se crea la función de referencia. La variación de frecuencia de la función de referencia se ajusta a la variación de frecuencia del objetivo iluminado, con la excepción de un componente constante de frecuencia, utilizando el cual, se sitúa el objetivo desmodulado en una ventana de frecuencia fijada según el diagrama (13) de frecuencia angular. Como la desmodulación solamente se ajusta a la fase del objetivo, la distancia del objetivo permanece sin modificar según el diagrama de distancia angular (12).

Después de la desmodulación, la señal es enfocada angularmente mediante un factor de cálculo con la transformación de Fourier (FFT) en un bloque de función (14). La transformación de Fourier que integra la energía de la señal como una función de la frecuencia genera un objetivo (16) en forma casi puntual, en el diagrama (15) de distancia angular. Sin embargo, el objetivo enfocado está situado en una posición angular incorrecta como resultado de la variación no lineal de frecuencia de la función de referencia. Mediante un nuevo muestreo del espectro de la frecuencia no lineal al correspondiente espectro lineal en un bloque de función (17), se obtiene un objetivo (16) de forma puntual, el

cual, en el diagrama de distancia angular (18), ha adoptado una posición que se ajusta bien a la realidad. La relación entre el espectro de frecuencia no lineal y el lineal se describe en otra parte en esta descripción.

A continuación se describirá con mayor detalle el proceso implicado, haciendo referencia a la figura 1, y en primer lugar se comentará la compensación de la velocidad de aproximación haciendo referencia a las figuras 2, 3, 4a, 4b, 5a y 5b.

Con el fin de clarificar el comentario referente a los elementos parciales que constituyen el algoritmo de enfoque propuesto, se utiliza una simulación geométrica según la figura 2. En total, se simulan cinco puntos objetivo (19-23) situados a la misma distancia (4.000 metros) y con una separación angular de 5°. Las características de la señal de los objetivos respectivos (19-23) son estudiadas etapa por etapa con el fin de demostrar la interacción de los elementos parciales. Las líneas (24) y (25) marcan los límites exteriores del área de exploración del radar y el numeral de referencia (26) marca la posición de la plataforma.

En lo que se refiere a los demás algoritmos SAR, es necesario tener en cuenta el movimiento de aproximación de la plataforma. En este caso, esto se realiza mediante la transformación de la cantidad de señal recibida en un valor correspondiente corregido con respecto al movimiento. La corrección del movimiento se lleva a cabo de tal forma que la totalidad de la cantidad de señal recibida perteneciente a un impulso transmitido determinado es desplazada en tiempo y fase de una forma adecuada. La magnitud del desplazamiento depende del movimiento de la plataforma y se calcula utilizando datos de navegación. La figura 3 ilustra como se lleva a cabo la corrección del movimiento en el método propuesto.

En primer lugar, se calcula una distancia R para cada posición de la plataforma cuando se transmite un impulso. En la figura 3, se ha enviado un impulso en las posiciones (27-30). La distancia R se extiende desde la posición (27-30) respectiva hacia una trayectoria imaginaria de movimiento (31) para el movimiento de la plataforma. La magnitud de R debe ser tal que se crea un nuevo movimiento imaginario de la plataforma, en el que la dirección momentánea de la antena es de 90° con respecto al movimiento de la plataforma imaginaria. En otras palabras, esto significa que cuando se ha utilizado un movimiento corregido para la recogida de datos, se precisa una dirección constante de la antena en ángulo recto con respecto al vector de movimiento, con el fin de iluminar la misma área. La apariencia del movimiento corregido es poco significativa siempre que se cumplan los requisitos anteriores.

La compensación de la aproximación comentada se lleva a cabo de la manera más efectiva en el plano de la frecuencia y su magnitud se obtiene mediante:

$$T = 2R/c$$

$$\theta = \frac{4\pi}{\lambda_c} R$$

en las que c es la velocidad de propagación de la señal y  $\lambda_c$  es la longitud de onda de la señal.

Según la invención, las mismas áreas objetivo están iluminadas como en la disposición geométrica original de recogida de datos de la figura 1, pero al haber realizado el desplazamiento de señal (según T y  $\theta$ ), se han eliminado las características no deseadas de la señal, lo cual será comentado a continuación. En el movimiento según la disposición geométrica original, existe una aproximación entre plataforma y área objetivo, lo cual da origen a dos efectos negativos en la señal. En primer lugar, existe una cierta magnitud de variación de la distancia (dependiendo de  $\omega_s$  y  $v_p$ ) que significa que la energía de la señal se desplaza a través de una serie de gamas adyacentes o de entradas de distancia. Este efecto, ilustrado en la figura 4a, tiene como resultado una dispersión en la distancia de los objetivos enfocados. El desplazamiento en el tiempo descrito anteriormente con referencia a la figura 3 compensa la variación de la distancia, con lo cual la energía de la señal del objetivo respectivo termina en la entrada correcta de la distancia. La magnitud de la variación de distancia en la figura 4a es moderada, dado que se combina una reducida velocidad de la plataforma con una proporción de exploración elevada.

El segundo efecto que surge como resultado del movimiento de aproximación es un desplazamiento de fase dependiente del ángulo. Esto tiene como resultado un fenómeno de empaquetado no deseado, que está ilustrado en la figura 5a. El empaquetado, que se produce cuando no se cumple el teorema de muestreo de Nyquist, implica un cambio de frecuencia desde  $\pi \rightarrow -\pi$ , ó de  $-\pi \rightarrow \pi$ . Al compensar la fase de la señal (según e) en proporción al desplazamiento anterior en tiempo, se obtiene una cantidad de señal ajustada (centrada en cero), de acuerdo con la figura 5b. Las líneas (32-36) en la figura 5a y las líneas (37-41) en la figura 5b, corresponden a la variación normalizada de frecuencia de los objetivos iluminados (19-23). El teorema de muestreo de Nyquist está descrito en la referencia Samir S. Soliman, Mandyam D. Srinath. "Señales y sistemas continuos y discretos", ISBN 0-13-569112-5, Prentice Hall.

En la sección anterior se ha explicado como se tiene en cuenta el movimiento de la plataforma. Con el fin de poder realizar esto, se requiere un conocimiento preciso del movimiento. Dado que los modernos sistemas de radar están siendo equipados cada vez más con sistemas IMU (Unidad de medición inercial) puede medirse con gran precisión el movimiento requerido de la plataforma.

Según los requisitos anteriores, es preciso que todos los objetivos estén separados mediante la frecuencia, con el fin de que sea posible el enfoque mediante FFT. En la presente memoria se explica con mayor detalle como se consigue.

Después de la compensación de aproximación, todos los objetivos están centrados alrededor de la frecuencia cero. Sin embargo, la variación de la frecuencia del objetivo varía dependiendo de su posición angular. Unos ángulos pequeños del objetivo tienen como resultado un ancho de banda de una frecuencia limitada (magnitud del gradiente), lo que tiene como resultado una baja resolución. El incremento de los ángulos del objetivo tiene como resultado un ancho de banda más alto y por lo tanto una mejora de la resolución. Con el fin de obtener la resolución que el ancho de banda hace posible, es necesario eliminar la modulación de frecuencia de todos los objetivos.

Con el fin de hacer que esto sea posible, es necesario conocer la variación Doppler dependiente del ángulo. El método propuesto utiliza un objetivo de referencia con respecto al cual se calcula la variación de fase. Se crea una función de referencia según lo siguiente:

1. se coloca un objetivo de referencia imaginario en la dirección de desplazamiento de la plataforma.
2. se supone que el objetivo de referencia está iluminado durante toda la distancia de vuelo y en todos los ángulos de la antena.
3. se calcula la variación de fase  $\theta_{\text{ref}}$  que se ha producido.
4. se crea una señal de referencia según  $\theta_{\text{ref}} = \exp(j\theta_{\text{ref}})$ .
5. se compensa la aproximación  $S_{\text{ref}}$  (solamente debe tenerse en cuenta la fase).

La función de referencia propuesta puede ser considerada como una señal creada en base a la diferencia de distancia entre el movimiento de la plataforma (31) compensado por la aproximación y el objetivo imaginario posicionado como referencia. La variación de frecuencia calculada de esta forma corresponde a la variación Doppler que se ha producido en toda el área del objetivo. Únicamente la diferencia es un componente constante de la frecuencia, lo cual hace posible la separación de objetivos.

La figura 6a ilustra la variación normalizada de frecuencia (42) de la función de referencia junto con los valores correspondientes (37-41) de los objetivos iluminados.

La figura 6b muestra como los objetivos (37-41) están separados con respecto a la frecuencia mediante desmodulación, es decir, mediante la multiplicación de la cantidad de señal por la conjugada (43) de la función de referencia (42). La capacidad de separación de objetivos adyacentes aumenta para grandes ángulos de antena, a medida que aumenta la derivada de la frecuencia, aumenta el gradiente de la curva. Esto está de acuerdo con la ecuación para la resolución angular comentada en la introducción a esta descripción, según la cual con grandes ángulos del objetivo se obtiene una resolución elevada.

Es digno de indicar que la función de referencia (43) cruza los objetivos respectivos (37-41) por su punto medio. Este hecho, que tiene gran importancia para la presentación de la imagen final, será comentado más adelante en esta sección.

Cuando se ha realizado la separación de objetivos mediante la frecuencia, es posible en esta etapa el enfoque angular utilizando un factor de cálculo con una transformación de Fourier. Con el fin de optimizar el factor de cálculo, la longitud de FFT se fija en una segunda energía mediante relleno cero. La transformación de Fourier que integra la señal de energía como función de la frecuencia, crea en este caso, según la figura 7b, cinco puntos objetivo bien comprimidos.

Dado que la variación de frecuencia (59) de la función de referencia no es lineal, los puntos objetivo desmodulados quedarán asimismo separados de una forma no lineal en lo que respecta a la frecuencia. El resultado es que, después del enfoque angular, los objetivos originales posicionados de manera simétrica están posicionados asimétricamente. Este hecho que está ilustrado en la figura 7b y en la figura 8a, significa que debe llevarse a cabo un nuevo muestreo relacionado con el ángulo y relacionado con la frecuencia, con el fin de obtener una imagen de una forma geométrica correcta.

En el método según la invención, este nuevo muestreo se lleva a cabo mediante una transformación del espectro angular no lineal, a una escala angular lineal, según la figura 8b. Los puntos objetivo en el modelo de simulación están situados de este modo en la posición correcta, en la figura 8c, mediante proyección, consultar las líneas (44-46), (47-49), (50-52), (53-55) y (56-58), del resultado no lineal de la figura 8a en una escala lineal de frecuencia, en la figura 8b. La proyección implica de este modo que el espectro original ha sido desplazado en función de la diferencia entre las escalas de frecuencia lineal y no lineal.

El nuevo muestreo tiene además como resultado que la resolución del objetivo se convierte en dependiente del ángulo. Con ángulos pequeños del objetivo se obtiene una resolución menor, mientras que con ángulos grandes del objetivo se obtiene una resolución mejorada. Esta conclusión, que está de acuerdo con la ecuación para la resolución angular, está ilustrada en la figura 8c.

Anteriormente, se ha descrito un resultado que se refiere a una antena con una proporción de exploración constante. Sin embargo, puede ser atractivo variar la proporción de exploración de la antena, de manera que la resolución angular permanezca constante. Esto será descrito a continuación con mayor detalle.

Un radar de reconocimiento tiene como tarea principal la localización de objetivos interesantes mediante imágenes generadas por el radar. Con el fin de que existan condiciones idénticas con respecto a la detección y el análisis, se requiere una resolución constante en la totalidad del área iluminada. Esto puede ser conseguido mediante una variación adecuada de la proporción de exploración.

En la ecuación referente a la resolución angular comentada anteriormente, se incluyó un factor de adelgazamiento del haz, según:

$$R_{FSAR} = \frac{2\lambda v_p}{\omega_s l^2} \sin(\phi)$$

Tal como existe una correlación entre el adelgazamiento del haz  $R_{FSAR}$  y la proporción de exploración es, existe asimismo una correlación correspondiente entre resolución y proporción de exploración. Despejando la proporción de exploración y suponiendo un valor constante para el factor de adelgazamiento de haz, se determina la proporción de exploración necesaria.

$$\omega_s = \frac{2\lambda v_p}{R_{FSAR} l^2} \sin(\phi)$$

La figura 9 ilustra como puede modificarse la proporción de exploración en función del ángulo de antena. La utilización del resultado en la figura 9 proporciona un tiempo de integración  $T_{int}$  dependiente del ángulo, el cual viene dado por la anchura efectiva del haz de antena dividido por la proporción de exploración. El tiempo de integración corresponde al tiempo en que un objetivo específico está dentro del campo de visión de la antena.

$$T_{int} = \frac{\lambda/l}{\omega_s}$$

La ecuación anterior combinada con el resultado de la figura 9 muestra que los objetivos con ángulos pequeños, próximos a la dirección de desplazamiento, están iluminados durante más tiempo que los objetivos con ángulos mayores. De esta forma se hace posible una resolución constante.

Una de las ventajas del algoritmo SAR propuesto es que también maneja datos sin depurar captados con una proporción de exploración variable. Dado que la proporción de exploración está incluida en la creación de la función de referencia, no se precisa ningún ajuste adicional del método de enfoque. Con el fin de ilustrar la afirmación anterior, el escenario de la figura 2 es simulado, pero con una proporción de exploración variable.

Las figuras 10a, 10b y la figura 11 ilustran el efecto del movimiento de aproximación (comparar con las figuras 4a, 4b y 5b). Dado que el tiempo de iluminación varía, la magnitud de la variación de la distancia depende del ángulo, ver figura 10a. Después del desplazamiento en el tiempo, la energía de la señal está comprendida dentro de la entrada de distancia correcta. De ello resulta el correspondiente desplazamiento de fase, según la figura 11, en todos los objetivos que están centrados alrededor de la frecuencia cero, exactamente igual que antes. La compensación del enfoque está pues de acuerdo con la realización comentada anteriormente.

La creación de la función de referencia para la desmodulación/separación de objetivos, es llevada a cabo según el método descrito anteriormente. El resultado se muestra en las figuras 12a y 12b que ilustran la variación de frecuencia del objetivo (37-41), además de la frecuencia normalizada (42) de la función de referencia. La figura 12b muestra el resultado después de la desmodulación. La conjugada de la frecuencia normalizada de la función de referencia recibe el numeral de referencia (43) en la figura 12b. En este estado se obtiene la resolución independiente del ángulo mediante la combinación predefinida entre el tiempo de integración y la derivada de la frecuencia.

La figura 13 ilustra el resultado de la cantidad de señal desmodulada después del enfoque angular. El resultado se introduce directamente en el diagrama en una escala angular corregida con el fin de obtener la posición angular



## ES 2 284 152 T3

correcta. El resultado ilustra claramente que puede obtenerse asimismo una resolución constante cuando se utiliza un radar de exploración.

5 Los niveles relativamente elevados de los lóbulos laterales se deben a no haber realizado una evaluación de la amplitud. No obstante, es totalmente posible introducir una evaluación de la amplitud según los principios conocidos en el campo de la tecnología del radar.

10 La invención no está limitada a las realizaciones descritas anteriormente, sino que puede ser modificada dentro del esquema de las siguientes reivindicaciones de la patente.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Método para el cartografiado del escenario de un objetivo mediante un radar de exploración de apertura sintética, utilizando el efecto Doppler que se origina en el caso de movimiento entre el radar y el escenario del objetivo, en el cual se calcula el movimiento de una plataforma sobre la cual está montada la antena del radar utilizando datos de navegación obtenidos para la plataforma, **caracterizado** porque para la compensación del desplazamiento (7) en tiempo y fase dependiente del movimiento de la plataforma, se transforma impulso a impulso una cantidad de señal recibida (6) en forma de datos sin depurar, en una cantidad de señal (9, 10) corregida en movimiento mediante el desplazamiento en tiempo y en fase, dependiente del movimiento de la plataforma a lo largo de un movimiento imaginario (31) de la plataforma, dirigido de tal forma que la dirección momentánea de la antena está esencialmente a  $90^\circ$  con respecto a la dirección del movimiento de la plataforma imaginaria.

2. Método, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque la compensación del desplazamiento (7) en tiempo y en fase, dependiente del movimiento de la plataforma, es llevada a cabo en el plano de la frecuencia, y porque su magnitud en tiempo  $T$  y fase  $\theta$  se obtiene mediante las correlaciones:

$$T = 2R/c$$

y

$$\theta = (4\pi/\lambda_c) R$$

en la que  $R$  es la distancia a un eco respectivo a desplazar (figura 3),  $c$  es la velocidad de propagación y  $\lambda_c$  es la longitud de onda de la señal.

3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la cantidad de señal recibida (3) está comprimida en impulsos (4), de manera adecuada en combinación con la transformación en una cantidad de señal corregida en movimiento (9, 10).

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se crea una función de referencia (11) mediante:

1. la colocación de un objetivo de referencia en la dirección de desplazamiento de la plataforma.
2. la suposición de que el objetivo de referencia está iluminado durante todo el movimiento de la plataforma y en todos los ángulos de la antena.
3. el cálculo de la variación de fase  $\theta_{\text{ref}}$  que se ha originado.
4. la creación de una señal de referencia según  $S_{\text{ref}} = \exp(j\theta_{\text{ref}})$ .
5. la compensación de la aproximación  $S_{\text{ref}}$ .

y porque la cantidad de señal (9, 10) está desmodulada (11) mediante la multiplicación por la conjugada de la función de referencia.

5. Método, según la reivindicación 4, **caracterizado** porque la cantidad de señal desmodulada (13) está enfocada angularmente (14) mediante un factor de cálculo con una transformación de Fourier (FFT).

6. Método, según la reivindicación 5, **caracterizado** porque la cantidad de señal enfocada angularmente (16) es proyectada en una escala lineal de frecuencia (17).

7. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la proporción de exploración del radar de exploración se mantiene constante.

8. Método, según cualquiera de las reivindicaciones 1-6 anteriores, **caracterizado** porque la proporción de exploración del radar de exploración varía (figura 9) con el fin de obtener una resolución esencialmente constante (figura 13) dentro del área explorada.

9. Método, según la reivindicación 8, **caracterizado** porque la proporción de exploración  $\omega_s$  del radar se determina mediante la correlación:

$$\omega_s = \frac{2\lambda v_p}{R_{FSAR} l^2} \sin(\phi)$$

5 en la que  $\lambda$  corresponde a la longitud de onda de la señal,  $v_p$  es la velocidad de la plataforma,  $R_{FSAR}$  es el factor de adelgazamiento del haz,  $l$  es la dimensión física de la antena y  $\Phi$  es el ángulo de la antena.

10 10. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el cartografiado del escenario del objetivo es llevado a cabo dentro de un margen angular de una magnitud aproximada de  $\pm 30^\circ$  durante la aproximación hacia el escenario del objetivo.

15 11. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque los datos de navegación de la plataforma se obtienen a partir de un sistema INU (IMU + INS) conectado a la plataforma.

12. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se utilizan otros métodos de cartografiado basados en radar, asociados con el método en ciertas partes de la gama a cartografiar.

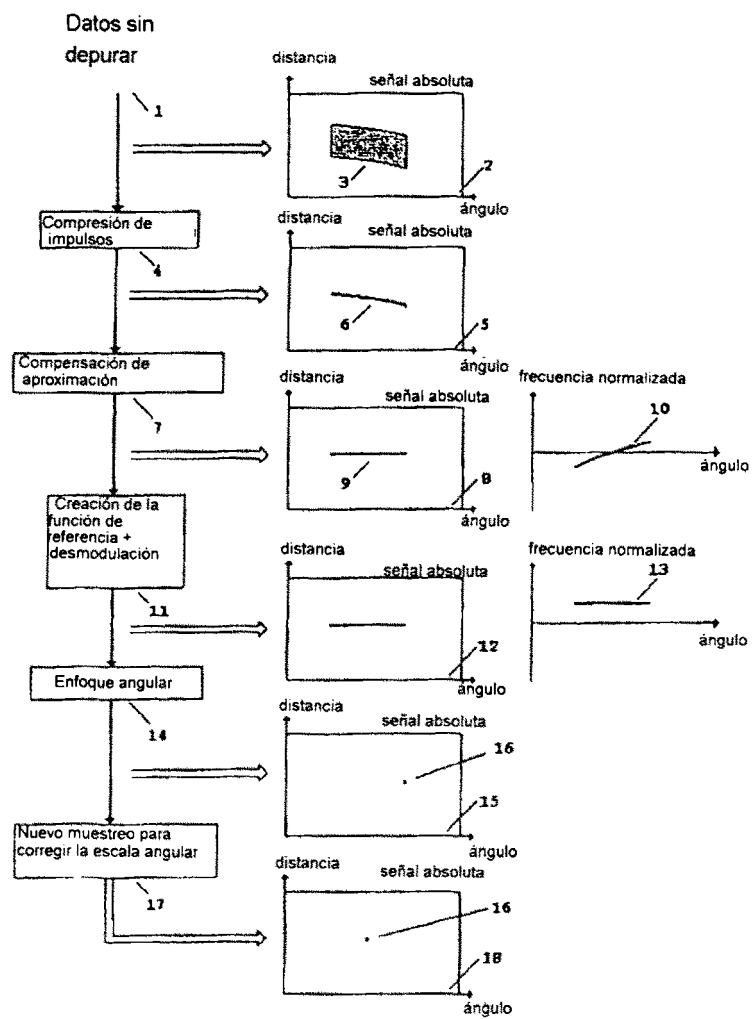


Figura 1

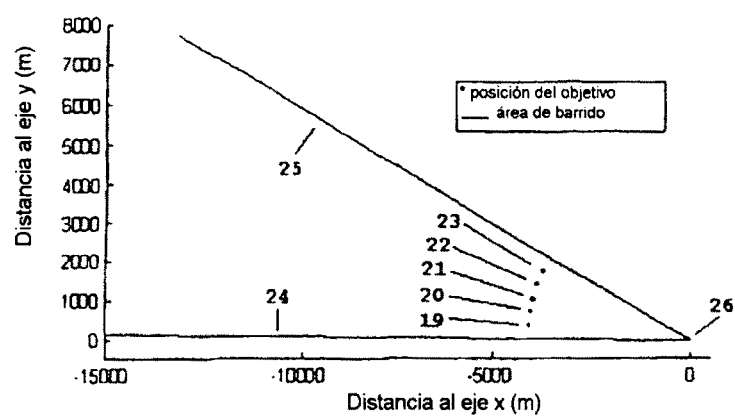


Figura 2

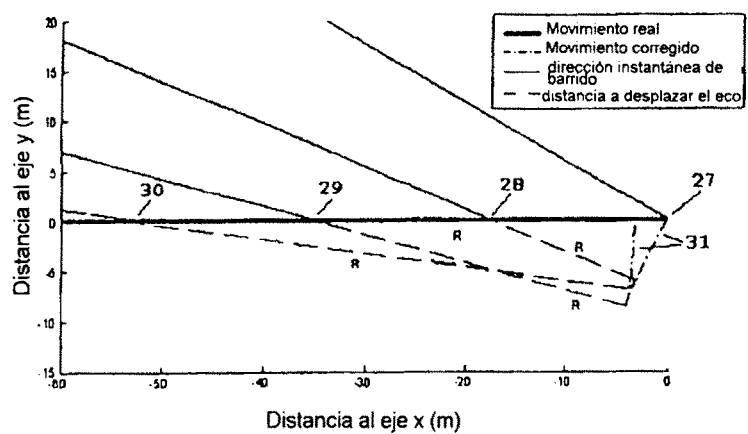


Figura 3

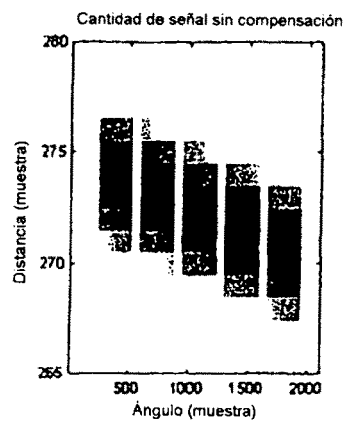


Figura 4a

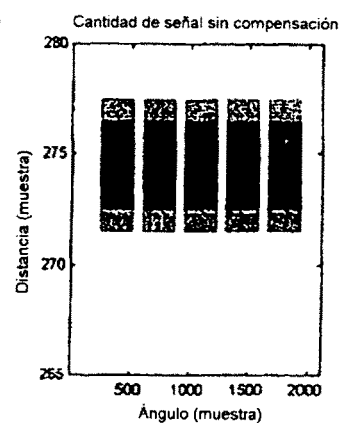


Figura 4b

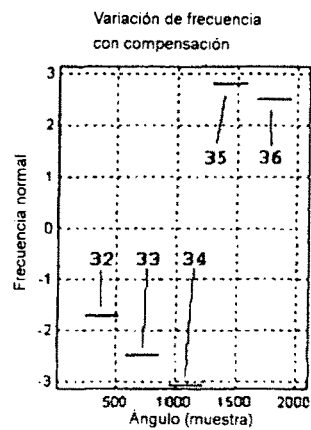


Figura 5a

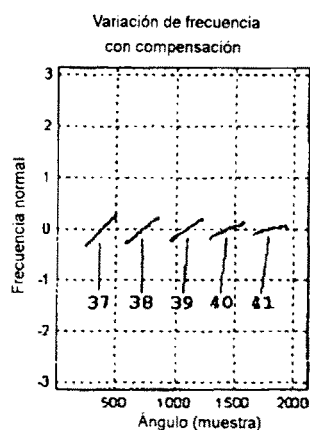


Figura 5b

Variación de frecuencia sin señal de referencia

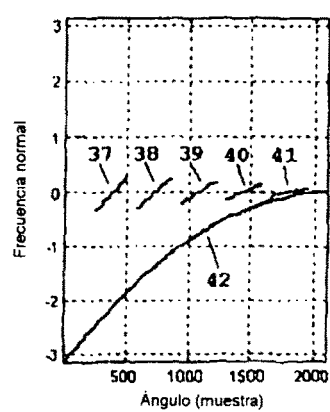


Figura 6a

Variación de frecuencia sin señal de referencia

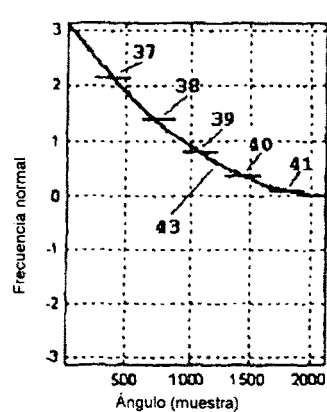


Figura 6b

Variación de frecuencia con señal de referencia

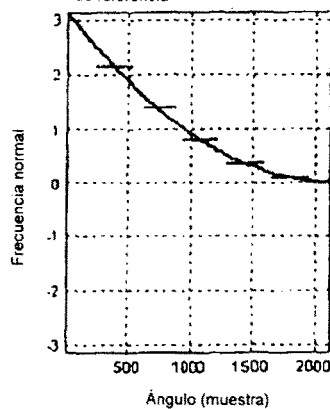


Figura 7a

Señal de enfoque angular

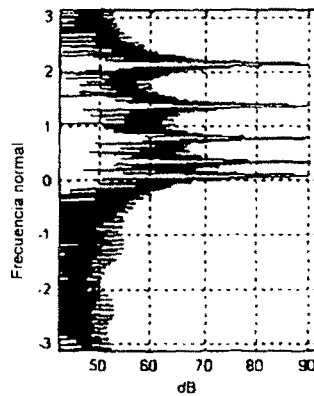


Figura 7b

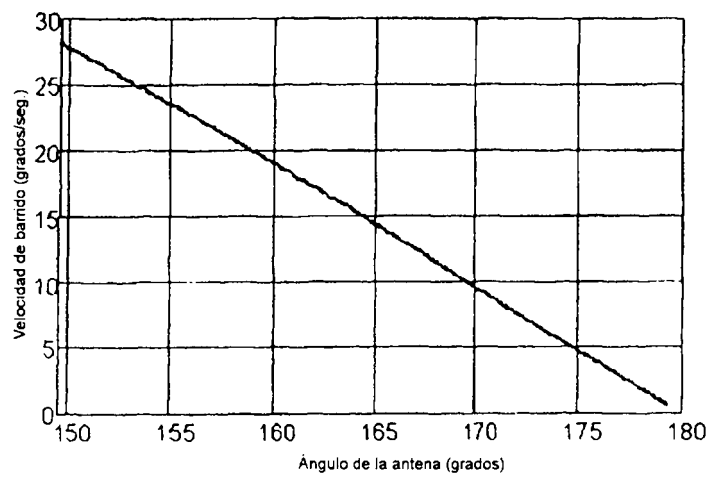
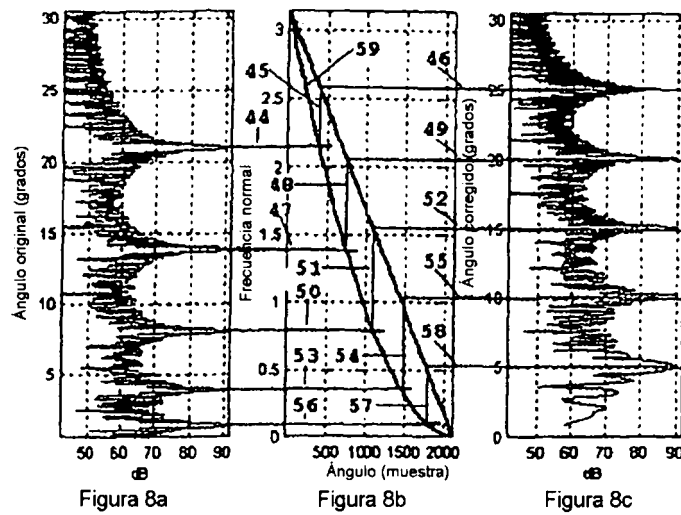


Figura 9



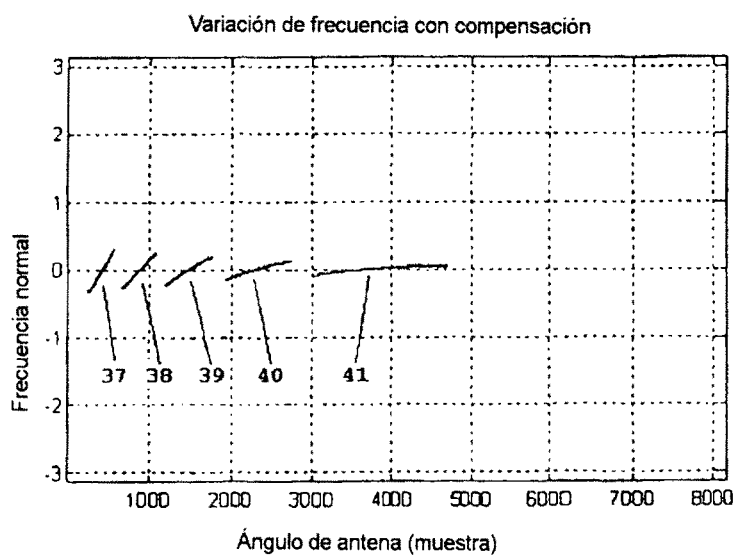
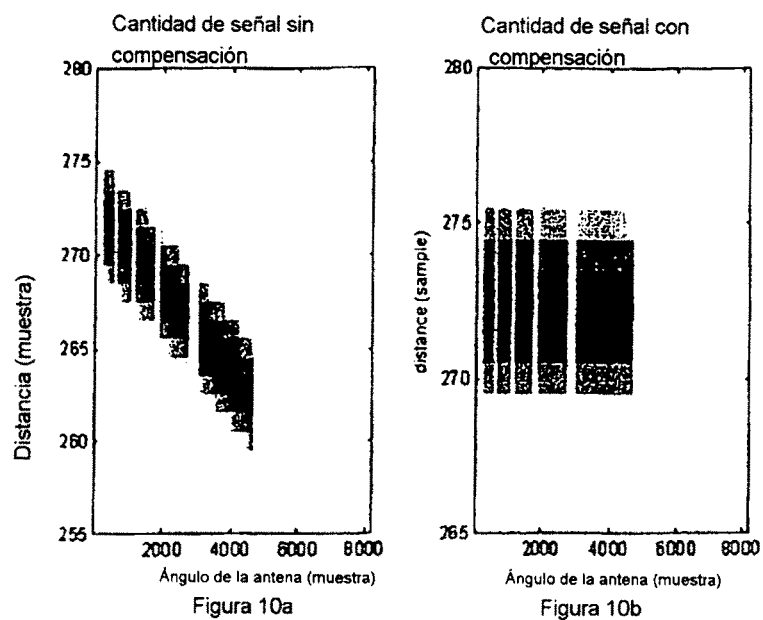


Figura 11

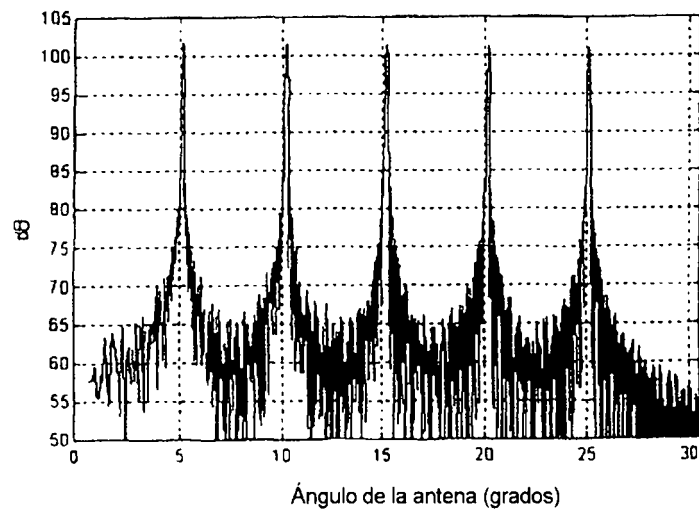
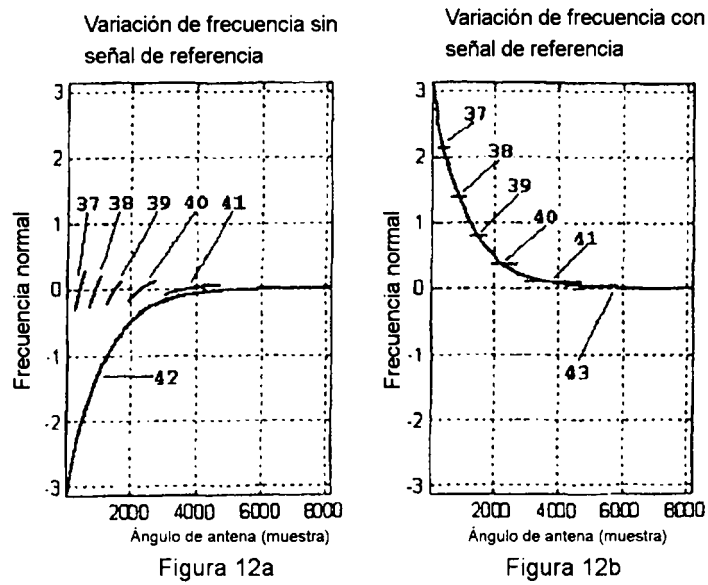


Figura 13