

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 392 512**

51 Int. Cl.:

G01S 7/40 (2006.01)

G01S 13/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04445004 .7**

96 Fecha de presentación: **27.01.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1560038**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.08.2005**

54

Título: **Método para la reducción del desenfoco angular en imágenes de radar**

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:

11.12.2012

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:

11.12.2012

73

Titular/es:

**SAAB AB (100.0%)
581 88 Linköping, SE**

72

Inventor/es:

TULLSSON, BERT-ERIC

74

Agente/Representante:

DURÁN MOYA, Carlos

ES 2 392 512 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 la reducción del desenfoque angular en imágenes de radar

5 La presente invención se refiere a un método para la reducción del desenfoque angular en imágenes de radar.

Un radar funciona mediante la radiación de ondas electromagnéticas procedentes de una antena, y detectando las ondas reflejadas (los ecos) por los objetos próximos al radar. Muy a menudo, el radar puede distinguir ecos de objetos a distancias diferentes, y de este modo obtiene una resolución de la distancia. A menudo, la medición de la distancia es discontinua, en el sentido de que los valores medidos de las distancias no varían de forma continua, sino que adoptan más bien un valor dentro de un conjunto predeterminado de valores, muy a menudo equidistantes. La explicación siguiente está limitada a dichos radares, con una medición con valores discontinuos de las distancias ("bins" de distancias).

15 Para vigilar una zona amplia, muchos radares de búsqueda tienen una antena de exploración, muy a menudo giratoria, para abarcar todas las direcciones, o que se desplaza hacia atrás y hacia adelante para cubrir un sector, por ejemplo, en sentido acimutal. En este caso, el radar recibe ecos en cada posición angular desde todos los bins de distancias estudiados (en algunos bins de distancias puede no existir eco). Si el radar es pulsante, la detección se realiza solamente en posiciones angulares discontinuas, una para cada impulso.

20 En este caso, la amplitud recibida (o potencia) de los ecos del radar puede ser mostrada como una imagen de radar con un conjunto finito de elementos de la imagen del radar (píxeles). En la mayor parte de casos, la imagen de radar de un sector cartesiano se presenta como un rectángulo en coordenadas polares con un número finito de posiciones angulares a lo largo del eje horizontal y un número finito de bins de distancias a lo largo del eje vertical (esta presentación se denomina presentación en "ámbito B"). Para mayor comodidad, muy a menudo se presenta el logaritmo de las amplitudes (potencias) (escala en decibelios, dB).

25 La explicación siguiente está limitada a un radar con datos presentados como dichas imágenes rectangulares de ámbito B con un número finito de píxeles. La coordenada angular se considera que en general es un acimut al realizar la antena de radar la exploración alrededor de un eje vertical, pero asimismo es posible en elevación.

30 La sensibilidad del radar es máxima en la dirección determinada por la antena. En la mayor parte de casos, esta dirección es frente a la antena. Dado que la anchura física de la antena es un número limitado de longitudes de onda que corresponden a la frecuencia utilizada, el haz principal de la antena, en el que la sensibilidad es máxima, no es infinitamente estrecho, sino que tiene una cierta anchura angular. El radar recibe un eco de un objeto, no solo cuando la antena está orientada directamente hacia el objeto, sino también cuando la antena está orientada ligeramente a la derecha del objeto, cuando el objeto está iluminado por la parte izquierda del haz principal de la antena y, cuando la antena está orientada ligeramente a la izquierda del objeto, cuando el objeto está iluminado por la parte derecha del haz principal de la antena. Un pequeño reflector del radar (en forma de punta), proporciona de este modo ecos en todo el alcance angular del haz principal del radar.

35 Dado que existen (en caso de duplicidad, en caso de análisis Doppler, o por otros motivos) diversas posiciones angulares utilizadas (diversos impulsos transmitidos) para cada anchura del haz principal de la antena del radar, la consecuencia es que en la coordenada angular se consiguen imágenes desenfocadas del radar. Este desenfoque hace que el análisis de la imagen del radar sea más difícil. Resulta que no es trivial la determinación del ángulo con respecto a un blanco del radar, incluso si el blanco tiene forma puntual, y resulta difícil la comparación entre la imagen del radar y una imagen de la misma zona por medio de otro sensor con características diferentes (posiblemente otro radar).

40 Existe una serie de métodos para reducir el desenfoque angular, y a continuación se comentarán algunos rasgos importantes de dichos métodos.

45 Según una primera técnica principal los métodos están basados en la desconvolución. Dado que el desenfoque puede ser considerado el resultado de la convolución de una imagen sin desenfoque con el haz de la antena, en teoría, puede ser eliminado realizando una transformación de Fourier de la imagen en dirección angular, dividiendo el esquema de la antena con la transformación de Fourier y realizando, a continuación, una transformación de Fourier inversa. Lo racional es que la transformación de Fourier convierta la convolución en multiplicación.

50 Según una segunda técnica principal, se comentan los métodos dentro de un radar general. Frecuentemente, datos tales como los de la figura 1, que muestran una imagen de radar medida de un sector cartesiano en escala de dB con posiciones angulares a lo largo del eje horizontal y "bins" de distancias a lo largo del eje vertical, pasan a través de un "extractor de blancos" que a menudo trabaja mediante la definición de un "blanco" como un máximo local con una amplitud que sobrepasa un umbral definido de una manera adecuada. A continuación, en un "bin" de distancias dado, se define la posición angular del blanco como la posición en la que se consigue el máximo. Puede calcularse una posición angular más exacta ajustando una curva adecuada tal como una parábola, con la posición angular como la variable independiente, a los datos próximos al máximo local, y calcular la posición angular del máximo de

la parábola ajustada. En particular, no es difícil ajustar una parábola a los tres puntos más próximos al máximo local, con las mayores amplitudes, en particular si las posiciones angulares son equidistantes. Para ajustar una parábola a más de tres puntos, puede utilizarse un cálculo con el procedimiento de los mínimos cuadrados.

5 Este procedimiento, en general, funciona bien para el seguimiento de un número limitado de blancos, pero no siempre es practicable para eliminar el desenfoque de una imagen entera, para su presentación o para otros propósitos.

10 Según una tercera técnica principal, se utiliza un radar móvil. En el caso de radares aerotransportados, los métodos avanzados tales como el radar de apertura sintética (Synthetic Aperture Radar), (SAR, [LHMN cap. 15]) en su forma más simple "Adelgazamiento del haz mediante Doppler" (Doppler Beam Sharpening) [LHMN p. 260], utiliza un radar móvil con medición de la velocidad radial del radar (Doppler) y un tratamiento avanzado de la señal para obtener una "imagen" muy delgada de la parte controlada del terreno (no siempre descrita como un rectángulo en coordenadas polares). En esta descripción, se utiliza LHMN como una referencia abreviada a "Una introducción a sistemas de radar aéreos y aerotransportados Lacomme/Hardange/Marchais/Normant", (Lacomme/Hardange/Marchais/Normant, Air and Spaceborne Radar Systems. An Introduction). ISBN 1 -891121 -13 -8, SciTech Publishing 2001.

20 Según una cuarta técnica principal, los métodos para la reducción del desenfoque angular presuponen un tipo particular de antena de radar, tal como una antena monoimpulso o una agrupación de antenas.

Los radares de seguimiento son radares que pueden medir en cuanto difiere la dirección de la antena del radar (la alineación) de una dirección deseada (la diferencia se denomina generalmente ángulo de error). Los radares de seguimiento se utilizan para apuntar cañones, guiar misiles, mantener una antena siguiendo un satélite de comunicaciones, etc. En general, un radar de seguimiento utiliza una antena monoimpulso [Sherman]. En esta descripción se utiliza Sherman como una referencia abreviada a "Sherman, Principios y técnicas de los monoimpulsos" (Monopulse Principles and Techniques), ISBN 0-89006-137-8, Artech House 1984. Una antena monoimpulso puede utilizar, por lo menos, dos disposiciones de antena, una disposición de suma con su direccionalidad máxima en la dirección de la antena y una disposición de diferencia que es sensible a blancos ligeramente desviados de la dirección de la antena. Existe una disposición de diferencia para cada variable angular utilizada (acimut, elevación). La figura 3 muestra disposiciones típicas de suma y de antena ([Sherman p. 138]). En la figura 3, las cantidades (fuerzas de campo) tienen, ambas, signos positivos y negativos. La figura 4 muestra el valor absoluto de la disposición de diferencia, comparada con la disposición de suma.

35 Algunos radares, a menudo radares aerotransportados multifuncionales, utilizan una antena de seguimiento monoimpulso en inspecciones y búsquedas. En este caso, puede utilizarse el canal de diferencia de diversas formas para reducir el desenfoque de la imagen debido a la anchura del haz principal de la antena (suma). A continuación, se indican dos tipos de métodos comprobados. Ambos tipos pueden estar incluidos bajo la denominación de "Haz monoimpulso adelgazado" (Monopulse Beam Sharpening).

40 1) Supongamos que S y D indican el canal suma y diferencia, respectivamente. Por tanto $S - k \cdot \text{abs}(D)$, con una constante pequeña positiva adecuada k, es un modelo que es S en la dirección de la antena (alineación), en la que $D = 0$, pero que es menor que S fuera de la alineación, y por lo tanto más estrecha que S. Dicho modelo, puede ser utilizado para reducir el desenfoque angular en las imágenes de radar. Para evitar valores negativos de la amplitud (potencia), puede utilizarse una combinación $\max(0, S - k \cdot \text{abs}(D))$.

45 2) Un método mucho mejor y más sofisticado es el de calcular el ángulo de error del monoimpulso en cada punto en la imagen y determinar una posición angular corregida como "posición angular + ángulo de error". La potencia detectada en un bin de distancias en una posición angular determinada no se almacena en la posición angular original, sino más bien en la posición angular corregida [LHMN páginas 205 -206]:

$$\text{posición angular corregida} = \text{posición angular} + \text{ángulo de error}$$

Esto proporciona un "adelgazamiento del haz" muy efectivo para la visualización o para otros propósitos.

55 En general, en la imagen en la que se debe eliminar el desenfoque, solamente existe un número limitado de posiciones angulares permitidas (denominadas "sub-haces" ("sub beams") en [LHMN, página 206]) y, a continuación, el lado derecho de la fórmula deberá ser redondeado a la posición permitida más próxima. El "almacenamiento" puede ser realizado mediante la adición a valores ya almacenados (especialmente cuando se añade potencia) o mediante la utilización de una operación del tipo $\max(\text{nuevo_valor}, \text{valores_ya_almacenados})$. Una alternativa, que en algunos casos proporciona resultados más exactos, es distribuir la magnitud (potencia) en las dos posiciones angulares permitidas, más próximas, posiblemente mediante interpolación lineal.

Si el radar utiliza una disposición de antena con varios elementos independientes de transmisión o de recepción, se dispone asimismo de métodos especiales.

A partir del documento U.S.A.-A-5 831 570 era conocido previamente un sistema de detección que comprende técnicas monoimpulso en acimut basadas en señales procedentes de dos canales, un canal de suma y un canal de diferencia.

5 El objetivo de la invención es obtener un método general para reducir de forma eficiente el desenfoque angular, y que puede ser utilizado, asimismo, para grandes cantidades de datos. El objetivo se alcanza mediante un método como el reivindicado en la reivindicación 1. Por medio de características tales como las determinadas en las reivindicaciones independientes, se obtienen ventajas adicionales. El método de la invención no utiliza la desconvolución ni presupone mediciones Doppler, ni ningún tipo particular de antena.

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

15 La figura 1 muestra una imagen de radar medida de un sector cartesiano en escala de dB.

La figura 2 muestra un corte horizontal a través de la figura 1 para el bin de distancias #69 en una escala de dB.

La figura 3 muestra una disposición monoimpulso típica de suma (simétrica) y una disposición de diferencia.

20 La figura 4 muestra una disposición monoimpulso de suma y el valor absoluto de la disposición de diferencia.

La figura 5 muestra una imagen de radar, según la figura 1, después de la reducción del desenfoque, según el método de la invención.

25 La figura 6 muestra un corte horizontal, según la figura 2, después de la reducción del desenfoque, según el método de la invención.

30 A continuación, se presenta un procedimiento para reducir el desenfoque angular en imágenes de radar, del tipo definido anteriormente. En la explicación, se supone que el método es puesto en práctica mediante cálculos en un procesador digital.

35 En la figura 1, se presenta una típica imagen medida de radar de un sector cartesiano. La imagen muestra la magnitud de la señal de radar recibida (video) en 230 bins de distancias (valores de distancias) para cada una de las 140 posiciones angulares. Si la magnitud está indicada mediante S, los datos pueden ser descritos de este modo como una disposición $S(i,j)$, $1 \leq i \leq 140$, $1 \leq j \leq 230$. Los puntos oscuros significan una magnitud grande. Tanto los bins de distancias como las posiciones angulares se considerarán en este caso equidistantes.

40 Es evidente que la figura 1 contiene muchos objetos distintos, pero el desenfoque angular debido a la anchura del haz del radar (acimut) es muy importante. En él, parece que no existan blancos en forma de punto; en vez de ello, todos los blancos están prolongados en la dirección angular. El radar utilizado tiene una anchura del haz acimutal 3 dB de unas 10 posiciones angulares, lo que significa que un blanco puntual con un contraste con respecto al fondo de 20 dB o mayor puede parecer que tenga una anchura de unas 20 posiciones angulares.

45 La figura 2 muestra un corte horizontal (distancia constante) en la figura 1, a través del bin de distancias #69, que contiene un reflector del radar muy potente (blanco). Los datos de la figura 2 se pueden describir de este modo como $S(i,69)$, $1 \leq i \leq 140$. El haz principal (la forma del lóbulo principal de la disposición de direccionalidad de la antena del radar) es claramente visible. Cerca de un máximo local, las amplitudes medidas siguen la disposición del haz.

50 En la figura 2, el tamaño del haz principal del acimut de la antena del radar proporciona retornos apreciables del blanco en posiciones angulares, por lo menos entre #20 y #40, aunque el blanco parece estar situado aproximadamente en la posición angular #28 ó #29.

55 La forma de la figura 2 es realmente la imagen simétrica de izquierda a derecha de la forma del haz de la antena (a la izquierda de la posición correcta, la parte derecha del haz de la antena ilumina el blanco, etc.). Sin embargo, la mayor parte de los haces reales de la antena son aproximadamente simétricos y, en consecuencia, la diferencia entre izquierda y derecha es apenas perceptible.

60 A continuación, se mostrará la reducción del desenfoque angular en los datos de las figuras 1, 2.

65 Antes de una presentación más detallada del método sugerido para la reducción del desenfoque angular en imágenes de radar siguen, a continuación, como antecedentes, algunas explicaciones sobre ecuaciones diferenciales. Supongamos que una variable medida $S(x)$ como la de la figura 2 tiene un máximo local en el ángulo $x = x_0$. Cerca del máximo, se puede aproximar la curva mediante la disposición del haz de la antena, asimismo indicado con $S(x)$, con un ligero abuso de la notación. En general, S es una función uniforme semejante a una parábola, simétrica alrededor de $x = x_0$ y con una tangente horizontal en su máximo en $x = x_0$.

El objetivo deseado es utilizar los datos medidos para determinar el máximo local x_0 más próximo y concentrar la energía desenfocada del haz en este punto. Se puede determinar x_0 mediante algún tipo de ajuste de curva local, ajustando localmente una expresión para la función S de la forma del haz con relación a los datos medidos, por ejemplo, mediante el método de los mínimos cuadrados (como en el "extractor de blancos" mencionado anteriormente).

Sin embargo, se puede determinar asimismo x_0 mediante la utilización de una ecuación diferencial, utilizando una o varias derivadas (parciales) (en la dirección angular) de S(x), estimadas a partir de los datos. Dado que la primera derivada proporciona la pendiente de S(x) y la segunda derivada proporciona la curvatura, esto es geoméricamente razonable. Dicho procedimiento es ventajoso en muchos casos, y se demostrará a continuación mediante algunos ejemplos.

Ejemplo 1. Una aproximación muy sencilla de la forma del haz próximo a $x = x_0$ es un polinomio de segundo orden:

$$S(x) = k \cdot (1 - c \cdot (x - x_0)^2)$$

lo que da una curva parabólica con un máximo = k en $x = x_0$. La constante k da la amplitud en el máximo, y la constante c determina la forma: una c positiva grande proporciona un haz delgado, en punta. La aproximación solamente debe ser utilizada para valores pequeños de $(x - x_0)$ que dan valores positivos de S(x).

La derivada (parcial) de S, como una función de la variable angular x, viene dada por

$$S'(x) = -2 \cdot k \cdot c \cdot (x - x_0)$$

La variable de perturbación k se elimina realizando el cociente entre S' y S:

$$q(x) = S'(x) / S(x) = -2 \cdot c \cdot (x - x_0) / (1 - c \cdot (x - x_0)^2)$$

que da la ecuación diferencial

$$(1 - c \cdot (x - x_0)^2) \cdot S'(x) + 2 \cdot c \cdot (x - x_0) \cdot S(x) = 0$$

En el caso de $x = x_0$, $2 \cdot c \cdot (x - x_0) \cdot S(x) = 0$, pero asimismo $S'(x_0) = 0$ (tangente horizontal).

Si para un cierto ángulo x, S'(x) y S(x) pueden ser calculadas o estimadas a partir de los datos del radar, q(x) es un valor conocido. La relación en el caso de q(x) da una ecuación de segundo orden para la incógnita $(x_0 - x)$:

$$(x_0 - x)^2 + 2 / q \cdot (x_0 - x) - 1/c = 0$$

habiendo anotado q(x) simplemente como q. Solamente interesa una de las raíces cuadradas (rc):

$$x_0 - x = -1/q + rc(1/q^2 + 1/c) = q/c / (rc(1 + q/c) + 1) \quad (*)$$

(utilizando la regla de la conjugada) y de este modo

$$x_0 = x + q/c / (rc(1 + q/c) + 1)$$

que, para cualquier valor del ángulo x cerca del máximo $x = x_0$, da una estimación de x_0 . El algoritmo es (observar que c es un parámetro conocido en la forma supuesta del haz):

En cada bin de distancias, para un valor angular x, se obtiene S(x) a partir de los datos medidos y de la estimación de S'(x). Calcular la relación $q = S'(x) / S(x)$ y sustituir este valor en el lado de la derecha de la última ecuación anterior. A continuación el lado de la derecha, evaluado numéricamente, da una estimación del ángulo x_0 más próximo a x, donde el haz tiene un máximo.

El algoritmo es razonable. Si S es una magnitud o potencia, S(x) es siempre positiva. Si q(x), y de este modo la pendiente S'(x), es > 0, entonces el máximo x_0 más próximo debería ser > x. Si q(x) < 0, x_0 debería ser < x. Dado que el denominador $rc(1 + q/c) + 1$ anterior es siempre > 0, el algoritmo es cualitativamente tal como se espera.

El algoritmo es de interés principalmente para pequeños valores de q(x), (cerca del máximo, S(x) es grande y S'(x) es numéricamente pequeño).

Con x = posición angular y x_0 interpretado como "posición angular corregida", la fórmula utilizada es del tipo

posición angular corregida = posición angular + corrección del ángulo

La fórmula proporciona asimismo una expresión para la "corrección del ángulo" ("ángulo de error")

5 Final del Ejemplo 1.

Dependiendo de los supuestos sobre la forma del haz $S(x)$, las fórmulas pueden ser ligeramente diferentes. Esto se mostrará a continuación.

10 Ejemplo 2. Otra aproximación común a la forma del haz en la literatura sobre radares es

$$S(x) = k \cdot \cos^2(d \cdot (x - x_0)) = k/2 \cdot (1 + \cos(2 \cdot d \cdot (x - x_0)))$$

15 En realidad, la aproximación utilizada [Sherman, página 138] para el lóbulo suma de la figura 3, es de este tipo. Al igual que en Ejemplo 1, la constante k da la amplitud del máximo y la constante d determina la forma del haz (máximo estrecho o amplio).

La derivada $S'(x)$ viene dada por

20
$$S'(x) = -2 \cdot k \cdot d \cdot \cos(d \cdot (x - x_0)) \cdot \sin(d \cdot (x - x_0))$$

Eliminando la variable k de perturbación al tomar el cociente $q(x) = S'(x) / S(x)$, se obtiene

25
$$q(x) = S'(x) / S(x) = -2 \cdot d \cdot \tan(d \cdot (x - x_0)) = 2 \cdot d \cdot \tan(d \cdot (x_0 - x))$$

(que da la ecuación diferencial $S'(x) + 2 \cdot d \cdot \tan(d \cdot (x - x_0)) \cdot S(x) = 0$)

Resolviendo la incógnita $x_0 - x$ se obtiene

30
$$d \cdot (x_0 - x) = \arctan(q(x) / 2/d)$$

y finalmente

35
$$x_0 = x + 1/d \cdot \arctan(q/(2 \cdot d))$$

que es la relación deseada, una fórmula del tipo

posición angular corregida = posición angular + corrección del ángulo

40 Final del Ejemplo 2.

Las características comunes de los ejemplos son:

45 En cada bin de distancias, para cada valor del ángulo x , la derivada (parcial) $S'(x)$ (y las derivadas de orden superior $S''(x)$, etc.) en la dirección angular, se determinan (se estiman) a partir de los datos. Se utiliza una fórmula del tipo

posición angular corregida = posición angular + corrección del ángulo

50 en la que la expresión "corrección del ángulo" se calcula mediante una fórmula que utiliza $S(x)$, $S'(x)$, ... y parámetros conocidos de la forma del haz. Muy a menudo, en la fórmula solamente aparecen cocientes del tipo $S'(x) / S(x)$.

55 Estas características se utilizan en el método para reducir el desenfoque angular, las cuales serán descritas a continuación.

60 El método sugerido no presupone una antena monoimpulso, sino solamente una disposición de una antena ordinaria (de búsqueda). La amplitud medida (potencia) en el ángulo x y la distancia y se indican mediante $S(x, y)$. Cuando el valor (fijado) de la distancia no es importante, simplemente se anota $S(x)$. Se supone que el ángulo x y la distancia y solamente se producen como valores diferenciados (discontinuos). Para incrementar esto, se pueden anotar los datos medidos como $S(i, j)$, $i_1 \leq i \leq i_2$, $j_1 \leq j \leq j_2$.

En cada bin de distancias y para la posición angular x , se utiliza la fórmula de la sección anterior:

posición angular corregida = posición angular + corrección del ángulo

en la que la "corrección del ángulo" viene dada por una fórmula que implica primeras derivadas o derivadas de orden superior (derivadas parciales en la dirección angular) de $S(x)$:

corrección del ángulo = función de $S(x)$, $S'(x)$, ... y parámetros conocidos de la forma del haz

5 Las fórmulas para la "corrección del ángulo" pueden ser ligeramente diferentes, dependiendo de la aproximación de la disposición del haz utilizada. El método sugerido comprende la totalidad de esta clase de fórmulas. En particular, el método comprende la clase de fórmulas que utilizan solamente relaciones del tipo $S'(x) / S(x)$.

10 El método propuesto puede ser realizado de diversas formas. Una realización ventajosa utiliza el método siguiente:

En cada bin de distancias las derivadas (parciales) dS/dx , $S''(x)$, etc. están calculadas de forma aproximada, utilizando generalmente diferencias finitas en la dirección angular. Si la amplitud en la imagen de radar en la posición angular i y en el "bin" de distancias j se denomina $S(i, j)$, esto significa en el caso de la primera derivada dS/dx (en realidad una derivada parcial a lo largo de la dirección angular "i") en el "bin" de distancias j :

$$dS/dx (i,j) = (\text{aproximadamente}) (S(i + 1,j) - S(i - 1,j)) / (\text{posición angular } (i+1) - \text{posición angular } (i - 1))$$

20 En este caso se utiliza una diferencia simétrica, pero existen otras posibilidades que pueden ser utilizadas en diferentes realizaciones del método. Si las posiciones angulares son aproximadamente equidistantes, el denominador es constante y los cálculos se pueden simplificar.

De manera simbólica, esta realización significa que dS/dx se estima mediante diferencias tales como $\Delta S/\Delta x$.

25 Es ventajoso que el número de posiciones angulares por ancho de haz no sea demasiado pequeño, ya que entonces es posible una cierta uniformización numérica (realizando una media, con un filtro contra el paso de bajas frecuencias) de los cocientes diferenciales $\Delta S/\Delta x$, etc., para obtener una estimación numérica mejor.

30 Asimismo, es ventajoso evitar utilizar la fórmula cuando el denominador S es demasiado pequeño. Una posibilidad es utilizar la fórmula de corrección solamente en los puntos en los que S es mayor que un umbral adecuado. Otra posibilidad es utilizar la fórmula en todos los puntos de la imagen, pero sustituir el denominador S por $S + t$, en que t es un umbral positivo adecuado (pequeño).

35 A continuación, la figura 5 muestra la figura 1 después de una corrección utilizando una de las fórmulas contempladas por el método.

Es evidente, por la figura 5, que el método de corrección sugerido "adelgaza el haz de la antena" y concentra los ecos del radar alrededor de las posiciones angulares correctas.

40 La figura 6 muestra la puerta de distancia #69 de la figura 5. Comparar con la figura 2. En la figura 6, la mayor parte de la potencia del haz ancho de la figura 2 es elevada y añadida a la posición angular correcta del blanco, posiciones angulares 28 -29.

Otras características del método sugerido:

45 El método no presupone que el radar sea móvil (no se utiliza una apertura sintetizada).

El método no utiliza un proceso Doppler.

50 El método sugerido funciona particularmente bien cuando el número de posiciones angulares por ancho de haz es grande. El método es menos adecuado en el caso de números pequeños ($\ll 10$) de posiciones angulares por ancho de haz.

55 El método proporciona una cierta mejora en la resolución angular, interpretada en el sentido de la posibilidad de resolver blancos muy próximos en ángulo y en el mismo bin de distancias. No se reivindica que esta mejora sea grande. La mejora es más bien limitada y tiene sus características particulares.

El método funciona muy bien cuando concentra blancos aislados (puntos) (figuras 5, 6).

60 La invención no está limitada a los ejemplos facilitados anteriormente, pero puede estar sometida a modificaciones dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

5 1. Método para la reducción del desenfoque angular debido a la anchura del haz del radar en imágenes de radar logradas en sistemas de detección basados en bins de distancias en los que la amplitud de la potencia $S(x)$ es medida como una función de una posición angular x a una cierta distancia, comprendiendo:

la determinación en cada bin de distancias, en el caso de una serie de posiciones angulares x , de una expresión del tipo

10
$$x_0 = x + q/c / (rc(1 + q/c) + 1)$$

ó

15
$$x_0 = x + (l/d) \cdot \arctan (q/(2 \cdot d)),$$

en las que

20 c es una constante que determina la forma de un polinomio de segundo orden utilizado para realizar la aproximación de la forma del haz,

d es una constante que determina la forma de una aproximación a la forma del haz según $S(x) = k \cdot \cos^2 (d \cdot (x - x_0))$, siendo k una amplitud,

25 q es la relación $q = S'(x) / S(x)$, siendo $S'(x)$ la primera derivada dS/dx de $S(x)$, y x_0 es una posición angular corregida; y

se desplaza $S(x)$ desde la posición angular x a la posición angular corregida x_0 mediante la adición a $S(x_0)$.

30 2. Método, según la reivindicación anterior, **caracterizado porque** las derivadas son estimaciones numéricas a partir de los valores medidos de $S(x)$.

3. Método, según la reivindicación 2, **caracterizado porque** para la estimación de las derivadas $S'(x)$ se utilizan diferencias finitas en la dirección angular $\Delta S/\Delta x$.

35 4. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado porque** se utilizan diferencias finitas promediadas o filtradas contra el paso de bajas frecuencias.

5. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la información de la variable $S(x)$ solamente se utiliza para unos valores tales de x en los que la variable $S(x)$ sobrepasa un cierto umbral t dado.

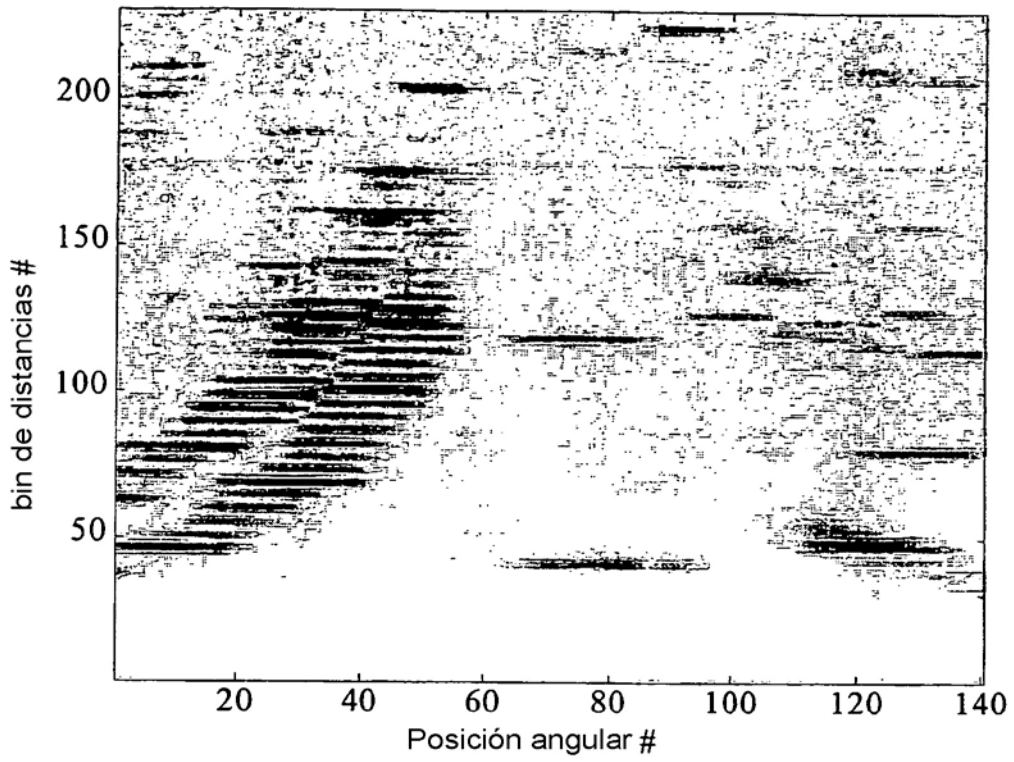


Figura 1

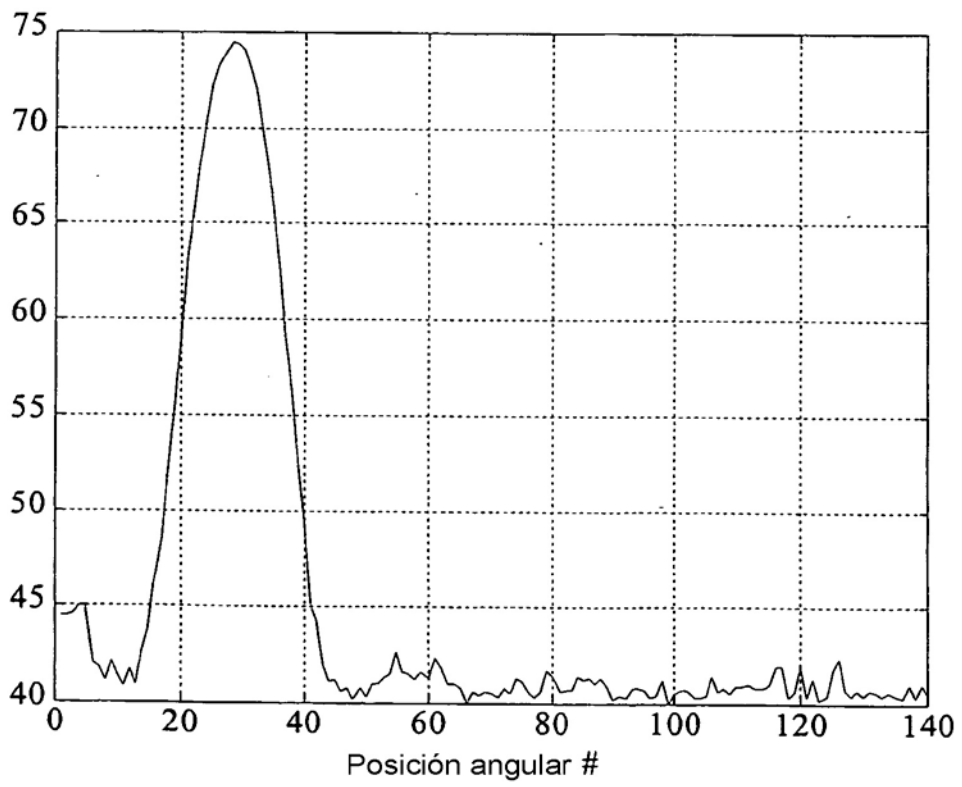


Figura 2

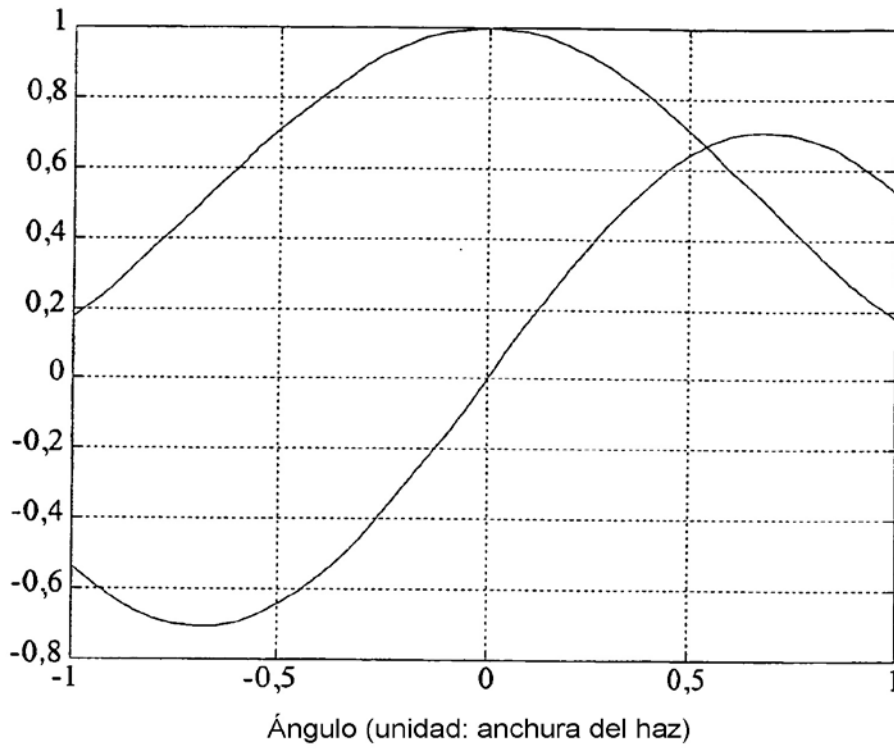


Figura 3

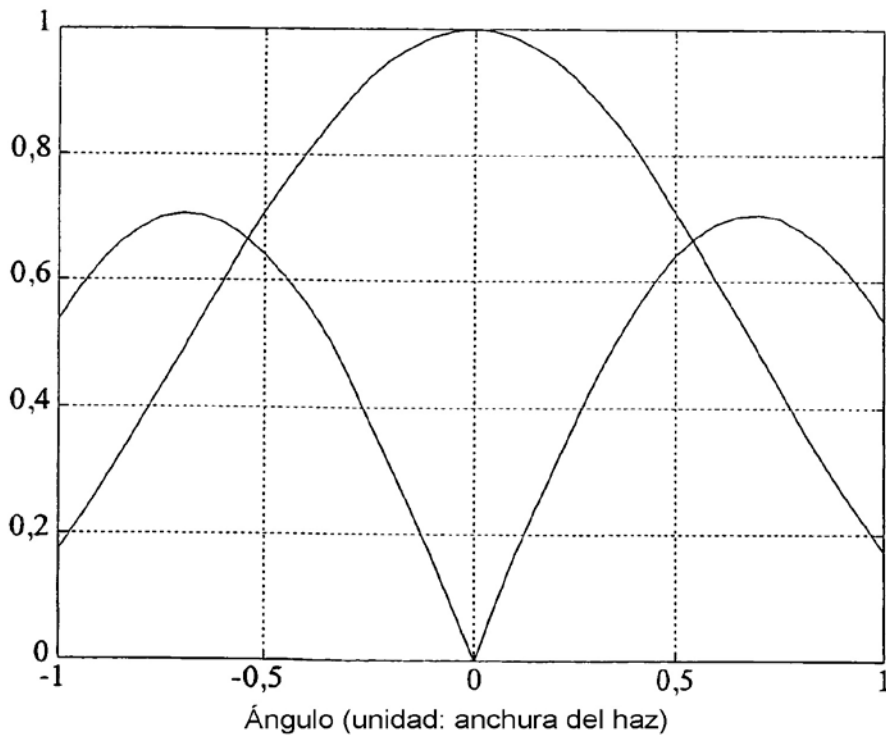


Figura 4

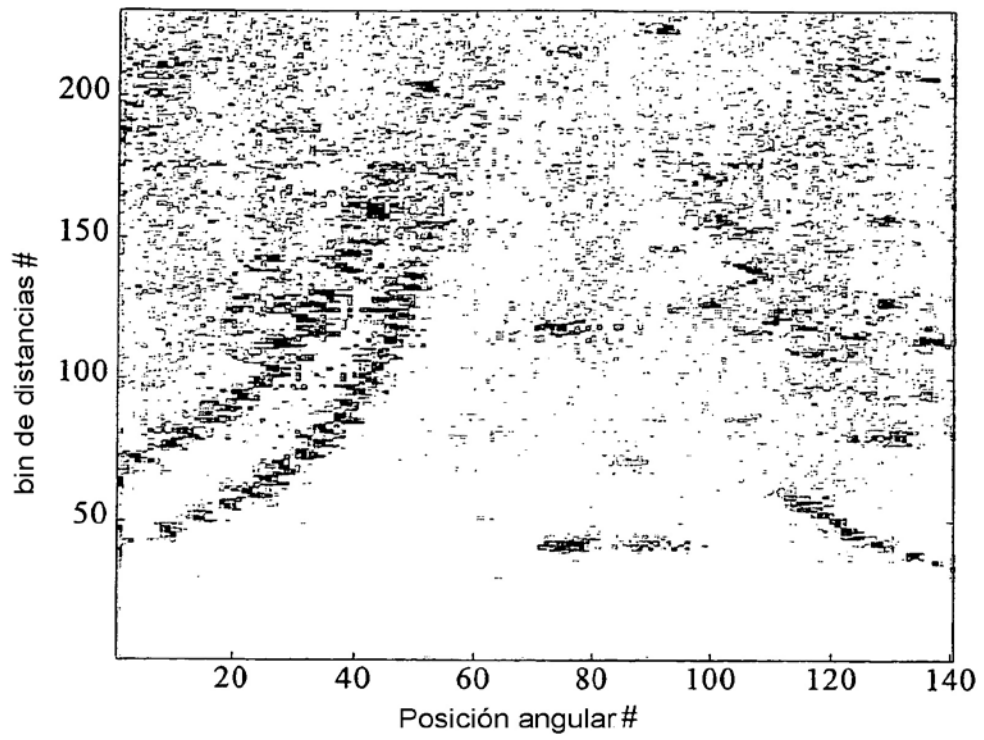


Figura 5

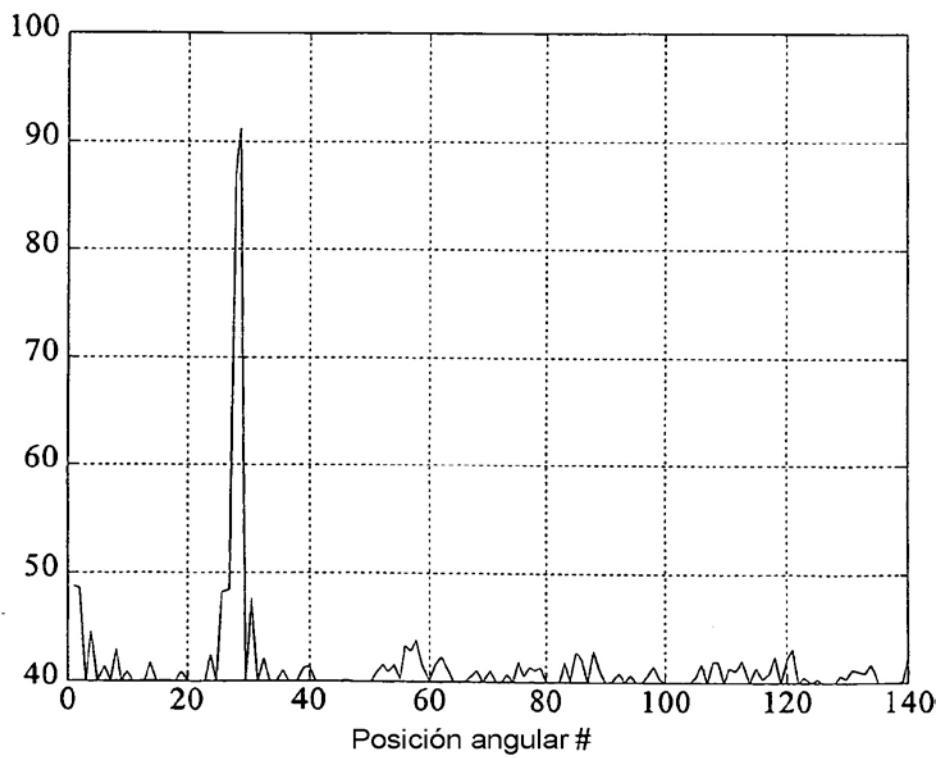


Figura 6