

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 701 326**

51 Int. Cl.:

G01S 13/42 (2006.01)

G01S 7/28 (2006.01)

H01Q 3/26 (2006.01)

G01S 13/44 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.07.2014 PCT/GB2014/052003**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.01.2015 WO15004426**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2014 E 14736931 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.11.2018 EP 3019888**

54 Título: **Anulación de interferencias de señales multirayectoria en un radar de impulsos de haces apilados**

30 Prioridad:

10.07.2013 GB 201312353
10.07.2013 EP 13275160

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.02.2019

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

CLARK, MARCUS, EDWARD

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 701 326 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

Anulación de interferencias de señales multitrayectoria en un radar de impulsos de haces apilados

La presente invención se refiere a sistemas, aparatos y métodos de radar y en particular, aunque no exclusivamente, al rastreo de objetos por radar.

5 El rastreo de objetos distantes por radar puede emplear una metodología con la cual dos haces/lóbulos de radar parcialmente solapados de una antena de radar son dirigidos hacia un objeto tomado como blanco. Seguidamente, se detectan por la antena de radar unas señales de radio de retorno que comprenden ondas de radio originadas en un primero de los haces y reflejadas por el objeto. Asimismo, se detectan por la antena de radar señales de radio de
10 retorno de un segundo de los haces reflejado por el objeto. Cuando se posiciona el objeto a mitad de camino entre la separación angular de los dos haces, las dos señales de retorno tienen igual magnitud; en caso contrario, no la tienen. La dirección del haz de radar puede ajustarse para mantener iguales en magnitud las dos señales de retorno y rastrear así el objeto. En algunos sistemas de la técnica anterior este ajuste puede hacerse ajustando la dirección de la propia antena.

15 La multitrayectoria es el fenómeno de propagación con el que las señales de radar alcanzan el receptor del aparato de radar a través de una serie de trayectorias de propagación diferentes. Los mecanismos multitrayectoria dominantes son la reflexión y la difracción desde el suelo y otras estructuras cercanas, por ejemplo, edificios, vegetación o vehículos. Este tipo de multitrayectoria es una de las causas más significativas de errores telemétricos de un radar. Típicamente, la multitrayectoria se manifiesta en la señal recibida como una serie de réplicas atenuadas, desfasadas y retardadas (ya que la trayectoria indirecta es siempre más larga) de las señales de líneas
20 visuales sumadas una con otra. Cuando el retardo multitrayectoria es grande, un receptor puede resolver fácilmente la multitrayectoria y no sufrirá efectos significativos en sus prestaciones. Los retardos más cortos, debidos a reflexiones rasantes y estructuras próximas, son bastante menos fáciles de distinguir y hacen que sean significativos los errores multitrayectoria.

25 El documento JP3681986 enseña la estimación de un ángulo de elevación de un blanco de baja elevación utilizando la diferencia de fase en el retorno de ondas electromagnéticas. El documento JP3681986 consigue esto decalando la posición de las antenas para obtener una diferencia de fase de onda; se usan 3 antenas para compensar errores y proporcionar datos de fase adicionales, reduciendo la imprecisión. Se amplifica y procesan las señales antes de que sean utilizadas en el cálculo del ángulo de elevación del blanco.

30 En el documento DE3637655 se enseña a calcular un ángulo de elevación de blancos calculando cambios de fase mediante la utilización del ángulo de azimut, la distancia radial y la altura de un blanco, usando el principio interferométrico. Se determinan datos de altura por medio de tres antenas receptoras superpuestas equidistantes que proporcionan datos de las diferencias de fase del blanco.

La invención pretende abordar estas materias.

35 En un primer aspecto la invención proporciona un aparato de radar para detectar una propagación de señal multitrayectoria cuando se determina un ángulo de elevación de un objeto, que comprende una red de antenas con la que el aparato de radar está destinado a formar al menos tres haces de antena separados que comprenden un haz de antena que tiene un ángulo de elevación por encima de la horizontal, y un segundo haz de antena separado que tiene un ángulo de elevación en o por encima de la horizontal, que es menor que el del primer haz de antena, y un tercer haz de antena separado que tiene un ángulo de elevación por debajo de la horizontal. El aparato está
40 concebido para transmitir impulsos de radio desde la red de antenas, recibir señales de radio de retorno dentro de los haces de antena primero, segundo y tercero, calcular una medida de la magnitud de una señal de radio de retorno recibida dentro del tercer haz de antena utilizando colectivamente todas las señales de radio recibidas y detectar una propagación de señal multitrayectoria utilizando la medida.

45 La medida es preferiblemente la magnitud de un valor propio de la matriz de correlaciones cruzadas de señales de radio de retorno recibidas dentro de los al menos tres haces de antena separados.

El aparato de radar puede estar concebido, además, para determinar una elevación de un objeto utilizando vectores propios de la matriz de correlaciones cruzadas distintos de un vector propio del mismo asociado con el valor propio si la magnitud del valor propio excede de un valor umbral.

50 El aparato de radar puede estar concebido, además, para formar uno o más de los haces de antena a fin de localizar un cero en el patrón de haces de la red de antenas en la localización angular asociada con la propagación de señal multitrayectoria detectada si la magnitud del valor propio excede de un valor umbral.

La separación angular en elevación entre los haces de antena primero y segundo es de preferencia sustancialmente igual que la separación angular en elevación entre los haces de antena segundo y tercero.

Preferiblemente, uno, algunos o cada uno de los haces de antena primero, segundo y tercero son un haz de lápiz.

La red de antenas puede comprender una primera unidad de antena concebida para formar independientemente el primer haz de antena, una segunda unidad de antena concebida para formar independientemente el segundo haz de antena y una tercera unidad de antena concebida para formar independientemente el tercer haz de antena.

- 5 La red de antenas puede comprender una red de antenas en fase que se controla colectivamente para formar el primer haz de antena, el segundo haz de antena y el tercer haz de antena.

En un segundo aspecto la invención proporciona un aparato de radar monoimpulso que comprende el aparato de radar descrito anteriormente.

- 10 En un tercer aspecto la invención proporciona un método para detectar una propagación de señal multitrayectoria cuando se determina un ángulo de elevación de un objeto utilizando un radar, que comprende formar con una red de antenas al menos tres haces de antena separados que comprende un primer haz de antena que tiene un ángulo de elevación por encima de la horizontal, y un segundo haz de antena separado que tiene un ángulo de elevación en o por encima de la horizontal, que es menor que el del primer haz de antena, y un tercer haz de antena separado que tiene un ángulo de elevación por debajo de la horizontal, transmitir impulsos de radio desde la red de antenas, recibir
15 señales de radio de retorno dentro de los haces de antena primero, segundo y tercero, calcular una medida de la magnitud de una señal de radio de retorno recibida dentro del tercer haz de antena utilizando colectivamente todas las señales de radio recibidas y detectar una propagación de señal multitrayectoria utilizando la medida.

La medida es preferiblemente la magnitud de un valor propio de la matriz de correlaciones cruzadas de señales de radio de retorno recibidas dentro de los al menos tres haces de antena separados.

- 20 El método puede incluir determinar una elevación de un objeto utilizando vectores propios de la matriz de correlaciones cruzadas distintos de un vector propio del mismo asociado con el valor propio si la magnitud del valor propio excede de un valor umbral.

- 25 El método puede incluir formar uno o más de los haces de antena para localizar un cero en el patrón de haces de la red de antenas en la localización angular asociada con la propagación de señal multitrayectoria detectada si la magnitud del valor propio excede de un valor umbral.

El método puede incluir formar los haces de antena de tal manera que la separación angular en elevación entre los haces de antena primero y segundo sea sustancialmente igual que la separación angular en elevación entre los haces de antena segundo y tercero. El método puede incluir formar uno, algunos o cada uno de los haces de radar primero, segundo y tercero como un haz de lápiz.

- 30 Sigue ahora un ejemplo no limitativo de una realización preferida de la invención con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Las figuras 1(a), 1(b) y 1(c) ilustran los principios del rastreo por radar utilizando una propagación de señal monoimpulso (lobulización simultánea) y multitrayectoria;

- 35 La figura 2 ilustra gráficamente un aparato de radar según una realización preferida de la invención que detecta una propagación de señal multitrayectoria;

La figura 3 ilustra gráficamente un diagrama de sensibilidades angulares de tres haces de antena en coordenadas rectangulares;

La figura 4 ilustra gráficamente una vista ampliada de una región del gráfico de la figura 3;

- 40 La figura 5 ilustra esquemáticamente las magnitudes de valores propios de la matriz de correlaciones cruzadas de datos de señal de retorno para el aparato de radar de la figura 2; y

La figura 6 ilustra esquemáticamente en detalle un aparato de radar de la figura 2.

En los dibujos se han asignado símbolos de referencia iguales a elementos iguales.

- 45 Haciendo referencia a las figuras 1(a) a (c), un rastreo por radar monoimpulso opera transmitiendo simultáneamente desde una antena de radar (5) dos impulsos de radar (1, 2) dentro de un par de haces de radar parcialmente solapados (3, 4) dirigidos hacia un objeto distante (6) que se está rastreando. Unas señales de radio de retorno (7A) que comprenden ondas de radio originadas en un primero de los haces parcialmente solapados (3) y reflejadas directamente por el objeto son detectadas subsiguientemente por la antena de radar. Simultáneamente, unas
50 señales de radio de retorno (8A) que comprenden ondas de radio originadas en un segundo de los haces parcialmente solapados (4) y reflejadas directamente por el objeto son detectadas también subsiguientemente por la antena de radar. Cuando el objeto está posicionado a mitad de camino entre la separación angular de los dos haces,

las dos señales de retorno tienen una magnitud igual, como se muestra en la figura 1(a); en caso contrario, no la tienen, como se muestra en la figura 1(b). La dirección del haz puede ajustarse para mantener iguales en magnitud las dos señales de retorno y rastrear así el objeto.

5 La figura 1(c) muestra el fenómeno de una transmisión de señal multitrayectoria en señales de radar de retorno. Una trayectoria de retorno directa (D) transporta señales reflejadas directamente a la antena de radar sin reflexiones intermedias que cambiarían la dirección recibida de la señal de retorno en la antena. Sin embargo, existe también una trayectoria indirecta reflejada (R) en la que las señales retornadas experimentan una reflexión intermedia desde la superficie terrestre (9). La longitud de la trayectoria indirecta excede de la longitud de la trayectoria directa y la
10 la señal de retorno es recibida a través de la trayectoria indirecta después de recibir la señal de retorno de la trayectoria directa cuando ambas tienen su origen en el mismo impulso de salida, como se muestra en la figura 1(c).

Esta separación temporal es una indicación en un patrón de señal de retorno de que existe una propagación multitrayectoria. Sin embargo, esto no deja de ser ambiguo, ya que la señal de retorno subsiguiente adicional (R) podría interpretarse como mostrando la presencia de un segundo objeto (no mostrado) situado a una distancia mayor que la del primer objeto (6).

15 Para resolver esta ambigüedad se puede intentar detectar el ángulo de altitud en el que se recibió la señal de retorno subsiguiente. Esto requiere que los dos haces de radar (3, 4) sean capaces de resolver este ángulo en comparación con el ángulo de detección determinado para la trayectoria directa (D). Cuando un objeto (6) que se está rastreando se encuentra cerca del horizonte, la diferencia en el ángulo en el que se reciben las señales de
20 retorno directa e indirecta puede ser muy pequeña y puede ser imposible resolverlo con el método usual de dos haces ilustrado en la figura 1. Así, puede no ser posible distinguir sin ambigüedad entre la señal de retorno directa y la indirecta.

La figura 2 muestra una realización de la invención que comprende una unidad de radar (5) para detectar una propagación de señal multitrayectoria (R) cuando se determina un ángulo de elevación de un objeto (6) cerca de lo
25 horizonte. El aparato de radar incluye tres antenas (14) excitadas por separado dispuestas en una red vertical, espaciadas por igual de vecina a vecina. La unidad de radar está concebida para excitar las antenas más superior y central a fin de transmitir impulsos de radio dentro de un primer haz de antena (11) y dentro de un segundo haz de antena separado (12), respectivamente. El haz central (12) es dirigido bajo un ángulo de elevación que es menor que el del primer haz de antena (11), pero el segundo haz de antena 12 solapa parcialmente al primer haz de antena (11).

30 La unidad de radar está concebida para recibir simultáneamente las reflexiones de señales transmitidas desde las antenas superior y central como señales de radio de retorno dentro de los haces de antena primero y segundo (11), (12) cuando se reflejan desde el objeto (6).

La unidad de radar incluye también una tercera y más inferior antena de la red de tres antenas (14) que está concebida también para recibir señales de radio de retorno. Esta tercera antena define un tercer haz de antena (13)
35 dirigido bajo un ángulo de elevación que es menor que el de los haces de antena primero y segundo. El ángulo de elevación de cada uno de los haces de antena primero y segundo (11, 12) es tal que cada uno de los haces de antena primero y segundo esté dirigido por encima de la horizontal, y el ángulo de elevación del tercer haz de antena es tal que el tercer haz de antena (13) esté dirigido por debajo de la horizontal.

El aparato de radar está concebido para determinar una elevación del objeto (6) utilizando colectivamente señales de radio de retorno (D) recibidas dentro de todos los haces de antena primero, segundo y tercero (11, 12, 13) y para
40 detectar una propagación de señal multitrayectoria utilizando una señal de radio de retorno R recibida dentro de los tres haces de antena. En particular, la unidad de radar está concebida para detectar una propagación de señal multitrayectoria si se recibe una señal de radio de retorno suficiente dentro del tercer haz de antena, determinándose así que éste ha sido recibido desde una dirección por debajo de la horizontal.

45 La red de tres antenas (14) que forman la red de sensores mostrada en la figura 2 es un esquema que se ha simplificado para ayudar a la claridad. Deberá entenderse que puede haber muchas más de tres antenas formando una red más grande, siempre que dos o más formen unos respectivos haces por encima de la horizontal y una o más antenas definan un respectivo haz o haces por debajo de la horizontal.

50 Considérese la red de antenas operando en modo de recepción como tres sensores separados en una red de sensores. Para tal red de sensores, los datos de señal de retorno medidos pueden representarse como un vector de señal de retorno:

$$g(t) = \begin{bmatrix} g_1(t) \\ g_2(t) \\ g_3(t) \end{bmatrix}$$

La variable t representa aquí el tiempo y g_i ($i = 1, 2, 3$) representa los datos de señal de retorno en el i°

elemento/sensor de antena. Los datos de señal de retorno representan las amplitudes y fases de señales de radio recibidas en los elementos de antena de la red (14), junto con algo de ruido. Cuando hay más de tres elementos sensores de antena (por ejemplo, M elementos de antena), habría más de tres componentes g en el vector de la señal de datos de retorno (por ejemplo, M componentes, uno por cada sensor). La matriz de correlaciones cruzadas o matriz de covarianzas de este vector de señal de retorno viene dada por:

$$H(t) = [g, g^T] = \begin{bmatrix} |g_1(t)|^2 & g_1^*(t)g_2(t) & g_1^*(t)g_3(t) \\ g_2^*(t)g_1(t) & |g_2(t)|^2 & g_2^*(t)g_3(t) \\ g_3^*(t)g_1(t) & g_3^*(t)g_2(t) & |g_3(t)|^2 \end{bmatrix}$$

en donde T representa la transpuesta conjugada. La matriz es una matriz 3×3 en el presente ejemplo, pero sería una matriz $M \times M$ si hubiera M elementos/sensores de antena en la red de antenas. Los vectores propios $V_j(t)$ de $H(t)$ y sus valores propios asociados λ_j ($j = 1, 2, 3$) vienen definidos por

$$H(t)V_j(t) = \lambda_j V_j(t)$$

de tal manera que

$$\{H(t) - \lambda_j I\} V_j(t) = 0$$

en donde I es la matriz de identidades. Esta descomposición de los valores propios de la matriz de correlaciones cruzadas define un juego ortogonal de coordenadas o vectores de base (los vectores propios), en el que la varianza de los datos de señal de retorno es máxima en un eje definido por un vector de base y mínima en un eje ortogonal definido por otro vector de base. Estos ejes son conocidos como los componentes principales del juego de datos. Puede verse que:

$$V_j^T(t)H(t)V_j(t) = \lambda_j$$

Esto significa que la varianza de los datos proyectados sobre un vector propio dado es igual a su valor propio. Estos valores propios pueden considerarse como una medida de la energía o potencia y la energía total en el sistema sensor es la suma de los M valores propios:

$$\sum_{j=1}^M \lambda_j = \text{Energía_total}$$

En el ejemplo de la figura 2, $M = 3$. El componente de la energía total que se proyecta sobre cualquier vector propio dado corresponde al valor propio de ese vector propio. El par valor propio/vector propio (V_1, λ_1) se asocia con los datos de señal de retorno g_1 provenientes de un primer elemento de antena de la red de antenas que es el más superior en la red y tiene la mayor elevación por encima de la horizontal de los tres. El par valor propio/vector propio (V_2, λ_2) se asocia con los datos de señal de retorno g_2 para un segundo elemento de antena de la red de antenas que está inmediatamente por debajo del primer elemento de antena y tiene un menor ángulo de elevación por encima de la horizontal. El par valor propio/vector propio (V_3, λ_3) se asocia con los datos de señal de retorno g_3 provenientes de un tercer elemento de antena más inferior de la red de antenas que tiene un ángulo de elevación por debajo de la horizontal. Sin embargo, obsérvese que cada uno de estos tres pares valor propio/vector propio se calcula utilizando datos de señal de retorno de toda la red. La asociación de un par valor propio/vector propio dado con un cierto elemento de antena se hace posible por el hecho de que un valor propio asociado con una señal de retorno dada, para un elemento de antena dado, aparece en la misma fila de la matriz

$$\{H(t) - \lambda_j I\}$$

que la fila (j) del vector de señal de retorno $g(t)$ en el que aparecen los datos de señal de retorno $g_j(t)$. El sistema de antenas está concebido para calcular los valores propios y los vectores propios de la matriz de correlaciones cruzadas/covarianzas formada a partir de los datos de retorno para todos los elementos de la red de antenas (tres en este ejemplo, pero típicamente más de ese número) y para identificar el valor propio λ_3 asociado con el tercer elemento de antena con una elevación por debajo de la horizontal. La magnitud de este tercer valor propio λ_3 se compara después con un valor umbral (λ_{TH}) que se elige de modo que sea representativo de la magnitud máxima del ruido de señal esperado dentro del sistema de antenas. Si la magnitud de este tercer valor propio λ_3 no es mayor que el valor umbral, se considera que está asociado con ruido del sistema y que no está presente una propagación de señal multitrayectoria. Sin embargo, si la magnitud del tercer valor propio excede del valor umbral (es decir, $\lambda_3 > \lambda_{TH}$), entonces se saca la conclusión de que el tercer elemento de antena ha recibido una señal de retorno causada por una propagación de señal multitrayectoria.

El tercer valor propio es utilizado, así como una medida de la magnitud de la señal de retorno recibida en el primer elemento de antena, y el umbral se utiliza para determinar si la señal de retorno es suficientemente significativa para que sea considerada como debida a una propagación de multitrayectoria y no solamente a ruido. El valor umbral puede elegirse como apropiado para un sistema de antenas dado y un modo de operación del mismo, pero, puramente como ejemplo, el valor umbral puede ser un valor que corresponda a señales de retorno no superiores a -

10 dB. Se pueden utilizar otros valores umbral según sea apropiado o deseado.

Esto se describe con referencia a las figuras 3 a 5 siguientes.

La figura 3 ilustra gráficamente un diagrama de sensibilidades angulares de tres haces de antena con coordenadas rectangulares. La figura 4 ilustra gráficamente una vista ampliada de una región del gráfico de la figura 3. Haciendo referencia a la figura 3, la separación angular de los centros de los haces de radar primero y segundo (11, 12) es muy pequeña. La sensibilidad pico del primer haz se produce en una dirección angular muy próxima a aquella en la que se presenta el pico en la sensibilidad del segundo haz. Este posicionamiento próximo de los haces en ángulo de elevación es deseable para permitir que haya precisión al determinar la elevación de un objeto distante 6. Sin embargo, las fluctuaciones en la sensibilidad de cada haz, tales como las que se producirán debido a ruido en la circuitería del receptor de la unidad de radar y en niveles de señal ambiente, pone limitaciones a la precisión con la que puede determinarse fiablemente un nivel de señal de retorno. La casilla "margen de error" rectangular (15) de la figura 3 representa gráficamente esta limitación sobre las sensibilidades de los haces de antena. La extensión vertical de la casilla margen de error rectangular representa la varianza o error en la sensibilidad de los haces primero y segundo, y la extensión horizontal de la casilla margen de error representa la incertidumbre correspondiente en la posición angular $\Delta\theta_{error}$ que puede determinarse utilizando los dos haces de radar de la manera descrita anteriormente con respecto a la detección monoimpulso. Esto representa una limitación de resolución angular. Es de hacer notar que las dimensiones de la casilla margen de error (15) se han exagerado mucho para ilustrar mejor los principios implicados.

La figura 4 muestra una vista ampliada de la casilla margen de error (15) y las regiones de pico de los haces de radar primero, segundo y tercero (11, 12, 13). Una señal de retorno directa (D) se muestra como recibida por ambos haces de radar primero y segundo en un ángulo de elevación positivo. El ángulo corresponde a la sensibilidad pico del segundo haz (17). Una señal de retorno en el segundo haz de radar (17) excede de la del primer haz de radar (18). Si se pudiera resolver esto utilizando solamente los haces primero y segundo, la unidad de radar determinaría que el objeto estaba a una elevación correspondiente a la elevación del segundo haz. Sin embargo, dado que ambas señales de retorno caen dentro de la casilla margen de error, esta resolución no es posible y el resultado sería que la elevación del objeto podría decirse que está en algún punto dentro de $\Delta\theta_{error}$. El mismo resultado es cierto con respecto a la señal de retorno indirecta R recibida dentro de los haces primero y segundo y que da como resultado unas respectivas señales de retorno (19, 20) que caen también dentro de la casilla margen de error. Así, no podrían resolverse las señales directa e indirecta.

Sin embargo, disponiendo un tercer haz de radar dirigido a una elevación por debajo de la horizontal, la unidad de radar es capaz de generar una señal de retorno (16) con respecto a la señal de retorno indirecta. El aparato de radar emplea esta señal de retorno dentro del tercer haz de radar para determinar la presencia de una propagación de señal multitrayectoria (es decir, identificar señales procedentes de la trayectoria indirecta R) utilizando el método de valores propios descrito anteriormente.

La figura 5 ilustra gráficamente los tres valores propios ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) asociados con las señales de radar de retorno recibidas dentro de los haces de radar primero, segundo y tercero (11, 12, 13), respectivamente, de la figura 3. Se muestra también un valor umbral λ_{TH} . La unidad de radar está concebida para determinar que está presente una propagación de señal multitrayectoria si el tercer valor propio asociado con una señal de radio de retorno en el tercer haz de antena (13) excede del valor umbral λ_{TH} .

Se pueden tomar medidas subsiguientes para mitigar los efectos indeseables de una propagación de señal multitrayectoria. Por ejemplo, el vector propio asociado con este tercer valor propio puede ser suprimido, retirado o no utilizado de otra manera en la determinación subsiguiente de la elevación del blanco (6), para el cual se utiliza el espacio propio definido por los vectores propios restantes. De esta manera, los efectos de una propagación de señal multitrayectoria pueden ser retirados del juego de datos de señal de retorno para toda la red, mejorando así la precisión de ese juego de datos.

Alternativamente o, además, se puede formar y localizar un cero en la posición angular en la que la señal de retorno indirecta (R) es recibida por la red de antenas. Se da seguidamente un ejemplo de cómo puede conseguirse esto. Considérese una antena con M canales (elementos de antena, por ejemplo, $M=3$). Los complejos patrones de ganancia de los canales en una dirección θ vienen dados por:

$$\mathbf{g}(\theta) = \begin{bmatrix} g_1(\theta) \\ g_2(\theta) \\ \vdots \\ g_M(\theta) \end{bmatrix} = \gamma(\theta)\hat{\mathbf{g}}(\theta)$$

El factor $\gamma(\theta)$ se utiliza para permitir el uso del vector normalizado $\hat{\mathbf{g}}(\theta)$, en donde:

$$\hat{\mathbf{g}}(\theta)^H \hat{\mathbf{g}}(\theta) = 1$$

Para formar un haz en la dirección α , se combinan las salidas de canal utilizando un juego de ponderaciones a dado por:

$$\mathbf{a} = \hat{\mathbf{g}}(\alpha)^*$$

5 De este modo, el patrón de antena es entonces $y_\alpha(\theta)$:

$$y_\alpha(\theta) = \hat{\mathbf{g}}(\alpha)^H \hat{\mathbf{g}}(\theta)$$

es decir, el valor de $y_\alpha(\theta)$ en la dirección α es una unidad y el valor en cualquier otra dirección no puede exceder de la unidad.

10 Para formar un cero en la dirección β , correspondiente a la dirección de la señal de retorno (tal como la señal R detectada en el tercer haz de antena 13) asociada con una propagación de señal multitrayectoria, se combinan las salidas de canal utilizando un juego de ponderaciones normalizado dado por

$$\mathbf{a} \propto \frac{1}{\sqrt{\mathbf{b}^H \mathbf{Q}_\beta \mathbf{b}}} \times \mathbf{Q}_\beta \mathbf{b}^*$$

en donde \mathbf{Q}_β viene definido por

$$\mathbf{Q}_\beta = \mathbf{I}_M - \hat{\mathbf{g}}(\beta) \hat{\mathbf{g}}(\beta)^H$$

15 y:

$$\mathbf{Q}_\beta \mathbf{Q}_\beta = \mathbf{Q}_\beta$$

Los coeficientes en el vector \mathbf{b} pueden elegirse según se desee. El patrón de antena es entonces $y_\beta(\theta)$:

$$y_\beta(\theta) = \frac{1}{\sqrt{\mathbf{b}^H \mathbf{Q}_\beta \mathbf{b}}} \times \mathbf{b}^H \mathbf{Q}_\beta \hat{\mathbf{g}}(\theta)$$

20 Obsérvese que solamente el componente de \mathbf{b} , que es ortogonal a $\hat{\mathbf{g}}(\beta)$, contribuye a $y_\beta(\theta)$. De esta manera, se puede poner un cero en la localización angular de la señal de retorno de propagación multitrayectoria para mitigar los efectos de esa señal de retorno.

La figura 6 ilustra esquemáticamente y en detalle un aparato de radar (5) de la figura 2.

25 Un primer elemento de antena más superior (20), un segundo elemento de antena central (21) y un tercer elemento de antena más inferior (22) de la red vertical (14) están conectados en común a un alojamiento de antena (23) que puede ser dirijible. Es de hacer notar que se muestra aquí con fines ilustrativos un sistema que comprende solamente tres elementos de antena, y puede ser deseable utilizar más elementos de antena localizados por encima del primer elemento de antena (20), cada uno de los cuales puede ajustarse a ángulos de elevación sucesivamente crecientes. Cada uno de los elementos de antena primero, segundo y tercero está conectado a un respectivo duplexor de señal (24) que está concebido para recibir señales de transmisión de una unidad transmisora (25) que sirve en común a cada uno de los elementos de antena, y para traspasar las transmisiones a los elementos de antena para su transmisión. Cada duplexor está concebido también para traspasar señales de retorno recibidas a una respectiva unidad receptora (26) y desde allí a una respectiva unidad convertidora de analógico a digital (28) para convertir las señales de retorno recibidas a una forma digital.

35 Las tres unidades convertidoras de digital analógico (28) están conectadas a un procesador de señal digital concebido para procesar las señales de retorno a fin de determinar un ángulo de elevación del objeto que se está rastreando y para detectar señales de propagación multitrayectoria de la manera anteriormente descrita. El detalle del procesamiento de señal digital puede ser tal que resultaría fácilmente evidente para el experto.

40 La salida del procesador de señal digital está conectada a una unidad de control de antena (30) y a una estación de usuario (31), e incluye datos que indican el ángulo de elevación detectado del objeto que se está rastreando. Los datos pueden incluir también información identificando cuál de los datos de señal de retorno es el resultado de señales de propagación multitrayectoria de tal manera que esto pueda identificarse por una estación de usuario (31). La estación de usuario puede identificar las señales de propagación multitrayectoria para un usuario como tales o puede descartarlas o puede procesarlas adecuadamente de otra manera para su uso según se desee.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de radar para detectar una propagación de señal multitrayectoria (R) cuando se determina un ángulo de elevación de un objeto (6), que comprende una red de antenas (14) con la que el aparato de radar está destinado a:
- 5 formar al menos tres haces de antena separados (11, 12, 13) que comprenden un primer haz de antena (11) que tiene un ángulo de elevación por encima de la horizontal, y un segundo haz de antena separado (12) que tiene un ángulo de elevación en o por encima de la horizontal, que es menor que el del primer haz de antena (11), y un tercer haz de antena separado (13) que tiene un ángulo de elevación por encima de la horizontal;
- en el que el aparato está concebido para transmitir impulsos de radio desde la red de antenas (14)
- 10 recibir señales de radio de retorno (D) dentro de los haces de antena primero, segundo y tercero (11, 12, 13);
- calcular una medida de la magnitud de una señal de radio de retorno (D) recibida dentro del tercer haz de antena (13) utilizando colectivamente todas las señales de radio recibidas citadas; y
- detectar una propagación de señal multitrayectoria (R) utilizando dicha medida.
- 15 2. Un aparato de radar según la reivindicación 1, en el que dicha medida es la magnitud de un valor propio de una matriz de correlaciones cruzadas de señales de radio de retorno (D) recibidas dentro de los al menos tres haces de antena separados (11, 12, 13).
3. Un aparato de radar según la reivindicación 2, que está concebido además para determinar una elevación de dicho objeto (6) utilizando vectores propios de la matriz de correlaciones cruzadas distintos de un vector propio del mismo asociado con dicho valor propio si dicha magnitud del valor propio excede de un valor umbral.
- 20 4. Un aparato de radar según cualquiera de las reivindicaciones 2 y 3, que está concebido además para formar uno o más de dichos haces de antena (11, 12, 13) a fin de localizar un cero en el patrón de haces de la red de antenas (14) en una localización angular asociada con dicha propagación de señal multitrayectoria detectada (R) si dicha magnitud del valor propio excede de un valor umbral.
- 25 5. Un aparato de radar según cualquier reivindicación anterior, que está concebido de tal manera que la separación angular en elevación entre los haces de antena primero y segundo (11, 12) sea sustancialmente igual que la separación angular en elevación entre los haces de antena segundo y tercero (12, 13).
6. Un aparato de radar según cualquier reivindicación anterior, en el que uno, algunos o cada uno de los haces de radar primero, segundo y tercero (11, 12, 13) son un haz de lápiz.
- 30 7. Un aparato de radar según cualquier reivindicación anterior, en el que la red de antenas (14) comprende una primera unidad de antena concebida para formar independientemente dicho primer haz de antena (11), una segunda unidad de antena concebida para formar independientemente dicho segundo haz de antena (12) y una tercera unidad de antena concebida para formar independientemente dicho tercer haz de antena (13).
8. Un aparato de radar según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 anteriores, en el que la red de antenas (14) comprende una red de antenas en fase que el aparato de antenas está destinado a controlar colectivamente para formar dicho primer haz de antena (11), dicho segundo haz de antena (12) y dicho tercer haz de antena (13).
- 35 9. Un aparato de radar monoimpulso que comprende el aparato de radar de cualquier reivindicación anterior.
10. Un método para detectar una propagación de señal multitrayectoria (R) cuando se determina un ángulo de elevación de un objeto (6) utilizando un radar, que comprende:
- 40 formar con una red de antenas al menos tres haces de antena separados (11, 12, 13) que comprenden un primer haz de antena (11) que tiene un ángulo de elevación por encima de la horizontal, y un segundo haz de antena separado (12) que tiene un ángulo de elevación en o por encima de la horizontal, que es menor que el del primer haz de antena (11), y un tercer haz de antena separado (13) que tiene un ángulo de elevación por debajo de la horizontal;
- transmitir impulsos de radio desde la red de antenas (14);
- 45 recibir señales de radio de retorno (D) dentro de los haces de antena primero, segundo y tercero (11, 12, 13);
- calcular una medida de la magnitud de una señal de radio de retorno (D) recibida dentro del tercer haz de antena (13) utilizando colectivamente todas las señales de radio recibidas citadas; y

detectar una propagación de señal multitrayectoria (R) utilizando dicha medida.

11. Un método según la reivindicación 10, en el que dicha medida es la magnitud de un valor propio de una matriz de correlaciones cruzadas de señales de radio de retorno recibidas dentro de los al menos tres haces de antena separados (11, 12, 13).

5 12. Un método según la reivindicación 11, que incluye determinar una elevación de dicho objeto (6) utilizando vectores propios de la matriz de correlaciones cruzadas distintos de un vector propio del mismo asociado con dicho valor propio si dicha magnitud del valor propio excede de un valor umbral.

10 13. Un método según la reivindicación 11 o 12, que incluye formar uno o más de dichos haces de antena para localizar un cero en el patrón de haces de la red de antenas (14) en la localización angular asociada con dicha propagación de señal multitrayectoria detectada (R) si dicha magnitud del valor propio excede de un valor umbral.

14. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que incluye formar dichos haces de antena (11, 12, 13) de tal manera que la separación angular en elevación entre los haces de antena primero y segundo (11, 12) sea sustancialmente igual que la separación angular en elevación entre los haces de antena segundo y tercero (12, 13).

15 15. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, que incluye formar uno, algunos o cada uno de los haces de radar primero, segundo y tercero (11, 12, 13) como un haz de lápiz.

Fig. 1(a)

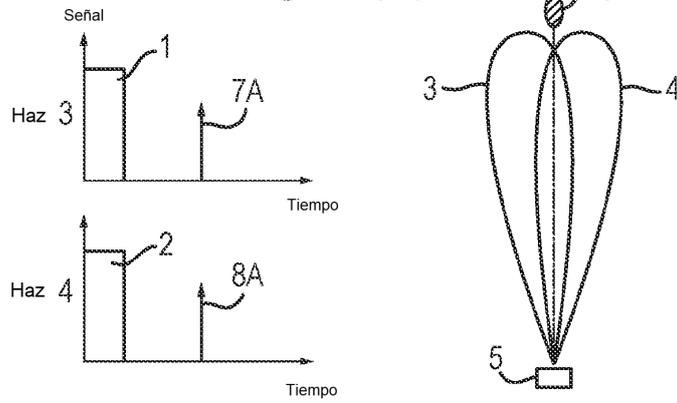


Fig. 1(b)

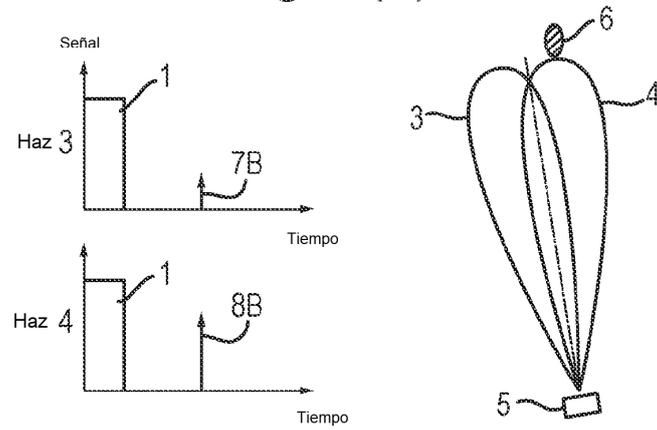


Fig. 1(c)

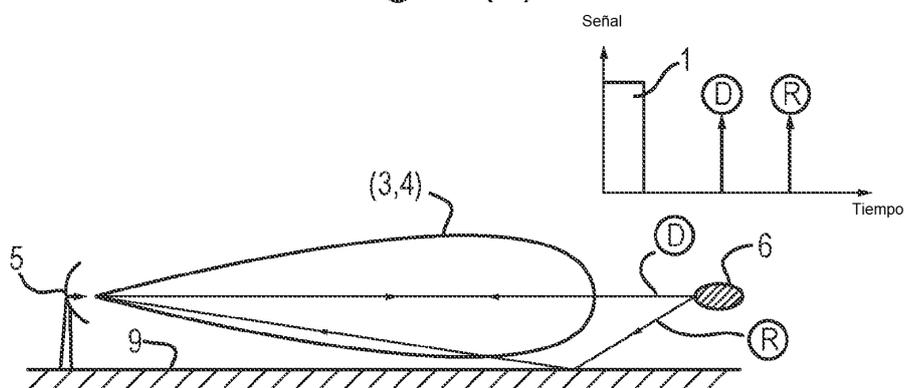


Fig. 2

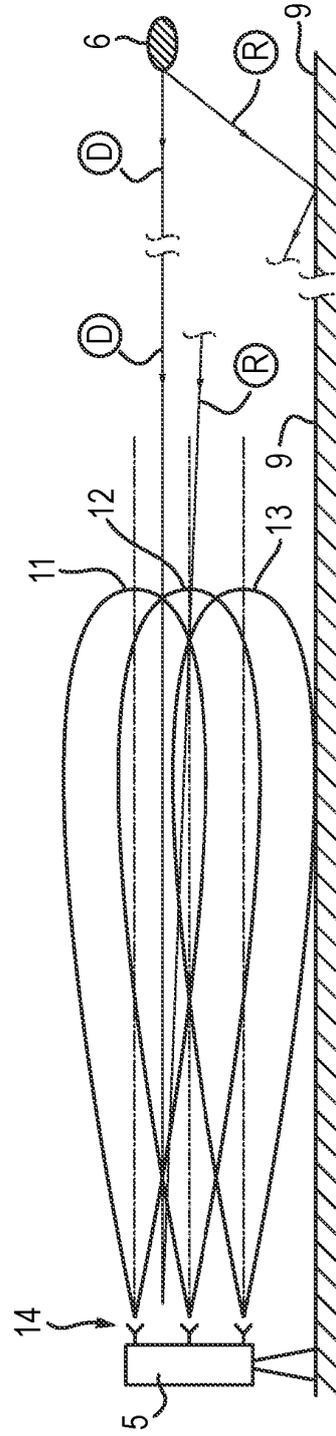


Fig. 5

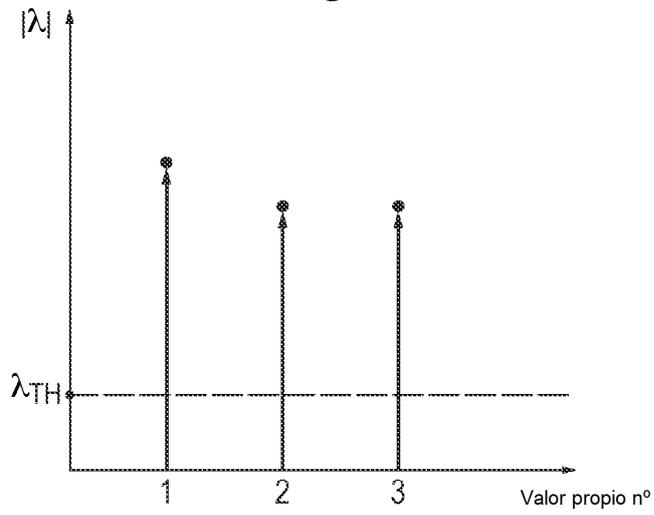


Fig. 6

