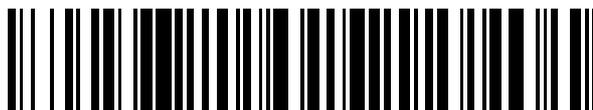


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 156**

51 Int. Cl.:

G01S 3/14 (2006.01)

G01S 3/28 (2006.01)

H01Q 21/20 (2006.01)

H01Q 7/00 (2006.01)

G01S 3/02 (2006.01)

G01S 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.11.2009 PCT/EP2009/064596**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.05.2010 WO10052234**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2009 E 09745061 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.06.2016 EP 2344902**

54 Título: **Procedimiento de determinación de la dirección de llegada en marcación de una onda electromagnética de altas frecuencias**

30 Prioridad:
07.11.2008 FR 0806234

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.11.2016

73 Titular/es:
**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:
**LECCA, ARNAUD;
MERLET, ERIC;
MESNAGE, JEAN-CHRISTOPHE y
ROGIER, JEAN-LUC**

74 Agente/Representante:
CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 592 156 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

Procedimiento de determinación de la dirección de llegada en marcación de una onda electromagnética de altas frecuencias

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de determinación de la dirección de llegada en marcación de una onda electromagnética de altas frecuencias, es decir, en la banda HF. Se aplica, en concreto, a la detección de emisores de señales electromagnéticas de cortas y medias distancias de alrededor de algunos cientos de kilómetros o menos, más particularmente en el campo naval.

10 Para determinar la dirección de llegada de una señal electromagnética, es deseable que la antena utilizada para captar dicha señal sea grande frente a la longitud de onda de la señal. Por ejemplo, para una señal HF, el tamaño de la antena debería poder alcanzar teóricamente varios cientos de metros. También, cuando la medida de dirección de llegada de la señal se efectúa a partir de una plataforma de tamaño limitado tal como un navío o una base marítima, la antena utilizada está provista por lo general de una geometría particular que permite limitar sus dimensiones. Muy a menudo, la antena incluye un monopolo y dos cuadros cruzados, calificándose este tipo de antena a menudo como "antena Watson-Watt", calificación debida al algoritmo epónimo tradicionalmente utilizado para determinar el ángulo de marcación de una señal incidente.

15 Sin embargo, cuando a partir de una plataforma terrestre o marítima, se desea determinar la dirección de llegada de una señal electromagnética procedente de un emisor distante colocado al nivel de tierra, dicho de otra manera, cuando se desea determinar el ángulo de marcación de llegada de una señal de ángulo de elevación nulo o casi nulo, las medidas a veces están sesgadas por la detección de ondas que tienen unos ángulos de elevación no nulos y una polarización no vertical. De hecho, a veces, ciertas ondas captadas por la antena se emiten inicialmente desde tierra, después se reflejan por la ionosfera que modifica su polarización. La aplicación del algoritmo de Watson-Watt lleva entonces a la obtención de valores de marcación erróneos.

20 Además, las medidas de dirección de llegada de una señal están a veces alteradas por la presencia, en las proximidades de la antena, de estructuras físicas que ocasionan unas reflexiones y unos acoplamientos parásitos. Este es, por ejemplo, el caso en un navío, del que el armazón y elementos exteriores modifican el entorno electromagnético alrededor de la antena.

Finalmente, las técnicas conocidas tales como la divulgada en la patente de los Estados Unidos US6300905B1 no permiten valorar la calidad de una medida de ángulo de marcación obtenida. Por lo tanto, es imposible distinguir las medidas fiables de las medidas erróneas.

30 Una finalidad de la invención es determinar, a partir de una plataforma de tamaño limitado, la dirección de llegada en marcación de una onda electromagnética en un entorno electromagnético sometido a unas reflexiones parásitas. Para ello, la invención tiene como objeto un procedimiento de medida del ángulo θ de llegada en marcación de señales radioeléctricas en banda HF recibidas por una antena de cuadros cruzados o una red de antenas de tipo Adcock, que incluye al menos las siguientes etapas:

- 35
- durante una fase de calibración preparatoria, adquirir y registrar las medidas por la antena de una señal de calibración que varía en marcación y de frecuencia fija o variable;
 - durante una fase de medida de señales detectadas:
 - adquirir las señales detectadas sobre al menos un canal de frecuencia;
 - para cada canal de frecuencia f_i , correlacionar las señales adquiridas con los registros procedentes de la calibración de frecuencia cercana a f_i y determinar la dirección de llegada de las señales buscando el ángulo θ de marcación para el que se alcanza el máximo de correlación.
- 40

45 El entorno electromagnético de la antena durante la fase de calibración debe estar cercano al existente durante la fase de medida. De esta manera, el procedimiento permite, en fase de medida, tener de manera natural en cuenta las particularidades del entorno electromagnético alrededor de la antena, particularidades, por ejemplo, debidas a la presencia de elementos alteradores en las proximidades de la antena.

Durante la fase de calibración, cada adquisición se registra en una tabla con la forma de un vector de intercorrelación, correlacionándose a continuación los vectores de dicha tabla con otro vector de intercorrelación procedente de las señales adquiridas en fase de medida, calculándose cada uno de dichos vectores de intercorrelación ejecutando al menos las siguientes etapas:

- 50
- adquirir, al menos sobre el cuadro seno y el cuadro coseno de la antena, N medidas de señales, $N \geq 1$, sobre una duración Δt ;
 - para p medidas de entre las N medidas efectuadas anteriormente, calcular un vector X_k de intercorrelación elemental;
 - calcular un vector X de intercorrelación medio promediando los p vectores X_k de intercorrelación elementales
- 55 calculados anteriormente.

Mediar varios vectores de intercorrelación elementales permite, en concreto, disminuir la influencia del ruido sobre la valoración de las señales adquiridas. Además, el vector X de intercorrelación puede normalizarse.

Un vector X_k de intercorrelación elemental procedente de una medida k de señales es igual a

$$X_k = \frac{1}{\|X_{0,k}\|^2} \begin{pmatrix} X_{0,k} \cdot X_{0,k}^H \\ X_{0,k} \cdot X_{c,k}^H \\ X_{0,k} \cdot X_{s,k}^H \end{pmatrix},$$

- 5 siendo $X_{0,k}$ la medida compleja adquirida sobre el monopolo, siendo $X_{c,k}$ la medida compleja adquirida sobre el cuadro coseno, siendo $X_{s,k}$ la medida compleja adquirida sobre el cuadro seno, siendo H el operador hermitico.

Según un modo de implementación del procedimiento de medida de ángulo según la invención, el criterio de correlación crece con el módulo del producto escalar entre el vector de intercorrelación de las señales detectadas y el vector de intercorrelación de las señales adquiridas durante la fase de calibración. El criterio de correlación puede, por ejemplo, elegirse igual a $|X_{norm} \cdot T(f, \theta_k)|^2$, siendo X_{norm} un vector de intercorrelación normalizado calculado a partir de las detecciones efectuadas en fase de medida, siendo $T(f, \theta_k)$ un vector de intercorrelación calculado a partir de las detecciones efectuadas en fase de calibración para una señal de calibración de frecuencia f y de ángulo θ_k de marcación de llegada, representando “ \cdot ” el producto escalar complejo.

10 El procedimiento de medida de ángulo según la invención puede comprender una etapa de valoración de la calidad de una medida θ de marcación, atribuyéndose una nota Q de calidad a dicha medida en función del nivel del máximo de correlación obtenido, siendo dicha nota Q una función monótona creciente del máximo de correlación. Un criterio objetivo y fiable para evaluar la calidad de una medida es, por ejemplo, el nivel del pico de correlación alcanzado durante la etapa de correlación.

15 El procedimiento de medida de ángulo según la invención puede comprender una etapa de identificación de las medidas erróneas, eligiéndose un umbral mínimo de correlación, efectuándose una comparación entre dicho umbral y la nota Q de calidad atribuida a una medida para identificar una medida de la que la nota Q de calidad es inferior a dicho umbral, significando entonces una tal medida que la medida del ángulo θ de llegada en marcación es probablemente errónea.

20 Según un modo de implementación del procedimiento de medida de ángulo según la invención, la antena está fijada sobre un navío, efectuándose la fase de calibración emitiendo unas señales a partir de un emisor fijo dispuesto sustancialmente al nivel del mar, de modo que las señales emitidas las reciba la antena de elevación casi nula, desplazándose el navío a distancia de dicho emisor cambiando de rumbo para hacer variar los ángulos de marcación de llegada de la señal con respecto a la antena.

25 Según un modo de implementación del procedimiento de medida de ángulo según la invención, durante la fase de calibración, la señal de calibración se emite de modo que el ángulo de elevación de llegada de dicha señal sobre la antena de cuadros cruzados es sustancialmente constante.

La invención tiene igualmente como objeto un procedimiento de vigilancia implementado sobre una plataforma en el mar o en tierra, incluyendo dicho procedimiento al menos las siguientes etapas:

- 30
- con ángulo de elevación sustancialmente nulo, definir un rango $[\theta_i; \theta_f]$ de direcciones en marcación a vigilar;
 - si se detectan unas señales, ejecutar las etapas del procedimiento de medida de la dirección de llegada en marcación tal como se describe más arriba;
 - si se detecta una señal en el rango vigilado, activar un control de alerta.

La invención tiene igualmente como objeto un goniómetro que implementa el procedimiento de medida tal como se describe más arriba.

- 35
- 40 La invención tiene igualmente como objeto un sistema de vigilancia dispuesto sobre un navío y que implementa el procedimiento de vigilancia tal como se describe más arriba.

Otras características se mostrarán tras la lectura de la descripción detallada dada a título de ejemplo y no limitativa que sigue hecha a la vista de los dibujos adjuntos que representan:

- 45
- las figuras 1a y 1b, una vista en perspectiva y desde arriba de un primer ejemplo de antena de cuadros cruzados que recibe las señales tratadas mediante el procedimiento de medida de ángulo según la invención,
 - las figuras 2a y 2b, una vista en perspectiva y desde arriba de un segundo ejemplo de antena de cuadros cruzados que recibe las señales tratadas mediante el procedimiento de medida de ángulo según la invención,
 - la figura 3, un sinóptico que presenta las etapas de un procedimiento de medida de ángulo según la invención,

- la figura 4, un panel que ilustra una tabla de calibración utilizada durante la ejecución de un procedimiento de medida de ángulo según la invención,
- la figura 5, un gráfico que ilustra una curva de correlación obtenida mediante la ejecución de un procedimiento de medida de ángulo según la invención,
- 5 - la figura 6, un sinóptico que presenta las etapas de una segunda implementación del procedimiento de medida de ángulo según la invención.

En interés de claridad de la descripción, las mismas referencias en unas figuras diferentes designan los mismos elementos.

10 Las figuras 1a y 1b presentan un primer ejemplo de antena de cuadros cruzados que recibe las señales tratadas mediante el procedimiento de medida de ángulo según la invención. La figura 1a es una vista en perspectiva de la antena, mostrando la figura 1b la antena vista desde arriba.

15 La antena 100 incluye un primer cuadro 111 ortogonal a un segundo cuadro 112, estando los dos cuadros 111, 112, en el ejemplo, formados por unos rectángulos metálicos retenidos por un soporte 115 e inscritos en unos planos sustancialmente verticales. El primer cuadro 111 a veces se califica como "cuadro seno", calificándose el segundo cuadro 112 como "cuadro coseno". La antena 100 incluye una tercera vía de recepción con la forma, en el ejemplo, de un monopolo realizado con unas varillas 116, 117, 118, 119 metálicas verticales colocadas bajo los cuadros 111, 112.

20 Las figuras 2a y 2b presentan un segundo ejemplo de antena de cuadros cruzados que recibe las señales tratadas mediante el procedimiento de medida de ángulo según la invención. La figura 2a es una vista en perspectiva de la antena, mostrando la figura 2b la antena vista desde arriba.

25 La antena 200 incluye dos parejas 210, 220 de cuadros retenidas por un soporte 230, siendo los cuadros de cada pareja 210, 220 paralelos entre sí, siendo los cuadros 211, 212 de la primera pareja 210 ortogonales a los cuadros 221, 222 de la segunda pareja 220, siendo todos los cuadros 211, 212, 221, 222 de la antena, en el ejemplo, unos rectángulos metálicos inscritos en unos planos sustancialmente verticales. En el ejemplo, las parejas 210, 220 de cuadros se retienen alrededor del soporte 230 de tal manera que forman sustancialmente un cuadrado visto desde arriba. En el ejemplo, la antena incluye igualmente, bajo cada cuadro 211, 212, 221, 222, una varilla 216, 217, 226, 227 metálica, sustancialmente vertical, formando el conjunto de estas varillas 216, 217, 226, 227 la vía monopolo de la antena. Esta antena es, desde un punto de vista teórico, equivalente a la antena presentada en las figuras 1a, 1b. En lo que sigue, se hablará de "cuadro seno" y de "cuadro coseno" con referencia al primer modelo de antena presentado en las figuras 1a, 1b, aplicándose este vocabulario a las parejas 210, 220 de cuadros 211, 212, 221, 222 cuando el procedimiento se implementa sobre el segundo modelo de antena presentado en las figuras 2a, 2b.

Según otro modo de implementación del procedimiento según la invención, la antena de cuadros cruzados se sustituye por una red de antenas de tipo Adcock, pudiendo este tipo de red de antenas modelizarse de manera análoga a las antenas de cuadros cruzados, es decir, al menos por un cuadro seno y un cuadro coseno.

35 Por otra parte, el monopolo de la antena puede sustituirse por un dipolo o cualquier otra antena que sirve de vía de referencia.

La figura 3 presenta, a través de un sinóptico, las etapas de un procedimiento de medida de ángulo según la invención.

40 Las etapas del procedimiento están repartidas en dos fases 101, 102. La primera fase 101 es una fase preparatoria de calibración de la antena y la segunda fase 102 es una fase de medida en el transcurso de la que se procura determinar la dirección de llegada de una señal recibida por la antena. La antena de cuadros cruzados comprende, en el ejemplo, dos cuadros ortogonales y un monopolo.

45 La primera fase 101 de calibración se realiza en las condiciones de utilización final de la antena. Por ejemplo, si en las condiciones habituales de utilización, están situadas unas estructuras físicas en las proximidades de la antena, la calibración se lleva a cabo en presencia de dichas estructuras, siendo estas susceptibles de modificar la respuesta de la antena creando unos acoplamientos electromagnéticos particulares. Unas señales electromagnéticas de calibración se emiten en dirección de la antena haciendo variar su frecuencia de emisión y su ángulo de marcación de llegada. Por consiguiente, puede rellenarse una tabla de calibración registrando las respuestas de la antena a unas señales que varían en frecuencias y en marcación.

50 Por ejemplo, un emisor fijo está colocado a distancia de un navío que incluye una antena de cuadros cruzados. El emisor está controlado para emitir unas señales barriendo una banda de frecuencia a calibrar, después el navío se desplaza para hacer variar el ángulo de marcación de llegada de las señales sobre la antena. La antena no debe desplazarse con respecto al navío durante la fase 101 de calibración, sin lo cual las condiciones electromagnéticas de recepción se falsearían. Por otra parte, el ángulo de elevación de llegada de las señales sobre la antena de recepción se elige para corresponder a los casos de empleo del procedimiento de medida de ángulo según la invención. Por ejemplo, si el procedimiento lo utilizan unos navíos para determinar la dirección de llegada de señales emitidas por otros navíos, el ángulo de elevación elegido para la calibración será nulo o casi nulo.

Por otra parte, en unos casos de utilización particulares, la frecuencia de la señal de calibración se retiene fija, en concreto, cuando se desea únicamente detectar unas señales específicas de las que la frecuencia se conoce de antemano.

5 Más precisamente, la fase 101 de calibración de la figura 3 incluye una primera etapa 111 de adquisición y de detección de señales, una segunda etapa 112 de cálculo de un vector de adquisición que corresponde a las señales emitidas y una tercera etapa 113 de almacenamiento del vector de adquisición en la tabla de calibración. En el ejemplo, estas tres etapas 111, 112, 113 se ejecutan para un ángulo de marcación fijado y para unas frecuencias de emisión que varían en el campo de las altas frecuencias, después estas etapas 111, 112, 113 se reiteran con unos ángulos de marcación diferentes, hasta que todos los ángulos de marcación deseados estén cubiertos.

10 Durante la primera etapa 111, se eligen unas frecuencias de adquisición de entre las frecuencias de emisión de las señales. A continuación, para cada frecuencia F de adquisición elegida, la señal de frecuencia F recibida por la antena de cuadros cruzados se adquiere sobre tres vías: una vía X_0 monopolo, una vía que corresponde al primer cuadro X_c de la antena, a veces calificado como "cuadro coseno", y una vía que corresponde al segundo cuadro X_s de la antena a veces calificado como "cuadro seno". Preferentemente, se adquieren sucesivamente varias medidas de señales sobre estas tres vías X_0 , X_c , X_s , ejecutándose entonces, preferentemente, esta primera etapa 111 de adquisición de señales sobre una duración Δt_{cal} lo suficientemente larga para adquirir una serie de varias medidas, pero lo suficientemente corta para que el ángulo de marcación de llegada de las señales no cambie casi nada en el transcurso de la serie de medidas si la antena es móvil con respecto al emisor de señales. De esta manera, a la salida de la primera etapa 111, se realizan para cada frecuencia F de adquisición N adquisiciones $X_{0,1}, \dots, X_{0,N}$, sobre la vía monopolo, N adquisiciones $X_{c,1}, \dots, X_{c,N}$, sobre la vía coseno y N adquisiciones $X_{s,1}, \dots, X_{s,N}$, sobre la vía seno.

Durante la segunda etapa 112, para cada frecuencia F de adquisición, se calcula un vector X de intercorrelación entre las tres vías y se lleva a una vía de referencia. Para una observación k, $1 \leq k \leq N$, el vector X_k de intercorrelación elemental que corresponde a las adquisiciones de la observación k se determina como sigue:

$$X_k = \frac{1}{\|X_{0,k}\|^2} \begin{pmatrix} X_{0,k} \cdot X_{0,k}^H \\ X_{0,k} \cdot X_{c,k}^H \\ X_{0,k} \cdot X_{s,k}^H \end{pmatrix}$$

25 Siendo $X_{0,k}$ la medida compleja adquirida sobre el monopolo, siendo $X_{c,k}$ la medida compleja adquirida sobre el cuadro coseno, siendo $X_{s,k}$ la medida compleja adquirida sobre el cuadro seno, siendo H el operador hermítico. La vía de referencia elegida en el ejemplo es la vía que corresponde al monopolo. En otras implementaciones del procedimiento de medida de ángulo según la invención, la vía de referencia elegida es la del cuadro seno o del cuadro coseno.

30 En el ejemplo, el vector X de intercorrelación se calcula promediando las medidas adquiridas sobre un número s de observaciones, $s \leq N$, para limitar la influencia del ruido sobre el vector X de intercorrelación:

$$X = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s X_k$$

Además, el vector X de intercorrelación se normaliza, preferentemente, en 1:

$$X_{norm} = \frac{X}{\|X\|}$$

35 Durante la tercera etapa 113, para cada frecuencia F de adquisición, se almacenan en la tabla de calibración unos datos que caracterizan las señales adquiridas. En el ejemplo, estos datos caracterizadores se almacenan con la forma de los vectores X_{norm} de intercorrelación normalizados, calculados anteriormente para cada frecuencia F de adquisición. De esta manera, la tabla de calibración se alimenta con los vectores de intercorrelación normalizados formados a partir de detecciones y adquisiciones de señales de frecuencias diferentes.

40 La primera etapa 111, la segunda etapa 112 y la tercera etapa 113 se reiteran sucesivamente para unas señales de ángulos de marcación de llegada diferentes, de modo que a la salida de la fase 101 de calibración, para cada frecuencia de adquisición, se almacenan p vectores $X_{norm}(\theta_1), \dots, X_{norm}(\theta_p)$ de intercorrelación normalizados, correspondiendo cada uno de dichos vectores a una señal recibida con un ángulo $\theta_1, \dots, \theta_p$ de marcación de llegada diferente. Este es el motivo por el que un vector de intercorrelación almacenado en la tabla de calibración se

califique a continuación como “vector direccional”.

La figura 4 presenta un panel que ilustra una tabla de calibración que registra unos vectores de adquisiciones sobre una banda de frecuencia $[f_i; f_n]$ y para unos ángulos de marcación que varían de θ_1 a θ_m .

5 Según otro modo de implementación de la fase 101 de calibración, la primera etapa 111, la segunda etapa 112 y la tercera etapa 113 se ejecutan para una frecuencia fija y para unos ángulos de marcación que varían. Las etapas 111, 112, 113 se reiteran a continuación modificando la frecuencia de emisión. Por ejemplo, un emisor móvil se desplaza alrededor de la antena, modificando el emisor su frecuencia de emisión después de la culminación de una vuelta completa, de modo que después de q vueltas, se calibran q frecuencias diferentes.

10 Una vez efectuada la fase 101 de calibración, pueden ejecutarse una o varias fases 102 de medida. Una fase 102 de medida permite determinar la dirección de llegada en marcación de una señal detectada. La fase 102 de medida de la figura 3 incluye una primera etapa 121 de detección y de adquisición de una señal, una segunda etapa 122 de cálculo de un vector de adquisición, una tercera etapa 123 de correlación entre el vector de adquisición y unos vectores procedentes de la calibración.

15 Durante la primera etapa 121, la señal recibida se adquiere sobre una duración Δt y se desglosa en varios canales frecuenciales. A la salida de la primera etapa 121, se efectúan una o varias adquisiciones de la señal para cada canal frecuencial y, preferentemente, sobre las tres vías de la antena.

20 Durante la segunda etapa 122, se calcula un vector de intercorrelación a partir de las adquisiciones efectuadas en el transcurso de la primera etapa 121. El vector de intercorrelación se calcula según el mismo procedimiento que el descrito más arriba para la segunda etapa 112 de la fase de calibración. A la salida de esta segunda etapa 122, se obtiene para cada canal frecuencial a analizar, un vector X_{norm} de adquisición formado a partir de las señales adquiridas por la antena.

25 Durante la tercera etapa 123, se ejecutan unos cálculos de correlación vectorial para determinar la dirección de llegada de las señales recibidas por la antena. En el ejemplo, el criterio de correlación utilizado es el cuadrado del módulo del producto escalar complejo entre vectores de adquisición. También, para cada canal frecuencial analizado, se identifican los vectores direccionales que corresponden a unos ángulos de marcación diferentes y a una frecuencia cercana a este canal frecuencial y consignados en la tabla de calibración, después se calcula el cuadrado del módulo de los productos escalares complejos entre el vector X_{norm} de adquisición formado a partir de la señal adquirida por la antena sobre este canal frecuencial y cada uno de dichos vectores direccionales identificados. Para cada canal frecuencial, se busca el máximo de este módulo, permitiendo el vector direccional de la tabla de calibración alcanzar este máximo que se considera como el que corresponde al ángulo de llegada de la señal recibida como lo indica la siguiente expresión:

$$\theta(f) = \arg \max_k (|X_{norm} \cdot T(f, \theta_k)|^2)$$

35 donde f es, en el ejemplo, la frecuencia central del canal frecuencial utilizado, X_{norm} el vector de adquisición de la señal de la que se desea determinar la dirección de llegada y $T(f, \theta_k)$ un vector direccional consignado en la tabla de calibración y que corresponde a una señal de frecuencia f que llega sobre la antena con un ángulo θ de marcación.

40 A la salida de la fase 102 de medida, se obtiene una medida de ángulo θ de marcación para cada canal frecuencial analizado. Por otra parte, una nota Q de calidad está asociada a cada media de ángulo θ de marcación obtenida, estando esta nota relacionada con el nivel alcanzado por el criterio de correlación. De hecho, se obtiene una nota máxima cuando los vectores X_{norm} y $T(f, \theta)$ son colineales, obteniéndose una nota menor cuando el ángulo formado entre los vectores X_{norm} y $T(f, \theta)$ aumenta. En el ejemplo, Q se da mediante la siguiente relación:

$$Q(f) = \max_k (|X_{norm} \cdot T(f, \theta_k)|^2)$$

donde “.” representa el producto escalar complejo.

Pueden determinarse varios ángulos de marcación diferentes si, por ejemplo, varios emisores en unas direcciones diferentes emiten simultáneamente unas señales.

45 Según una implementación del procedimiento de medida según la invención, se obtiene un ángulo θ de marcación de llegada más preciso calculando un valor interpolado a partir de algunos valores de ángulo θ_i de marcación alrededor del máximo de correlación. A título de ejemplo, puede efectuarse una interpolación cuadrática a partir de los tres valores alrededor del máximo obtenido.

50 En el ejemplo de la figura 6, durante la fase 102 de medida, se detectan unas señales por la antena sobre una banda de frecuencias que se difunden de f_i a f_j , donde $1 \leq i < j \leq n$. Para varias frecuencias en el rango $[f_i; f_j]$ se efectúan

unos cálculos de correlación y se identifican unos pares (frecuencia, ángulo de marcación) mediante la búsqueda del máximo de correlación. Estos pares se representan con rayado en la figura 4, que muestra que las señales detectadas llegan todas con un mismo ángulo de marcación igual a θ_q , $1 \leq q \leq m$.

5 La figura 5 ilustra, mediante un gráfico, un ejemplo de curva de correlación obtenida ejecutando un procedimiento de medida de ángulo según la invención. El criterio de correlación que varía entre 0 y 1 se representa en ordenada, mientras que el ángulo de marcación se representa en abscisa. En el ejemplo de la figura 5, la dirección de llegada de la señal es de 0° , puesto que se obtiene el máximo de correlación para este ángulo.

10 La figura 6 presenta, a través de un sinóptico, las etapas de una segunda implementación del procedimiento de medida de ángulo según la invención. Con respecto al procedimiento presentado en la figura 3, se añade una etapa 124 suplementaria de prueba en la fase 102' de medida. Como se describe más arriba, cuanto más elevado es el criterio de correlación, mejor se considera la medida del ángulo θ de marcación de llegada de la señal. También, esta etapa 124 de prueba invalida la medida de ángulo de marcación de llegada si el criterio de correlación es inferior a un umbral previamente elegido. En el ejemplo, se produce un indicador D mediante la etapa 124 de prueba. Cuando el criterio es inferior al umbral, el indicador D se pone en 0, si no, el indicador D se pone en 1. De esta manera, pueden identificarse unos valores poco fiables, después apartarse inmediatamente y no corren el riesgo de inducir a error al usuario.

20 Una ventaja del procedimiento de medida de ángulo según la invención es su sencillez de implementación. Una vez efectuada la fase de calibración, puede utilizarse un sencillo calculador para efectuar unos cálculos de correlación, tomándose en cuenta entonces implícitamente en los cálculos los acoplamientos electromagnéticos parásitos. De hecho, el procedimiento de medida de ángulo según la invención no se apoya únicamente sobre un modelo teórico, sino que tiene en cuenta la respuesta real de la antena medida en su contexto de entorno.

25 Otra ventaja del procedimiento de medida de ángulo según la invención es que permite disminuir automáticamente la influencia de las señales incidentes de las que el ángulo de elevación no corresponde al ángulo de elevación elegido para la calibración. Si, por ejemplo, se reciben unas ondas ionosféricas por la antena, las señales que las llevan estas ondas se apartan naturalmente mediante la etapa 123 de correlación vectorial, pues la correlación efectuada sobre estas señales no concuerda con el modelo registrado en la tabla de calibración. Esta ventaja puede, por ejemplo, aprovecharse en el caso de un sistema de vigilancia en tierra o en el mar dedicado a la detección de emisiones radioeléctricas emitidas solamente a partir de un emisor colocado al nivel de tierra. En este caso, solo las emisiones de elevación nula o casi nula se correlacionarán correctamente.

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de medida del ángulo θ de llegada en marcación de señales radioeléctricas en banda HF recibidas por una antena de cuadros cruzados o una red de antenas de tipo Adcock, que incluye al menos las siguientes etapas:

- 5 • durante una fase (101) de calibración preparatoria, adquirir y registrar las medidas por la antena de una señal de calibración que varía en marcación y de frecuencia fija o variable;
- durante una fase (102) de medida de señales detectadas:
 - adquirir las señales detectadas sobre al menos un canal de frecuencia;
 - para cada canal de frecuencia f_i , correlacionar las señales adquiridas con los registros procedentes de la calibración de frecuencia cercana a f_i y determinar la dirección de llegada de las señales buscando el ángulo θ de marcación para el que se alcanza el máximo de correlación,

en el que, durante la fase de calibración, cada adquisición se registra en una tabla con la forma de un vector de intercorrelación, correlacionándose a continuación los vectores de dicha tabla con otro vector de intercorrelación procedente de las señales adquiridas en fase (102) de medida, calculándose cada uno de dichos vectores de intercorrelación ejecutando al menos las siguientes etapas:

- adquirir, al menos sobre el cuadro seno y el cuadro coseno de la antena, N medidas de señales, $N \geq 1$, sobre una duración Δt ;
- para p medidas de entre las N medidas efectuadas anteriormente, calcular un vector X_k de intercorrelación elemental;
- calcular un vector X de intercorrelación medio promediando los p vectores X_k de intercorrelación elementales calculados anteriormente.

estando el procedimiento **caracterizado porque** un vector X_k intercorrelación elemental procedente de una medida k es igual a

$$X_k = \frac{1}{\|X_{0,k}\|^2} \begin{pmatrix} X_{0,k} \cdot X_{0,k}^H \\ X_{0,k} \cdot X_{c,k}^H \\ X_{0,k} \cdot X_{s,k}^H \end{pmatrix},$$

siendo $X_{0,k}$ la medida compleja adquirida sobre el monopolo, siendo $X_{c,k}$ la medida compleja adquirida sobre el cuadro coseno, siendo $X_{s,k}$ la medida compleja adquirida sobre el cuadro seno, siendo H el operador hermitico.

2. Procedimiento de medida según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el criterio de correlación crece con el módulo del producto escalar entre el vector de intercorrelación de las señales detectadas y el vector de intercorrelación de las señales adquiridas durante la fase (101) de calibración.

3. Procedimiento de medida según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** incluye, además, una etapa de valoración de la calidad de una medida θ de marcación, atribuyéndose una nota Q de calidad a dicha medida en función del nivel del máximo de correlación obtenido, siendo dicha nota Q una función monótona creciente del máximo de correlación.

4. Procedimiento de medida según la reivindicación 3, **caracterizado porque** incluye, además, una etapa de identificación de las medidas erróneas, eligiéndose un umbral mínimo, efectuándose una comparación entre dicho umbral y la nota Q de calidad atribuida a una medida para identificar una medida cuya nota Q de calidad es inferior a dicho umbral.

5. Procedimiento de medida según una de las reivindicaciones anteriores, estando la antena fijada sobre un navío, **caracterizado porque** la fase (101) de calibración se efectúa emitiendo unas señales a partir de un emisor fijo dispuesto sustancialmente al nivel del mar, de modo que las señales emitidas las reciba la antena de elevación casi nula, desplazándose el navío a distancia de dicho emisor cambiando de rumbo para hacer variar los ángulos de marcación de llegada de la señal con respecto a la antena.

6. Procedimiento de medida según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** durante la fase (101) de calibración, la señal de calibración se emite de modo que el ángulo de elevación de llegada de dicha señal sobre la antena de cuadros cruzados es sustancialmente constante.

7. Procedimiento de vigilancia implementado sobre una plataforma en el mar o en tierra, **caracterizado porque** incluye al menos las siguientes etapas:

- con ángulo de elevación sustancialmente nulo, definir un rango $[\theta_i; \theta_f]$ de direcciones en marcación a vigilar;
 - si se detectan unas señales, ejecutar las etapas del procedimiento de medida de la dirección de llegada en marcación de señales según una de las reivindicaciones anteriores;
 - si se detecta una señal en el rango vigilado, activar un control de alerta.
- 5 8. Goniómetro que implementa el procedimiento de medida según una de las reivindicaciones 1 a 6.
9. Sistema de vigilancia dispuesto sobre un navío y que implementa el procedimiento según la reivindicación 7.

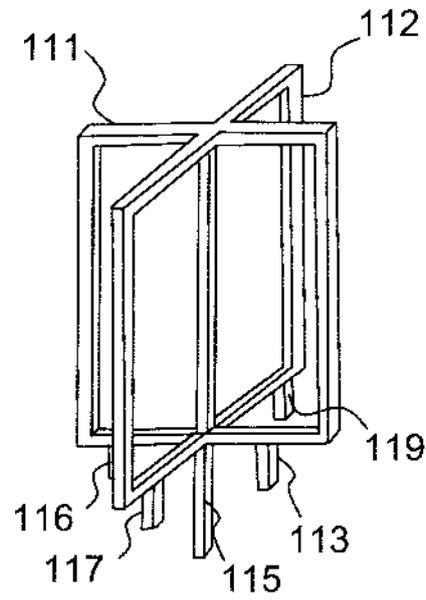


FIG. 1a

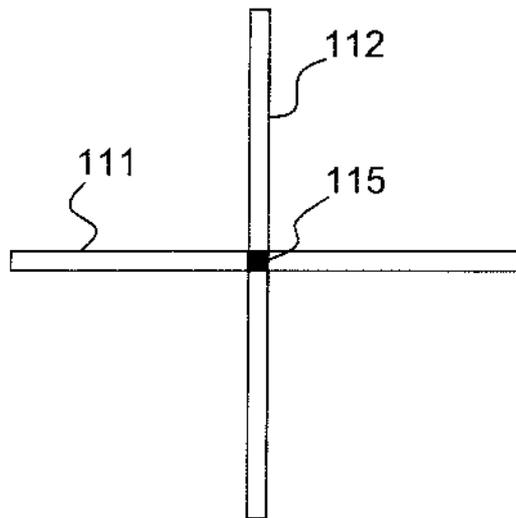


FIG. 1b

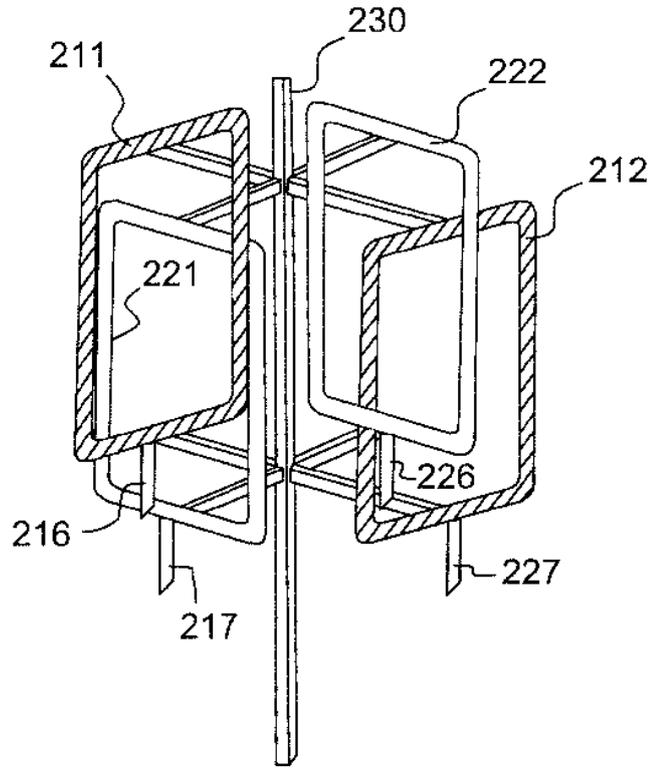


FIG. 2a

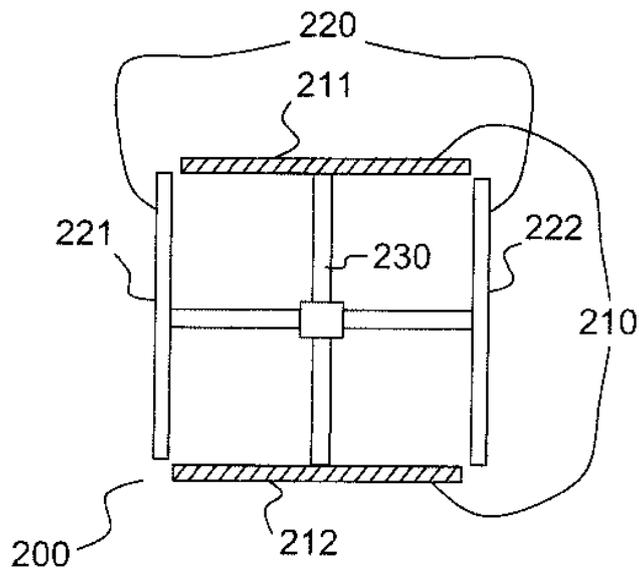


FIG. 2b

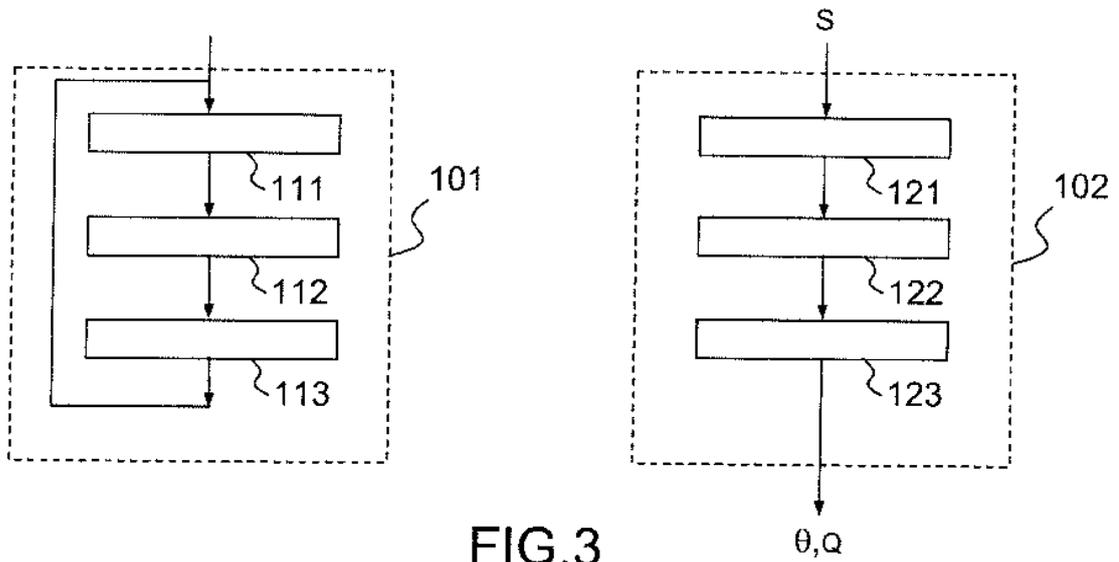


FIG.3

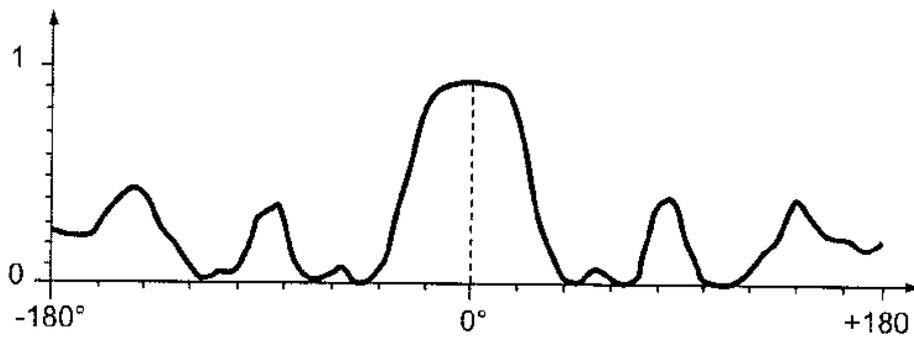


FIG.5

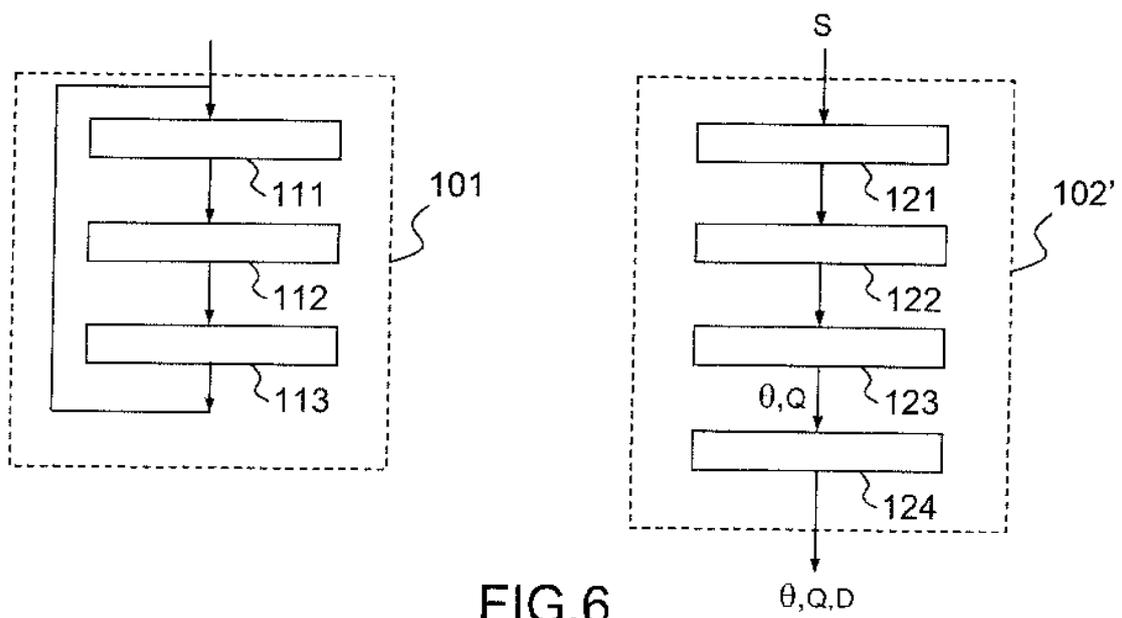


FIG.6

| | | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|-------------|-------|-------------|---------------|---------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | f_1 | f_2 | ..... | f_i | f_{i+1} | f_{i+2} | ..... | f_j | ..... | f_n |
| θ_1 | $x_{1,1}$ | $x_{1,2}$ | ..... | $x_{1,i}$ | $x_{1,i+1}$ | $x_{1,i+2}$ | ..... | $x_{1,j}$ | ..... | $x_{1,n}$ |
| | | | | | | | | | | |
| θ_q | $x_{q,1}$ | $x_{q,2}$ | ..... | $x_{q,i}$ | $x_{q,i+1}$ | $x_{q,i+2}$ | ..... | $x_{q,j}$ | ..... | $x_{q,n}$ |
| θ_{q+1} | $x_{q+1,1}$ | $x_{q+1,2}$ | ..... | $x_{q+1,i}$ | $x_{q+1,i+1}$ | $x_{q+1,i+2}$ | ..... | $x_{q+1,j}$ | ..... | $x_{q+1,n}$ |
| | | | | | | | | | | |
| θ_m | $x_{m,1}$ | $x_{m,2}$ | ..... | $x_{m,i}$ | $x_{m,i+1}$ | $x_{m,i+2}$ | ..... | $x_{m,j}$ | ..... | $x_{m,n}$ |

FIG.4