

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 764 143**

51 Int. Cl.:

G01S 5/12 (2006.01)

G01S 11/02 (2010.01)

G01S 5/02 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.12.2016 PCT/EP2016/081272**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.06.2017 WO17102994**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.12.2016 E 16823203 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2019 EP 3391072**

54 Título: **Procedimiento de localización de fuentes de emisión de impulsos electromagnéticos**

30 Prioridad:

15.12.2015 FR 1502594

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

02.06.2020

73 Titular/es:

**THALES (100.0%)
Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade
Nord
92400 Courbevoie, FR**

72 Inventor/es:

**JAHAN, DANIEL;
GIACOMETTI, ROMAIN y
CORNU, CÉDRIC**

74 Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

ES 2 764 143 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 localización de fuentes de emisión de impulsos electromagnéticos

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a un procedimiento de localización de al menos dos fuentes de emisión de impulsos electromagnéticos, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- recepción, por un detector, para cada fuente que se va a localizar, durante un período de funcionamiento del detector, de al menos un mismo impulso emitido, recibido por una parte en directo y recibido por otra parte por
 - 10 reflexión en la plataforma portadora de otra fuente,
 - medición de la dirección de llegada, la fecha de llegada y al menos una característica invariante de cada impulso recibido.
- [0002]** La localización de una fuente consiste en determinar la dirección y la distancia de la fuente con respecto a un punto de referencia. Tal localización se basa generalmente en un principio multiestático que consiste en observar la fuente bajo diferentes ángulos.
- [0003]** Para localizar una fuente, un procedimiento conocido, que utiliza el principio de triangulación, consiste en medir la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la fuente por medio de varios detectores, deslocalizados
- 20 entre sí. La triangulación es una técnica que permite determinar la posición de un punto midiendo los ángulos entre este punto y otros puntos de referencia cuya posición se conoce.
- [0004]** Sin embargo, tal procedimiento requiere el uso de una red de detectores y, por lo tanto, necesariamente un sistema de coordinación de los detectores de la red, que además del coste vinculado al número de detectores,
- 25 excluye la posibilidad de trabajar con un único detector.
- [0005]** Se ha desarrollado igualmente un procedimiento de localización que consiste en disponer un único receptor en un portador que tenga una velocidad de desplazamiento relativamente elevada en comparación con la fuente que se va a localizar. Tal desplazamiento relativo permite obtener un conjunto de direcciones de llegada a lo
- 30 largo del tiempo, cuyo punto de competencia es la ubicación en la que se sitúa la fuente.
- [0006]** Sin embargo, la obtención de un desplazamiento relativo requiere un portador particularmente rápido con respecto a las fuentes que se van a localizar, lo que hace que el procedimiento sea inadecuado en el caso de una fuente en desplazamiento.
- 35 **[0007]** Otro procedimiento conocido se basa en la medición de las diferencias de tiempo de paso del lóbulo de la antena (abreviado como DTPLA).
- [0008]** Sin embargo, tales mediciones suponen conocer la velocidad de rotación del lóbulo de la antena y, por lo tanto, efectuar barridos circulares, lo que implica una adquisición relativamente lenta.
- 40 **[0009]** Se conoce igualmente la utilización de la diferencia de tiempo de llegada (abreviada como TDOA) de la misma señal que llega a dos puntos de recepción diferentes para localizar una fuente. Tal diferencia de tiempo permite determinar el lugar geométrico donde se sitúa la fuente.
- 45 **[0010]** Sin embargo, aquí de nuevo se requieren al menos dos detectores, lo que excluye la posibilidad de trabajar con un solo detector.
- [0011]** Se conocen igualmente unos procedimientos que combinan unas mediciones de TDOA y DTPLA a partir de un único detector.
- 50 **[0012]** Por otro lado, como se explicó anteriormente, las mediciones de DTPLA requieren unos barridos circulares, lo que es a la vez lento e incierto.
- 55 **[0013]** Los documentos US 2011/0140966 A, EP 2 428 810 A y WO 2014/001651 A describen unos ejemplos de procedimientos de localización de fuentes.
- [0014]** Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento de localización de fuentes a partir de un único receptor cuasi-estático con respecto a las fuentes que se van a localizar.
- 60 **[0015]** A tal efecto, la invención tiene como objeto un procedimiento de localización del tipo mencionado, en el que el procedimiento comprende, las etapas de:
- reagrupación de al menos un primer par de impulsos de características invariantes iguales a una primera característica invariante de direcciones de llegada diferentes, y de al menos un segundo par de impulsos de
- 65

características invariantes iguales a una segunda característica invariante y de mismas direcciones de llegada diferentes,

- cálculo de la diferencia de fechas de llegada entre los impulsos de cada par,

- 5 - determinación de la dirección y la distancia desde cada fuente al detector a partir de las diferencias de fechas de llegada calculadas y las direcciones de llegada de los impulsos de cada par.

[0016] Según unos modos de aplicación particulares, el procedimiento de localización comprende una o varias de las características siguientes, tomadas de forma aislada o según cualquier combinación técnicamente posible:

- 10 - la duración de funcionamiento está formada por marcos de tiempo de duración idéntica, comprendiendo el procedimiento la definición de una duración deslizante al menos igual a la duración de un marco de tiempo, siendo aplicada la etapa de reagrupación en la duración deslizante, perteneciendo los impulsos de cada par al mismo marco de tiempo.

- 15 - el procedimiento comprende además, para cada marco de tiempo, una etapa de clasificación de los impulsos recibidos en función de la dirección de llegada y de al menos una característica invariante elegida entre la o las características medidas de cada impulso, para obtener unos conjuntos de impulsos, teniendo los impulsos de cada conjunto unas direcciones de llegada iguales y unas características invariantes iguales, siendo los impulsos de cada conjunto reagrupados en un mismo par durante la etapa de reagrupación.

- 20 - la etapa de determinación comprende el cálculo de un histograma, para cada par, a partir de las diferencias de fechas de llegada calculadas para dicho par y la determinación de un retraso principal a partir del histograma calculado, siendo la dirección y la distancia de cada fuente al detector calculadas a partir de los retrasos principales determinados.

- 25 - la etapa de determinación comprende, además, la comparación del valor de cada retraso principal con respecto a un intervalo de valores de referencia y la comparación del número de incidencias relativo a cada retraso principal con respecto a un umbral de referencia, comprendiendo la etapa de determinación, igualmente, la eliminación de los retrasos principales cuyo valor no está comprendido en el intervalo de valores de referencia y cuyo número de incidencias es estrictamente inferior al umbral de referencia.

- 30 - cada primer par y segundo par agrupados permite determinar las distancias respectivas de dos de las fuentes que se van a localizar en el detector, siendo calculadas dichas distancias a partir de las funciones siguientes:

$$d_1 = \frac{c}{4} \left((\tau_{P1} - \tau_{P2}) + \sqrt{(\tau_{P1} - \tau_{P2})^2 + \frac{(8\tau_{P1}\tau_{P2})}{(1 - \cos(\theta_1 - \theta_2))}} \right)$$

35
$$d_2 = \frac{c}{4} \left(3(\tau_{P1} - \tau_{P2}) + \sqrt{(\tau_{P1} - \tau_{P2})^2 + \frac{(8\tau_{P1}\tau_{P2})}{(1 - \cos(\theta_1 - \theta_2))}} \right)$$

donde

- d_1 es la distancia desde la primera fuente S_1 hasta el detector R,
- d_2 es la distancia desde la segunda fuente S_2 hasta el detector R,
- c es la velocidad de propagación de las ondas,
- τ_{P1} es el primer retraso principal relacionado con la diferencia de trayecto entre los impulsos reflejados recibidos y los impulsos directos recibidos, que se originan a partir de los mismos impulsos emitidos por la primera fuente S_1 ,
- τ_{P2} es el segundo retraso principal relacionado con la diferencia de trayecto entre los impulsos reflejados recibidos y los impulsos directos recibidos, que se originan a partir de los mismos impulsos emitidos por la segunda fuente S_2 ,
- θ_1 es la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la primera fuente S_1 , y
- θ_2 es la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la segunda fuente S_2 .

- 50 - la dirección de cada fuente es la dirección de llegada de los impulsos de un conjunto de al menos un par por delante con respecto a los impulsos del otro conjunto del par.

- el procedimiento comprende además una etapa de minimización de una función de coste.

- 55 - las características invariantes de cada impulso comprenden al menos una de las características entre: el ancho del impulso, la frecuencia portadora del impulso y la modulación intencional dentro del impulso.

[0017] La invención se refiere también a un dispositivo de localización de al menos dos fuentes de emisión de impulsos electromagnéticos, siendo el detector adecuado para implementar las etapas del procedimiento tal como se definió más arriba.

[0018] Otras características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la siguiente descripción de los modos de realización de la invención, dada a título de ejemplo únicamente y en referencia a los dibujos que son:

- 5 - figura 1, una vista esquemática de un ejemplo de fuentes que se van a localizar y de un detector destinado a localizar tales fuentes,
- figura 2, una vista esquemática y funcional del detector de la figura 1, y
- figura 3, un organigrama de un ejemplo de implementación de un procedimiento de localización de fuentes.

[0019] A continuación se describe un principio general de implementación de la invención, basado en la figura 10 1.

[0020] Para ello, se consideran dos fuentes de emisiones de impulsos electromagnéticos puntuales S1 y S2, colocadas respectivamente en las plataformas portadoras casi puntuales y reflectantes P1 y P2. Por la expresión "casi puntual", se entiende que el punto de emisión de cada fuente de emisión S1, S2 se considera fusionado con el punto de reflexión de la plataforma P1, P2 en la que se coloca dicha fuente S1, S2.

[0021] Las fuentes S1 y S2 son, por ejemplo, unas fuentes de emisión radar, es decir, unas fuentes de emisión electromagnéticas moduladas, y más particularmente moduladas por impulsos. Las fuentes S1,..., Sn que se van a localizar están, por ejemplo, dispuestas en el mar en barcos deslocalizados entre sí.

[0022] Un objeto de la invención es localizar dichas fuentes S1 y S2 por medio de un único detector de radares R colocado a distancia de las fuentes S1 y S2, como se ilustra por la figura 1. Por la expresión "localizar una fuente", se entiende determinar la dirección y la distancia desde la fuente hasta el detector.

[0023] El detector de radares R percibe la señal x1 correspondiente al impulso emitido por la primera fuente S1 en directo, es decir, después de haber recorrido el camino S1R. Esta señal se caracteriza por las características a1, una fecha de llegada t1 y una dirección de llegada θ1 medidas por el detector R.

[0024] El detector de radares R percibe igualmente la señal x12 correspondiente al mismo impulso emitido por la primera fuente S1 y reflejado en la plataforma P2 de la segunda fuente S2, es decir, después de haber recorrido el camino S1S2 + S2R. Esta señal se caracteriza por las características a12, una fecha de llegada t12 y una dirección de llegada θ2 medidas por el detector R.

[0025] El detector de radares R percibe igualmente la señal x2 correspondiente al impulso emitido por la segunda fuente S2 en directo, es decir, después de haber recorrido el camino S2R. Esta señal se caracteriza por las características a2, una fecha de llegada t2 y una dirección de llegada θ2 medidas por el detector R.

[0026] El detector de radares R percibe igualmente la señal x21 correspondiente al mismo impulso emitido por la segunda fuente S2 y reflejado en la plataforma P1 de la primera fuente S1, es decir, después de haber recorrido el camino S2S1 + S1R. Esta señal se caracteriza por las características a21, una fecha de llegada t21 y una dirección de llegada θ1 medidas por el detector R.

[0027] El detector de radares R percibe por tanto las cuatro señales siguientes: x1(a1,θ1,t1), x12(a12,θ2,t12), x2(a2,θ2,t2) y x21(a21,θ1,t21).

[0028] De las señales x1(a1,θ1,t1) y x12(a12,θ2,t12), se deduce la diferencia de tiempo de llegada τ1 de los impulsos relativos a la primera fuente S1, a partir de las dos mediciones de las fechas de llegada t1 y t12, o por tanto τ1 = t12 - t1. La diferencia de tiempo de llegada τ1 corresponde al recorrido S1S2 + S2R - S1R.

[0029] De las señales x2(a2,θ2,t2) y x21(a21,θ1,t21), se deduce la diferencia de tiempo de llegada τ2 de los impulsos con respecto a la segunda fuente S2, a partir de las dos mediciones de las fechas de llegada t2 y t21, o por tanto τ2 = t21 - t2. La diferencia de tiempo de llegada τ2 corresponde al recorrido S2S1 + S1R - S2R.

[0030] La aplicación del teorema del coseno al triángulo S1RS2 permite escribir la ecuación siguiente:

$$d_{12}^2 = d_1^2 + d_2^2 - 2d_1d_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (1)$$

Donde

- 60 • d1 es la distancia entre la primera fuente S1 y el detector R,
- d2 es la distancia entre la segunda fuente S2 y el detector R, y
- d12 es la distancia entre la primera fuente S1 y la segunda fuente S2.

[0031] A partir de las diferencias de tiempos de llegada τ1 y τ2 considerando que c es la velocidad de

propagación de las ondas, se obtienen las siguientes ecuaciones (2) y (3):

$$c\tau_1 = d_{12} + d_2 - d_1 \quad (2)$$

$$c\tau_2 = d_{12} + d_1 - d_2 \quad (3)$$

[0032] Al sumar y restar, las dos ecuaciones (2) y (3), se obtienen las siguientes expresiones (4) y (5):

5

$$d_{12} = c \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} \quad (4)$$

$$d_2 = d_1 + c \frac{\tau_1 - \tau_2}{2} \quad (5)$$

[0033] Al introducir las expresiones (4) y (5) en la ecuación (1) del teorema del coseno, se obtiene la siguiente ecuación (6):

10

$$\left(c \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}\right)^2 = d_1^2 + \left(d_1 + c \frac{\tau_1 - \tau_2}{2}\right)^2 - 2d_1 \left(d_1 + c \frac{\tau_1 - \tau_2}{2}\right) \cos(\theta_1 - \theta_2) \quad (6)$$

[0034] Al reordenar la ecuación (6), se obtiene una ecuación (7) del segundo grado en d_1 :

15

$$2d_1^2 + c(\tau_1 - \tau_2)d_1 - \frac{c^2\tau_1\tau_2}{(1-\cos(\theta_1-\theta_2))} = 0 \quad (7)$$

[0035] Siendo el discriminante de la ecuación (7) siempre positivo, la ecuación (7) tiene dos raíces reales distintas (8)

20

$$d_1 = \frac{c}{4} \left((\tau_1 - \tau_2) \pm \sqrt{(\tau_1 - \tau_2)^2 + \frac{8\tau_1\tau_2}{(1-\cos(\theta_1-\theta_2))}} \right) \quad (8)$$

[0036] Dado que $(\tau_1 - \tau_2)^2 + \frac{8\tau_1\tau_2}{(1-\cos(\theta_1-\theta_2))} > (\tau_1 - \tau_2)^2$, solo hay una raíz positiva dada por la siguiente expresión (9) y corresponde a la distancia entre la primera fuente S_1 y al detector R:

25

$$d_1 = \frac{c}{4} \left((\tau_1 - \tau_2) + \sqrt{(\tau_1 - \tau_2)^2 + \frac{8\tau_1\tau_2}{(1-\cos(\theta_1-\theta_2))}} \right) \quad (9)$$

[0037] Al introducir la expresión (9), en la expresión (5), se obtiene la distancia entre la segunda fuente S_2 y el detector R:

30

$$d_2 = \frac{c}{4} \left(3(\tau_1 - \tau_2) + \sqrt{(\tau_1 - \tau_2)^2 + \frac{8\tau_1\tau_2}{(1-\cos(\theta_1-\theta_2))}} \right) \quad (10)$$

[0038] Así, las fuentes S_1 y S_2 se han localizado en coordenadas polares, respectivamente (d_1, θ_1) y (d_2, θ_2)

35

[0039] Este principio puede generalizarse a un sistema que comprende N fuentes de emisiones puntuales S_1, \dots, S_N colocadas respectivamente en plataformas casi puntuales y reflectantes P_1, \dots, P_N . Tal conjunto se divide en

$$C_N^2 = \frac{N!}{2(N-2)!} \text{ triángulos } S_i R S_j \text{ diferentes.}$$

40 **[0040]**

Un primer procedimiento consiste en tratar cada triángulo $S_i R S_j$ por separado. Tal primer procedimiento

conduce al cálculo de C_N^2 pares de distancias (d_i, d_j) con $i = 1$ a N y $j = 1$ a N siempre superior a i . Este procedimiento da $N - 1$ estimaciones de d_i .

5 **[0041]** Un segundo procedimiento consiste en minimizar una función de coste a nivel global, es decir, teniendo en cuenta simultáneamente el conjunto de las variables. Para asegurar una convergencia más rápida de este segundo procedimiento iterativo, se puede inicializar con valores obtenidos gracias al primer procedimiento.

[0042] El detector R de la localización de fuentes S_1, \dots, S_n de emisión de impulsos electromagnéticos, que funciona según el principio descrito anteriormente, se ilustra de manera funcional por la figura 2.

10 **[0043]** El detector R es un detector de radares.

[0044] El detector R es cuasi-estático con respecto a las fuentes S_1, \dots, S_n que se van a localizar, es decir que el detector R tiene como máximo una velocidad relativamente baja en comparación con las fuentes S_1, \dots, S_n que se van a localizar, de modo que las evoluciones geométricas, relacionadas con los triángulos primera fuente - segunda fuente - detector, sean suficientemente inferiores a la precisión buscada para no afectarlo.

[0045] El detector R comprende un módulo de recepción 12 y una calculadora 14.

20 **[0046]** El módulo de recepción 12 comprende una red de antenas de goniometría que forma un único detector considerado como puntual, un conjunto de cadenas de recepción asociadas a la red de antenas y unas funciones de tratamiento que permiten medir las características de los impulsos recibidos.

[0047] Las características de los impulsos medidos por el módulo de recepción 12 son, por ejemplo, la dirección de llegada de los impulsos, la frecuencia portadora de los impulsos, el ancho de los impulsos, la fecha de llegada de los impulsos, la modulación intencional dentro del impulso (en inglés, *intentional modulation on pulse*) o incluso la potencia de los impulsos.

[0048] La calculadora 14 está en interacción con el módulo de recepción 12.

30 **[0049]** La calculadora 14 comprende, por ejemplo, un procesador, una memoria y una unidad de tratamiento de datos. La unidad de tratamiento de datos está configurada para implementar, en interacción con un producto de programa informático, que se puede cargar en la unidad de tratamiento de datos, un procedimiento de localización que se describirá con más detalle en la siguiente descripción.

35 **[0050]** Ahora se describe un ejemplo de funcionamiento del detector R en referencia a la figura 3, que ilustra esquemáticamente un diagrama de flujo para implementar un procedimiento de localización de fuentes S_1, \dots, S_n de emisión de impulsos electromagnéticos.

40 **[0051]** En el resto de la descripción, el término "igual" designa "igual a una tolerancia cerca". La tolerancia elegida está vinculada a la precisión de la medición, la relación señal/ruido de medición y la frecuencia de las señales recibidas en el detector R. La tolerancia elegida es, por ejemplo, ± 5 por ciento (%).

[0052] Para cada fuente S_1, \dots, S_n que se va a localizar, el procedimiento de determinación comprende inicialmente una etapa 100 de recepción por el detector R de al menos un impulso emitido, por una parte recibido en directo, es decir según el trayecto que va directamente desde la fuente al detector, y por otra parte recibido en su forma reflejada, es decir, después de la reflexión sobre la plataforma de otra fuente. Solo la diferencia en los trayectos geométricos, que da como resultado fechas de llegada diferentes, y la calidad de la reflexión permite diferenciar el impulso recibido en directo del impulso recibido en reflejado cuando estos impulsos recibidos se originan de la misma emisión.

[0053] Los impulsos son recibidos por el detector R durante la duración de funcionamiento del detector R.

55 **[0054]** En particular, cuando solo deben localizarse dos fuentes, como se ilustra en la figura 1, el detector R recibe una primera ráfaga de impulsos, en líneas de puntos, emitida directamente por la primera fuente S_1 , una segunda ráfaga de impulsos en líneas continuas emitida directamente por la segunda fuente S_2 , una tercera ráfaga de impulsos en líneas de puntos emitida por la primera fuente S_1 y reflejada en la plataforma P_2 de la segunda fuente S_2 y una cuarta ráfaga de impulsos en líneas continuas emitida por la segunda fuente S_2 y reflejada en la plataforma P_1 de la primera fuente S_1 .

60 **[0055]** A continuación, el procedimiento de localización comprende una etapa 110 de medición, por el detector R, de la dirección de llegada $\theta_1, \dots, \theta_n$, la fecha de llegada t_1, \dots, t_n en el detector R y al menos una característica invariante C_1, \dots, C_n de cada impulso recibido.

[0056] Las características invariantes C_1, \dots, C_n de cada impulso comprenden al menos una de las características entre: el ancho del impulso, la frecuencia portadora del impulso y la modulación intencional dentro del impulso.

5 **[0057]** El procedimiento de localización comprende entonces una etapa 120 de recorte de la duración de funcionamiento en marcos de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$ de la misma duración.

[0058] La duración de cada marco de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$ está vinculada a la duración máxima de la iluminación a 3dB de los radares. Por ejemplo, la duración de cada marco de tiempo está comprendida entre 10 milisegundos (ms) 10 y 100 ms.

[0059] El procedimiento de localización comprende ventajosamente, para cada marco de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$, una etapa 130 de clasificación de los impulsos recibidos durante el marco de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$, en función de la dirección de llegada $\theta_1, \dots, \theta_n$ y al menos una característica invariante C_1, \dots, C_n elegida entre la o las características medidas de cada impulso. Al final de la etapa de clasificación 130, se obtienen unos conjuntos E de impulsos. 15

[0060] Los impulsos de cada conjunto E tienen unas direcciones de llegada $\theta_1, \dots, \theta_n$ iguales y unas características invariantes C_1, \dots, C_n iguales. Por lo tanto, cada conjunto E se caracteriza por un marco de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$, una dirección de llegada $\theta_1, \dots, \theta_n$ y al menos una característica invariante C_1, \dots, C_n . 20

[0061] El procedimiento de localización comprende, a continuación, una etapa 140 de reagrupación de los conjuntos E, en una duración deslizando T_9 , por paquetes P de cuatro conjuntos $E_1(C_1, \theta_1, \Delta t_1)$, $E_2(C_1, \theta_2, \Delta t_1)$, $E_3(C_2, \theta_1, \Delta t_2)$, $E_4(C_2, \theta_2, \Delta t_2)$ correspondiente a una primera y una segunda dirección de llegada θ_1, θ_2 de valores diferentes entre sí, a una primera y a una segunda característica invariante C_1, C_2 de valores diferentes entre sí y 25 como máximo dos marcos de tiempo $\Delta t_1, \Delta t_2$. La duración deslizando T_9 es al menos igual a la duración de un marco de tiempo.

[0062] Más precisamente, cada paquete P comprende un primer par de conjuntos $E_1(C_1, \theta_1, \Delta t_1)$ y $E_2(C_1, \theta_2, \Delta t_1)$ de características invariantes iguales a la primera característica invariante C_1 del paquete P, de direcciones de llegada θ_1, θ_2 diferentes y que pertenecen al mismo marco de tiempo Δt_1 , y un segundo par de conjuntos $E_3(C_2, \theta_1, \Delta t_2)$ y $E_4(C_2, \theta_2, \Delta t_2)$ de características invariantes iguales a la segunda característica invariante C_2 del paquete P, de direcciones de llegada θ_1, θ_2 diferentes y que pertenecen al mismo marco de tiempo Δt_2 . 30

[0063] Cada par de conjuntos ($E_1(C_1, \theta_1, \Delta t_1)$, $E_2(C_1, \theta_2, \Delta t_1)$) y ($E_3(C_2, \theta_1, \Delta t_2)$, $E_4(C_2, \theta_2, \Delta t_2)$) reagrupa los 35 impulsos recibidos en directo y en reflejado por el detector R y procedentes de la misma emisión.

[0064] La duración deslizando T_9 es una ventana deslizando de análisis. Se trata de tener en cuenta los impulsos recibidos, que ya han sido objeto de clasificación por marcos de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$, en una duración tal que se puedan detectar los impulsos directos y los impulsos reflejados. En efecto, siendo la radiación de las fuentes directiva, es necesario barrer el espacio para cubrirla. Unas condiciones de iluminación son entonces necesarias llegar a detectar un mismo impulso emitido recibido en directo y recibido en reflejado. 40

[0065] Por lo tanto, la duración deslizando T_9 es una duración al menos igual al mayor de los períodos de barrido de antenas de las fuentes que se van a localizar. Esto permite asegurar que los reflectores estén iluminados en el lapso de tiempo considerado. La duración deslizando T_9 corresponde, por lo tanto, a un gran número de marcos de tiempo $\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$. 45

[0066] La duración deslizando T_9 está comprendida, por ejemplo, entre 1 segundo(s) y 10 segundos.

50 **[0067]** Como variante, la duración deslizando T_9 corresponde a varios pasajes de lóbulos de antenas, es decir, a varios períodos de barrido de antenas de las fuentes que se van a localizar. Esto permite trabajar en más impulsos para consolidar las mediciones, siempre que esta extensión del tiempo de análisis no corresponda a una evolución demasiado grande de la geometría con respecto a las precisiones pretendidas.

55 **[0068]** Entonces, el procedimiento comprende, una etapa 150 de cálculo, para cada par de cada paquete P, de las diferencias en las fechas de llegada entre los impulsos de uno de los conjuntos E del par y los impulsos del otro conjunto E de el par. Tales diferencias de las fechas de llegada resultan en unas diferencias de trayectos geométricos entre los impulsos directos recibidos y los impulsos reflejados recibidos de los mismos impulsos emitidos.

60 **[0069]** El procedimiento comprende entonces una etapa 160 de determinación de la dirección Θ y la distancia d de cada fuente S_1, \dots, S_n al detector R a partir de las diferencias de las fechas de llegada calculadas.

[0070] En particular, la etapa de determinación 160 comprende una primera fase de cálculo de un histograma, para cada par, a partir de las diferencias de las fechas de llegada calculadas. 65

[0071] Cada histograma permite determinar un retraso principal τ_p .

[0072] Por ejemplo, cuando el período de repetición de impulsos (PRI) de las señales recibidas en el detector R es estrictamente superior al doble de un valor de retraso esperado, el retraso principal τ_p es la diferencia de fecha de llegada más pequeña entre las diferencias de las fechas de llegada del histograma. El período de repetición de impulsos designa la duración entre dos impulsos sucesivos de una misma señal. El valor de retraso esperado es un valor estimado en función de la configuración geométrica esperada de los triángulos primera fuente - segunda fuente - detector.

[0073] En otro ejemplo, cuando el período de repetición de los impulsos de las señales recibidas en el detector R es inferior o igual al doble del valor de retraso esperado, la etapa de determinación 160 comprende la identificación de los impulsos recibidos en directo desde un parte y unos impulsos recibidos después de la reflexión en la plataforma de otra fuente de emisión por otra parte. Las diferencias de la fecha de llegada se calculan únicamente entre los impulsos recibidos en reflejado con respecto a los impulsos recibidos en directo y no entre los impulsos recibidos en directo con respecto a los impulsos recibidos en reflejado. El retraso principal τ_p es entonces la diferencia de fecha de llegada más pequeña entre las diferencias de fechas de llegada calculadas entre los pulsos recibidos en reflejado con respecto a los impulsos recibidos en directo.

[0074] De preferencia, la etapa de determinación 160 comprende a continuación una segunda fase de comparación de los valores de cada retardo principal τ_p determinado con respecto a un intervalo de valores de referencia. El intervalo de valores de referencia se elige, por ejemplo, en función de consideraciones geométricas, vinculadas a las direcciones de llegada y a hipótesis plausibles de distancias en las gamas de intereses. El intervalo de valores de referencia se extiende, por ejemplo, en sentido amplio, entre 1 microsegundo (ms) y 100 μ s.

[0075] Ventajosamente, la segunda fase también comprende igualmente la comparación del número de incidencias relacionadas con cada retraso principal τ_p determinado con respecto a un umbral de referencia. El umbral de referencia se elige, por ejemplo, en función de un porcentaje del número de impulsos directos recibidos para cada par.

[0076] Durante la segunda fase, se eliminan los retrasos principales τ_p cuyos valores no están comprendidos en el intervalo de valores de referencia y cuyo número de incidencias es estrictamente inferior al umbral de referencia.

[0077] La segunda fase permite por tanto eliminar los valores atípicos cuando el retraso principal τ_p obtenido está fuera del intervalo de valores plausibles y valores aislados y no significativos cuando el número de incidencias está por debajo del umbral de referencia.

[0078] Entonces, la etapa de determinación 160 comprende una tercera fase de determinación de la dirección Θ de la fuente correspondiente a cada par.

[0079] La dirección de la fuente S_1, S_2 de cada par es la dirección de llegada θ_1, θ_2 de los impulsos de los conjuntos E del par por adelantado con respecto a los impulsos del otro conjunto E del par. La dirección de llegada Θ correspondiente es, por lo tanto, el ángulo de emisión directa de los impulsos.

[0080] La etapa de determinación 160 comprende igualmente una cuarta fase de cálculo de la distancia d entre el detector R y cada una de las primera y segunda fuentes S_1, S_2 correspondientes a los dos pares de cada paquete P. Para esto, las funciones (11) y (12) siguientes, deducidas de las expresiones (9) y (10) se utilizan, por ejemplo:

$$d_1 = \frac{c}{4} \left((\tau_{P1} - \tau_{P2}) + \sqrt{(\tau_{P1} - \tau_{P2})^2 + \frac{(8\tau_{P1}\tau_{P2})}{(1 - \cos(\theta_1 - \theta_2))}} \right) \quad (11)$$

$$d_2 = \frac{c}{4} \left(3(\tau_{P1} - \tau_{P2}) + \sqrt{(\tau_{P1} - \tau_{P2})^2 + \frac{(8\tau_{P1}\tau_{P2})}{(1 - \cos(\theta_1 - \theta_2))}} \right) \quad (12)$$

donde

50

- d_1 es la distancia desde la primera fuente S_1 hasta el detector R,
- d_2 es la distancia desde la segunda fuente S_2 hasta el detector R,
- c es la velocidad de propagación de las ondas,
- τ_{P1} es el primer retraso principal relacionado con la diferencia de trayecto entre los impulsos reflejados recibidos y los impulsos directos recibidos, que se originan a partir de los mismos impulsos emitidos por la primera fuente S_1 ,
- τ_{P2} es el segundo retraso principal relacionado con la diferencia de trayecto entre los impulsos reflejados recibidos

55

y los impulsos directos recibidos, que se originan a partir de los mismos impulsos emitidos por la segunda fuente S_2 ,

- θ_1 es la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la primera fuente S_1 , y
- θ_2 es la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la segunda fuente S_2 .

5

[0081] Así, cada fuente S_1, \dots, S_n se localiza en coordenadas polares (d, Θ) .

[0082] El procedimiento descrito permite por tanto la localización de las fuentes S_1, \dots, S_n de un único detector cuasi-estático con respecto a las fuentes que se van a localizar.

10

[0083] El procedimiento resuelve el triángulo primera fuente - segunda fuente - detector únicamente por mediciones de dirección de llegada y de la diferencia de tiempo de llegada (TDOA), partiendo del principio de que las plataformas que llevan las fuentes son unos reflectores bien conocidos y, por esta razón, la fuente de emisión y el punto de reflexión se combinan para una misma plataforma. Esta hipótesis es realista y permite una resolución simple del triángulo primera fuente - segunda fuente - detector sin recurrir al DTPLA largo y delicado que se va a implementar.

15

Tal procedimiento es, por lo tanto, rápido de implementar mientras permite una localización precisa de las fuentes.

[0084] Además, el procedimiento se basa en mediciones realizadas convencionalmente, en particular la dirección de llegada de los impulsos, la fecha de llegada de los impulsos, el ancho de los impulsos o incluso la frecuencia portadora de los impulsos, lo cual es una ventaja para facilitar la integración del procedimiento con un detector de radares.

20

[0085] Además, el procedimiento se puede generalizar a N fuentes en N plataformas portadoras, por ejemplo, por una descomposición en una combinación de dos entre N triángulos en los que se aplica el mismo procedimiento de localización.

25

[0086] Como complemento facultativo, cuando se van a localizar varias fuentes, una etapa adicional consiste en minimizar una función de coste teniendo en cuenta simultáneamente el conjunto de las variables. Tal función de coste permite mejorar la precisión de las distancias d y direcciones Θ determinadas para cada fuente S_1, \dots, S_n .

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de localización de al menos dos fuentes (S_1, \dots, S_n) de emisión de impulsos electromagnéticos, perteneciendo cada fuente (S_1, \dots, S_n) a una plataforma portadora (P_1, \dots, P_n), comprendiendo el
5 procedimiento las etapas de:

- recepción, por un detector (R), para cada fuente (S_1, \dots, S_n) que se va a localizar, durante una duración de funcionamiento del detector (R), de al menos un mismo impulso emitido, recibido por una parte en directo y recibido por otra parte por reflexión en la plataforma portadora de otra fuente (S_1, \dots, S_n),
- 10 - medición de la dirección de llegada ($\theta_1, \dots, \theta_n$), la fecha de llegada (t_1, \dots, t_n) y al menos una característica invariante (C_1, \dots, C_n) de cada impulso recibido,

caracterizado porque el procedimiento comprende, además, las etapas de:

- 15 - reagrupación de al menos un primer par de impulsos de características invariantes iguales a una primera característica invariante (C_1), de direcciones de llegada (θ_1, θ_2) diferentes, y de al menos un segundo par de impulsos de características invariantes iguales a una segunda característica invariante (C_2) y las mismas direcciones de llegada (θ_1, θ_2) diferentes,
- cálculo de la diferencia de fechas de llegada entre los impulsos de cada par,
- 20 - determinación de la dirección (Θ) y la distancia (d) de cada fuente (S_1, \dots, S_n) al detector (R) a partir de las diferencias de las fechas de llegada calculadas y las direcciones de llegada (θ_1, θ_2) de los impulsos de cada par.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que la duración de funcionamiento está formada por marcos de tiempo ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$) de duraciones idénticas, comprendiendo el procedimiento la definición de una duración
25 deslizante (T_θ) al menos igual a la duración de un marco de tiempo ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$), siendo implementada la etapa de reagrupación en la duración deslizante (T_θ), perteneciendo los impulsos de cada par al mismo marco de tiempo.

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el procedimiento comprende, además, para cada marco de tiempo ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_k$), una etapa de clasificación de los impulsos recibidos en función de la dirección de llegada
30 ($\theta_1, \dots, \theta_n$) y al menos una característica invariante (C_1, \dots, C_n) seleccionada entre la o las características medidas de cada impulso, para obtener conjuntos (E) de impulsos, teniendo los impulsos de cada conjunto (E) unas direcciones de llegada ($\theta_1, \dots, \theta_n$) iguales y unas características invariantes (C_1, \dots, C_n) iguales, siendo reagrupados los impulsos de cada conjunto (E) en un mismo par durante la etapa de reagrupación.

4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la etapa de determinación comprende el cálculo de un histograma, para cada par, a partir de las diferencias de las fechas de llegada calculadas para dicho par y la determinación de un retraso principal (τ_p) a partir del histograma calculado, siendo calculadas la
35 dirección (Θ) y la distancia (d) de cada fuente (S_1, \dots, S_n) al detector (R) a partir de los retrasos principales (τ_p) determinados.

5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el que la etapa de determinación comprende, además, la comparación del valor de cada retraso principal (τ_p) con respecto a un intervalo de valores de referencia y la comparación del número de incidencias relacionadas con cada retraso principal (τ_p) con respecto a un umbral de referencia, comprendiendo la etapa de determinación, igualmente, la eliminación de los retrasos principales (τ_p) cuyo
45 valor no está comprendido en el intervalo de valores de referencia y cuyo número de incidencia es estrictamente inferior al umbral de referencia.

6. Procedimiento según la reivindicación 4 ó 5, en el que cada primer par y segundo par reagrupados permite determinar las distancias (d_1, d_2) respectivas de dos de las fuentes (S_1, S_2) que se van a localizar en el detector
50 (R), siendo calculadas dichas distancias (d_1, d_2) a partir de las funciones siguientes:

$$d_1 = \frac{c}{4} \left((\tau_{p1} - \tau_{p2}) + \sqrt{(\tau_{p1} - \tau_{p2})^2 + \frac{(8\tau_{p1}\tau_{p2})}{(1 - \cos(\theta_1 - \theta_2))}} \right)$$

$$d_2 = \frac{c}{4} \left(3(\tau_{p1} - \tau_{p2}) + \sqrt{(\tau_{p1} - \tau_{p2})^2 + \frac{(8\tau_{p1}\tau_{p2})}{(1 - \cos(\theta_1 - \theta_2))}} \right)$$

Donde

- 55 • d_1 es la distancia desde la primera fuente S_1 hasta el detector R,
- d_2 es la distancia desde la segunda fuente S_2 hasta el detector R,

- c es la velocidad de propagación de las ondas,
 - T_{p1} es el primer retraso principal relacionado con la diferencia de trayecto entre los impulsos reflejados recibidos y los impulsos directos recibidos, que se originan a partir de los mismos impulsos emitidos por la primera fuente S_1 ,
- 5
- T_{p2} es el segundo retraso principal relacionado con la diferencia de trayecto entre los impulsos reflejados recibidos y los impulsos directos recibidos, que se originan a partir de los mismos impulsos emitidos por la segunda fuente S_2 ,
 - θ_1 es la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la primera fuente S_1 , y
 - θ_2 es la dirección de llegada de los impulsos emitidos por la segunda fuente S_2 .
- 10
7. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que la dirección (Θ) de cada fuente es la dirección de llegada (θ_1, θ_2) de los impulsos de un conjunto (E) de al menos un par por adelantado con respecto a los impulsos del otro conjunto (E) del par.
- 15 8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el procedimiento comprende, además, una etapa de minimización de una función de coste.
9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las características invariantes (C_1, \dots, C_n) de cada impulso comprenden al menos una de las características entre: el ancho del impulso, la frecuencia
- 20 portadora del impulso y la modulación intencional dentro del impulso.
10. Detector (R) de localización de al menos dos fuentes (S_1, \dots, S_n) de emisión de impulsos electromagnéticos, siendo el detector (R) adecuado para implementar las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

