

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 795 274**

51 Int. Cl.:

G01S 5/12 (2006.01)

G01S 3/74 (2006.01)

G01S 3/46 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2018 E 18170421 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2020 EP 3399328**

54 Título: **Procedimiento y sistema de localización distribuida PHDOA, PWDOA, de fuentes emisoras**

30 Prioridad:

04.05.2017 FR 1700482

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

23.11.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**LEBOURG, THIERRY y
DEPIERRE, DAVID**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 795 274 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 y sistema de localización distribuida PHDOA, PWDOA, de fuentes emisoras

La invención se refiere a un procedimiento y a un sistema para detectar una o varias emisiones electromagnéticas emitidas en una zona dada utilizando una arquitectura distribuida de sensores que comprende al menos dos antenas.

5 A continuación, se denominará "sensor" o cualquier sistema capaz de digitalizar una señal electromagnética, dotada de un procesador que permite tratar la señal digitalizada, y un sistema de emisión digital. Un sensor puede, por ejemplo, ser un puesto de radio definida por software. La invención, se utiliza, en particular, en el campo de la radiovigilancia.

10 La localización de las fuentes electromagnéticas es un problema importante en el campo de la vigilancia de emisiones autorizadas o no en un espacio dado.

Para detectar emisiones electromagnéticas, se conoce en la técnica anterior utilizar el principio de detección a ciegas que se puede realizar a través de varias técnicas.

15 Por tanto, es posible para localizar una o varias fuentes emisoras, estimar la diferencia de tiempo de llegada o TDOA (*Time Difference Of Arrival*), y la localización hiperbólica según un método descrito en la patente US2005/0073459. La técnica de localización implementa el TDOA presente sin embargo como principal inconveniente al necesitar, en las emisiones de radiocomunicaciones, transmitir la señal digitalizada de cada emisión percibida hacia el miembro que realiza las intercorrelaciones entre las señales de diferentes sensores para estimar la diferencia de tiempos de llegada, y después la posición del emisor. Los rendimientos de localización son función del producto del factor de banda por el tiempo de señal (es decir, del número de muestreos), lo que significa para poder tener buenos rendimientos intercambiar un número importante de muestreos y por consiguiente tener un flujo de comunicación de los sensores importante. La limitación de los flujos no permite localizar sistemáticamente todas las emisiones.

20 Otra técnica consiste en estimar el ángulo de llegada de las emisiones (*AOA Angle Of Arrival*) y la triangulación MAOA (*Multiple Angle Of Arrival*) para sensor desplazable o con varios sensores. Se da un ejemplo en la publicación de Don J. Torrieri, titulada "*Statistical Theory of Passive Location Systems*", IEEE 1984. Las técnicas de localización MAOA implementan redes de antenas no ambiguas y disponen de redes de antenas complejas de más de dos antenas. Estas redes pueden resultar difíciles de integrar en un portador, particularmente para las frecuencias bajas que imponen las redes de tamaño importante teniendo en cuenta las longitudes de onda y la precisión angular requerida.

25 Las técnicas de localización MAOA implementan la geometría PhDOA (*Phase Difference Of Arrival*) que permite eliminar las ambigüedades de localización aprovechando las medidas realizadas por el sensor durante la trayectoria del portador.

Esta técnica de localización de canal múltiple conlleva estimaciones de direcciones de llegada ambiguas, cuyas ambigüedades no pueden ser resueltas si el sensor está fijo o si las duraciones de las emisiones observadas son demasiado cortas con respecto al tiempo necesario para el desplazamiento del sensor para eliminar las ambigüedades.

35 La patente US8248210 describe la utilización de dos antenas y el cálculo de la fase diferencial para estimar ángulos de llegada, con ambigüedades, de varias etiquetas de identificación RFID (*Radio Frequency Identification*) con el fin de distinguir las espacialmente. La distinción espacial de estas etiquetas se hace por el cálculo de las diferencias de fases relacionadas con cada una de las etiquetas RFID (técnica SD-PDOA para *Space Division-Phase Difference Of Arrival*).

40 La patente USH2224H1 utiliza el cálculo de la fase diferencial PhDOA o "*Phase Difference Of Arrival*" del TDOA y la frecuencia diferencial FDOA (*Frequency Difference Of Arrival*) entre dos receptores de un solo canal para localizar al emisor.

45 Otra manera consiste en estimar la potencia de llegada diferencial o PwDOA o en anglosajón "*Power Difference Of Arrival*". Esta técnica de localización presenta sin embargo el inconveniente de tener rendimientos de localización relacionados con los modelos de propagación. El canal de propagación no se puede estimar en un sistema de localización a ciegas, los rendimientos de localización son inciertos y a menudo inaceptables particularmente en medio urbano o en medio húmedo.

Por ejemplo, la patente US9316719 utiliza una técnica PwDOA para estimar la posición de un emisor con la ayuda de un sensor móvil y de medidas de la diferencia de potencia de llegada.

50 La solicitud de patente WO98/47019 presenta un sistema de localización en el cual la red celular con la cual comunica los emisores va a localizar a estos últimos.

Las diferentes técnicas de la técnica anterior no permiten resolver, en especial, y simultáneamente los problemas siguientes:

- Las duraciones de emisión de los emisores a localizar son cortas (TDOA, PhDOA con MAOA por desplazamiento y AOA no ambiguo, MAOA por desplazamiento),
- Una localización sistemática del conjunto de las comunicaciones interceptadas por sensores de recepción instantánea de banda ancha (TDOA),
- 5 • Las redes de antenas de radiometría compleja y difícil de integrar (AOA),
- Los emisores a localizar de posición fija y los sensores de posición fija (FDOA),
- El funcionamiento de la localización a ciegas con buenos rendimientos (estimación del canal de propagación para la PwDOA o control para forzar los emisores a emitir),
- 10 • La utilización de los mismos medios de recepción de radio definida por software (SDR o “*Software Defined Radio*”) para observar las emisiones a localizar y recibir las informaciones de otros sensores concurrentes en la localización,
- La separación de situaciones de emisiones de cocanal (multitrayecto o varias fuentes en el mismo canal) de situaciones de monoseñal (PwDOA, PhDOA y TDOA).

En el resto de la descripción, la letra P_i designa el valor de la potencia y \hat{P}_1 un valor estimado.

15 La invención se refiere a un procedimiento para localizar al menos una fuente S electromagnética en el seno de una red de comunicación que comprende al menos dos sensores R_1 , R_2 , estando separados dichos sensores por una distancia dada, comprendiendo cada sensor una red de antenas que comprende al menos dos antenas A_1 , A_2 de recepción caracterizado porque comprende al menos las etapas siguientes:

- 20 • Para cada sensor R_1 , R_2 ,
 - Estimar las potencias P_1 y P_2 , de la señal S_r recibida que proviene de una fuente S y recibida a nivel de los sensores R_1 , R_2 ,
 - 25 • Para la señal S_r que llega a cada una de las dos antenas de recepción medir la diferencia $\Delta\varphi$ de fase, a partir del valor de la diferencia $\Delta\varphi$ de fase de las informaciones en la posición y orientación de la red de antenas A_1 , A_2 , determinar un conjunto de direcciones de llegada potenciales DOA, para una fuente S dada, y después
 - Fusionar los valores \hat{P}_1 , \hat{P}_2 de potencia recibidos a nivel de los sensores R_1 , R_2 , los valores de dirección potenciales de llegada DOA, las coordenadas geográficas de la red de antenas de sensores R_1 y R_2 , con el fin de calcular las coordenadas de la fuente de emisión ejecutando las etapas siguientes:
 - 30 • A partir de los valores de potencia \hat{P}_1 , \hat{P}_2 estimados por los dos sensores R_1 , R_2 , de un modelo de propagación y del valor de la relación de estas potencias \hat{P}_1 / \hat{P}_2 , definir para cada valor de relación una zona Z_e de localización elemental en la cual la fuente está presente, y después una zona Z_s de localización potencial correspondiente a la intersección de diferentes zonas de localización elemental para una fuente S de emisión,
 - 35 • A partir de las coordenadas geográficas de los sensores y de las direcciones posibles de llegada, calcular las semirrectas de visualización posibles y sus puntos P(Dk) de intersección,
 - 40 • Conservar únicamente los puntos P(Dk) de intersección de las semirrectas de visualización que pertenecen a la zona Z_s de localización potencial,
 - 45 • Seleccionar los puntos P(Dk) de intersección, para los cuales la densidad geográfica es la más elevada y determinar las coordenadas de la fuente de emisión a partir de estos puntos de intersecciones.

La etapa de fusión de datos, valores de potencia estimados, direcciones de llegada DOA, coordenadas de redes de antenas se ejecuta a nivel del procesador de cada sensor de la red de comunicación.

50 Según otra variante de realización, la etapa de fusión de datos se ejecuta a nivel de un dispositivo de tratamiento centralizado que comunica con los sensores presentes en la red de comunicación.

El procedimiento puede comprender una etapa de autocalibración de la red de antenas de cada sensor utilizando la posición conocida de otros sensores, por tanto utilizados en modo de emisión.

55 El procedimiento comprende, por ejemplo, una etapa de segmentación de tiempo y de frecuencia de la señal recibida en las antenas y una etapa de detección del número de fuentes presentes calculando la matriz de covarianza de la señal en cada caso tiempo-frecuencia y comparándolos dos valores propios de la matriz de covarianza al nivel de ruido.

El modelo de propagación utilizado para determinar una zona de localización elemental de la fuente a partir de los valores de potencia estimados es un modelo de propagación en “espacio libre”.

5 Los periodos de medidas en la señal recibida (detección, estimaciones diversas conocidas bajo el término anglosajón *sensing*) de los sensores utilizan el método de acceso múltiple de repartición en el tiempo o TDMA (*Time Division Multiple Access*) y se utiliza una franja temporal específica TSLT para ejecutar las etapas del procedimiento según la invención.

10 La invención se refiere también a un sistema de localización de al menos una fuente de emisión en una red de comunicación que comprende al menos dos sensores R_1, R_2 que se comunican entre sí por medio de un enlace de radio, comprendiendo cada sensor una red de antenas que comprende al menos dos antenas A_1, A_2 de recepción, un sensor que comprende un procesador adaptado para tratar las señales recibidas con el fin de determinar los valores de potencia de la señal recibida en las antenas, las direcciones de llegadas potenciales y el valor de desfase de la señal recibida en las antenas, comprendiendo el sistema de localización un procesador adaptado para ejecutar las etapas siguientes:

- 15 • Fusionar los valores de potencia recibidas estimadas a nivel de los sensores, los valores de dirección de llegada potencial, las coordenadas de red de antenas, con el fin de calcular las coordenadas de la fuente de emisión ejecutando las etapas siguientes:
 - 20 • A partir de los valores \hat{P}_1, \hat{P}_2 de potencia estimados por los dos sensores R_1, R_2 de un modelo de propagación y el valor de la relación de estas potencias \hat{P}_1 / \hat{P}_2 , definir para cada valor de relación una zona Z_e de localización elemental en la cual la fuente está presente, y después una zona Z_s de localización potencial correspondiente a la intersección de las diferentes zonas de localización elemental para una fuente S de emisión,
 - 25 • A partir de las coordenadas geográficas de los sensores y de las direcciones posibles de llegada, calcular las semirrectas de visualización posibles y sus puntos P(Dk) de intersección,
 - Conservar únicamente los puntos P(Dk) de intersección de las semirrectas de visualización que pertenecen a la zona Z_s de localización potencial,
 - 30 • Seleccionar los puntos de intersección, para los cuales la densidad geográfica es la más elevada y determinar las coordenadas de la fuente de emisión a partir de estos puntos.

La invención se aplica para un procedimiento y un sistema que implementan puestos de radio definida por software.

Otras características y ventajas de la presente invención aparecerán mejor de la lectura de la descripción de ejemplos de realización adjuntos de las figuras que representan:

- 35 • La figura 1, un ejemplo de un sistema según la invención,
- La figura 2 y la figura 3, un ejemplo de las etapas implementadas por el procedimiento según la invención,
- La figura 4, una representación de la llegada de un frente de onda a dos antenas,
- La figura 5 y la figura 6, dos representaciones de la definición de una zona posible de localización,
- 40 • La figura 7, la representación histográfica en 3 dimensiones del número de ocurrencias de intersecciones de rectas de visualizaciones en función de sus abscisas y coordenadas.
- La figura 8, un ejemplo de aplicación en el caso de una comunicación que utiliza la forma de onda de acceso TDMA.

Con el fin de comprender bien el objeto de la invención, se da un ejemplo para una red de comunicación que comprende dos sensores R_1, R_2 , que se comunican gracias a los enlaces de radiofrecuencia.

45 Cada sensor R_k, R_1, R_2 comprende al menos dos antenas A_1 y A_2 , conectadas, cada una, a un canal de recepción, comprendiendo un sistema de adquisición. Los dos sensores están situados uno con respecto al otro con una distancia dada. Estos dos canales 10, 11 de adquisición deben estar sincronizados. Los muestreos adquiridos (correspondientes en particular a la señal emitida por la fuente a localizar) son enviados a un módulo 12 de tratamiento, tal como un procesador. Cada sensor comprende, igualmente, un sistema 14 de geolocalización que da su posición geográfica y su orientación así como un módulo 15 de comunicación inalámbrica que permite a los sensores R_k presentes en la red 50 de comunicación, intercambiar datos. Los sensores no deben estar colocalizados, sin embargo no hay una distancia mínima a respetar.

Sin salir del ámbito de la invención, el sistema podrá comprender un módulo de tratamiento centralizado remoto que no es un sensor que interviene en el sistema de comunicación.

En el ejemplo, cada sensor comprende dos antenas, pero podría comprender un número M de antenas superior a dos. El tratamiento de datos, explicado posteriormente será por tanto efectuado, por ejemplo, considerando las antenas dos por dos.

5 La figura 2 y la figura 3 detallan las etapas implementadas por la invención. Las etapas descritas en la figura 2 se realizan a nivel de cada sensor. En el ejemplo que se va a describir en la figura 3, las etapas explicadas son realizadas por cada sensor, pero podrían, sin salir del ámbito de la invención, ser ejecutadas por un dispositivo de tratamiento separado de los N sensores del sistema, que recibirá las diferentes medidas efectuadas por cada uno de los sensores.

10 A nivel de la figura 2, cada sensor R_1 , R_2 recibe las señales de la banda instantánea a escuchar y muestrea la banda en sus dos canales 10, 11 de recepción (figura 1), sincronizados, 201. La etapa de muestreo se realiza por cada sensor, según un principio conocido por el experto en la técnica. La señal S_r recibida, correspondiente a las dos señales S_{r1} , S_{r2} recibidas en cada antena A_1 , A_2 , es segmentada en tiempo y en frecuencia por ejemplo con la ayuda de un banco de filtros polifásicos, 202.

15 Para cada caso tiempo-frecuencia, 203, el procesador del sensor efectúa un recuento del número de fuentes de cocanal comprendidas en la señal S_r recibida. A partir de los dos canales de recepción, el procesador determina el número de fuentes posiblemente presentes en la señal, sin fuente, una fuente o más de una fuente.

Si no hay fuente o más de una fuente, 204, el tratamiento del caso tiempo-frecuencia se detiene entonces, y el procedimiento sigue tratando los casos tiempo-frecuencia siguientes, 205.

Si una sola fuente S ha sido detectada, 206, el procesador del sensor va a ejecutar las etapas siguientes:

- Estima la potencia $P(S)$ recibida de la fuente S, 207,
- 20 • Estima la fase $\Delta\phi$ diferencial de la señal S_r entre los dos canales de recepción del sensor (entre las dos antenas), y según una técnica conocida bajo la abreviatura PhDOA ("*Phase Difference Of Arrival*"), 208.
- A partir de la fase $\Delta\phi$ diferencial estimada en la etapa anterior y de las informaciones sobre la posición y orientación de la red de antenas, el procesador estima las direcciones de llegada potenciales (DOA o "*Direction Of Arrival*"), 209. Entre estas direcciones de llegada, hay una dirección DOA de llegada correspondiente a la
- 25 • fuente S a localizar y una o varias ambigüedades, 210. El número de ambigüedades es tanto más elevado cuanto más elevado es el valor de la relación d/λ , con d correspondiendo a la distancia entre las dos antenas de recepción y λ correspondiendo a la longitud de onda de la señal tratada,
- El sensor va a continuación a transmitir, 300, los datos siguientes a los otros sensores:
- 30 • la estimación de la potencia que ha recibido,
- las estimaciones de las direcciones de llegada potenciales DOA,
- 35 • sus coordenadas de localización (longitud, latitud) y la orientación de su red de antenas, datos que son conocidos por ejemplo gracias a una central de navegación 211,
- Estos datos (potencias, direcciones de llegada, coordenadas y orientación de la red de antenas) son fusionados por el procesador del sensor con los datos calculados a nivel de otros sensores presentes en el sistema, en el ejemplo dado, un segundo sensor y por tanto permite el cálculo de las localizaciones del o de los emisores radioeléctricos según las etapas descritas en la figura 3.
- 40

La transmisión de estos datos se hace gracias a un módulo de comunicación inalámbrica de cada sensor.

45 En el ejemplo, las etapas de la figura 3 son ejecutadas a nivel de cada uno de los dos sensores. Sin salir del ámbito de la invención, estas etapas podrían ser ejecutadas al nivel de un dispositivo (externo a los sensores) que tenga por función centralizar el tratamiento de los datos.

El sensor R_1 recupera los datos asociados al segundo sensor R_2 (el valor de la potencia \hat{P}_2 recibida estimada y las direcciones de llegada medidas DOA, 301, que han sido obtenidas ejecutando las etapas descritas para el sensor R_2). De forma recíproca, el sensor R_2 recupera los datos asociados al sensor R_1 .

50 A partir del primer valor de potencia P_1 estimada \hat{P}_1 por el primer sensor R_1 y el segundo valor de potencia P_2 estimada \hat{P}_2 por el segundo sensor R_2 , de un modelo de propagación y del valor de la relación de estas potencias, R_1/R_2 , el procesador determina una zona Z_e elemental de localización y después deduce una zona Z_s de localización potencial de la fuente S de emisión (Z_s es la intersección de todas las zonas Z_e elementales determinada tomando todos los pares de sensores posibles. En el caso, del ejemplo, en el que sólo hay dos sensores $Z_s=Z_e$). El procesador calcula las intersecciones de las semirrectas de visualización, 303, a partir de los valores de dirección de llegada posible y de

55 la latitud y la longitud de la red de antenas de los sensores R_1 y R_2 .

La etapa siguiente consiste en suprimir las intersecciones de las semirrectas que no se encuentran en la zona Z_s de localización, 304, con el fin de suprimir una parte de los puntos $P(D_k)$ de intersección correspondiente a rectas de visualización ambiguas.

5 Después, el procesador 12 va a determinar la nube de puntos más densa, 305, y calcular, por ejemplo, el baricentro de las intersecciones sobre la nube retenida, 306. Este baricentro corresponde a una estimación de la localización de la fuente emisora, 307.

Estas etapas son ejecutadas al nivel de cada sensor del sistema de comunicación, con el fin de que cada sensor pueda localizar la fuente S emisora.

10 Las etapas que se acaban de describir pueden, sin salir del ámbito de la invención, ser realizadas a nivel de un dispositivo centralizado (externo a los sensores) que recibe los datos citados anteriormente de cada uno de los sensores, y que los trata de manera similar con el fin de localizar el o las fuentes electromagnéticas.

La difusión de medidas y de los resultados de medida puede realizarse con multi difusión con el fin de distribuir los datos al conjunto de sensores presentes en el sistema y permitir a cada uno realizar una estimación de la posición de una o de varias fuentes electromagnéticas localmente.

15 En el caso en el que las medidas efectuadas durante la primera fase de tratamiento sean transmitidas a un dispositivo de tratamiento centralizado, es este último el que estimará la posición de la fuente o de las fuentes electromagnéticas presentes en una zona.

20 Con el fin de determinar si la señal recibida en un sensor y tratada por este último corresponde a una fuente de emisión única, el procesador de este sensor calcula, por ejemplo la matriz de la covarianza de la señal recibida R_{xx} (matriz 2×2) sobre cada caso tiempo-frecuencia obtenido al final de la etapa de segmentación tiempo-frecuencia. Los dos valores propios de R_{xx} son calculados a continuación y comparados a nivel del ruido para deducir si tiene cero, una o más de una fuente. El nivel de ruido se estima con la ayuda de estadísticas de los valores propios del conjunto de los canales de la banda instantánea tratada, según un principio conocido por el experto en la técnica. Después, el procesador deduce los valores propios de la matriz R_{xx} utilizando métodos conocidos por el experto en la técnica.

25 La fase diferencial entre los dos canales o antenas se deduce directamente del vector propio asociado al valor propio correspondiente a la señal (el valor propio que se desprende del nivel de ruido).

Tomando las convenciones de la figura 4, la diferencia de fase entre las dos antenas de un sensor vale $\Delta\varphi = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \sin(\theta)$. Se pueden por tanto deducir las direcciones de llegada posibles o DOA. De hecho, dos señales que provienen de dos direcciones θ_1 y θ_2 dan la misma diferencia de fase si

30
$$\frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \sin(\theta_1) = \frac{2\pi d}{\lambda} \cdot \sin(\theta_2) + 2k\pi,$$

Con $k \in \mathbb{Z}$

se tiene por tanto la ambigüedad $\theta_1 = \pi - \theta_2$, correspondiente al caso $k = 0$. A esta ambigüedad se añaden las ambigüedades $\sin(\theta_1) = \sin(\theta_2) + \frac{k\lambda}{d}$, cuyo número depende del valor de d/λ .

35 Para definir la zona de localización potencial, el procedimiento podrá ejecutar las etapas detalladas a continuación. Para cada par de sensores, se estima una zona Z_e (que se llamará elemental) en la cual está presente la fuente S emisora. La zona Z_s de localización potencial es la intersección de todas las zonas Z_e elementales.

40 Una zona Z_e elemental es obtenida a partir de la estimación de la potencia $P_1(\hat{P}_1)$ y $P_2(\hat{P}_2)$, de la fuente emisora por los dos sensores. A partir del valor de la relación de estas potencias \hat{P}_1 / \hat{P}_2 , se deduce la zona Z_e de localización elemental de la fuente tomando como modelo de propagación, por ejemplo, un modelo "espacio libre" con una atenuación proporcional a la inversa de la distancia al cuadrado. Si este modelo fuera exacto, la zona Z_e elemental sería un círculo. ϵ_p es la mayorante del error realizado en la estimación de la relación de potencia P_1/P_2 . Esto significa que:

$$\frac{P_1}{P_2} \in \left[\frac{\hat{P}_1}{\hat{P}_2} - \epsilon_p, \frac{\hat{P}_1}{\hat{P}_2} + \epsilon_p \right]$$

donde \hat{P}_1 y \hat{P}_2 , son respectivamente las estimaciones de P_1 y P_2 .

45 El valor de ϵ_p se elige elevado de manera que asegura que se trate de un mayorante del error, sea cual sea el modelo de propagación real comparado con el modelo de propagación elegido.

El modelo de propagación considerado puede también ser un modelo de propagación que tenga en cuenta obstáculos y el terreno. En todos los casos, el modelo de propagación es conocido por el experto en la técnica y no será detallado.

Se definen por tanto dos círculos C_1 , C_2 correspondientes respectivamente a $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} - \varepsilon_p$ y a $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} + \varepsilon_p$. La zona Z_e elemental es por tanto una zona comprendida entre estos dos círculos, en el interior del círculo definido por $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} - \varepsilon_p$ y en el interior del círculo definido por $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} + \varepsilon_p$ como indica la figura 5. En este caso, la zona Z_e elemental es una zona finita.

En función de la posición de los dos sensores y del valor de ε_p . Existen dos casos en los que la zona Z_e elemental está en el interior del círculo definido por $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} - \varepsilon_p$ y en el exterior del círculo definido por $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} + \varepsilon_p$ como indica la figura 6. En este caso, la zona elementales una zona infinita.

10 El algoritmo PwDOA determina si la zona elemental está en el interior con el exterior del círculo definido por $\frac{\widehat{P}_1}{\widehat{P}_2} + \varepsilon_p$. Para ello, comprueba si los centros Cr_1 , Cr_2 de los círculos C_1 , C_2 están situados al mismo lado o no de los dos sensores (los centros de los círculos están a la derecha del sensor más a la derecha o los dos centros de los círculos a la izquierda del sensor más a la izquierda).

15 En la práctica, para la determinación de la zona Z_s de localización, la zona geográfica en la cual evolucionan los sensores está cubierta por una rejilla definida en una referencia de abscisa, ordenada. Para cada par de sensores R_1 , R_2 , los casos de la rejilla son incluidos en la zona Z_e elemental cuando al menos una de las cuatro esquinas está en la zona Z_e elemental. La zona Z_s de localización corresponde a los casos que están dentro de todas las zonas Z_e elementales (es decir en tantas zonas elementales como pares de sensores haya).

20 Este principio puede entenderse, sin salir del ámbito de la invención, en otros modelos de propagación, como por ejemplo modelos de propagación que aprovechan un modelo digital del terreno, con el fin de reducir las incertidumbres y por consiguiente las zonas de localización potencial.

25 Para el cálculo de intersecciones de las semirrectas de visualización (verdaderas y ambigüedades) el procesador considera las coordenadas geográficas de los sensores y la estimación de las direcciones de llegada DOA posibles. Las ecuaciones de las semirrectas de visualización (semirrecta que comienza sobre el sensor y que apunta en la dirección de la DOA) son calculadas, y después todas las intersecciones de esta semirrectas.

30 Con el fin de localizar la o las fuentes de emisión, el procedimiento va a detectar la nube de puntos más densa (zona con la concentración grande de puntos de intersección). Con el fin de detectar la zona en la que la densidad de puntos es más importante, se calculan histogramas de dos variables (abscisas y ordenadas de los puntos de intersección) según un método conocido por el experto en la técnica. Las clases del histograma son por tanto paralelepípedo son rectángulos cuya altura corresponde al número de puntos de intersección comprendidos en la zona definida por la sección del paralelepípedo). La nube de puntos retenida corresponde a los puntos en la clase del histograma más elevada y en las clases vecinas (con el fin de sortear la problemática del centro de las clases). La anchura de las clases es adaptativa. El algoritmo parte con un paso muy fino y aumenta interactivamente hasta que la altura de las clases se aproxima a la altura teórica alcanzada (número de veces en las que N rectas se cortan, siendo N el número de sensores).

Finalmente, para estimar la localización de la fuente emisora, el procesador va a considerar, por ejemplo, el baricentro de los puntos de la nube más denso.

40 La figura 8 representa dos ejemplos de implementación del procedimiento según la invención cuando los sensores son de tipo de puesto de radio definida por software. La recepción de las señales de la banda a vigilar puede realizarse en franjas temporales o "time slots" TDMA, especialmente asignadas TS1 a TS5. Un desfase seguro-aleatorio de la o las "time slots" permite, en particular, evitar un efecto estroboscópico en la observación del sistema de comunicación que tenga el mismo periodo de trama TDMA que el dispositivo de la invención. Pueden contemplarse otras formas de actuar como la utilización de la duración entre los tramos de las emisiones de evasión de frecuencia.

45 La potencia de llegada (POA) y la fase diferencial (PhDOA) se calculan y se estiman detectando las situaciones de emisión de monoseñal a través del cálculo de los valores propios de la matriz de inter correlación en los dos canales de cada sensor. El vector propio asociado a la señal se utiliza a continuación para el cálculo de la fase diferencial. Estas estimaciones pueden realizarse a lo largo de duraciones cortas del orden de 160 μ s para un corte de la banda instantánea de recepción en los canales de 25 kHz. Esta duración reducida de observación TSLT (abreviatura anglosajona de *Time Slot Look Through*) y los datos sintéticos que produce (PhDOA y PwDOA) permiten obtener una cantidad de información a transmitir en el sensor y por tanto localizar sistemáticamente todas las emisiones interceptadas. Esta duración reducida de observación permite combinar la función "sensing" con la función de

radiocomunicación necesaria en el servicio de comunicación que asegura los intercambios de datos en beneficio de la función “*sensing*” y de las necesidades de las comunicaciones de los usuarios.

5 Según una variante de realización, el procedimiento permite efectuar una autocalibración de las dos antenas de un sensor utilizando la posición conocida de los otros sensores presentes en el sistema de comunicación que son considerados como los sensores emisores. El procesador de un sensor determina por tanto la corrección de calibración a aplicar durante el tratamiento de los datos.

Las etapas que acaban de ser descritas se aplican para un sistema en el cual los sensores son puestos de radios definidas por software.

10 El procedimiento y el sistema según la invención efectúan una localización distribuida de una o varias fuentes emisoras de ondas radioeléctricas, permiten en particular:

- sortear ambigüedades de una geometría por fase diferencial de dos canales,
- localizar los emisores con duraciones de observación cortas y volúmenes de datos reducidos a intercambiar entre sensores que autorizan por tanto una localización sistemática de las emisiones interceptadas y un servicio “simultáneo” del servicio de “*sensing*” y del servicio de radiocomunicación.

15 La implementación de la invención no requiere ninguna hipótesis de estacionariedad de la posición de los emisores y de los sensores. Se puede implementar en puestos de radios definidas por software existentes que disponen de dos canales sincronizados (capacidad entrada múltiple salida múltiple MIMO o *Multiple Input Multiple Output*). Permite facilitar la integración sobre el portador aprovechando una red de dos antenas de recepción que disponen de una diversidad de recepción espacial (antenas separadas desde al menos una longitud de onda a varias longitudes de onda).

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de localización de al menos una fuente S electromagnética en el seno de una red de comunicación que comprende al menos dos sensores R₁, R₂, estando separados dichos sensores una distancia dada, comprendiendo cada sensor una red de antenas que comprende al menos dos antenas A₁, A₂, el procedimiento comprende al menos las etapas siguientes:
- Para cada sensor R₁, R₂,
 - Estimar las potencias P₁ y P₂, de la señal S_r recibida que proviene de una fuente S y recibida a nivel de los sensores R₁, R₂,
 - Para la señal S_r que llega a cada una de las dos antenas de recepción medir la diferencia Δφ de fase, a partir del valor de la diferencia Δφ de fase de las informaciones en la posición y orientación de la red de antenas A₁, A₂, determinar un conjunto de direcciones de llegadas potenciales DOA, para una fuente S dada, y después
 - Fusionar los valores estimados \hat{P}_1 y \hat{P}_2 de potencia recibidos a nivel de los sensores R₁, R₂, los valores de dirección potenciales de llegada DOA, las coordenadas geográficas de las redes de antenas de sensores R₁ y R₂, con el fin de calcular las coordenadas de la fuente de emisión, caracterizado porque el cálculo de las coordenadas de la fuente de misión comprende las etapas siguientes::
 - A partir de los valores de potencia \hat{P}_1 \hat{P}_2 estimados por los dos sensores R₁, R₂, de un modelo de propagación y del valor de la relación de estas potencias \hat{P}_1 / \hat{P}_2 , definir para cada valor de relación una zona Z_e de localización elemental en la cual la fuente está presente, y después una zona Z_s de localización potencial correspondiente a la intersección de diferentes zonas de localización elemental para una fuente S de emisión,
 - A partir de las coordenadas geográficas de los sensores y de las direcciones posibles de llegada, calcular las semirrectas de visualización posibles y sus puntos P(Dk) de intersección,
 - Conservar únicamente los puntos P(Dk) de intersección de las semirrectas de visualización que pertenecen a la zona Z_s de localización potencial,
 - Seleccionar los puntos P(Dk) de intersección, para los cuales la densidad geográfica es la más elevada y determinar las coordenadas de la fuente de emisión a partir de estos puntos de intersecciones.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa de fusión de datos, valores de potencial estimados, dirección de llegada DOA, coordenadas de antenas, se ejecuta a nivel del procesador (12) de cada sensor de la red de comunicación.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la etapa de fusión de datos se ejecuta a nivel de un dispositivo de tratamiento centralizado que comunica con los sensores presentes en la red de comunicación.
4. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende una etapa de autocalibración de la red de antenas de cada sensor utilizando la posición conocida de otros sensores, por tanto utilizados en modo emisión.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende una etapa de segmentación de tiempo y de frecuencia (202) de la señal recibida en las antenas y una etapa de detección del número de fuentes presentes (203) calculando la matriz de covarianza de la señal en cada caso tiempo-frecuencia y comparando los dos valores propios de la matriz de covarianza al nivel de ruido.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque utiliza como modelo de propagación para determinar una zona de localización elemental de la fuente a partir de los valores de potencia estimados, un modelo de propagación de "espacio libre".
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los periodos de medidas de la señal recibida de los sensores utilizan el método de acceso TDMA y porque se utiliza una franja de tiempo específica *Time Slot Look Through*, TSLT, de duración del orden de 160 microsegundos para un corte de una banda instantánea de recepción de canales de 25 kilohercios, para ejecutar las etapas del procedimiento según la invención.
8. Sistema de localización de al menos una fuente de emisión en una red de comunicación que comprende al menos dos sensores R₁, R₂, que comunican entre sí por medio de un enlace de radio, comprendiendo cada sensor una red de antenas que comprende al menos dos antenas A₁, A₂ de recepción, comprendiendo un sensor un procesador (12) adaptado al menos para tratar las señales recibidas con el fin de determinar los valores de potencia de señal recibida

en las antenas, las direcciones de llegada potenciales y el valor de desfase de la señal recibida en las dos antenas, comprendiendo el sistema de localización un procesador adaptado para ejecutar la etapa:

- 5 • Fusionar los valores de potencia recibidos a nivel de los sensores, los valores de dirección potenciales de llegada, las coordenadas geográficas de la red de antenas de sensores, con el fin de calcular las coordenadas de la fuente de emisión, caracterizado porque el cálculo de las coordenadas de la fuente de misión comprende las etapas siguientes:
 - 10 • A partir de los valores de potencia \hat{P}_1, \hat{P}_2 estimados por los dos sensores R_1, R_2 , de un modelo de propagación y del valor de la relación de estas potencias $\hat{P}_1 ; \hat{P}_2$, definir para cada valor de relación una zona Z_e de localización elemental en la cual la fuente está presente, y después una zona Z_s de localización potencial correspondiente a la intersección de diferentes zonas de localización elemental para una fuente S de emisión,
 - 15 • A partir de las coordenadas geográficas de los sensores y de las direcciones posibles de llegada, calcular las semirrectas de visualización posibles y sus puntos P(Dk) de intersección,
 - Conservar únicamente los puntos P(Dk) de intersección de las semirrectas de visualización que pertenecen a la zona Z_s de localización potencial,
 - 20 • Seleccionar los puntos P(Dk) de intersección, para los cuales la densidad geográfica es la más elevada y determinar las coordenadas de la fuente de emisión a partir de estos puntos.

9. Sistema de localización según la reivindicación 8 caracterizado porque un sensor es un puesto de radio definida por software.

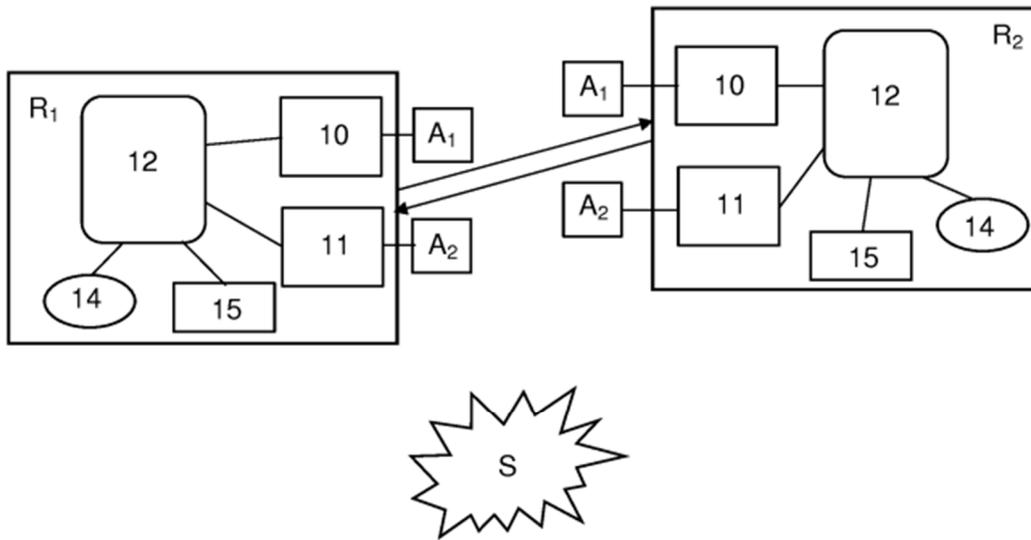


FIG.1

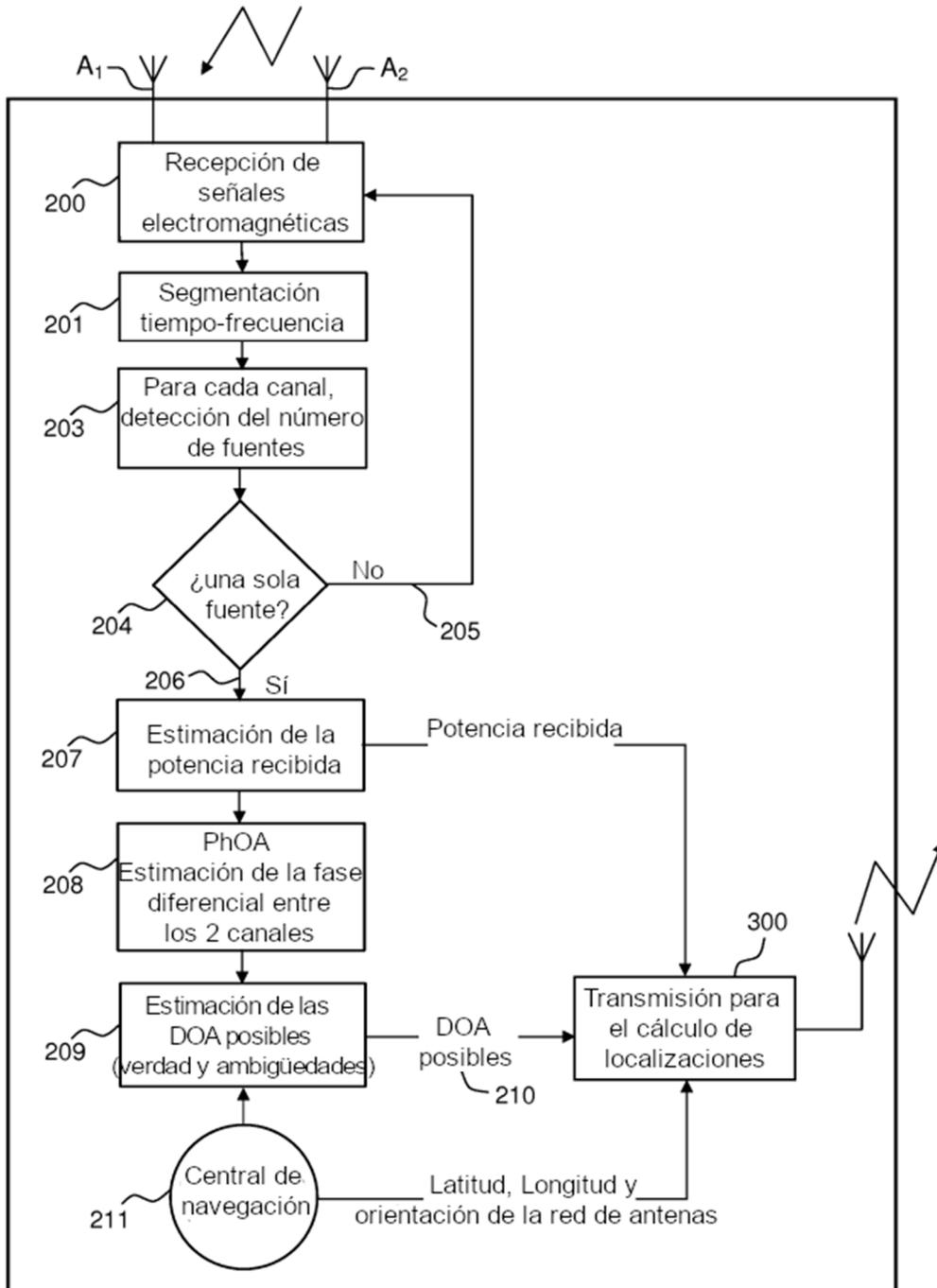


FIG.2

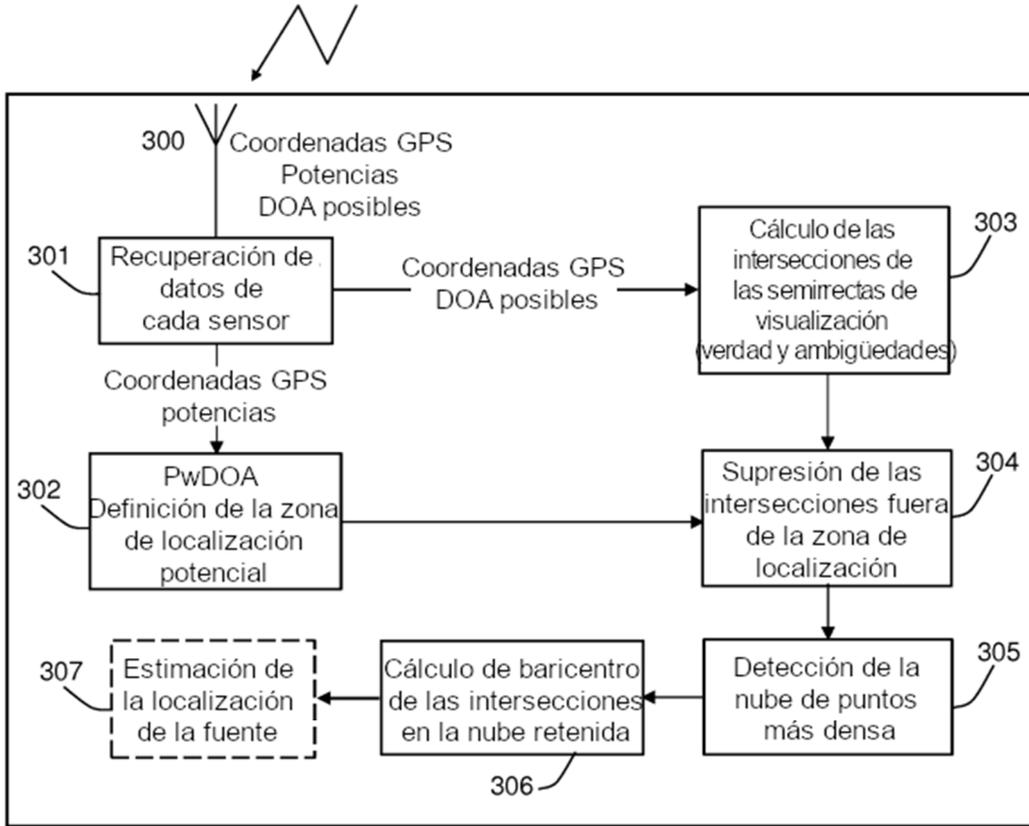


FIG.3

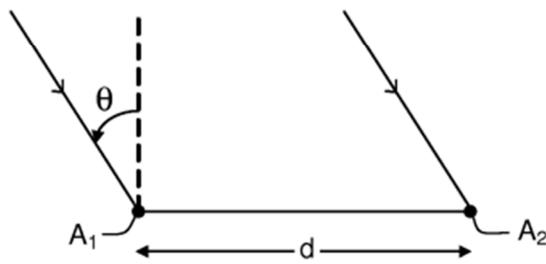


FIG.4

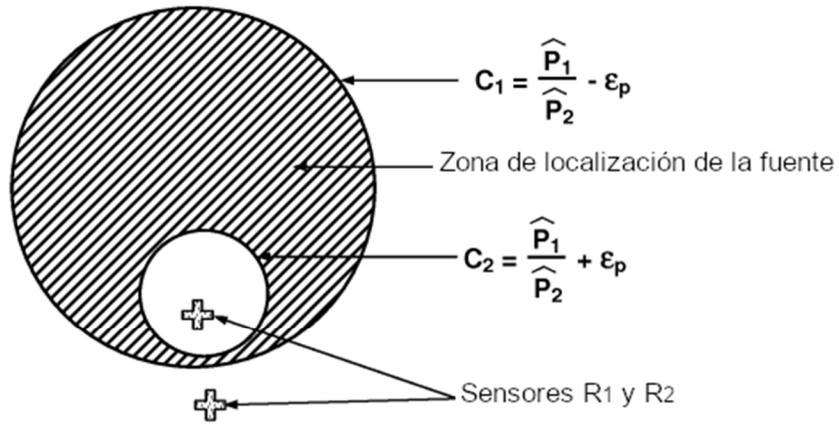


FIG.5

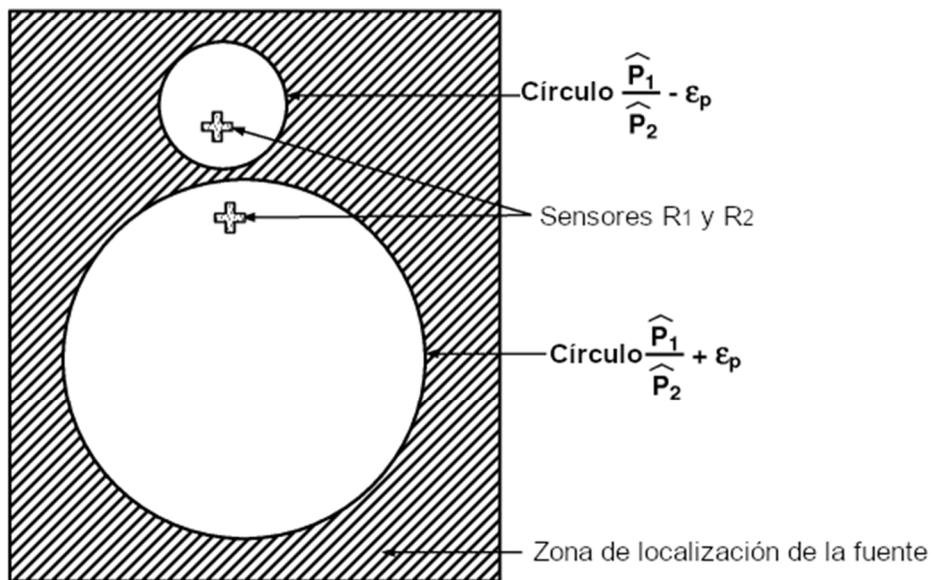


FIG.6

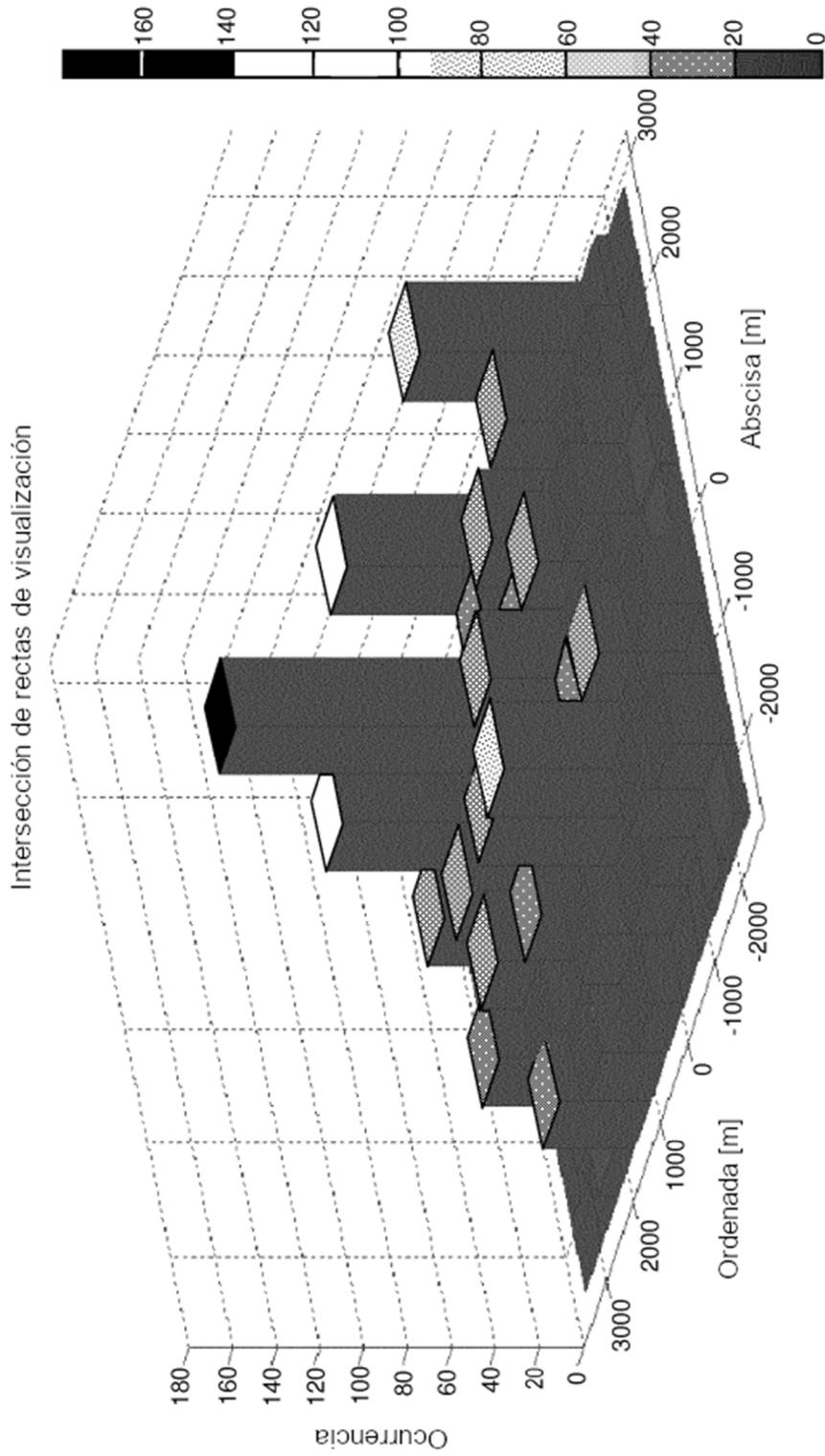


FIG.7

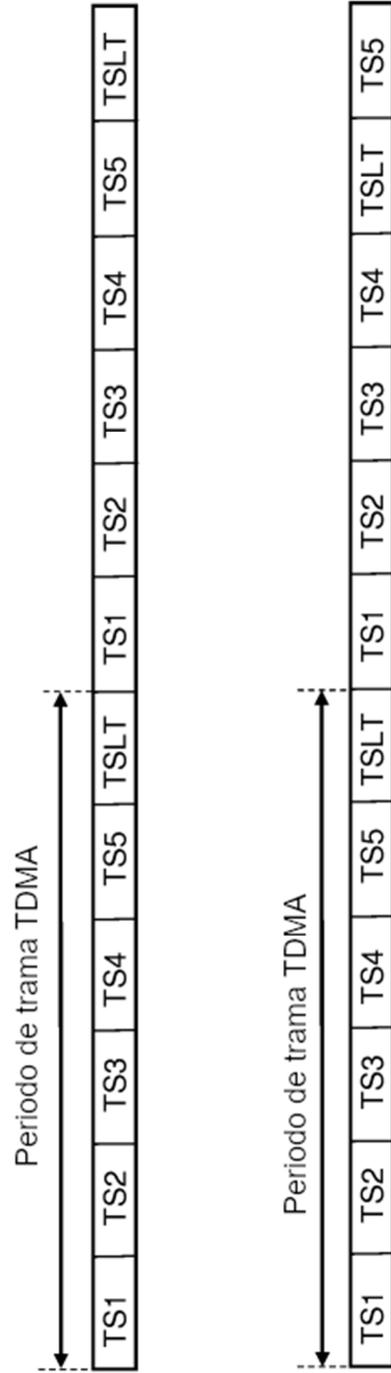


FIG.8