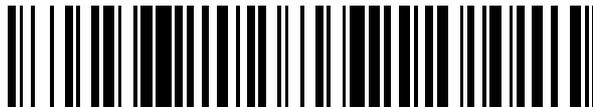


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 376**

51 Int. Cl.:

G01S 5/12 (2006.01)

G01S 5/14 (2006.01)

G01S 5/04 (2006.01)

G01S 5/02 (2010.01)

G01S 3/72 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2013 PCT/EP2013/075160**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.06.2014 WO14086688**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2013 E 13805807 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2929364**

54 Título: **Procedimiento de localización pasiva de emisores radar**

30 Prioridad:

07.12.2012 FR 1203322

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

02.11.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**GRANDIN, JEAN-FRANÇOIS;
RATTON, LAURENT y
SPERLING, RAPHAËL**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 640 376 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 pasiva de emisores radar

5 La presente invención se refiere al campo de la detección pasiva de emisiones radar. La presente invención se refiere más particularmente a un procedimiento de localización de emisores radar del tipo con barrido casi constante y a un sistema asociado.

Los sistemas de detección y de localización pasiva tienen como objetivo detectar la radiación de emisores, localizarlos, y determinar sus características técnicas para facilitar su identificación. Tienen como principio de base determinar el posicionamiento de los emisores utilizando las informaciones proporcionadas por la emisión de estos últimos.

10 Las técnicas de detección y de localización pasiva implementan generalmente el principio de triangulación entre líneas de enfoque que utilizan varias mediciones goniométricas de radiaciones emitidas por los emisores radar a localizar.

15 Este método de triangulación es una técnica que da unos buenos resultados con la condición de que, por una parte, no haya ambigüedad sobre la identificación del punto común enfocado, por otra parte, que la disposición geométrica del sistema de escucha sea lo suficientemente abierta. El problema de asociación ambigua aparece cuando varios emisores están presentes en el campo de vigilancia de los sensores pasivos o MAE para Mediciones de Apoyo Electrónico (igualmente conocidas con la sigla anglosajona ESM para Electronic Support Measures). En efecto, los sensores pasivos, que no pueden medir la distancia que los separa del emisor, solo pueden proporcionar un ángulo de llegada de la onda interceptada. En este contexto, existen entonces unas intersecciones de líneas de enfoque
20 que no corresponden a unos emisores reales, sino a unas fuentes ficticias o fantasmas. Este fenómeno se ilustra en la figura 1b. Toca entonces tratar un problema de teoría de decisión, es decir, elaborar un test que permite decidir entre dos hipótesis complementarias, esto es, si las pistas de los sensores provienen o no de la misma fuente. Si solo se considera la información geométrica, el problema de asociación se formula entonces bajo el ángulo de la asociación de las lecturas angulares ESM. La ausencia del parámetro distancia hace de ello un problema "mal planteado".
25

Este problema de asociación de lecturas angulares puede resolverse por unos algoritmos de optimización de complejidad calculatoria importante. Esta complejidad se convierte rápidamente en redhibitoria en unos entornos densos de emisiones radar.

30 Se conocen en la técnica anterior, en concreto por las solicitudes de patente europea EP 2 270 537 y de los Estados Unidos US 2010/309 055, unos procedimientos y unos dispositivos de localización pasiva de emisores radio.

Se conocen igualmente, en concreto por la solicitud de patente de los Estados Unidos US 2007/247 368, un sistema y un procedimiento de multilateración para detectar la posición de un blanco utilizando unas unidades de recepción móviles.

35 Una finalidad de la invención es, en concreto, corregir los inconvenientes anteriormente citados proponiendo una solución que permite eliminar rápidamente las fuentes ficticias o fantasmas y asociar unas pistas radar que provienen de una misma fuente.

40 A estos efectos, la invención tiene como objeto un procedimiento de localización pasiva de emisores radar implementado por al menos dos estaciones MAE, teniendo dichos radares una velocidad de barrido casi constante en el transcurso del paso sobre el conjunto que comprende al menos dos estaciones MAE, siendo cada una de dichas estaciones MAE adecuada para interceptar los lóbulos de emisión de emisores radar y para estimar sus tiempos de paso de lóbulo (TPL) y siendo al menos una estación adecuada para estimar el ángulo de llegada de dichos lóbulos de emisión, efectuándose dicha localización de los emisores radar testando la intersección entre una curva de iso Diferencia de Tiempo de Paso de Lóbulo (DTPL) que pasa por al menos las dos estaciones MAE y una recta de enfoque que pasa por la estación MAE que ha medido el ángulo de llegada y de azimut igual a dicho ángulo de llegada medido.
45

Según una variante de implementación, el procedimiento comprende, para cada estación MAE:

- una etapa Etp1 de detección y de seguimiento de lóbulos de los emisores radar presente en el campo de vigilancia de la estación MAE considerada,
- 50 - una etapa Etp2 de estimación, para cada lóbulo interceptado, de su ángulo de llegada (AOA), su tiempo de paso de lóbulo (TPL) así como de las características de su forma de onda,
- una etapa Etp3 de asociación local de los lóbulos de emisión que provienen de la emisión del mismo emisor radar,
- una etapa Etp4 de integración de los ángulos de llegada y tiempos de paso de lóbulo de cada lóbulo que proviene de la emisión del mismo emisor radar y de formación de resumen de mediciones de cada emisor radar,

- una etapa Etp5 de transmisión de los resúmenes de mediciones de cada emisor radar 11 a un módulo de cálculo;
- y porque comprende, además, una etapa Etp6 de rastreo global implementada por el módulo de cálculo, consistiendo dicho rastreo global en asociar los dobletes integrados (AOAi, TPLi) que provienen de un mismo emisor utilizando un árbol multihipótesis, testándose cada hipótesis por un cálculo de verosimilitud, y en localizar geográficamente dicho emisor radar.

5

Según una variante de implementación, la etapa Etp6 comprende, además, un filtrado de las hipótesis por limitaciones.

Según una variante de implementación, el procedimiento comprende, para cada estación MAE:

- 10 una etapa de recepción y de separación de los lóbulos de emisión de los radares presente en el campo de vigilancia de la estación MAE considerada;
- una etapa de transmisión de los datos a un módulo de cálculo;

y porque comprende, además, una etapa, de correlación en 2-Dimensiones de los datos de todas las estaciones MAE.

- 15 Según una variante de implementación, la etapa Etp6 no se realiza con un árbol multihipótesis, sino implementando un método de asignación global.

Otra finalidad de la invención es proponer un sistema de detección de emisores radar con barrido casi constante adecuado para implementar el procedimiento anteriormente definido.

- 20 Esta finalidad se consigue por un sistema de detección y de localización adecuado para implementar el procedimiento anteriormente descrito, comprendiendo dicho sistema al menos dos estaciones MAE y un módulo de cálculo, incluyendo cada estación MAE un módulo de recepción adecuado para estimar el tiempo de paso de lóbulo de al menos un emisor, un módulo de rastreo local, un módulo de comunicación adecuado para comunicar con al menos las otras estaciones MAE y un módulo de sincronización adecuado para coordinar las operaciones de las diferentes estaciones MAE del sistema, siendo el módulo de recepción de al menos una estación MAE adecuado para estimar el ángulo de llegada del lóbulo de emisión de al menos un emisor.

25

Según una variante de realización, el sistema comprende, además, una estación dedicada que comprende un módulo de comunicación adecuado para comunicar con los módulos de comunicación de las estaciones MAE y porque el módulo de cálculo está situado en dicha estación dedicada.

Según una variante de realización, el módulo de cálculo está situado en una de las estaciones MAE del sistema.

- 30 Según una variante de realización, el módulo de sincronización comprende un receptor de geolocalización por satélites.

La presente invención tiene como ventaja que permite una localización más rápida y más precisa de emisores radar de tipo con rotación casi constante que con un método que solo utiliza los ángulos de llegadas. Además, el procedimiento según la invención permite eliminar inmediatamente los blancos fantasmas.

- 35 Otras particularidades y ventajas de la presente invención se mostrarán más claramente con la lectura de la descripción de a continuación, dada a título ilustrativo y no limitativo, y hecha con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- Las figuras 1a y 1b ilustran el método de localización de tipo AOA que solo utiliza los ángulos de llegadas;
- La figura 2 ilustra el método de localización de tipo TPL que solo utiliza los tiempos de paso de lóbulo;

- 40 - La figura 3 ilustra el principio de localización utilizando las informaciones de tiempo de paso de lóbulo y de ángulos de llegada con dos estaciones MAE;

- La figura 4 representa un cuadro sinóptico de un ejemplo de implementación del procedimiento según la invención;

- La figura 5 representa un ejemplo de representación de árbol multihipótesis según la invención;

- 45 - La figura 6 representa una ilustración de resultados obtenidos por el procedimiento según la invención;

- La figura 7 representa un ejemplo de realización de un sistema de detección y de localización según la invención.

La presente invención tiene como objeto un procedimiento de localización pasiva de emisores radar implementado por al menos dos estaciones o bases MAE. Se supondrá que los emisores a detectar son del tipo con barrido casi

constante.

Es conveniente señalar que la utilización del término "barrido casi constante" designa tanto los radares con rotación constante como los radares con barrido secuencial constante o cualquier otro radar cuya velocidad angular de barrido es constante "como media" en el transcurso del paso sobre los receptores MAE. De forma general, este término designa todos los tipos de radar cuyo barrido es con velocidad angular constante, con la salvedad de una escasa fluctuación, en el transcurso del paso sobre las estaciones MAE.

El principio de la localización de tipo AOA para Angle Of Arrival o MAOA para Multiple Angle Of Arrival que solo utiliza los ángulos de llegadas se ilustra en la figura 1a y 1b. El método descansa en la utilización de la triangulación entre rectas de enfoque 12. Consiste en calcular el ángulo de recepción α del lóbulo de emisión de un emisor radar 11 a localizar por al menos dos estaciones MAE 10, cuya posición se conoce, y utilizando esta información, posicionar el radar 11 en el espacio por estimación del punto de convergencia.

Cuando solo hay un solo emisor 11 a localizar y las estaciones 10 están lo suficientemente alejadas, este método es bastante preciso, con la condición de que el espaciamiento entre los receptores sea suficiente. Como se ha explicado anteriormente, se plantea un problema cuando el número de emisores 11 aumenta. En efecto, por el hecho del cruce de las rectas de enfoque 12, aparecen unas fuentes ficticias 13 o fantasmas aunque no esté presente ningún emisor.

La figura 2 ilustra el principio de la localización por diferencia de tiempo de paso de lóbulo o DTPL. Se supone que el emisor 11 a localizar barre el espacio con una velocidad de rotación constante. El método descansa en la utilización de la diferencia de los tiempos de paso de un lóbulo de emisión de un emisor radar 11 a la altura de las estaciones MAE 10. Se muestra que la curva iso DTPL es un círculo que pasa por el punto de emisión y las 2 estaciones MAE 10. Por lo tanto, el emisor 11 puede localizarse utilizando al menos tres estaciones MAE 11 barridas por el haz de dicho emisor 11. La localización de la emisión puede obtenerse en la intersección de 2 círculos iso DTPL 20 que pasa cada uno por dos estaciones MAE 10.

El principio de la invención descansa en la utilización conjunta del principio de localización y asociación del tipo "AOA" y del del tipo "DTPL".

Con referencia a la figura 3, dos estaciones MAE 10 interceptan los lóbulos de emisión de un emisor radar 11 con barrido casi constante y estima de ello los parámetros característicos. La localización del emisor se hace buscando la intersección del círculo iso DTPL 20 que pasa por las dos estaciones 10 y de al menos una recta de enfoque 12 que pasa por la estación 10 que ha medido el ángulo de llegada del lóbulo de emisión y de azimut igual a dicho ángulo de llegada medido.

De forma ventajosa, en presencia de varias emisiones radar la asociación de las mediciones de DTPL y de las mediciones AOA que provienen de una misma emisión radar es mucho más fácil y consistente que la asociación con AOA solos o DTPL solos. En efecto, hace falta que las curvas de iso medición de tipo "DTPL" y "AOA" de un mismo emisor radar se crucen todas en un mismo punto con la salvedad del ruido para validar una asociación, lo que es más seguro que la convergencia de las curvas de iso medición de tipo "AOA solos" o de las curvas de iso medición de tipo "DTPL solos".

Con referencia a la figura 4, el procedimiento según la invención comprende principalmente para cada estación MAE, una primera etapa Etp1 de detección y de seguimiento de lóbulos de los emisores radar 11 presentes en el campo de vigilancia de la estación MAE 10, una etapa Etp2 de estimación, para cada lóbulo interceptado, de su ángulo de llegada (AOA), de su tiempo de paso de lóbulo (TPL), así como de las características de su forma de onda, una etapa Etp3 de asociación, en el interior de cada estación MAE 10, de los lóbulos sucesivos que provienen de la emisión del mismo emisor radar 11, una etapa Etp4 de integración de los ángulos de llegada y tiempos de paso de lóbulo de cada lóbulo que proviene de la emisión del mismo emisor radar 11, una etapa Etp5 de transmisión de cada triplete de mediciones que comprende el ángulo de llegada integrado (AOAi), el tiempo de paso de lóbulo integrado (TPLi) y el periodo de rotación de antena (PRA), así como la forma de onda (FO) de cada emisor radar 11 a un módulo de cálculo 75 y una etapa Etp6 de rastreo global, implementada por el módulo de cálculo 75. Este rastreo global consiste sustancialmente en asociar los dobletes integrados (AOAi, TPLi) transmitidos por cada MAE que proviene de un mismo emisor 11 radar, y estimar de ello la posición geográfica. Llegado el caso, si el emisor 11 radar está en movimiento, las localizaciones sucesivas se filtrarán por un estimador de trayectoria.

La primera etapa Etp1 del procedimiento según la invención consiste en interceptar los lóbulos de emisiones de los radares 11 del entorno de las estaciones MAE 10. Cada estación MAE intercepta las emisiones radar de su campo de vigilancia sobre una misma ventana temporal. Un algoritmo de desentrelazado de lóbulos permite separar los impulsos de cada emisión y, por lo tanto, caracterizar la interceptación realizada sobre cada lóbulo. De este modo, si están presentes simultáneamente varias emisiones se separarán por el desentrelazado.

La función de extracción produce unos gráficos que representan cada emisión. Cada gráfico describe la secuencia de impulsos que representa por unos conjuntos de valores correspondientes a las mediciones de ciertos parámetros entre los cuales se encuentra la o las frecuencias nominales, el o los periodos de repetición de los impulsos (PRI), la o las anchuras de impulsos (AI), el o los ángulos de llegada (o AOA según la sigla anglosajona para Angle Of Arrival)

y el tiempo de paso de lóbulo (TPL). A esta lista de parámetros medibles se añade igualmente un conjunto de parámetros cualitativos que caracterizan las síntesis de informaciones.

5 El tiempo de paso de lóbulo puede obtenerse por diferentes procedimientos de interpolación como, por ejemplo, un método de regresión parabólica. Esta interpolación permite estimar el tiempo preciso en que el nivel del lóbulo es máximo.

De este modo, al final de la etapa Etp2 se dispone, en cada estación MAE 10, de un doblete (AOA, TPL) y de un resumen de las características de la forma de onda para cada lóbulo interceptado.

10 Una vez obtenidos estos parámetros, un algoritmo de rastreo local permite asociar con el paso del tiempo los diferentes lóbulos de emisión entre sí en el transcurso de una etapa Etp3. Esta etapa se realiza en el interior de cada estación MAE 10. El objetivo del tratamiento es desentrelazar los diferentes lóbulos de emisión y esto lo más rápidamente posible. Este tratamiento suministra entonces una secuencia de lóbulos para cada emisión y permite la enumeración de los radares presente en la zona de vigilancia de la estación MAE. Para asociar los lóbulos por emisión, el algoritmo puede utilizar conjuntamente la descripción de la forma de onda (lista de los PRIs, de las frecuencias, ...) las mediciones de ángulo de llegada y los tiempos de paso de lóbulo.

15 Según un ejemplo de implementación de ninguna manera limitativo, esta etapa de asociación monoplatформа MAE puede realizarse sobre un tiempo de 30 s. Por supuesto, este tiempo puede ser ajustable según el tipo de radar observado.

20 Un factor clave que entra en juego en la localización de emisores radar es su periodo de rotación de antena. Estos PRA, con ruidos, son rara vez perfectamente fijos, generalmente fluctúan. Esta fluctuación puede reducirse en gran manera por integración de los tiempos de paso de lóbulo. Para esto, se considera una secuencia de un cierto número (impar) de estimación del TPL. Puede demostrarse matemáticamente que la mejor estimación del tiempo de paso de lóbulo, es decir, la estimación con la varianza más escasa, se obtiene considerando el tiempo de paso de lóbulo situado en medio de la secuencia. A continuación, se anotará este tiempo de paso integrado, obtenido por regresión temporal, TPLi. El PRA filtrado puede obtenerse igualmente por este tratamiento de regresión considerando la pendiente de la recta obtenida.

25 Asimismo, cada medición de ángulo de llegada es con ruido. Este ruido puede reducirse integrando las mediciones de ángulos de llegada sobre varios pasos de lóbulos o por regresión angular para obtener un ángulo de llegada medio AOAI.

30 Por lo tanto, se dispone para cada estación MAE 10 y para cada secuencia de paso de lóbulo de un doblete de mediciones integradas (AOAi, TPLi).

Según un modo de implementación del procedimiento, el número de pasos de lóbulos sobre el que la estación MAE integra las mediciones puede fijarse por el operario según el tipo de radar observado.

35 A la altura de cada estación MAE 10, se dispone, por lo tanto, al final del rastreo local de resúmenes MAE. Las estaciones MAE suministran "idealmente" un resumen R por emisión radar. Este resumen R sintetiza la secuencia de los lóbulos percibidos por una emisión, y puede incluir de manera no exhaustiva:

- La marca de la pista MAE local
- Un resumen temporal:
 - El tiempo del primer y del segundo lóbulo, el número de lóbulos (impar);
 - El PRA integrado con su fluctuación, lo que permite saber si el PRA puede considerarse como constante y, por lo tanto, saber si el método según la invención es aplicable;
 - El tiempo de lóbulo medio y su incertidumbre;
- Un resumen de la Forma de Onda
 - La lista de los PRIs utilizados (o el histograma);
 - La lista de las Frecuencias utilizadas (o el histograma);
 - Otros parámetros pertinentes (Intrapulso, Polarización, identificación...);
- Un resumen en AOA (AOA medio y velocidad en AOA) en el tiempo medio y la incertidumbre asociada

45 Por otra parte, se dispone de las posiciones geográficas y de las orientaciones de las estaciones MAE. En el caso de estaciones móviles, estos parámetros pueden proporcionarse por los instrumentos de navegación en los instantes de las mediciones.

50 Una vez determinados los resúmenes R de los lóbulos de emisión, cada estación MAE 10 transfiere estos resúmenes a un módulo de cálculo 75 en el transcurso de una etapa Etp5. Este módulo de cálculo puede estar localizado en el interior de una de las estaciones MAE 10 del sistema de detección o en el interior de una estación

dedicada 77 o estación maestra.

5 En ciertos casos, la estimación de las características del lóbulo de emisión se realiza de manera instantánea sobre un solo paso de lóbulo. Este tipo de caso de figura puede encontrarse con un emisor 11 que posee un PRA bastante elevado o, por ejemplo, con un emisor radar 11 embarcado en un portador que se desplaza con una velocidad elevada como, por ejemplo, un avión. En ese caso, los dobletes (AOA, TPL) no están integrados y los resúmenes de mediciones comprenden sus valores brutos.

10 La siguiente etapa, Etp 6, de rastreo global consiste en asociar las pistas locales, elaborados en el interior de cada estación MAE 10, que provienen de un mismo emisor 11 radar. Consiste en asociar en el tiempo los resúmenes R_i de una misma emisión que provienen de las diferentes estaciones MAE. Este rastreo global se realiza en el interior del módulo de cálculo 75. Esta asociación es difícil, ya que varias emisiones similares y colocalizadas están presentes de manera simultánea.

Si la marca de la pista MAE local ya se ha asociado en el pasado, la operación consiste en una actualización de las características de pista, y una verificación de la pertinencia de la asociación decidida anteriormente.

15 Para las marcas no pistadas, se establece un árbol de las pistas multihipótesis o árbol de hipótesis. Para esto se recurre a un algoritmo de rastreo bautizado como RMH para Rastreo MultiHipótesis. La operación consiste en testar virtualmente el conjunto de las soluciones de agrupamiento posibles.

20 Uno de los fundamentos de este algoritmo es medir la verosimilitud de que una N-upla de resúmenes proviene de un mismo emisor 11. Se hace la hipótesis de que las estaciones detectan todos los lóbulos. El montaje de las soluciones hipótesis solo mostrará, por consiguiente, unas hipótesis que hacen intervenir las estaciones MAE del sistema de detección.

Antes de construir el árbol de hipótesis, se efectúa una primera limpieza utilizando el rastreo local. Se parte de la hipótesis de que ninguna de las estaciones MAE 10 ha mezclado las emisiones que provienen de emisores diferentes. Por lo tanto, no se pueden asociar juntos unos resúmenes que provienen de la misma estación MAE 10, por lo tanto, estos resúmenes están colocados en unos nudos separados.

25 A título de ilustración de ninguna manera limitativa, se representa un nudo de un árbol multihipótesis en la figura 5. En este ejemplo se ha considerado una 4-upla de resumen (R_1, R_2, R_3, R_4). Se supone igualmente que en esta 4-upla, el resumen R_1 proviene de una estación MAE y que los resúmenes R_2, R_3 y R_4 provienen de una o varias estaciones diferentes de la anterior.

30 Se considera el resumen R_1 . A partir de este resumen se construyen dos primeras hipótesis, ya sea R_1 y R_2 provienen de la misma emisión, ya sea provienen de emisiones separadas. Con referencia a la figura 5, un agrupamiento de resúmenes significa que se considera que los resúmenes en cuestión y solo estos provienen de un mismo radar dado.

35 A continuación, se considera el resumen R_3 y a partir de las dos hipótesis potenciales anteriores, se construyen cinco nuevas hipótesis asociando o no este resumen R_3 con una hipótesis de emisión. La misma operación se efectúa, a continuación, con el resumen R_4 .

El algoritmo de rastreo multihipótesis se activa de forma secuencial a medida que llegan los nuevos resúmenes. Cuando el módulo de cálculo recibe la N-upla de resumen, el algoritmo contempla todas las particiones "admisibles" de estos resúmenes en conjuntos de agrupamientos. Una partición de este tipo se llamará a continuación hipótesis global.

40 Desde el momento en que el árbol de hipótesis incluye una hipótesis híbrida, es decir, desde el momento en que se hace la hipótesis de que al menos dos resúmenes provienen del mismo emisor, el sistema comienza a testar la verosimilitud de la hipótesis. Para reducir los tiempos de cálculo se imponen al algoritmo ciertas limitaciones de limpieza. Por ejemplo, se elige no validar una asociación si los PRA no son compatibles entre sí, es decir, no semejantes, si las formas de ondas son incompatibles o si los ángulos de llegada son incompatibles. Esto permite, sin hacer cálculo, testar la incompatibilidad de ciertas hipótesis del árbol. A continuación, se llamarán "hipótesis terminales" las hipótesis restantes después de esta limpieza.

50 Una vez efectuada esta segunda limpieza, se calcula la verosimilitud de cada hipótesis terminal. Como se ha visto anteriormente, los resúmenes asociados a las hipótesis son unas mediciones de forma de onda, de barrido (PRA) y el doblete integrados ($AOA_i, DTPL_i$). La verosimilitud bajo el ángulo del barrido (PRA, en concreto) y de la forma de onda (PRI y frecuencias principalmente) consiste en medir la distancia estadística entre los valores de los diferentes resúmenes. La verosimilitud bajo el ángulo de la localización conjunta DTPL y AOA consiste en verificar que la posición estimada para esta hipótesis es aquella cuyos valores teóricos de los parámetros observados están lo más cerca (en el sentido de una distancia cuadrática en el caso gaussiano) de las mediciones efectuadas. Por lo tanto, la localización equivale a buscar el máximo de la función de verosimilitud sobre el conjunto de las posiciones posibles.

55 El máximo alcanzado es el valor de verosimilitud buscado que valida o invalida la hipótesis en transcurso.

La verosimilitud es una cantidad que va a someterse a umbral. Si el valor de verosimilitud es superior a un cierto umbral, la hipótesis se valida que significa que los resúmenes provienen de un mismo emisor 11. Según un ejemplo de implementación este umbral puede fijarse a partir de una ley del Chi-cuadrado en la hipótesis de errores de medición de tipo gaussianos. A medida que se validan las hipótesis se reduce el tamaño del árbol de hipótesis retirando los datos que se han asociado y en paralelo se crea una nueva pista global que contiene los datos de los resúmenes.

5 Cuando están creadas las pistas, están seguidas por un algoritmo de rastreo "clásico" y los futuros Resúmenes que se refieren a ello se asocian directamente sin entrar en el árbol de hipótesis. Entonces, la localización se ha actualizado directamente.

10 Las figuras 6a y 6b ilustran un ejemplo de resultado obtenido aplicando el procedimiento según la invención.

En la figura 6a se han representado las posiciones de las estaciones MAE 10 y de los emisores 11 a localizar en un sistema de referencia cartesiano. En el ejemplo propuesto, el sistema de detección incluye tres estaciones MAE 11 y diez emisores radar están repartidos en el espacio. Entre los diez emisores radar, cinco poseen unos PRA idénticos.

15 Con el fin de poner de manifiesto la eficacia del procedimiento según la invención, la figura 6b representa en superposición la evolución del número de hipótesis y la evolución del número de pistas activas en función del número de gráfico radar. Se constata que el número de hipótesis fluctúa a medida que el algoritmo descubre las hipótesis y las pistas. A partir del 26º gráfico, la curva decrece para llegar a cero. Al cabo del 30º gráfico, el algoritmo ha terminado, ha encontrado todos los emisores. En paralelo se puede observar que el número de pistas activas aumenta progresivamente a medida que el algoritmo identifica los emisores.

20 Según otro modo de implementación, la asociación se efectúa por un método de correlación generalizada. Contrariamente al método presentado anteriormente, las estaciones MAE 10 separan los diferentes lóbulos de emisión recibidos, pero no efectúan rastreo local y transmiten todos los resúmenes al módulo de cálculo 75. El módulo de cálculo, después de recepción de los datos de las diferentes estaciones MAE 10 efectúa una correlación de estos datos. El módulo de cálculo va a correlacionar todos los lóbulos transmitidos por todas las estaciones 10 en 2-Dimensiones y va a buscar los lugares en que aparecen unos "picos de DTPL" y unos "picos de PRA" entre los datos de las estaciones. Estos picos conjuntos de DTPL y de PRA van a proporcionar, de este modo, la asociación de los lóbulos sobre cada una de las estaciones MAE 10. Este método más costoso en tiempo de cálculo tiene la ventaja de que es óptimo.

30 Según otro modo de implementación del procedimiento según la invención, la asociación de las pistas se realiza por un método de asignación óptimo, de tipo asignación SD o SD-assignement según el término anglosajón. En ese caso, el conjunto de los resúmenes Ri recibidos de cada estación MAE 10 durante una duración predefinida se tratan de manera simultánea y no secuencialmente como en el método de rastreo RMH anteriormente descrito. Una función de coste, construida sobre la base de la expresión de la verosimilitud, se evalúa para cada hipótesis de asociación de resúmenes. A continuación, estas hipótesis se nombrarán hipótesis elementales.

35 En el caso particular de dos estaciones MAE (2D assignment), que habría cada una transmitido N Resúmenes, el cálculo del coste se hace para N^2 hipótesis elementales. Para los pares de los que se sabe, sin evaluación fina del coste (por ejemplo, por limpieza teniendo en cuenta el PRA), que son incompatibles, el coste se pondrá en un valor por defecto que impide la producción de un resultado en el que aparecerían estos pares prohibidos. A continuación, el algoritmo de asignación SD consiste en resolver la siguiente problemática: encontrar la secuencia de asociación que minimiza el coste global, definiéndose este coste global como la suma de los costes de las hipótesis elementales, bajo un cierto número de limitaciones. Estas limitaciones pueden ser, por ejemplo, un resumen procedente de una estación MAE solo puede emparejarse a un solo resumen procedente de una estación MAE diferente o un Resumen procedente de una estación MAE no puede asociarse a un resumen de la misma estación MAE... Este algoritmo puede tomar en cuenta eventualmente la posibilidad de no encontrar un correspondiente para ciertos Resúmenes, en el caso en que todas las estaciones MAE no hubieran detectado las emisiones correspondientes.

50 Según un modo de implementación de la invención, el procedimiento puede poseer un modo degradado. De este modo, si ninguna de las estaciones MAE 10 puede suministrar un ángulo de llegada, el procedimiento puede funcionar según un modo "DTPL" solo. Asimismo, por ejemplo, si el sistema según la invención detecta un radar que no tiene un PRA constante, el sistema tiene la posibilidad de no implementar el procedimiento según la invención, sino, por ejemplo, un modo "AOA" solo. En los dos casos, la asociación se facilita ampliamente, ya que ya se han realizado numerosas asociaciones sobre DTPL y AOA conjunto sobre los otros emisores, lo que reduce drásticamente el problema de asociación.

55 La figura 7 representa de forma esquemática, un ejemplo de realización de un sistema de detección y de localización 70 según la invención. El sistema 70 según la invención incluye al menos dos estaciones MAE 10 y un calculador 75. Las estaciones MAE 10 pueden ser fijas o móviles. Pueden estar embarcadas en vehículos terrestres, marítimos o aerotransportados como, por ejemplo, unos drones, unos aviones o unos helicópteros.

Según un modo de realización, el calculador 75 está situado en una de las estaciones MAE del sistema. Según otro

modo de realización, el calculador 75 está situado en una estación dedicada 77.

Cada estación MAE 10 posee al menos un sensor pasivo MAE y un módulo de recepción 71 adecuado para calcular el tiempo de paso de lóbulo de emisión de uno o varios haces radar. Al menos un módulo de recepción 71 de las estaciones MAE 10 del sistema es adecuado para calcular el ángulo de llegada del lóbulo de emisión.

- 5 Cada estación 10 del sistema posee un módulo de rastreo local 72 adecuado para asociar los gráficos de un mismo emisor 10 en el transcurso del tiempo.

Cada estación MAE 10 del sistema posee un módulo de comunicación adecuado para comunicar con el calculador 75.

- 10 Cada estación MAE 10 del sistema posee un módulo de sincronización 74. El módulo de sincronización 74 tiene como principal función permitir fechar los diferentes sucesos con respecto a una base temporal común para todas las estaciones MAE 10 y, de este modo, coordinar sus operaciones entre sí en función del tiempo. Los módulos de sincronización 74 pueden, por ejemplo, sincronizarse con los satélites de geolocalización. Según un modo de realización, la sincronización se obtiene gracias a un receptor GPS. Siendo la exigencia de sincronización temporal del orden de aproximadamente 10 μ s, puede utilizarse un receptor estándar de geolocalización poco costoso.

- 15 En el caso de estaciones MAE 10 fijas, las posiciones y armonizaciones pueden obtenerse por un proceso poco costoso de calibración.

- 20 La presente invención puede encontrar una aplicación en numerosos campos, tanto en tierra, en mar, o en el aire. En un contexto marino, la invención puede, por ejemplo, encontrar una aplicación en la vigilancia costera a partir de estaciones MAE. En efecto, los radares de navegación del campo marino (DECCA) presentan la particularidad de que tienen un periodo de rotación de antena constante.

En el marco de una aplicación terrestre, se puede citar, por ejemplo, la vigilancia de ciertas zonas por un enjambre de drones provistos de sensores pasivos. Según otro ejemplo, en el campo aéreo, la invención puede utilizarse para la trayectorografía de los aerotransportados por una red de estaciones MAE de aviones o repartidas en tierra

- 25 De forma general, la presente invención puede encontrar una aplicación en cualquier entorno en que operen unos emisores radar con barrido casi constante. Este es el caso, en concreto, de numerosos radares con barrido mecánico, o bien de los modos de vigilancias de ciertos radares con barrido electrónico. Permite poner en situación táctica (SITAC) muy rápidamente todos los radares con barrido constante fijos o móviles presentes en el campo de vigilancia de las estaciones MAE. Esto contribuye a clarificar en gran manera la situación para tratar a continuación los radares con barrido no constante.

30

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de localización pasiva de emisores radar implementado por al menos dos estaciones de Mediciones de Apoyo Electrónico denominadas MAE (10), teniendo dichos radares una velocidad de barrido casi constante en el transcurso del paso sobre el conjunto que comprende al menos dos estaciones MAE (10), siendo cada una de dichas estaciones MAE (10) adecuada para interceptar los lóbulos de emisión de emisores radar y para estimar sus tiempos de paso de lóbulo, TPL, y siendo al menos una estación (10) adecuada para estimar el ángulo de llegada de dichos lóbulos de emisión, estando dicho procedimiento **caracterizado porque** la localización de los emisores (11) radar se efectúa testando la intersección entre una curva de iso Diferencia de Tiempo de Paso de Lóbulo (20) que pasa por al menos las dos estaciones MAE (10) y una recta de enfoque (12) que pasa por la estación MAE (10) que ha medido el ángulo de llegada y de azimut igual a dicho ángulo de llegada medido.
2. Procedimiento según la reivindicación anterior **caracterizado porque** comprende, para cada estación MAE (10):
- una etapa Etp1 de detección y de seguimiento de lóbulos de los emisores radar (11) presente en el campo de vigilancia de la estación MAE (10) considerada,
 - una etapa Etp2 de estimación, para cada lóbulo interceptado, de su ángulo de llegada, AOA, su tiempo de paso de lóbulo, TPL, así como de las características de su forma de onda,
 - una etapa Etp3 de asociación local de los lóbulos de emisión que provienen de la emisión del mismo emisor radar (11),
 - una etapa Etp4 de integración de los ángulos de llegada y tiempos de paso de lóbulo de cada lóbulo que proviene de la emisión del mismo emisor radar (11) y de formación de resumen de mediciones (Ri) de cada emisor radar (11),
 - una etapa Etp5 de transmisión de los resúmenes de mediciones (Ri) de cada emisor radar 11 a un módulo de cálculo (75);
 - y **porque** comprende, además, una etapa Etp6 de rastreo global implementada por el módulo de cálculo (75), consistiendo dicho rastreo global en asociar los dobletes integrados, AOAI, TPLi, que provienen de un mismo emisor (11) utilizando un árbol multihipótesis, testándose cada hipótesis por un cálculo de verosimilitud, y en localizar geográficamente dicho emisor radar (11).
3. Procedimiento según la reivindicación anterior **caracterizado porque** la etapa Etp6 comprende, además, un filtrado de las hipótesis por limitaciones que consiste en eliminar unas hipótesis de asociación de resúmenes incompatibles.
4. Procedimiento según la reivindicación 1 **caracterizado porque** comprende, para cada estación MAE (10):
- una etapa de recepción y de separación de los lóbulos de emisión de los radares (11) presente en el campo de vigilancia de la estación MAE (10) considerada;
 - una etapa de transmisión de los datos a un módulo de cálculo (75);
- y **porque** comprende, además, una etapa, de correlación en 2-Dimensiones de los datos de todas las estaciones MAE (10).
5. Procedimiento según la reivindicación 2 **caracterizado porque** la etapa Etp6 no se realiza con un árbol multihipótesis, sino implementando un método de asignación global de tipo SD.
6. Sistema de detección y de localización (70) adecuado para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores **caracterizado porque** comprende al menos dos estaciones MAE (10) y un módulo de cálculo (75), incluyendo cada estación MAE (10) un módulo de recepción (71) adecuado para estimar el tiempo de paso de lóbulo de al menos un emisor (11), un módulo de rastreo local (72), un módulo de comunicación (73) adecuado para comunicar con al menos las otras estaciones MAE (10) y un módulo de sincronización (74) adecuado para coordinar las operaciones de las diferentes estaciones MAE del sistema (70), siendo el módulo de recepción (71) de al menos una estación MAE (10) adecuado para estimar el ángulo de llegada del lóbulo de emisión de al menos un emisor (11).
7. Sistema (70) según la reivindicación anterior **caracterizado porque** comprende, además, una estación dedicada que comprende un módulo de comunicación (73) adecuado para comunicar con los módulos de comunicación (73) de las estaciones MAE (10) y **porque** el módulo de cálculo (75) está situado en dicha estación dedicada (77).
8. Sistema (70) según la reivindicación 6 **caracterizado porque** el módulo de cálculo (75) está situado en una de las estaciones MAE (10) del sistema (70).
9. Sistema (70) según una de las reivindicaciones 6 a 8 **caracterizado porque** el módulo de sincronización comprende un receptor de geolocalización por satélites.

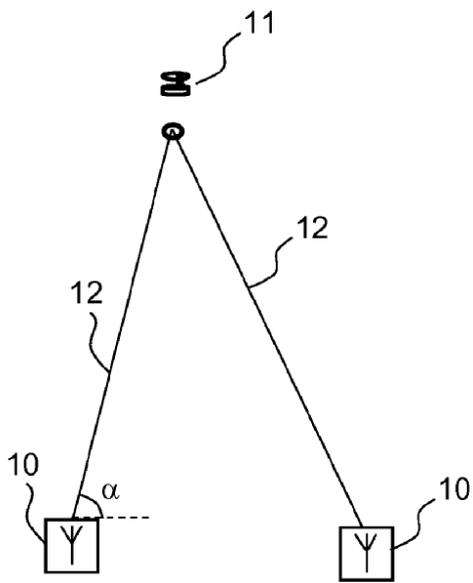


FIG.1a

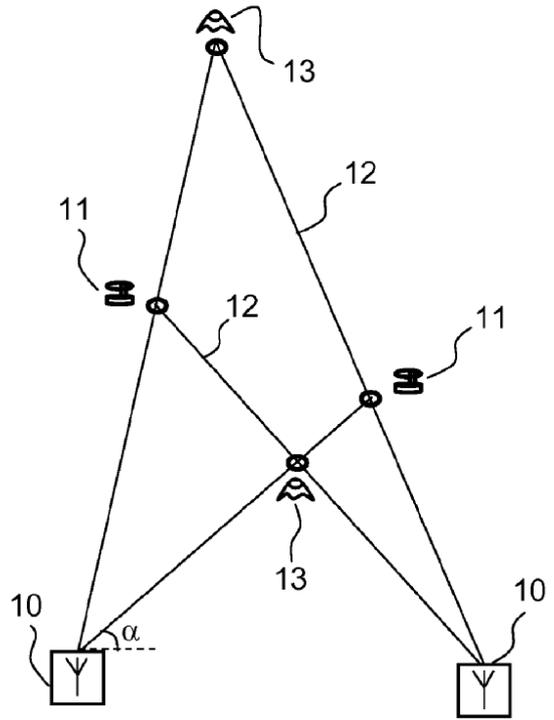


FIG.1b

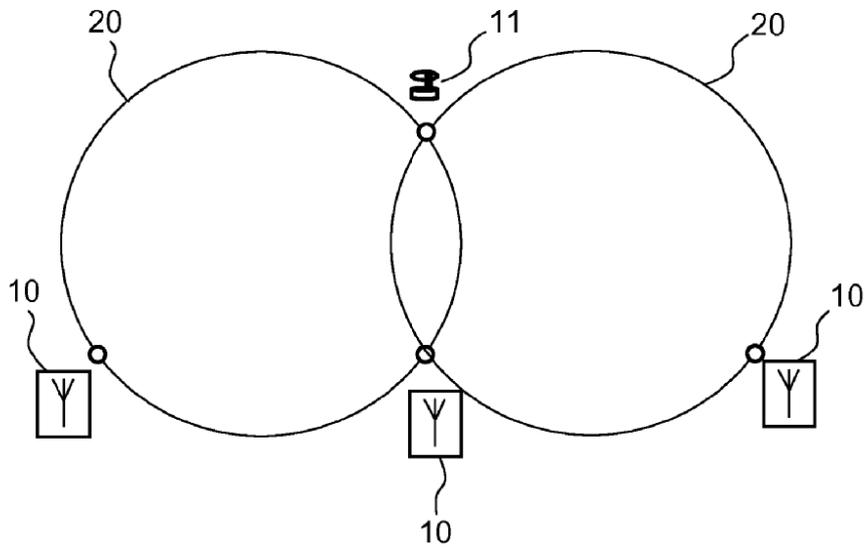


FIG.2

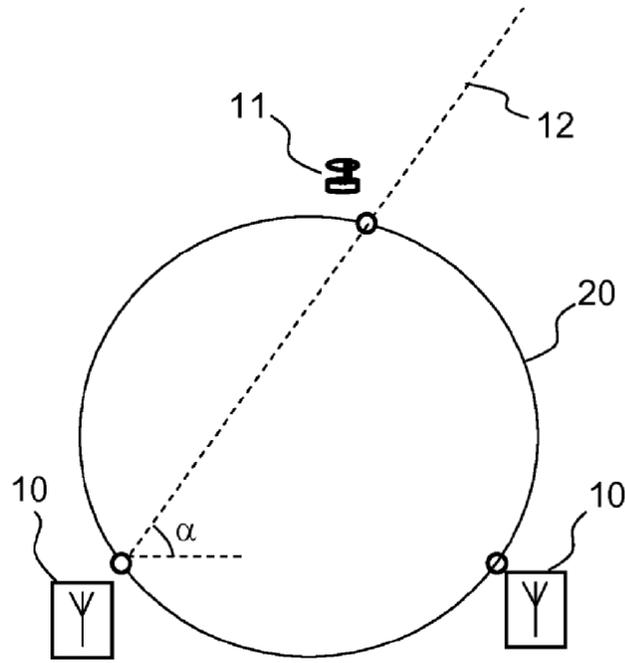


FIG.3

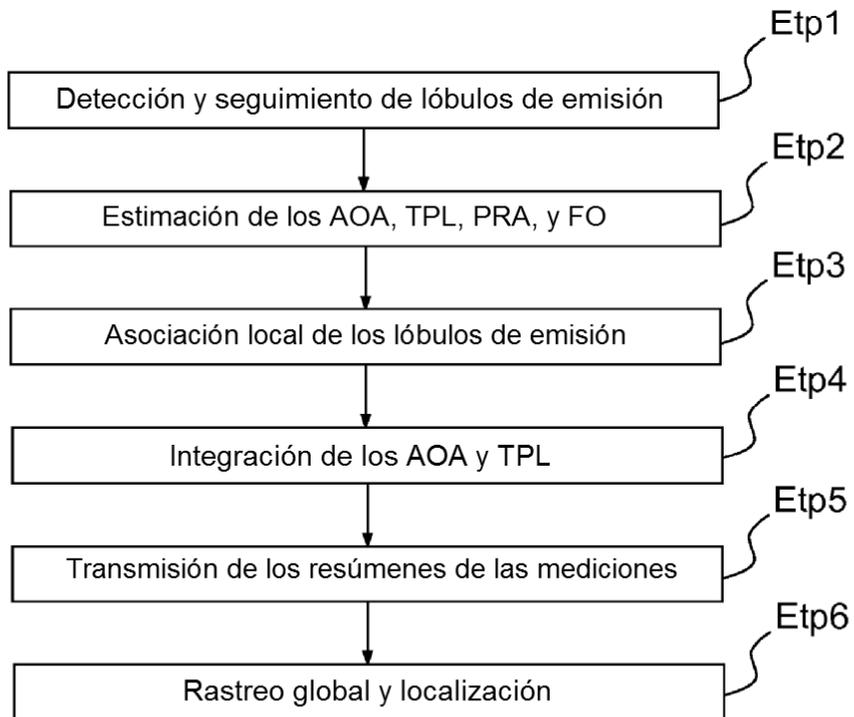


FIG.4

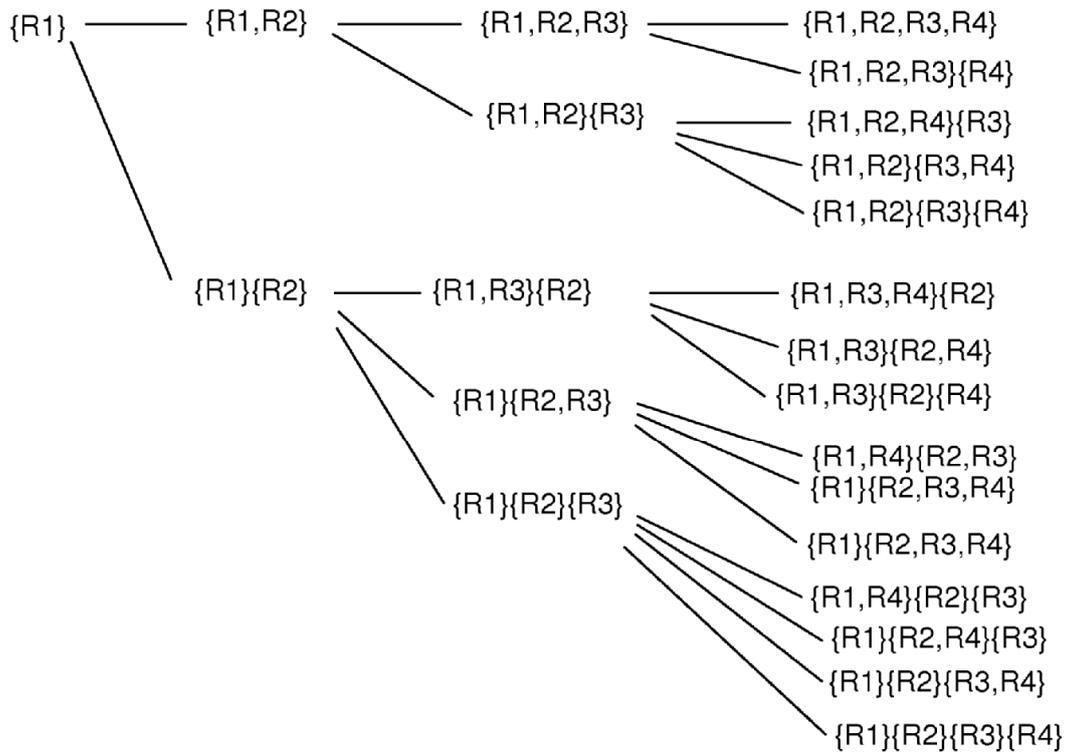


FIG.5

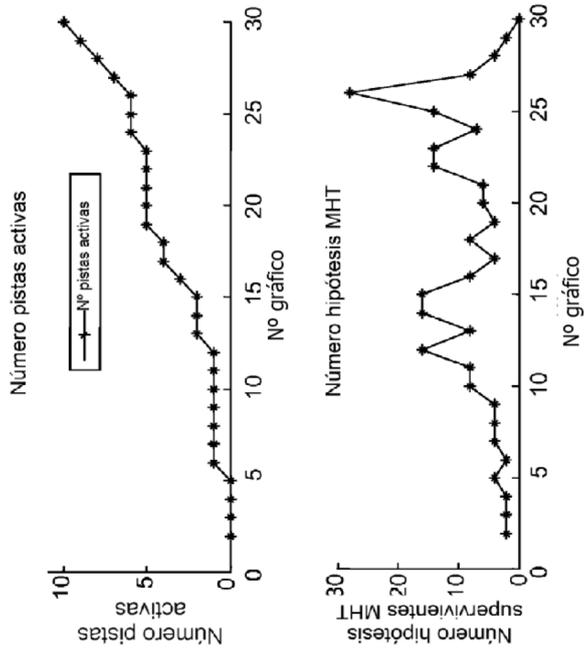


FIG.6b

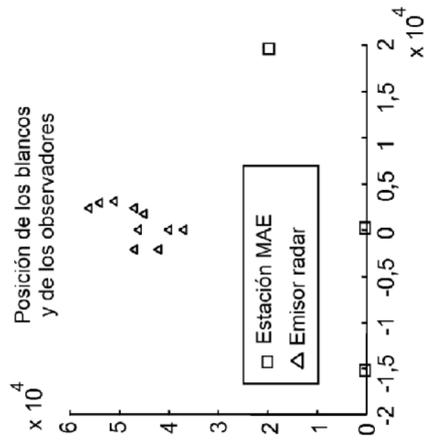


FIG.6a

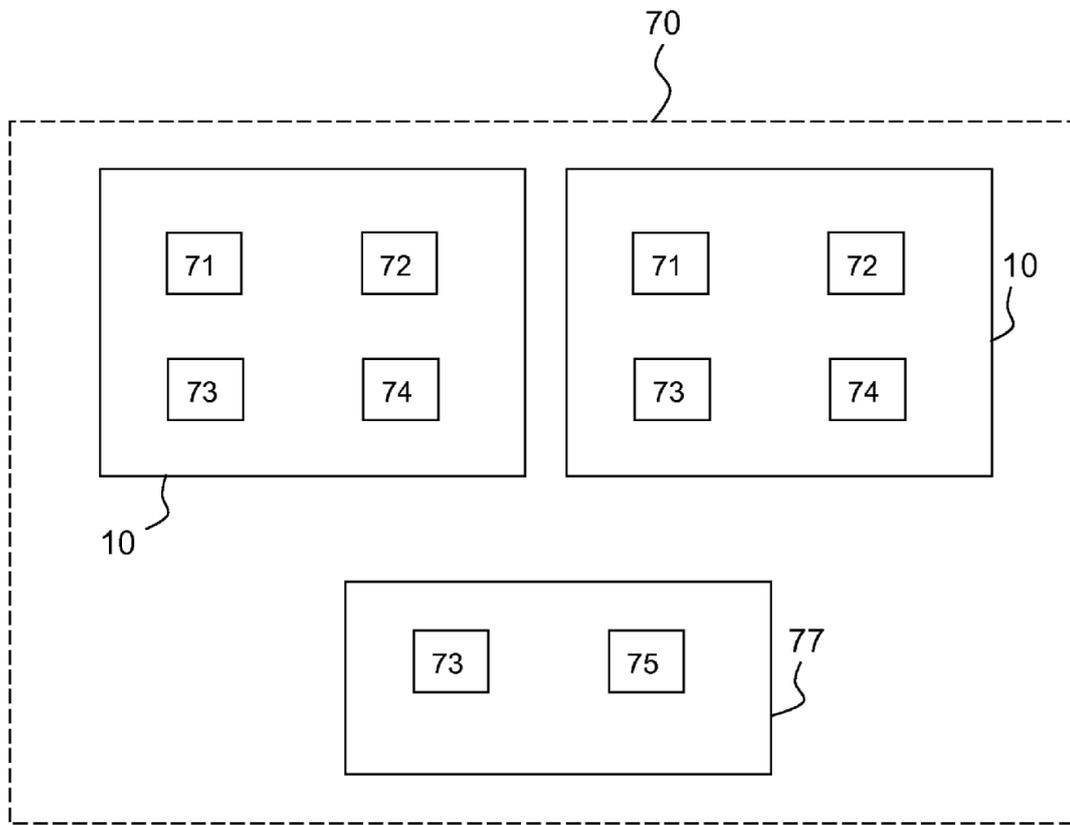


FIG.7