

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 808 085**

51 Int. Cl.:

G01S 5/02 (2010.01)

G01S 5/06 (2006.01)

G01S 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2015 E 15174861 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.05.2020 EP 2963438**

54 Título: **Localización de una baliza de emergencia**

30 Prioridad:

04.07.2014 FR 1401510

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

25.02.2021

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CALMETTES, THIBAUD PIERRE JEAN;
PETCU, EMANUELA ANA MARIA y
GREGOIRE, YOAN**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 808 085 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

Localización de una baliza de emergencia

Campo de la invención

5 La invención se refiere al campo de las comunicaciones por satélite y, en particular, al de los procesos y procedimientos para localizar una baliza de emergencia.

Estado de la técnica

10 Una baliza de emergencia o "radiobaliza" para localizar siniestros es un transmisor que emite una señal de emergencia electromagnética (en inglés "burst") para indicar la localización de un barco, un avión o una persona en apuros. Esta señal es recibida por uno o más satélites de una red (por ejemplo, Cospas-Sarsat o GEOSAR) que generalmente retransmite esta señal a estaciones terrestres que determinan la localización de la baliza y transmiten sus coordenadas a la oficina de búsqueda o rescate más cercana.

La señal puede contener la información de posición tomada por el GPS, lo que facilita la localización. En otras situaciones no se transmite información de posición declarada. En la mayoría de los casos, la gran cantidad de balizas comercializadas no permite una asociación con un identificador único con cada baliza.

15 Como parte del desarrollo del sistema MEOSAR, red de satélite de emergencia para búsqueda y rescate, cuya entrada en servicio está programada para 2018, hay que desarrollar y desplegar muchas estaciones de recepción en tierra MEOLUT. El documento US 2013/106656 describe un sistema MEOSAR con la introducción de una modificación en el segmento terrestre. Cada señal (inicialmente enviada por la baliza de emergencia) transmitida por los satélites al segmento de tierra se procesa eliminando el Doppler y el retraso del trayecto para obtener una señal combinada con una mejor SNR, mejorando de este modo la desmodulación de la señal de la baliza.

20 Uno de los principales problemas técnicos con el cambio a MEOSAR es el deterioro del balance de enlace en comparación con la versión LEOSAR actual. Si el sistema LEOSAR (baja altitud) se ha dimensionado con un margen suficiente para permitir, a pesar de esta pérdida, el tratamiento MEOSAR, la totalidad del margen debería ser absorbido por la modificación del segmento de satélite, mientras que podría o debería cubrir normalmente los casos más críticos de emisión. De hecho, una antena mal orientada y/o carente de potencia de transmisión, o incluso una baliza parcialmente sumergida puede no estar localizada en el futuro.

30 A día de hoy, se implementan (o se planifican) varias acciones para minimizar las pérdidas vinculadas al cambio a MEOSAR: a) el uso de antenas receptoras grandes para minimizar la contribución del enlace descendente (sabiendo que con la carga útil SAR-P, solo hay un camino ascendente en el contexto de LEOSAR); b) mejora general de la visibilidad: la diversidad geométrica posible gracias a la visibilidad permanente de numerosos satélites simultáneos (al menos 8) lleva a dimensionar las restricciones de máscara y combinación de las ganancias de antena en un caso más favorable que en LEOSAR; c) mejora de la antena de satélite d) estudio de una nueva modulación más eficiente (confiera EWG Cospas/Sarsat)

35 A pesar de todos estos elementos, la pérdida vinculada al cambio a MEOSAR conduce a una degradación de 10 dB. Además, un problema clave es el coste de la antena, lo que lleva a limitar muy fuertemente el número de satélites rastreados a típicamente 4 o 5 (con un máximo de 8 en las estaciones MEOLUT más ricamente equipadas, pero algunos, por el contrario, tienen solo dos antenas), mientras que 30 satélites son típicamente visibles en todas las constelaciones rastreadas.

40 Existe una necesidad en la industria de procedimientos y sistemas que permitan localizaciones con mejor precisión. La solución de la presente invención supera los inconvenientes de los abordajes convencionales, al menos en parte.

Sumario de la invención

Se desvela un procedimiento implementado por ordenador para procesar la señal transmitida por una baliza de emergencia según la reivindicación 1.

45 La baliza tiene en la realidad física una posición "verdadera" (es decir, exacta), cuyo objeto de la presente invención es, precisamente, determinar las coordenadas de la manera más rápida y precisa posible.

Al recibir una señal emitida por una baliza, como primera aproximación, se puede determinar una primera área geográfica dentro de la cual se ubica la baliza. Al definir un determinado paso de resolución (por ejemplo, 5 km), se puede definir un número finito de posiciones en el espacio: el espacio de búsqueda es discreto.

50 Se determina un conjunto de posiciones "hipotéticas" o "probables" o "posibles" o "candidatas" o "potenciales", de manera discreta y, por lo tanto, aproximada. En realidad, la baliza de emergencia puede estar entre dos posiciones discretas. La posición de la baliza se especifica de forma iterativa, cuando se determinan el o los mejores puntos de la cuadrícula.

Este conjunto de posiciones, de acuerdo con diferentes realizaciones, corresponde a una "cuadrícula" o una "matriz" o una "tabla" o una "malla". Una vista lógica o abstracta considerará la lista de posibles posiciones como datos de coordenadas, mientras que una visión geométrica puede corresponder a una malla regular o irregular. Por ejemplo, es posible tener una malla irregular en las posiciones (por ejemplo, tener en cuenta el ajuste de los grados de longitud cuando aumenta la latitud). De manera general, se determina un conjunto de posiciones hipotéticas, cualquiera que sea la denominación subyacente de la representación de las coordenadas establecidas de este modo. El conjunto de posiciones potenciales de la baliza de *cuadrícula de posición* permite discretizar el espacio de posibilidades y converger rápidamente en una posición precisa. Más allá del significado literal, en una realización particular, la cuadrícula de posiciones se puede obtener mediante la generación de un conjunto finito de coordenadas geográficas en las que es probable que se ubique la baliza (por ejemplo, como una primera aproximación). El "pivote" de la localización viene dado por la lista de posiciones en la cuadrícula. Una cuadrícula de posiciones es, por ejemplo, una cuadrícula de $1^\circ \times 1^\circ$ en latitud y longitud. Considerando todo el planeta, se pueden obtener 180×360 o 64.800 puntos. Al limitarse a los puntos visibles desde la estación, este número de posiciones se puede dividir por 5 (el número exacto depende de la latitud), o alrededor de 13.000 puntos.

Según un aspecto de la invención, la "*integración coherente*" de las señales de los satélites se lleva a cabo en una posición hipotética (o punto de la cuadrícula de posiciones). Tomado del campo técnico de las señales GNSS, esta "*integración coherente*" corresponde, en una realización particular, a la "suma de las señales desplazadas" de los satélites. Las señales están desplazadas ("relativamente"), es decir, uno respecto al otro (de acuerdo con la hipótesis de la posición del problema). Se tiene en cuenta el desplazamiento *relativo* entre las señales (no el desplazamiento absoluto).

La "búsqueda de vectores", que luego se lleva a cabo, designa la operación que consiste en atravesar este conjunto de posiciones o cuadrícula de posiciones para obtener una integración coherente válida, en lugar de buscar en todos los desplazamientos de tiempo y frecuencia posibles entre todos los satélites, lo que crearía un combinatorio demasiado grande.

La evaluación de la "validez" (o "calidad" de la suma) puede llevarse a cabo de diferentes maneras, los siguientes desarrollos dan diferentes soluciones de implementación. De manera general, la validez de la señal sumada (es decir, señales de desplazamiento) se puede cuantificar, de ahí el término evaluación que implica asociación con diferentes valores. Esta evaluación o cuantificación puede llevarse a cabo, por ejemplo, en función de la presencia, o al contrario, de la ausencia, de una señal predefinida o conocida (es decir, la presencia de cierta característica en la señal sumada). Si una característica predefinida y/o conocida está ausente (por ejemplo, por debajo de un cierto umbral de valor predefinido, posiblemente configurable), la hipótesis de la posición (es decir, según la cual se envió una señal desde la posición hipotética particular de la cuadrícula de posición) se abandona para el punto de la cuadrícula considerada y el proceso se repite. Si una característica predefinida y/o es reconocida o identificada o detectada o establecida de otra manera como similar (por ejemplo, mediante el uso de criterios y/o umbrales), la hipótesis de la posición se conserva y otras etapas continúan las pruebas de validación de la hipótesis (por ejemplo, desmodulación, mediciones de TOA/FOA). Pueden ocurrir otros puntos de rechazo posteriores (por ejemplo, el número de errores binarios durante la descodificación del código BCH, en particular para la desmodulación en Cospas-Sarsat). En los casos en que la presencia o ausencia de una característica predefinida y/o conocida no se establece con certeza (por ejemplo, intervalo o límite de confianza, límite o insuficiente), la señal se compara con respecto al ruido blanco para encontrar una señal útil (por ejemplo, por medio de umbrales y de compromiso entre la probabilidad de detección, por ejemplo, la capacidad de validar una señal recibida con baja relación señal/ruido) y la probabilidad de falsa alarma: por ejemplo, riesgo de realizar un procesamiento de prueba de ruido.

En una realización particular, se desvela un proceso implementado por ordenador para procesar la señal emitida por una baliza de emergencia, dicha señal es recibida por varios satélites y retransmitida a una o más estaciones terrestres, comprendiendo el procedimiento las etapas que consisten en generar una cuadrícula de posiciones de la baliza de emergencia, cada punto de la cuadrícula representa una hipótesis de posición de la baliza; sumar las señales de desplazamiento de los satélites en cada punto de dicha cuadrícula de posición; y determinar la validez de cada suma de las señales desplazadas en función de la presencia o ausencia de una característica predefinida en la señal transmitida.

Se combinan varias etapas de acuerdo con el procedimiento: se implementa una búsqueda "vectorial" en una "cuadrícula de posiciones" (es decir, posiciones candidatas o potenciales) de la baliza de emergencia, esta búsqueda se lleva a cabo en la llamada integración "coherente" (es decir, mediante la suma de las señales de desplazamiento relativo de los satélites) y "válida" (es decir, mediante la búsqueda e identificación de la presencia de una característica predefinida contenida en la señal de la baliza de emergencia), señales de diferentes satélites en cada punto del conjunto de posiciones hipotéticas (por ejemplo, la "cuadrícula de posición" tal como se define).

En un desarrollo, la etapa consiste en desplazar la señal de un satélite que comprende una etapa que consiste en desplazar la señal de dicho satélite en el tiempo durante un tiempo igual al opuesto del tiempo de propagación de la estación de satélite de la baliza.

El tiempo de propagación corresponde al tiempo total de viaje de la señal de emergencia, es decir, el tiempo de tránsito de la distancia entre la posición hipotética de la baliza de emergencia y el satélite, agregado al tiempo de

viaje de la distancia entre el satélite y la estación receptora. Este viaje tiene lugar a la velocidad de transmisión de una señal electromagnética, o sustancialmente a la velocidad de la luz en el vacío.

En un desarrollo, la etapa consistente en cambiar la señal de un satélite comprende una etapa que consiste en cambiar la frecuencia de la señal del satélite por una frecuencia igual al opuesto del efecto Doppler.

- 5 El efecto Doppler está asociado con el desplazamiento relativo del satélite con respecto a la posición hipotética de la baliza de emergencia y con respecto al desplazamiento relativo del satélite con respecto a la estación receptora.

En un desarrollo, consistiendo la etapa en desplazar la señal de un satélite que comprende una etapa que consiste en desplazar la señal en términos de potencia por una potencia igual al opuesto de la atenuación de potencia medida para dicho satélite.

- 10 La atenuación de potencia está determinada por (a) la pérdida de balance de enlace entre la posición hipotética de la baliza de emergencia y el satélite y (b) la pérdida de balance de enlace entre el satélite y la estación de recepción, la pérdida de balance de enlace se compone esencialmente de pérdidas de espacio libre, depende de (i) la distancia y (ii) de las ganancias de la antena en la transmisión y recepción, dicha ganancia de antena depende a su vez de la elevación y la dirección de transmisión y recepción.

- 15 Dado que la órbita de los satélites puede estar suficientemente bien determinada, también es posible corregir la fase de llegada. Este desarrollo sigue siendo completamente opcional (la estimación de la validez de la suma se realiza de manera no coherente, es decir, suponiendo que las fases son diferentes).

- 20 En un desarrollo, una característica de la señal transmitida comprende la presencia de una portadora pura, y la validez de la suma de las señales de desplazamiento de los satélites está determinada por la aparición de una línea en la transformada de Fourier de la señal sumada.

En este caso particular, en el cual la señal comienza con portadora pura, es posible no compensar el retraso, sino solo el Doppler, ya que se produce un pico de FFT (Transformada rápida de Fourier) tan pronto como el Doppler esté bien corregido.

- 25 En un desarrollo, la señal transmitida comprende además la presencia de una señal de sincronización, y la validez de la suma de las señales desplazadas de los satélites se determina mediante la correlación entre la señal sumada y una réplica de dicha señal de sincronización.

La señal emitida por la baliza de emergencia puede incluir una "señal" de sincronización (por ejemplo y en un caso particular una "palabra" de sincronización). En una realización ventajosa, la señal de sincronización tiene las mismas propiedades que la señal útil que sigue (la misma modulación, por ejemplo).

- 30 Son posibles varias modulaciones del sistema S.A.R. de "Búsqueda y rescate". La modulación actual proporciona una portadora y luego el mensaje, el mensaje comienza con una secuencia predefinida. La llamada modulación de "nueva generación" proporciona el mensaje directamente pero con una secuencia predefinida y conocida al comienzo de la transmisión de la señal y con un código de expansión. Tal secuencia es un marcador, útil y ventajoso para la validez de la etapa de integración coherente. En el caso de la modulación de portadora pura, una composición se considera válida si la suma coherente hace que una línea se materialice gráficamente en el dominio de la frecuencia. La señal transmitida por la baliza de emergencia puede incluir una parte de mensaje predefinida que marca el inicio de la transmisión. En el caso en que la señal transmitida incluya un marcador predefinido (es decir, conocido *a priori*), una composición se considera válida si la correlación con la parte del mensaje predefinido hace que una línea se materialice gráficamente en el dominio de tiempo/frecuencia. En otras palabras, puede aparecer un "pico" durante una búsqueda de sincronización en los dominios de frecuencia y tiempo.

- 45 Este desarrollo corresponde a las llamadas señales de "búsqueda y rescate". Primero se verifica si hay una línea y, si hay una línea, se procede a la búsqueda de la palabra de sincronización. Este desarrollo proporciona el mejor rendimiento operativo. En particular, la búsqueda de correlación permite eliminar las detecciones en líneas parásitas vinculadas a interferencias y la búsqueda de la línea antes de la búsqueda de correlación permite reducir la incertidumbre de frecuencia y, por lo tanto, mantener las complejidades de cálculo compatibles con una implementación en tiempo real.

En un desarrollo, la correlación se obtiene para un desplazamiento de tiempo y frecuencia particular entre dicha señal obtenida por la suma de las señales de desplazamiento de los satélites y la réplica de la palabra de sincronización.

- 50 La búsqueda del desplazamiento de tiempo y frecuencia particular puede llevarse a cabo calculando la correlación para cada posición del conjunto de posiciones hipotéticas que comprende un desplazamiento de tiempo y un desplazamiento de frecuencia (es decir, sin vínculo directo con la posición hipotética de la baliza de emergencia)

El procedimiento comprende la definición de un conjunto de posiciones hipotéticas de la baliza de emergencia. Por iteración, se considera una posición hipotética particular. Para esta posición, las señales de cada satélite se

desplazan en tiempo y frecuencia, precisamente en función de la posición hipotética considerada, así como retrasos y desplazamientos Doppler asociados con la propagación de la señal. Estas señales modificadas se suman. Por ejemplo, nombrando s_1 , s_2 , s_3 y s_4 las señales en cuatro satélites y $f(s, p)$ la función de desplazamiento de señal s de acuerdo con la posición hipotética p , la señal sumada resultante S será $S(p) = f(s_1, p) + f(s_2, p) + f(s_3, p) + f(s_4, p)$. En esta señal sumada S , se busca, prueba o evalúa si $S(p)$ contiene una señal inteligible, por ejemplo, que comprende una señal conocida. Para esto, un procedimiento consiste en correlacionar $S(p)$ con una réplica de la palabra de sincronización. Si $S(p)$ y la réplica están bien alineados en frecuencia y tiempo, la correlación será fuerte y se observará un alto valor de la misma, que permitirá la validación de la hipótesis de posición p . Sin embargo, en el caso general, $S(p)$ y la réplica no se alinearán porque no se conocen la fecha ni la frecuencia de transmisión de la señal. Para tener en cuenta el desconocimiento de la fecha de emisión y la frecuencia de emisión, se puede crear una cuadrícula ("regular") de desplazamientos (desplazamiento del tiempo de transmisión, desplazamiento de la frecuencia de transmisión) y, en consecuencia, la correlación con la réplica se puede calcular para cada uno de los puntos de esta cuadrícula. La suma $S(p)$ será válida si se identifica un punto en esta cuadrícula, punto para el cual la correlación con la réplica es alta. De paso, solo se requiere el conocimiento y la manipulación de $S(p)$ (ya no se requiere información de posición). Iterativamente por lo tanto, se puede determinar la posición de la baliza de emergencia.

Esta realización particular es ventajosa para los procedimientos de elaboración de la validez de la integración coherente (por ejemplo, la suma de las señales desplazadas). La cuadrícula de tiempo/frecuencia corresponde a dos incógnitas, la "fecha de transmisión del mensaje" y la "frecuencia de transmisión del mensaje". La incertidumbre sobre estos elementos no impide la reconstrucción coherente por el proceso de retraso y la pre-compensación del desplazamiento Doppler de acuerdo con la cuadrícula de posición, por otro lado, si no se estiman/conocen correctamente, pueden interrumpir los procesos de búsqueda de validez.

En un desarrollo, se obtiene una característica de la señal transmitida mediante la combinación de un mensaje inicial y un código de propagación, y la validez de la suma de las señales de desplazamiento de los satélites se determina mediante la correlación entre la señal sumada y una réplica del código extensión.

En un desarrollo, la correlación se determina para un desplazamiento de tiempo y frecuencia particular entre la señal sumada y la réplica del código de extensión.

En un desarrollo, el procedimiento comprende además, para cada satélite, una etapa que consiste en determinar un desplazamiento de tiempo y un desplazamiento de frecuencia que maximiza la correlación entre la señal recibida de este satélite y la señal sumada correspondiente a la suma de las señales desplazadas de los satélites que se ha determinado que son válidos.

En este desarrollo, es ventajoso poder evaluar las mediciones de desplazamiento de tiempo y frecuencia sin haber desmodulado y reconstruido la réplica. Es menos preciso (porque la réplica se hace sin ruido, mientras que la integración coherente siempre tiene un resto de ruido), pero también funciona y, en particular, puede permitir la localización incluso si el contenido binario no puede ser desmodulado. De acuerdo con este desarrollo, por lo tanto, para cada satélite se determina un par que comprende un desplazamiento de tiempo y un desplazamiento de frecuencia.

En un desarrollo, el procedimiento comprende además, por cada suma de señales desplazadas de los satélites determinados como válidos, una etapa que consiste en determinar el contenido binario de la señal transmitida por la baliza, retransmitida por los satélites y recibida por la estación.

La desmodulación no es estrictamente hablando parte de una integración de satélite coherente.

En un desarrollo, el procedimiento comprende además, por cada suma de señales desplazadas de los satélites determinados como válidos, después de la etapa que consiste en determinar el contenido binario de la señal transmitida por la baliza, una etapa que consiste en construir una réplica digital en la banda base de la señal emitida por la baliza de emergencia.

Para la reconstrucción de la señal emitida por la baliza de emergencia, no es necesario conocer el medio de propagación para rehacer esto último "al revés" y determinar las distorsiones. Esta es una reconstrucción "en banda base". Esto implica construir una señal modulada sin desplazamiento de portadora.

En un desarrollo, el procedimiento comprende además para cada satélite una etapa que consiste en determinar un desplazamiento de tiempo y un desplazamiento de frecuencia que maximiza la correlación entre la señal recibida de este satélite y la réplica digital después de una etapa que consiste en desmodular la composición coherente.

La "réplica digital" corresponde a la señal emitida por la baliza tal como se ha reconstruido después de la integración coherente. La expresión "desde este satélite" significa "transmitido por el satélite en cuestión y enviado a la estación terrestre". En el sistema MEOSAR, la señal no se procesa en el satélite antes de ser devuelta a la estación.

Par resumir, se hacen comparaciones, en tierra, entre la señal transmitida reconstruida (a partir de la señal de la integración coherente de múltiples satélites), con, sucesivamente, cada una de las señales aisladas individuales

recibidas por cada satélite tomadas individualmente.

Por lo tanto, se determina un par para cada satélite (desplazamiento de tiempo; desplazamiento de frecuencia).

Los desplazamientos de tiempo y frecuencia evaluados en el presente documento corresponden a residuos en comparación con los considerados al crear la suma válida de las señales de desplazamiento. Para la posición "verdadera" de la baliza, para un satélite dado, se observa un desplazamiento (en tiempo y/o frecuencia) D . Para el punto de la cuadrícula de posición más cercano a la posición real de la baliza, se usó un desplazamiento D_1 . Al tomar un paso de cuadrícula bastante pequeño, la diferencia entre D_1 y D fue lo suficientemente pequeña como para que la integración coherente, la búsqueda de validez en ella y la desmodulación, tuvieran pérdidas aceptables. Sin embargo, la etapa de procesamiento más exigente con respecto a la medición de D es la etapa de localización precisa del transmisor. Por lo tanto, puede suceder que esta diferencia entre D_1 y D sea demasiado grande para evaluar con precisión la localización (el proceso depende más de la precisión de la medición), y entonces será necesario una medición más precisa de D . Cuando se construye la suma precompensando el desplazamiento, la señal del satélite ha sido desplazada por D_1 , de modo que la señal de referencia (la que proviene directamente de la suma de las señales de desplazamiento o la señal de réplica) utilizada para la medición del "desplazamiento de tiempo, desplazamiento de frecuencia" ya está compensado por D_1 . De este modo, la búsqueda de correlación entre la señal del satélite y la señal de referencia dará un valor de desplazamiento residual D_2 , y lo que se utilizará para la localización estimada en el mejor de D será igual a la suma de D_1 y D_2 .

En una realización particular, las mediciones de tiempo y/o frecuencia se pueden inicializar a partir de las mediciones preliminares realizadas previamente descritas (por ejemplo, desplazamiento de tiempo de la señal del satélite en un tiempo igual al opuesto del tiempo de propagación de la estación-satélite-baliza y/o desplazamiento de frecuencia de la señal del satélite por una frecuencia igual al opuesto del efecto Doppler).

En un desarrollo, el procedimiento comprende además una etapa que consiste en determinar la localización de la baliza de emergencia, minimizando dicha localización el residuo ponderado de los desplazamientos de tiempo, o el residuo ponderado de los desplazamientos de frecuencia, o el residuo ponderado combinado de los desplazamientos de tiempo y los desplazamientos de frecuencia entre los satélites.

La minimización de los residuos ponderados se puede determinar utilizando el algoritmo de Gauss-Newton. Las medidas de tiempo y frecuencia se combinan. Dependiendo de la forma de onda (en particular), el tiempo o la frecuencia se asociarán con un intervalo de confianza más alto. Algunos satélites pueden tener mediciones más o menos buenas.

En un desarrollo, el procedimiento comprende además una etapa que consiste en calibrar una antena activa o una red de antenas en función de la localización de la baliza de emergencia.

En un desarrollo, el procedimiento comprende además una etapa que consiste en crear un boletín de alerta que comprende el contenido desmodulado de la señal emitida por la baliza y/o la localización determinada de la baliza de emergencia.

En una realización, el boletín de alerta puede comprender el contenido desmodulado de la señal transmitida y/o la localización (si se determina, por ejemplo). En otras palabras, también es posible crear un boletín de alerta que comprende solo el contenido desmodulado (para el procesamiento posterior o de terceros, por ejemplo), es decir, sin determinar la localización de la baliza (que, por lo tanto, sigue siendo una característica opcional en esta etapa del proceso).

En un desarrollo totalmente opcional, el procedimiento comprende de antemano una etapa que consiste en retirar la contribución del enlace descendente entre el satélite y la estación o estaciones terrestres.

La operación destinada a "desplazar la señal recibida de un satélite" consiste en compensar el llamado canal de enlace ascendente (desde la posición de la baliza al satélite) y el denominado canal de enlace descendente (del satélite a la estación terrestre). Como el enlace descendente no depende de la posición de la baliza, es posible agrupar el cálculo de su contribución en el conjunto de todas las posiciones hipotéticas. Esta realización es ventajosa para los cálculos.

En particular, esta retirada de la contribución del enlace descendente puede llevarse a cabo antes de la aplicación de la búsqueda en los puntos de la cuadrícula de posiciones hipotéticas de la baliza de emergencia. Este desarrollo (opcional) corresponde a una optimización de los cálculos. En una realización simple, los retrasos y los valores de desplazamiento Doppler se eliminan de todo el trayecto (desde la baliza hasta el satélite, después, desde el satélite a la estación). En la práctica, para todos los puntos de la cuadrícula, el trayecto del satélite a la estación puede ser sustancialmente el mismo, por lo tanto, muchos cálculos pueden ser superfluos. El presente desarrollo propone retirar de una vez por todas las contribuciones del trayecto de la señal desde el satélite a la estación, para después concentrar los recursos de cálculo en aquello que depende únicamente de la posición de la baliza.

En un desarrollo, el conjunto de posiciones hipotéticas de la baliza de emergencia se reduce a las posiciones visibles desde los satélites visibles desde la estación receptora.

En particular, el paso de la cuadrícula de las posiciones esperadas de la baliza de emergencia se puede optimizar (reducción del espacio de búsqueda)

La determinación de la localización de la baliza de emergencia permite, entre otras cosas, anticipar o monitorizar una nueva emisión de la baliza de emergencia.

5 Se desvela un producto de programa informático, comprendiendo dicho programa informático instrucciones de código que permiten efectuar una o más etapas del procedimiento, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

Se desvela un sistema para localizar una baliza de emergencia, comprendiendo el sistema medios para implementar una o más etapas del procedimiento.

10 En un desarrollo, el sistema incluye al menos una antena activa o una red de antenas.

Según un aspecto de la invención, se utiliza una red de antenas (opcional) en combinación con el procesamiento paralelo de múltiples satélites. En particular, se lleva a cabo un procedimiento en el que los resultados del procesamiento se "recirculan" a la calibración de la red de antenas.

15 Entre otras ventajas, el procedimiento permite el procesamiento simultáneo del conjunto de todos los satélites visibles, sin un impacto significativo en el coste de las modificaciones realizadas en las antenas. Al contrario, Se mejora la cadena de procesamiento de la señal. La calibración de la red de antenas se puede optimizar. De manera general, cada segmento o etapas de la cadena de procesamiento contribuye así a la optimización y mejora de los demás.

20 Las ventajas del procedimiento y sistema descritos incluyen mejoras de rendimiento y optimizaciones de costes. El procedimiento hace posible imaginar una ganancia teórica de $10 * \log(N)$ donde N es el número de satélites visibles. Para $N = 30$, la ganancia alcanza 14 DB. Por lo tanto, se puede prever legítimamente un objetivo de 10 dB que incluya pérdidas. La implementación del procedimiento puede llevarse a cabo a un coste reducido para la adaptación de la estación MEOLUT (red de antena y adaptaciones de software).

25 La complejidad del software (y también el hardware con respecto a la RF de la red de antenas) se supera fácilmente. Los experimentos de Matlab en procesadores de un solo núcleo indican que el procesamiento (sin ninguna optimización particular) es menor que un factor de 10 en tiempo real. Una implementación en C++ en servidores de cálculo será ventajosa. En términos de antenas, el número objetivo de satélites (alrededor de cincuenta) sigue siendo factible para un industrial (los sistemas actuales tienen hasta 200 elementos).

30 La presente divulgación tiene varios intereses relacionados. En un aspecto, las etapas descritas se pueden combinar entre sí, ya sea "hacia adelante", para enriquecer progresivamente la estimación de la posición, o "hacia atrás", para utilizar la posición final de la baliza para realinear correctamente la red. De hecho, también es posible un mecanismo integrado para gestionar la calidad de las mediciones. El proceso también permite el seguimiento de las desviaciones respecto a lo esperado. También permite la detección de interferencias que aparezcan. Por último, el proceso permite volver a calcular los datos acumulados (facilidad para volver atrás).

35 **Descripción de las figuras**

Diferentes aspectos y ventajas de la invención aparecerán en apoyo de la descripción de una implementación preferida de la invención pero no limitante, con referencia a las figuras a continuación:

La figura 1 ilustra el funcionamiento general de los procedimientos existentes para localizar una baliza de emergencia;

40 La figura 2 muestra esquemáticamente la optimización multicanal según la invención y presenta varias optimizaciones asociadas.

Descripción detallada de la invención

La figura 1 ilustra el funcionamiento general de los procedimientos existentes para localizar una baliza de emergencia. Una baliza 100 emite una señal electromagnética, que es recibida por cuatro satélites 111, 112, 113 y 114, entre una constelación de satélites. Estos cuatro satélites retransmiten la señal de emergencia a las estaciones terrestres. La estación terrestre MEOLUT 122 está compuesta por estaciones de tipo LEOLUT 121. Hoy en día, alrededor de diez estaciones MEOLUT 122 están desplegadas en todo el mundo. Un LEOLUT 121 está asociado con una antena y solo ve un único satélite. Cada estación LEOLUT realiza cuatro medidas consecutivas de FOA (hora de llegada, frecuencia de llegada), con una medición Doppler (que es fuerte a bajas altitudes). Con cuatro estaciones LEOLUT formando un MEOLUT, la baliza se encuentra (la posición de los satélites se conoce en todo momento), con un solo "burst".

Según el estado de la técnica, estas diferentes estaciones 121 no actúan de forma concertada. Las rutas de procesamiento son independientes. La arquitectura está separada o compartimentada, con una cadena de detección

y procesamiento específica para cada antena, las cadenas de procesamiento están separadas no solo en términos de software sino también, más a menudo, en términos de hardware. La arquitectura existente se dimensiona principalmente en función del número de antenas (debido al coste significativo de las antenas). Además, de los treinta satélites potencialmente direccionables, actualmente solo se pueden usar cuatro simultáneamente.

5 Según un primer aspecto de la invención, la parte de la antena se mejora (debido al uso de una red de antenas), sin embargo, esta característica sigue siendo opcional. Esta solución permite abordar todos o un número muy superior de satélites pertenecientes a la constelación. En la práctica, esta red de antenas puede ver la treintena de satélites en la constelación.

10 Según un segundo aspecto de la invención, en combinación con el uso de la red de antena (opcional), el procesamiento de la señal es objeto de cooperación entre las distintas estaciones LEOLUT 121. En otras palabras, un aspecto de la invención proporciona la optimización multicanal.

La figura 2 muestra esquemáticamente la optimización multicanal según la invención.

15 El procedimiento generalmente describe una correlación de múltiples antenas para rastrear satélites GNSS. por medio de una red de antenas opcionales, se realiza la búsqueda vectorial. En la etapa 220, se implementa la búsqueda vectorial de acuerdo con una cuadrícula de posiciones esperadas (no típica de $2^\circ \times 2^\circ$) para verificar la presencia de una emisión SAR por recombinación de las señales obtenidas en los diferentes satélites visibles del punto de la cuadrícula y de la MEOLUT. En la etapa 230, la búsqueda vectorial se utiliza como punto de entrada para la implementación de la integración coherente de múltiples satélites. En la etapa 232, se procesa la señal integrada. De ella se deduce una réplica ideal, para después construir las mediciones de TOA/FOA a partir de una nueva iteración de correlaciones sobre esta réplica ideal. En la etapa 238, se produce un boletín de alerta. En la etapa 240, la localización obtenida finalmente (por lo tanto, en última instancia, a la función de búsqueda vectorial para anticipar la presencia de la próxima emisión de la misma baliza) se retransmite a la cadena de calibración de la antena. En otras palabras, la integración se lleva a cabo recirculando los resultados de las localizaciones en las balizas procesadas para recalibrar continuamente la red.

25 Una "antena activa" o "red de antenas" 210 es un conjunto de antenas separadas y alimentadas de forma síncrona (el desfase de la corriente entre dos pares de antenas es fijo). El campo electromagnético producido por una red de antenas es la suma vectorial de los campos producidos por cada uno de los elementos. Al elegir adecuadamente el espacio entre los elementos y la fase de la corriente que fluye en cada uno, se puede modificar la direccionalidad de la red gracias a la interferencia constructiva en ciertas direcciones y a la interferencia destructiva en otras direcciones. La ventaja de este tipo de red es que es posible cambiar la dirección en la que la antena "tira" en unos pocos microsegundos (en lugar de segundos o décimas de segundo, lo que sería necesario para orientar mecánicamente una antena parabólica). "Varios objetivos pueden controlarse de forma simultánea. Otra ventaja asociada con este tipo de antena radica en el hecho de que estos sistemas funcionan a una potencia relativamente reducida.

30 En una etapa 220, se realiza una búsqueda "vectorial" en una cuadrícula de posiciones, y, a continuación, una etapa de integración coherente 230.

Para determinar la localización de la baliza, de hecho, se procede por iteración en una cuadrícula, según un procedimiento de búsqueda denominado "vectorial" 220.

40 La etapa de la cuadrícula se puede optimizar de diferentes maneras (el espacio de búsqueda se puede limitar conociendo los satélites visibles desde la baliza y la estación, por ejemplo, excluyendo las áreas de los polos de la Tierra). Solo se recorre el dominio posible. Se prueban todas las combinaciones posibles (desplazamientos de frecuencia y de tiempo). Por lo tanto, se realiza una búsqueda en una cuadrícula de posiciones. Quedan dos incógnitas más: la fecha y la frecuencia del "burst". Usando hipótesis, a través de varios satélites, las señales se recombinan mediante una integración coherente de múltiples satélites.

45 En una primera etapa, una cuadrícula de posición y recorrido. Para cada punto de la cuadrícula, se calculan los dopplers y los retrasos diferenciales (para cada satélite) y se crea una composición correspondiente (tiempo/frecuencia). Si se encuentra la presencia, con cierta frecuencia y cierta fecha, de una composición, se valida.

En una segunda etapa, para cada composición válida, la señal se detecta, y, a continuación, se crea una réplica digital de la ráfaga (es decir, sin ruido adicional).

50 En una tercera etapa, para cada satélite, se buscan el desplazamiento de tiempo y el desplazamiento de frecuencia que maximizan la correlación con la réplica. Estos desplazamientos permiten encontrar la localización precisa de la baliza. En otras palabras, se reconstituye una señal recombinada coherente y esta señal recombinada se varía en tiempo y frecuencia. Estas variaciones se comparan con las señales reales, para mejorar la precisión de la localización de la baliza.

55 La información de la pluralidad de satélites reduce la precisión de la localización de la baliza y una etapa de cálculo iterativo de la ruta en la cuadrícula permite localizar la baliza con mayor precisión. Si la finura de la cuadrícula no es

suficiente, las "burst" pueden perderse.

5 Cada satélite recibe la misma señal desde la baliza. Suponiendo que se conoce la posición de la baliza de emergencia, se conocen todos los *doppler* y, por lo tanto, es posible sumar las señales de manera coherente y se mejora el balance (la señal es 4 veces más fuerte). Combinar las señales en todos los satélites para mejorar la señal. Esta operación puede llevarse a cabo ventajosamente en todos los satélites direccionables o en tantos como sea posible (lo que se logra cuando se utiliza una red de antenas).

10 Una etapa de calibración 240 opcional hace posible optimizar la calibración de la red de antenas forma continua. Un satélite corresponde a un elemento de antena. Si hay desplazamiento de fase para un elemento de antena, será posible reajustar este elemento (por ejemplo, la fase se modificará algunos grados, por medio de software). Todas las antenas generalmente se deterioran con el tiempo. Por lo tanto, cada detección de baliza brinda la oportunidad de recalibrar los elementos de la antena.

Las diferentes etapas del procedimiento se pueden combinar entre sí, es decir, se implementan de manera sinérgica. Las etapas de detección vectorial 220, de combinación coherente 230, localización 237 y calibración de antena 240 están vinculadas a la localización de la baliza.

15 Durante las etapas de detección vectorial, combinación coherente y, después, localización final, se realiza la estimación cada vez más precisa de las características de posición y emisión (tiempo, frecuencia) de la baliza, lo que reducirá la incertidumbre, las ambigüedades, las falsas alarmas y el tiempo de cálculo para las sucesivas etapas. Al contrario, la localización precisa de la baliza se debe utilizar para una calibración a posteriori de la red de antenas (destacando la ley de correspondencia entre los cambios de fase observados mediante la correlación de múltiples antenas y el origen geométrico de la señal).

20 El procedimiento permite desarrollar un mecanismo integrado para gestionar la calidad de las mediciones, que puede resultar en una reducción de falsas alarmas (y por lo tanto una mejora en el rendimiento al reducir los umbrales asociados en cada etapa del procesamiento) y la posibilidad de introducir un índice de calidad. Por ejemplo, si la etapa de localización final lleva a una posición de baliza fuera del área de incertidumbre de la integración coherente (es decir, si la baliza estaba realmente donde finalmente se encuentra, la integración coherente no podría haber funcionado y la señal no podría haberse procesado), el mensaje puede ser rechazado, o al menos transmitido con poca confianza.

30 Otra ventaja del procedimiento radica en monitorizar las desviaciones de lo esperado. Por ejemplo, si en una situación dada, según la búsqueda vectorial, cinco satélites dados deberían permitir una visibilidad óptima de la baliza (teniendo en cuenta su posición y la posición de la baliza en la cuadrícula), si resulta que uno de estos 5 satélites no contribuye en absoluto a la medición, esto podría significar que hay una interferencia común entre la baliza y solo este satélite (para ser verificado en otros satélites y otras balizas), ya sea un error de calibración de antena en este satélite (para verificar en otras balizas), o finalmente un problema con el satélite. En el caso (en particular) donde se observa una degradación de la contribución de un satélite a la correlación durante la búsqueda vectorial, una recalibración específica sobre esto se llevaría a cabo ventajosamente (por ejemplo, volviendo a una calibración anterior que luego funcionó bien y corrigiéndola, o no, con la variación de posición conocida por la órbita del satélite).

40 Hasta las etapas de integración coherente, el procesamiento es generalmente idéntico, ya sea dentro del marco de una señal útil o de una interferencia formada. La mayor parte de la función de localización y detección de interferencias ya está incluida de forma nativa en MEOLUT. los procedimientos desvelados pueden identificar interferencias relativamente débiles (que no pueden ser detectadas por un MEOLUT existente con su procesamiento de un solo canal).

45 El abordaje vectorial efectivamente permite un retorno al pasado. A título ilustrativo, si se detectó una ráfaga en una fecha determinada, es concebible volver a la emisión anterior (50 segundos antes, por ejemplo) y reducir en gran medida los campos de la búsqueda vectorial y la integración coherente dado el conocimiento de la posición de la baliza para ver si esta vez es posible extraer la ráfaga anterior que puede haberse perdido (o confirmar que se ha perdido).

50 En el caso de un fallo de calibración del satélite, las señales también se pueden almacenar. Si es necesario, una próxima detección fiable en este satélite (en un mensaje fuerte de baliza de orbitografía, por ejemplo) permite recalibrar el canal de antena (y, por ejemplo, reprocesar la señal intermedia en ese momento).

Se desvela un procedimiento y un sistema para integrar el procesamiento de los vectores (antena, detección, procesamiento) en la misma cadena en serie de MEOLUT. También se desvelan diversas implementaciones de acciones y retroalimentaciones de los bloques de procesamiento entre sí. Se pueden gestionar las interferencias y las falsas alarmas.

55 La presente invención se puede implementar a partir de elementos materiales y/o de software. Puede estar disponible como producto de programa informático en un soporte legible por ordenador. El soporte puede ser electrónico, magnético, óptico, electromagnético o ser un soporte de difusión de tipo infrarrojo.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento implementado por ordenador para procesar la señal transmitida por una baliza de emergencia, siendo recibida dicha señal por varios satélites y enviada al menos a una estación terrestre, comprendiendo el procedimiento las etapas que consisten en:
 - 5 determinar un conjunto de posiciones hipotéticas de la baliza de emergencia; y para dichas posiciones hipotéticas:
 - para cada satélite, desplazar el tiempo y/o la frecuencia de la señal recibida y enviada en función e dicha posición hipotética; estando dicha señal asociada a la posición hipotética de la ruta satélite-estación;
 - 10 desplazar el tiempo de la señal de un satélite que comprende una etapa que consiste en desplazar la señal de dicho satélite temporalmente para un tiempo que es igual al opuesto del tiempo de propagación de la baliza-satélite-estación,
 - desplazar la frecuencia de la señal de un satélite que comprende una etapa que consiste en desplazar la frecuencia de la señal del satélite por una frecuencia igual al opuesto del efecto Doppler,
 - 15 sumar las señales de desplazamiento mediante integración coherente; y
 - evaluar la validez de la suma de las señales desplazadas en función de la presencia de una característica predefinida en dicha suma.
 2. Procedimiento según la reivindicación 1, consistiendo la etapa en desplazar la señal de un satélite que comprende una etapa que consiste en desplazar la señal en términos de potencia por una potencia igual al opuesto de la atenuación de potencia medida para dicho satélite.
 - 20 3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para lo cual una característica de la señal transmitida comprende la presencia de una portadora pura y en la cual la validez de la suma de las señales de desplazamiento de los satélites está determinada por la aparición de una línea en la transformada de Fourier de la señal sumada.
 - 25 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para lo cual la señal transmitida comprende además la presencia de una señal de sincronización y para lo cual la validez de la suma de las señales de desplazamiento de los satélites se determina mediante la correlación entre la señal sumada y una réplica de dicha señal de sincronización.
 - 30 5. Procedimiento según la reivindicación 4, para lo cual se obtiene la correlación para un desplazamiento de tiempo y frecuencia particular entre dicha señal obtenida por la suma de las señales de desplazamiento desde los satélites y dicha réplica de la palabra de sincronización.
 - 35 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, obteniéndose una característica de la señal transmitida mediante la combinación de un mensaje inicial y un código de extensión, y la validez de la suma de las señales de desplazamiento desde los satélites se determina mediante correlación entre la señal sumada y una réplica del código de extensión.
 - 40 7. Procedimiento según la reivindicación 6, determinándose la correlación para un desplazamiento de tiempo y frecuencia particular entre la señal sumada y la réplica del código de extensión.
 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además, para cada satélite, una etapa que consiste en determinar un desplazamiento de tiempo y un desplazamiento de frecuencia que maximiza la correlación entre la señal recibida de este satélite y la señal sumada correspondiente a la suma de las señales desplazadas de los satélites que se ha determinado que son válidos.
 - 45 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además, por cada suma de señales desplazadas de los satélites determinados como válidos, una etapa que consiste en determinar el contenido binario de la señal transmitida por la baliza, retransmitida por los satélites y recibida por la estación.
 - 50 10. Procedimiento según la reivindicación anterior, que comprende además, por cada suma de señales desplazadas de los satélites determinados como válidos, después de la etapa que consiste en determinar el contenido binario de la señal transmitida por la baliza, una etapa que consiste en construir una réplica digital en la banda base de la señal emitida por la baliza de emergencia.
 11. Procedimiento según la reivindicación anterior, que comprende además para cada satélite una etapa que consiste en determinar un desplazamiento de tiempo y un desplazamiento de frecuencia que maximiza la correlación entre la señal recibida de este satélite y la réplica digital después de una etapa que consiste en desmodular la composición coherente.
 12. Procedimiento según la reivindicación anterior, que comprende además una etapa que consiste en determinar la localización de la baliza de emergencia, minimizando dicha localización el residuo ponderado de los desplazamientos de tiempo, o el residuo ponderado de los desplazamientos de frecuencia, o el residuo ponderado

combinado de los desplazamientos de tiempo y los desplazamientos de frecuencia entre los satélites.

13. Procedimiento según la reivindicación 12, que comprende además una etapa que consiste en calibrar una antena activa o una red de antenas de acuerdo con la localización de la baliza de emergencia.
- 5 14. Un procedimiento según la reivindicación 9 o 12, que comprende además una etapa que consiste en crear un boletín de alerta que comprende el contenido desmodulado de la señal transmitida por la baliza y/o la localización determinada de la baliza de emergencia.
15. Procedimiento según la reivindicación 1, que comprende de antemano una etapa que consiste en retirar la contribución del enlace descendente entre el satélite y la estación o estaciones terrestres.
- 10 16. Procedimiento según la reivindicación 1, estando en conjunto de las posiciones hipotéticas de la baliza de emergencia reducidas a las posiciones visibles desde los satélites visibles desde la estación de recepción terrestre.
17. Un producto de programa informático, comprendiendo dicho programa informático instrucciones de código que permiten llevar a cabo las etapas del procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.
- 15 18. Un sistema para localizar una baliza de emergencia, comprendiendo el sistema medios para implementar las etapas del procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 16, comprendiendo dicho sistema al menos una antena activa o una red de antenas.

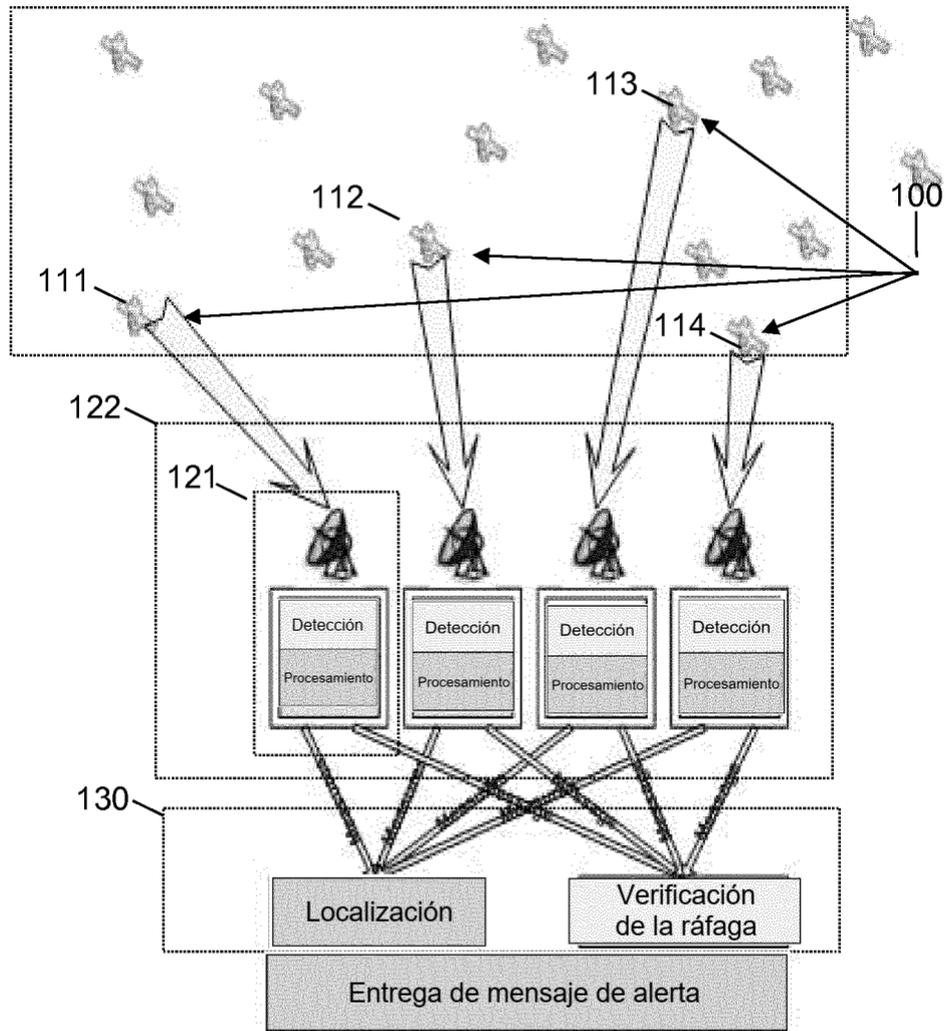


FIG.1

