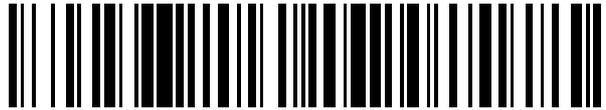


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 123**

21 Número de solicitud: 201631687

51 Int. Cl.:

**G01S 1/70** (2006.01)

**G01S 5/16** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**27.12.2016**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**27.06.2018**

71 Solicitantes:

**SKYLIFE ENGINEERING, S.L. (100.0%)**  
**C/ EARLY OVINGTON, 24, 15-16**  
**41309 LA RINCONADA (Sevilla) ES**

72 Inventor/es:

**RODRIGUEZ VAZQUEZ, Antonio Leopoldo;**  
**LUJAMBIO GENUA, Aintzane;**  
**PARRILLA CASQUET, Luis Miguel;**  
**BERNAL MENDEZ, Joaquin;**  
**FREIRE ROSALES, Manuel;**  
**MARTIN PRATS, Maria Angeles y**  
**RODRIGUEZ LOPEZ, Pilar**

74 Agente/Representante:

**BARTRINA DÍAZ, José Maria**

54 Título: **SISTEMA INTERIOR DE LOCALIZACIÓN EN ENTORNOS METÁLICOS**

57 Resumen:

Sistema interior de localización en entornos metálicos basado en un sistema de posicionamiento destinado a entornos donde la recepción de señales GNSS no es posible o la cobertura de la misma no es suficiente, y compuesto de una red de balizado (balizas, ubicadas y orientadas), al menos un equipo receptor, y un sistema de comunicación inter-balizas, para la auto-configuración del sistema, con objeto de determinar la posición de cada una de las balizas que integran la red de balizado, mediante el empleo de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF), y un método de control de acceso múltiple al medio por división en frecuencia (FDMA).

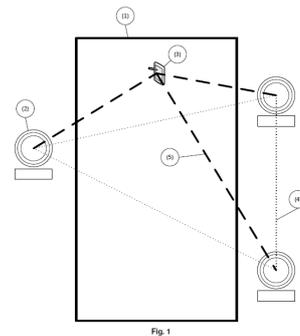


Fig. 1

ES 2 674 123 A1

## DESCRIPCIÓN

Sistema Interior de Localización en Entornos Metálicos

### 5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema de posicionamiento interior de altas prestaciones que trabaje en entornos metálicos, donde no es posible la recepción de señales GNSS o éstas se encuentran muy atenuadas. El sistema está diseñado para su utilización en entornos adversos (estructuras metálicas) donde otro tipo de sistemas no pueden desempeñar sus funciones por diversas limitaciones físicas. Se trata de un sistema no invasivo, por lo que no es necesaria la modificación del entorno en el cual desarrolla su actividad y, además de ser capaz de auto-posicionarse, puede guiar al usuario hacia una ubicación concreta.

15 La presente invención se encuadra dentro del sector de la técnica de las tecnologías de las telecomunicaciones con una especial aplicación a la industria aeronáutica, naval, ferroviaria y aeroespacial específicamente dentro de las fases de producción y operaciones de mantenimiento y troubleshooting.

### 20 ANTECEDENTES DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

Existen una gran cantidad de sistemas de posicionamiento diseñados de manera que dependen de la señal emitida por los satélites del sistema Global Navigation Satellite System (GNSS). Debido a que las señales de GNSS requieren línea de visión esto funciona bien en entornos abiertos, pero no en entornos cerrados como el interior de edificios, hangares o cuevas. Existen algunos sistemas diseñados para complementar o suplir la información de GNSS en momentos en que la señal se reciba degradada (se describen más adelante las patentes a las que haremos referencia a continuación). Por ejemplo, la patente descrita en [1] propone el uso un sistema RF de amplio espectro que transmite en la frecuencia del LORAN-C: 80-120 KHz. Este sistema, sin embargo, no está pensado como sistema independiente de GNSS.

Los métodos basados en triangulación con señales RF (WIFI, GSM, IMES, Bluetooth) sufren una importante degradación de precisión debido al efecto de las reflexiones y la atenuación de la señal debido a los materiales del entorno. Esto es especialmente limitante cuando dicho entorno cuenta con abundancia de superficies metálicas, como puede ser una línea de montaje de aeronaves.

A diferencia de lo que ocurre con el campo eléctrico y con las señales electromagnéticas de frecuencias altas, el campo magnético de DC o de baja frecuencia es poco sensible ante la presencia de la mayor parte de los materiales (salvo ferromagnéticos). Resulta por ello un candidato idóneo para ser utilizado en localizaciones interiores. Existen algunas soluciones de posicionamiento que hacen uso del propio campo magnético terrestre [2] [3]. Sin embargo, la mayoría de las soluciones propuestas en la literatura hacen uso del campo generado por un emisor independiente.

Las técnicas que usan campos magnéticos de DC se encuentran con el inconveniente de evitar el error que introduce el propio campo magnético terrestre. Para solucionar este problema en [4] se han propuesto el uso de campos de quasi-DC. Este método está enfocado a la localización de instrumental en operaciones quirúrgicas y utiliza pulsos de campo magnético generados por una señal cuadrada cuyo periodo está por encima de 10ms. El uso de campos magnéticos de DC se propone también en [5, 6]. Esta técnica emplea varias balizas alimentadas por corrientes DC cuya polaridad se modifica de manera periódica para localizar la posición 3D de un sensor. Esta misma idea se propone en [7, 8], con la diferencia de que en lugar de cambiar la polaridad de manera periódica, en este caso la cambian de acuerdo a códigos pseudoaleatorios, uno diferente para cada baliza instalada en el área de cobertura. El sistema TrackSTAR de Ascension [9] también emplea campos magnéticos DC en este caso pulsados.

Otras opciones propuestas utilizan campos magnéticos de muy baja frecuencia, como la descrita en [10] que emplea un emisor móvil de 387 kHz de frecuencia que es monitorizado por varios receptores en el área de cobertura. Los campos magnéticos AC son también la base del funcionamiento de dos productos comerciales, Liberty de Polhemus [11] para aplicaciones médicas y UGPS24 de Infrsurvey [12] para el posicionamiento en minas, cuevas o simas, en definitiva bajo tierra. Dentro también del ámbito de campos magnéticos de baja frecuencia, en [13] se describe una técnica para localizar un objeto que emite un campo magnético rotatorio. Esta técnica, aunque es apta para entornos interiores, precisa de varios receptores, y al igual que el resto de técnicas mencionadas que usan campos magnéticos AC, se centra más en la localización de un objeto que en proporcionar un método a un dispositivo móvil para determinar su propia posición. Una técnica usada para lograr este objetivo es la disposición de un sistema de balizas, usualmente espiras o bobinados, que emiten un campo magnético que puede ser detectado y procesado por el móvil [14][15]. Por ejemplo, en [14] se propone una técnica en que las señales de las diferentes balizas se distinguen por la modulación de una señal de 13.36MHz. Sin embargo, a esa frecuencia la interacción de los campos magnéticos con materiales metálicos no es en

absoluto despreciable, por lo que en la propia descripción del método se recomienda mantener las balizas y sensores alejados de superficies metálicas. El método descrito en [15] propone distinguir las señales de la baliza por un índice de modulación o por frecuencia de emisión, para lo que propone frecuencias de entre 20kHz y 100 kHz. El campo magnético de esta frecuencia penetra con facilidad materiales no metálicos, por lo que el método resulta útil para el interior de oficinas y, en general, edificios, pero no resulta factible utilizarlo en presencia de grandes superficies metálicas.

#### Referencias:

- 10 [1]. .Robust Low-Frequency spread-spectrum navigation system . (“Sistema de navegación robusto en amplio espectro de baja frecuencia”). US2010103989 (A1).
- [2]. Andrei Papliatseyeu, Niko Kotilainen, Oscar Mayora, y Venet Osmani. FINDR: Low-Cost Indoor Positioning Using FM Radio. (“Técnica de posicionamiento de bajo coste haciendo uso de señales de radio FM”). In Jean-Marie Bonnin, Carlo Giannelli, y Thomas Magedanz, editors, MobileWireless Middleware, Operating Systems, and Applications, volume 7 of Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, pages 15–26. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009. ISBN 978-3-642-01801-5. doi: 10.1007/978-3-642-01802-2.
- 15 [3]. Applying indoor magnetic fields for acquiring movement information, (“Aplicación de campos magnéticos en entornos cerrados para adquisición de datos de movimiento”). US2015141050 (A1).
- [4]. Position tracking using quasi-DC magnetic fields, (“Seguimiento de posición mediante campos magnéticos quasi-DC”), US2006293593 (A1).
- 20 [5]. Jörg Blankenbach y Abdelmoumen Norrdine. Position estimation using artificial generated magnetic fields. (“Estimación de posición mediante campos magnéticos generados artificialmente”). In 2010 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2010 - Conference Proceedings, 2010. ISBN 9781424458646. doi: 10.1109/IPIN.2010.5646739.
- 25 [6]. Joerg Blankenbach, Abdelmoumen Norrdine, y Hendrik Hellmers. A robust and precise 3D indoor positioning system for harsh environments. (“Sistema robusto y preciso para posicionamiento en entornos cerrados para ambientes complejos”). In 2012 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, IPIN 2012 - Conference Proceedings, number November, 2012. ISBN 9781467319546. doi: 10.1109/IPIN.2012.6418863.
- 30

- [7]. Eric A. Prigge y Jonathan P. How. Signal architecture for a distributed magnetic local positioning system. (“Arquitectura de señal para un sistema de posicionamiento local distribuido”). IEEE Sensors Journal, 4(6):864–873, 2004. ISSN 1530437X. doi: 10.1109/JSEN.2004.833512.
- 5 [8]. Eric A. Prigge. A positioning system with no line-of-sight restrictions for cluttered environments. (“Sistema de posicionamiento que no requiere línea de vision para entornos complejos”). PhD thesis, 2005.
- [9]. Ascension Technology Corporation. Track STAR. [www.ascension-tech.com](http://www.ascension-tech.com), septiembre 2016.
- 10 [10]. Darmindra D. Arumugam, Joshua D. Griffin, y Daniel D. Stancil. Experimental demonstration of complex image theory and application to position measurement. (“Demostración experimental de la teoría de imágenes complejas y su aplicación a posicionamiento”). IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 10:282–285, 2011. ISSN 15361225. doi: 10.1109/LAWP.2011.2136370.
- 15 [11]. Polhemus. Liberty. [www.polhemus.com](http://www.polhemus.com), diciembre 2016.
- [12]. Infrsurvey. UGPS. [www.infrsurvey.ch/en](http://www.infrsurvey.ch/en), diciembre 2016.
- [13]. Magneto-Inductive positioning using a rotating magnetic field, (“Posicionamiento magneto-inductivo mediante un campo magnético rotatorio”), US2013226512 (A1).
- [14]. Indoor location using magnetic fields, (“Posicionamiento en entornos interiores mediante campos magnéticos”), US2015204649 (A1).
- 20 [15]. System and Method for determining position, (“Sistema y método para determinación de posición”). US8855671 (B1).

El sistema de posicionamiento que se propone con la presente invención tiene principalmente una serie de ventajas frente a lo anteriormente conocido:

- 1) No se requiere de una línea de visión directa entre emisor y receptor.
  - 2) Uso en entornos adversos (estructuras metálicas).
  - 3) Su instalación no requiere de una modificación del entorno en el cual se desarrolla la aplicación.
  - 4) Plug & Play.
  - 5) Capacidad de operar con varios dispositivos en el área de cobertura.
- 30

**EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN**

La patente que se presenta se basa en un sistema de posicionamiento destinado a entornos donde la recepción de señales GNSS no es posible o la cobertura de la misma no es suficiente. El sistema de posicionamiento se compone de una red de balizado y uno o varios receptores. Está basado en el empleo de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja (ELF), es decir, por debajo de 300Hz. El campo magnético de baja frecuencia se ve muy poco alterado por la presencia de los materiales usualmente presentes en localizaciones de interior como edificios, estructuras subterráneas, naves industriales. En particular, a diferencia del campo eléctrico o las señales electromagnéticas de frecuencias altas, el campo magnético de frecuencia suficientemente baja se ve poco perturbado por la presencia de las corrientes de Foucault que se inducen en conductores, ya que este efecto es proporcional a la frecuencia. Esta característica hace especialmente adecuado el uso de campos magnéticos de baja frecuencia para localización en entornos en los que sea abundante la presencia de materiales metálicos como pueden ser interior de trenes, de aeronaves o en sus líneas de fabricación y montaje. El uso de ELF posibilita la utilización del sistema sin que exista una línea de visión directa entre la red de balizado y el receptor. El área de cobertura estará en función del despliegue de la estructura del balizado, y es posible abarcar una gran extensión.

La red de balizado se compone de una serie de balizas emisoras de campo magnético, ubicadas y orientadas para abarcar toda el área donde se desea desarrollar la aplicación. El protocolo implementado emplea un método de control de acceso múltiple al medio por división en frecuencia (FDMA), permitiendo integrar varios transmisores de manera simultánea. Este método aporta robustez frente a la asincronía de los transmisores, principal desventaja de los sistemas que utilizan acceso múltiple por división de código (CDMA) como técnica de acceso al medio. La metodología de codificación desarrollada, hace posible la identificación unívoca de cada uno de los elementos de balizado por parte del receptor, el cual puede discriminar portadoras espaciadas un mínimo de 2.3 Hz. Adicionalmente, integra un sistema de comunicación inter-balizas, capaz de realizar una auto-configuración del sistema, quedando determinada la posición de cada una de las balizas que integran la red de balizado.

El equipo receptor es un equipo móvil con capacidad de cálculo de su propia posición a través de la recepción y procesamiento de las señales provenientes de la red de balizado. El algoritmo de localización implementado, basado en el método Newton-Raphson multidimensional, permite estimar la posición y actitud a partir de los datos provenientes de los sensores de campo

magnético triaxial. Para aumentar la precisión de la tarea de auto-posicionamiento se implementa un algoritmo de fusión de datos basado en un Filtro Extendido de Kalman (EKF) adaptado a los sensores inerciales y dinámica propia del sistema.

## 5 DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Figura 1 muestra los elementos principales que integran el sistema de localización.

La Figura 2 muestra un esquema de las balizas.

10

La Figura 3 muestra un esquema del equipo receptor.

Los elementos referenciados en las figuras representan:

15

1. Superficie de la estructura metálica de apantallamiento.
2. Baliza.
3. Equipo receptor.
4. Enlace inter-balizas.
5. Señal de cobertura ELF.

20

6. Módulo de comunicaciones equipo Transmisor.
  - A. Módulo de comunicaciones Inter-balizas
  - B. Antena RF para módulo de comunicaciones de equipo transmisor.
7. Módulo de procesamiento del equipo Transmisor.
8. Módulo transmisor ELF.

25

9. Antena Transmisión de señales ELF.
10. Módulo de comunicaciones digitales en Transmisor.
11. Etapa de Sensado.
12. Sensores inerciales.

30

13. Módulo de procesamiento en equipo Receptor.
14. Módulo de comunicaciones en equipo receptor.
  - A. Módulo de comunicaciones entre equipo receptor y transmisor.
  - B. Antena RF para módulo de comunicaciones del equipo receptor.
15. Unidad de alimentación del equipo receptor.

16. Display

35

17. Bloque Conformador pulso transmisión.

18. Bloque Modulador que emplea una frecuencia diferente para cada canal.
19. Bloque Demodulador de señal
20. Estimación de coeficientes del canal
21. Mezclador de portadoras
- 5 22. Filtro Paso de Baja: LPF: Low Pass Filter.
23. Filtro adaptado
24. Valor del campo magnético medido.
25. Estimación de los radios de las esferas de campo.
26. Bloque de posicionamiento con posición inicial estimada con ampos esféricos.
- 10 27. Unidad de Cálculo del vector de funciones y de matriz Jacobiana.
28. Unidad de Solución del sistema de ecuaciones y avance de la posición.
29. Proceso de iteración para minimizar el error.
30. Posición Inicial tras completar el bloque 26.
31. Bloque de cálculo de posicionamiento con expresiones reales de campo.
- 15 32. Posición final estimada del algoritmo de posicionamiento tras completar los bloques 26 y 31.
33. Posición de las balizas dada por 6.
34. Estimación de las expresiones teóricas de campo magnético en la posición final estimada (32).
- 20 35. Conformación de la matriz de correlación partiendo de las medidas de campo en el equipo receptor y los valores de campo teóricos.
36. Análisis de valores singulares (SVD).
37. Estimación de matriz de rotación.
38. Orientación estimada del sensor.

25 La Figura 4. representa un esquema de la generación de señales y modulación del sistema transmisor.

La Figura 5. Se muestra el modelo del canal AWGN.

30 La Figura 6. Esquema de Demodulación y estimación en el equipo receptor.

La Figura 7. Diagrama en bloques simplificado del algoritmo implementado para estimar la posición del sensor.

35

La Figura 8. Diagrama de bloques del algoritmo implementado para estimar la orientación del sensor.

## EJEMPLO DE REALIZACIÓN PREFERENTE

5

A. Posicionamiento en interior dentro de entorno metálico.

Las tecnologías basadas en GNSS o RF empleadas como solución a la hora de facilitar posicionamiento y seguimiento de la localización presentan dificultades en interiores bajo la fuerte presencia de estructuras o superficies metálicas, ya que muestran una gran atenuación debido a las corrientes de Foucault inducidas en los conductores. En este caso, el más desfavorable para los mencionados métodos, ya que la atenuación aumenta con la frecuencia es el objeto de estudio de la presente invención. Otros factores que pueden reducir las prestaciones de las soluciones de posicionamiento son:

15

- Señales de localización sufren gran atenuación y dispersión.
- Multitud de reflexiones en el entorno, efecto multi-trayecto que deterioran las prestaciones y rendimiento del sistema.
- Emisor y receptor no disponen de visibilidad directa (NoLoS, Non Line-of-Sight).
- El entorno es altamente variable por la presencia de personas y o materiales ferromagnéticos.
- El espacio es menor que para otras aplicaciones de navegación en exteriores y por ende la precisión debe ser mayor.

20 Como se describe en la Figura 1, el sistema de localización se compone de una red de balizado formado por al menos 3 balizas (2), para lograr un posicionamiento 2D o 4 balizas (2) para el posicionamiento 3D y uno o más equipos receptores (3).

Las balizas forman una red de transmisores cuya posición es conocida y compartida mediante la implementación de un sistema de comunicación inter-balizas que permite establecer la posición relativa de cada una de ellas, transmitiendo posteriormente dicha información al sistema receptor en una primera fase de configuración.

La instalación de las balizas (2), podrá realizarse tanto en el interior, como en el exterior de la superficie metálica de apantallamiento (1), en la cual se encuentra el equipo receptor (3).

35

Las balizas descritas en la Figura 2, son las encargadas de transmitir la señal de cobertura a los módulos receptores, así como la estimación de su posición relativa dentro del sistema. Las señales transmitidas por las balizas emplearán campos magnéticos de frecuencias extremadamente bajas, que son capaces de evitar la atenuación producida por la presencia de superficies conductoras.

Cada elemento transmisor o baliza consta de los siguientes elementos:

- Un **módulo de comunicaciones Inter-baliza** (6.A) donde se implementa la arquitectura de comunicaciones necesaria para la transmisión de información inter-baliza y con el receptor en la fase de configuración o calibración inicial. Dispone de una antena RF (6.B) adaptada a las necesidades de comunicación entre las balizas.
  - Un **módulo de procesamiento** (7) encargado de generar la señal ELF (5) a la frecuencia deseada para su posterior transmisión por la antena transmisora (9). Este módulo se encarga además de estimar la posición de la baliza en función de los datos recogidos por el módulo de comunicaciones (6.A) que aportan información de la posición relativa del resto de las balizas (2) del sistema.
  - Un **Módulo de transmisión ELF** (8): Etapa de potencia que amplifica la señal ELF para adaptar el nivel de voltaje en función de los valores de corrientes necesarios para la transmisión. El rango de frecuencias del campo magnético ELF está generado entre 10Hz y 100Hz.
  - **Antena Transmisión de señales ELF** (9): Se basa en un conductor tipo espira con una alta direccionalidad para facilitar las tareas de goniometría y radiolocalización. La señal que transmite proviene del módulo transmisor (8), tras su acondicionamiento.
- Módulo de comunicaciones digitales** (10). Módulo enfocado a comunicar la baliza o elemento transmisor (2) con una interfaz digital de comunicaciones. Permite descargar al módulo de procesamiento (7) patrones configurables desde un ordenador externo

Como técnica de acceso al medio se emplea FDMA (Acceso Múltiple por Multiplexación en Frecuencia) y se asigna una banda de frecuencia del espectro disponible a cada baliza con el objetivo de que las señales radiadas no se solapen entre sí. El ancho de banda de canal es de 2,3 Hz, partiendo desde banda base hasta 102,35 Hz. Se emplearán asimismo técnicas de reutilización de frecuencias o canales por área de cobertura.

En la Figura 4 se muestra el esquema modulador FDMA con la conformación del pulso básico de transmisión  $g(t)$  en el bloque conformador de pulso (17), que se trata de un pulso coseno alzado. Cada una de esas formas de onda se modula con una frecuencia portadora diferente en el módulo o bloque modulador (18), para luego transmitirse de forma independiente al canal mediante la  
 5 antena de transmisión de señales ELF (9).

El canal de comunicaciones sumará todas esas señales, cada una atenuada por un coeficiente distinto en función de la distancia a la que se encuentre. Se ha considerado canal instantáneo y por las características de la señal de cobertura ELF (5) no se presentan efectos de multi-trayecto o  
 10 desvanecimiento. El ruido se modelará como un proceso aditivo blanco Gaussiano AWGN. Los coeficientes del canal son: media 0 y varianza  $\sigma_w^2$ . La Figura 5 ilustra el modelo de canal.

El equipo receptor descrito en la Figura 6, será el encargado de realizar la estimación de posición. A partir de las señales recibidas por la etapa de sensado (11), compuesto por receptores de  
 15 campo magnético triaxial, el equipo es capaz de identificar unívocamente la procedencia de dichas señales. A partir del valor de campo magnético recibido, realiza una triangulación, con la que es posible hacer una primera estimación de la posición. Es necesario que el equipo receptor disponga de una cobertura de al menos 3 balizas.

20 El equipo receptor (Figura 3) está compuesto por los siguientes módulos:

- **Etapa de sensado** (11): Receptores de campo magnético triaxial (magneto-resistivos y/o inductivos) que permiten medir el módulo y la dirección del campo magnético de ELF provenientes de las distintas balizas. Incluye una etapa de adaptación de la señal del  
 25 sensor que consiste en amplificación y eliminación de ruido.
- **Sensores inerciales** (12): Acelerómetros y giróscopos. A través del algoritmo de fusión de datos aportan precisión en la tarea de auto-posicionamiento del equipo receptor.
- **Módulo de procesamiento en equipo receptor** (13): Encargado de procesar los datos procedentes de los sensores magnéticos e inerciales a través de la implementación de los  
 30 algoritmos de localización y fusión de datos.
- **Módulo de comunicaciones en equipo receptor** (14.A ): Módulo que permite enviar órdenes a las balizas para la configuración de distintas funcionalidades tales como autocalibración e hibernación. Dispone de una antena RF (14.B) adaptada a las necesidades de comunicación entre las balizas y el equipo receptor.

- **Display** (16): Pantalla táctil donde se visualiza el resultado del posicionamiento representado en mapas o planos del entorno de trabajo.

El módulo de procesamiento en equipo receptor (13) realiza el procesado de los datos de los sensores inerciales (12) que aportan información complementaria a la hora de realizar la estimación final de la posición relativa del receptor con respecto a la red de balizado. La información obtenida se representará en el display (16) del equipo receptor a través de una interfaz de usuario diseñado para el sistema de posicionamiento. El módulo de procesamiento en equipo Receptor (13) implementa un método de recepción, ilustrado en la Figura 6, cuya función es la de recuperar las señales correspondientes a cada nodo transmisor, es decir, demodular las N señales que se encuentran combinadas en la forma de onda recibida  $x(t)$ . Dicho método consiste en un sistema de acceso múltiple al medio por división en frecuencia (FDMA) de N ramas, que multiplicará la señal recibida por cada una de las subportadoras, con el objetivo de bajarlas a banda base. A continuación, un filtro paso de baja elimina los armónicos espurios de alta frecuencia que se han generado con la multiplicación. Posteriormente se realiza una convolución (filtrado) para pasar por el filtro adaptado al pulso básico  $g(t)$ , obteniendo a su salida una forma de onda cuyo máximo coincide con el coeficiente de canal de ese transmisor (estimado). De esta forma, si los pulsos están normalizados, la estimación de  $\hat{a}_i(t)$  es calcular el máximo del pulso recibido. En la Figura 6 se muestra un esquema completo del método de recepción, incluyendo la estimación del canal. La arquitectura del sistema receptor está compuesta por un bloque demodulador de señal (19), compuesto a su vez por N ramas de un demodulador FDMA, donde se multiplica la señal recibida por cada una de las subportadoras en el mezclador de portadoras (21) con el fin de bajar la frecuencia a banda base. Posteriormente se pasa por un filtro paso de baja (LPF: Low Pass Filter) (22) que elimina los espurios de alta frecuencia. A continuación, la salida se envía a un filtro adaptado (23) para obtener una forma de onda cuyo máximo coincide con el coeficiente de canal del transmisor. De tal forma, si los pulsos están normalizados, la estimación de coeficientes de canal (20) consiste en calcular el máximo del pulso recibido, dando lugar al valor de campo magnético medido (24).

La determinación de la localización del sensor se hará en dos pasos. En primer lugar, se posicionará el sensor dentro del espacio usando un algoritmo de optimización multi-variable representado en la Figura 7. Seguidamente se estimará la orientación del mismo resolviendo un problema de mínimos cuadrados, ver Figura 8.

La Figura 7 muestra un diagrama de bloques de la implementación del algoritmo para la estimación de la posición del sensor. La determinación de la posición del equipo receptor (3), se hará en dos etapas: bloque de posicionamiento con posición inicial estimada con ampos esféricos (26) y bloque de cálculo de posicionamiento con expresiones reales de campo (31). Se parte del valor de los campos magnéticos medidos (24) y se estiman los radios de las esferas de campo en el bloque (25). Posteriormente, junto con la posición de las balizas (33) comienza el proceso de cálculo de la posición inicial estimada con campos esféricos (26), que se subdivide en el cálculo del vector de funciones de la matriz Jacobiana (27) y la solución del sistema de ecuaciones y avance de la posición (28). Los procesos realizados por la unidad de cálculo del vector de funciones y matriz Jacobiana (26) y la unidad de solución del sistema de ecuaciones y avance de la posición (27) son iterados mediante el proceso de iteración para minimizar el error (29) en la posición inicial (30). El bloque de cálculo de posicionamiento con expresiones reales de campo (31) estima la posición precisa partiendo de la posición de las balizas (33) y la posición inicial (30). Los procesos realizados por la unidad de cálculo del vector de funciones y matriz Jacobiana (26) y por la unidad de solución del sistema de ecuaciones y avance de la posición (27) son empleados asimismo para el cálculo de la solución de posicionamiento precisa en el bloque de cálculo de posiciones con expresiones reales de campo (31). Dichos procesos se realizan de forma iterativa para minimizar el error (29) en la posición final estimada (32).

Una vez hallada la posición del sensor dentro del sistema de coordenadas, es posible evaluar las expresiones teóricas de campo en ese punto para tener una estimación de su valor en el sistema de referencia de las balizas y de esta manera determinar la orientación del sensor. La Figura 8 muestra un diagrama en bloques simplificado del funcionamiento del algoritmo de estimación de la orientación del sensor.

En primer lugar, se estiman las expresiones teóricas del campo magnético (34) en la posición final proporcionada por el algoritmo de posicionamiento (32) con respecto a la posición de las balizas (33). Este resultado, junto con la amplitud del campo magnético medido por los sensores (24) sirven como entrada a un proceso de resolución de mínimos cuadrados, cuya salida será la orientación estimada del sensor (38). Dicho proceso se basa fundamentalmente en la conformación de la matriz de correlaciones (35) de los valores de entrada, el análisis de valores singulares (SVD) (36) y la estimación de la matriz de rotación (36) que relaciona los vectores de densidad de campo magnético en el sistema de referencia del sensor y de las balizas.

B. Posicionamiento en interior fuera de entorno metálico.

El actual ejemplo es un caso particular del ejemplo de realización preferente A (Posicionamiento en interior dentro de entorno metálico) -y consiste en el posicionamiento en entornos de interior donde no existen superficies o estructuras metálicas de gran tamaño por donde se desplace el usuario. El ejemplo actual B se diferencia del A, en que el entorno de operación es diferente. En B, no está presente una estructura o envolvente metálica de apantallamiento, manteniéndose invariables las características del sistema. De esta forma, el sistema de posicionamiento indoor presentado en esta invención es ejecutado con y sin presencia de envolvente metálica.

5

10

15

20

25

## REIVINDICACIONES

- 1.- Sistema interior de localización en entornos metálicos mediante el empleo de campos magnéticos de frecuencia extremadamente baja, caracterizado por constituirse de los  
5 siguientes elementos:
- A. Una red de balizas, ubicadas y orientadas convenientemente, en la que cada baliza consta de:
- 10
- Un módulo de comunicaciones inter-baliza donde se implementa la arquitectura de comunicaciones para la transmisión de información inter-baliza y con el receptor en la fase de configuración o calibración inicial; esta comunicación se realiza sobre un canal RF y para lo cual también incorpora una antena RF.
- 15
- Un módulo de procesamiento encargado de generar la señal ELF para su posterior transmisión por la antena transmisora, así como de estimar la posición de la baliza en función de los datos recogidos por el módulo de comunicaciones que aportan información de la posición relativa del resto de las balizas del sistema.
- 20
- Un módulo de transmisión ELF donde se amplifica la señal ELF para adaptarla a los niveles de tensión de la señal a transmitir en un rango de campo magnético comprendido entre 10Hz y 100Hz.
  - Antena transmisión de señales ELF provenientes del módulo transmisor tras su acondicionamiento, consistente en un conductor tipo espira con una alta direccionalidad para facilitar las tareas de goniometría y radiolocalización.
- 25
- Módulo de comunicaciones digitales al objeto de poder comunicar la baliza con una interfaz digital de comunicaciones, permitiendo descargar al módulo de procesamiento patrones configurables desde un ordenador externo.
- 30
- B. Al menos, un equipo móvil receptor donde se lleva a cabo la demodulación de las señales ELF, la estimación de la posición, la fusión de datos con sistemas inerciales y su representación, constituido por los siguientes módulos o elementos:
- 35
- Receptores de campo magnético triaxial (magneto-resistivos y/o inductivos) a modo de etapa de sensado, que permiten medir el módulo y la dirección del

campo magnético de ELF provenientes de las distintas balizas e incluye una etapa de adaptación de la señal del sensor que consiste en amplificación y eliminación de ruido.

- 5                   • Sensores inerciales consistentes en acelerómetros y giróscopos, al objeto de garantizar la correspondiente precisión en la tarea de auto-posicionamiento del equipo receptor, haciendo uso del algoritmo de fusión de datos.
- Módulo de procesamiento en equipo receptor, al objeto de procesar los datos procedentes de los sensores magnéticos e inerciales haciendo uso de los correspondientes algoritmos de localización y fusión de datos.
- 10               • Módulo de comunicaciones en equipo receptor, al objeto de poder enviar las correspondientes órdenes a las balizas para la configuración de distintas funcionalidades tales como autocalibración e hibernación, así mismo también hace posible descargar en el módulo de procesamiento, patrones configurables desde un ordenador externo.
- 15               • Una pantalla táctil o display donde se visualiza el resultado del posicionamiento representado en mapas o planos del entorno de trabajo.

C. Un sistema de comunicación inter-balizas, para la auto-configuración del sistema.

20   2.- Procedimiento de uso del “Sistema interior de localización en entornos metálicos” descrito en reivindicación 1, caracterizado por su funcionamiento basado en la siguiente secuencia de operaciones:

- 25           A. Cada una de las balizas disponibles en la red, emite una onda magnética continua de baja frecuencia y amplitud constante. Así, el bucle de control sobre dicha frecuencia y amplitud, así como de la calibración se realiza de forma automática en la propia baliza, aunque puede verse asistida mediante las comunicaciones inter-balizas o receptor-balizas.
- 30           B. El receptor lleva a cabo la estimación de posición, identificando la procedencia de las señales ELF recibidas de cada una de las balizas. En concreto, el método de control de acceso múltiple al medio se realiza por división en frecuencia, lo que hace posible que el receptor lleve a cabo una identificación unívoca de cada uno de los elementos de balizado.
- 35           C. Acto seguido, la etapa analógica de sensado instalada en el equipo receptor se encarga de captar y adaptar estas señales para ser posteriormente digitalizadas. Dicha etapa consiste en un sensor magnético triaxial, amplificadores y una

cadena de filtros compuesta por filtros rechazado de banda y antialiasing para cada eje. Para compensar el desapareamiento entre las cadenas de filtros de cada eje, el receptor tiene implementada una función de autocalibrado en la que él mismo genera una señal conocida, la inyecta en la etapa de adaptación y calcula los coeficientes que serán aplicados posteriormente en el dominio digital.

5

D. Las señales ELF, ya adaptadas, son convertidas al dominio digital usando un convertidor analógico digital de baja frecuencia y elevada precisión.

E. La señal digitalizada es posteriormente procesada en el módulo de procesamiento para obtener los valores de amplitud de las señales ELF transmitidas. El procesamiento digital consiste en un filtro de eliminación de continua y ecualización, un mezclador en cuadratura y un filtro promediador para el cálculo de la amplitud de la señal. Mientras que el primero elimina la componente de continua de la señal y deshace el desapareamiento introducido por la etapa analógica, el segundo permite el procesamiento de señal en banda base mediante una mezcla de conversión directa. El cálculo de la amplitud de la señal recibida se realiza mediante un filtro de respuesta infinita de mínimos cuadrados.

10

15

F. Una vez obtenidos los valores de amplitud se realiza la estimación de la posición mediante el algoritmo de Newton-Raphson multidimensional.

G. Finalmente, y una vez obtenidos los datos de estimación de posición, el sistema hace uso de un filtro extendido de Kalman para la fusión de datos de la posición estimada junto a los datos de los sensores inerciales, con el objetivo de aumentar la precisión de la tarea de posicionamiento.

20

H. La información obtenida se representa en el display del equipo receptor a través de una interfaz de usuario diseñado para el sistema.

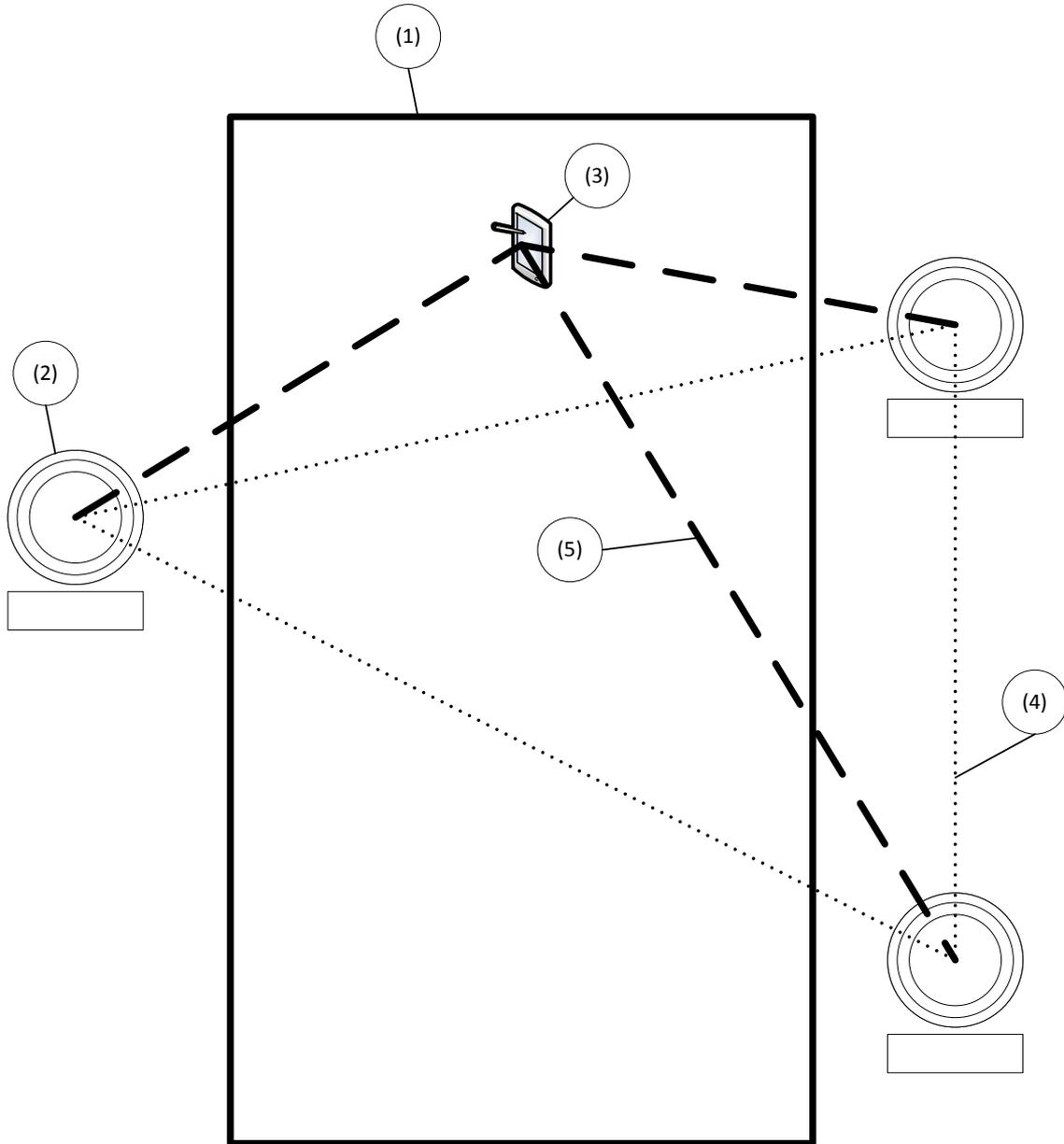


Fig. 1

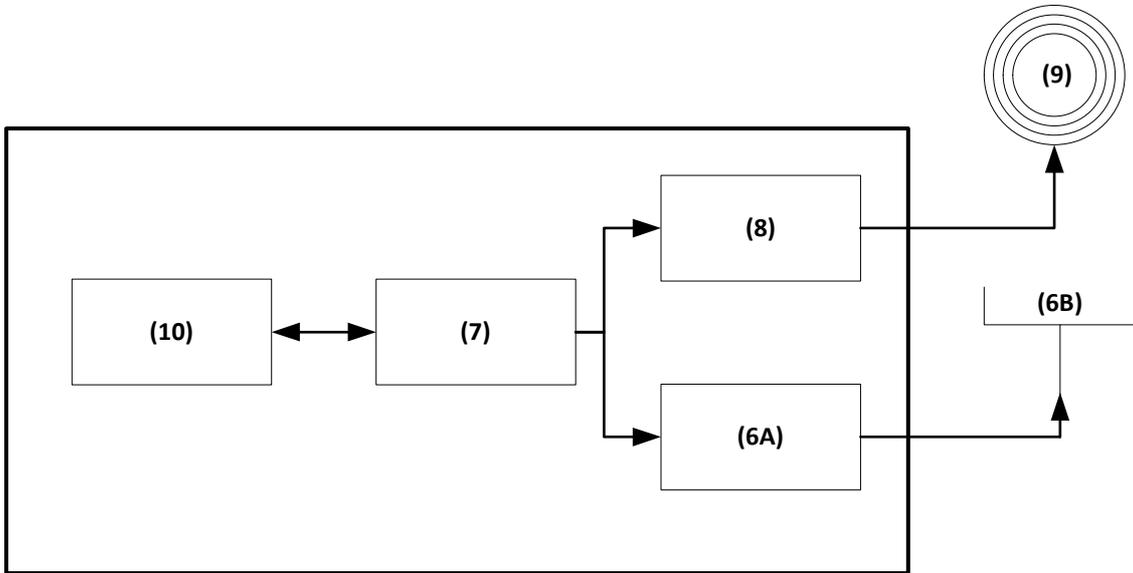


Fig. 2

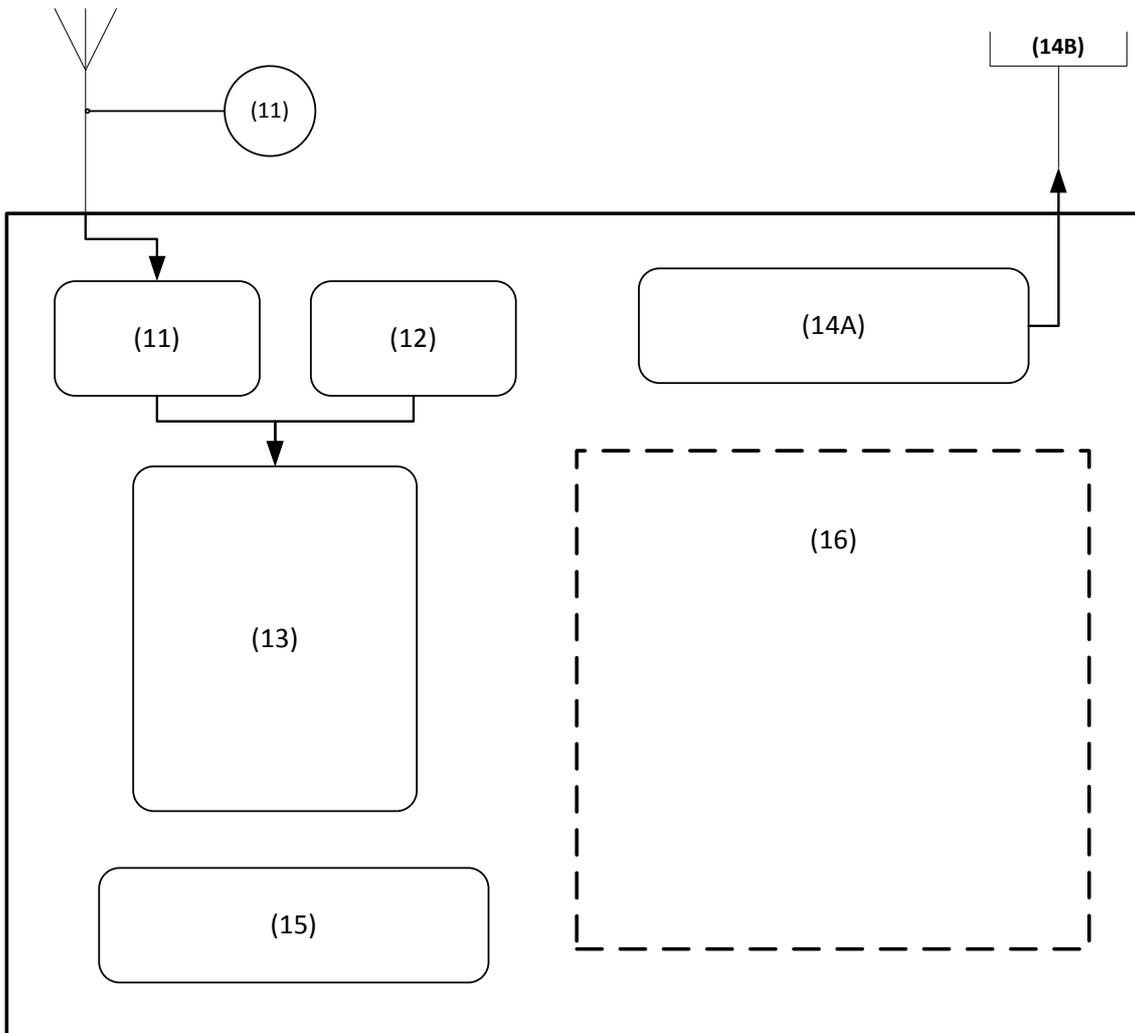


Fig. 3

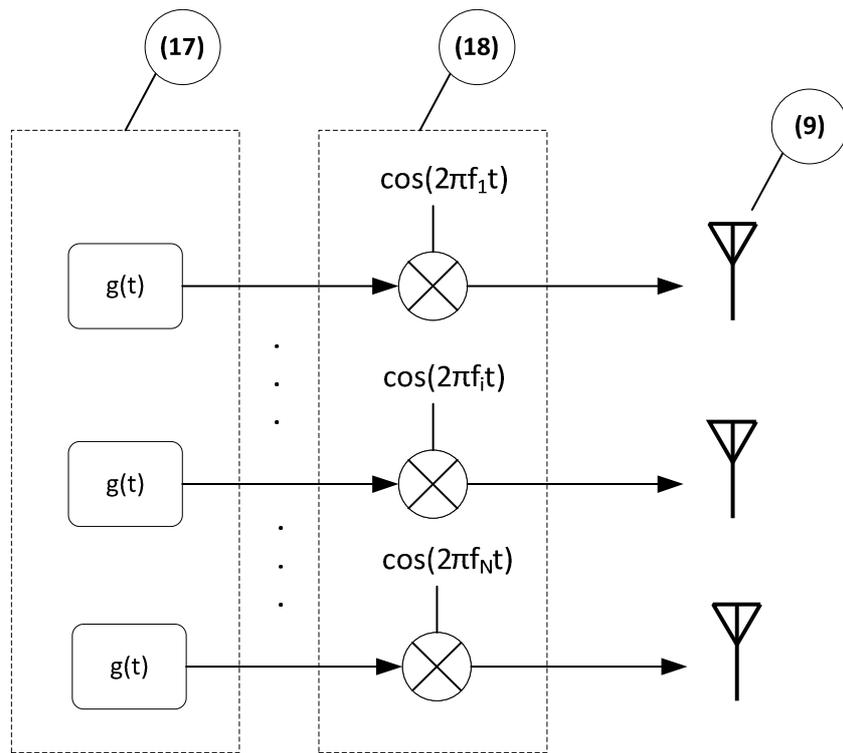


Fig. 4

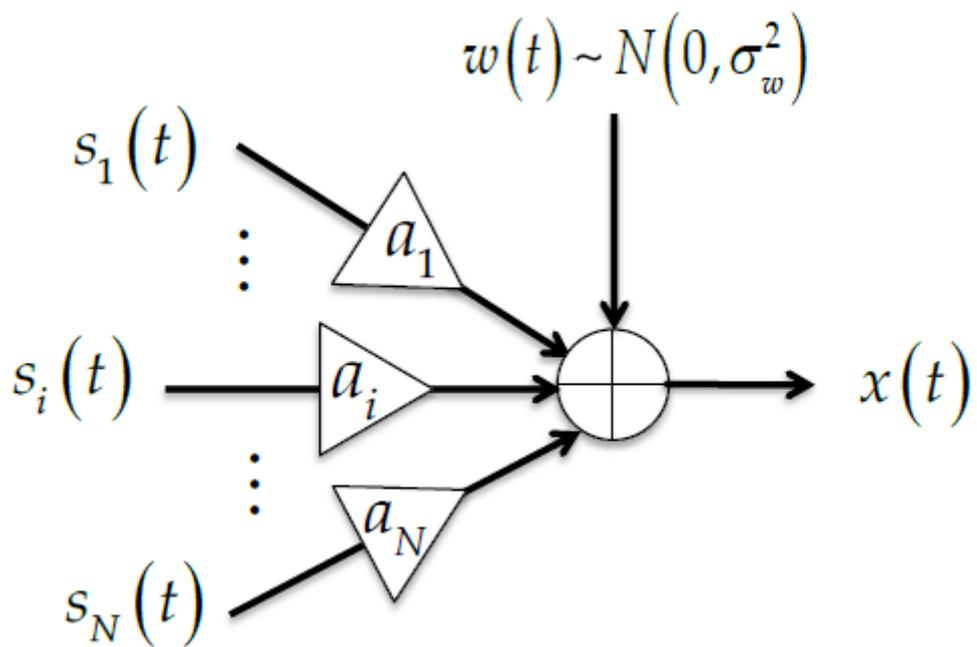


Fig. 5

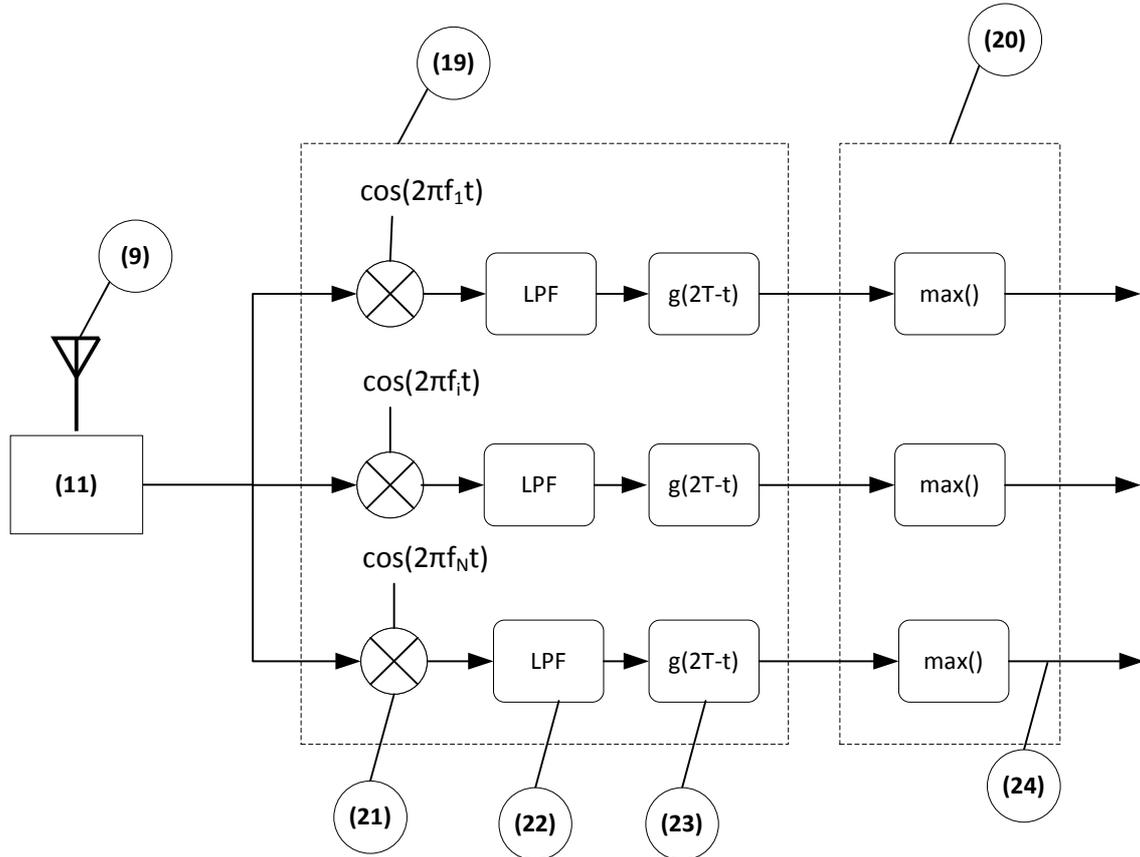


Fig. 6

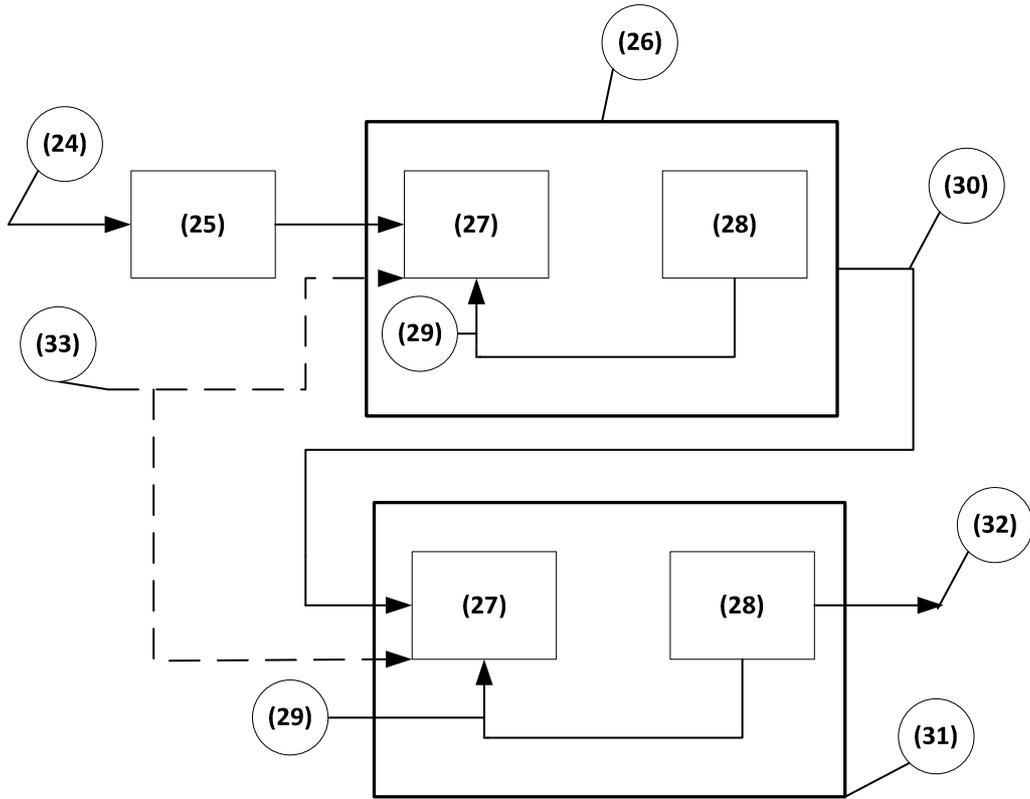


Fig. 7

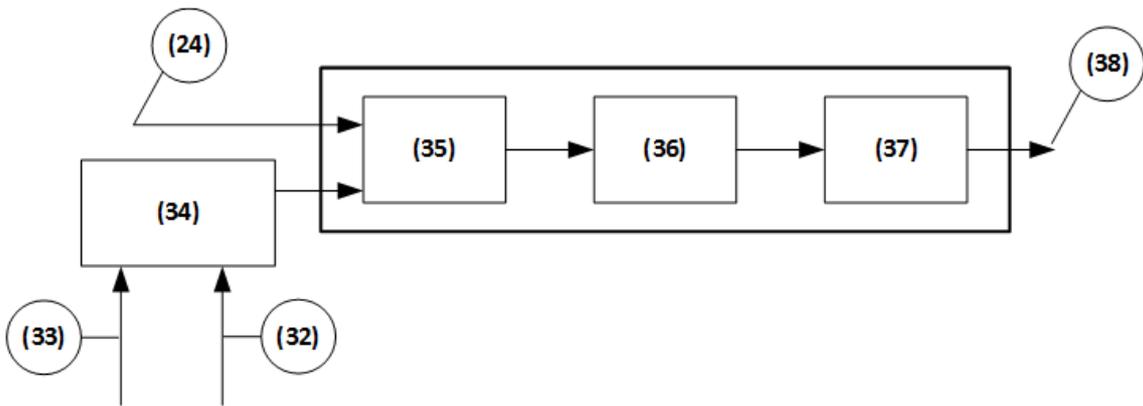


Fig. 8



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201631687

②② Fecha de presentación de la solicitud: 27.12.2016

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01S1/70** (2006.01)  
**G01S5/16** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	CN 205450257U U (CHENGDU IDEALSEE TECHNOLOGY CO LTD) 10/08/2016, párrafo [0046]; párrafos [0054- 0056]; párrafo [0069]; párrafos [0073 - 0083]; Figuras 1, 3, 6,7, 9 y 14. Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE [Recuperado el 27-02-2018].	1-2

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

**Fecha de realización del informe**  
28.02.2018

**Examinador**  
E. P. Pina Martínez

**Página**  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01V, G01S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 28.02.2018

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 2	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1,2	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	CN 205450257U (CHENGDU IDEALSEE TECHNOLOGY CO LTD)	10.08.2016

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

Se considera D01 el documento del estado de la técnica más próximo al objeto de la solicitud. Este documento afecta a los requisitos de patentabilidad de las reivindicaciones 1 y 2 tal y como se explica a continuación.

**Reivindicación 1**

Con respecto al objeto de la reivindicación 1, el documento D01 describe el siguiente sistema (se incluyen entre paréntesis referencias a D01):

Sistema interior de localización en entornos metálicos mediante el empleo de campos magnéticos de frecuencia baja constituido por los siguientes elementos:

A. Una red de balizas en la que cada baliza (2, fig. 1) consta de:

- Un módulo de comunicaciones inter-baliza (25, fig. 3)
- Un módulo de procesamiento (22, fig. 3) que genera la señal de baja frecuencia para su posterior transmisión por la antena transmisora (21, fig.3) y que estima la posición de la baliza en función de los datos recogidos por el módulo de comunicaciones (25, fig. 3) que aportan información de la posición relativa del resto de las balizas del sistema (párr. [0055], reivindicación 5)
- Un módulo de transmisión (24, fig. 3) donde se amplifica la señal de baja frecuencia para adaptarla a los niveles de tensión de la señal a transmitir
- Una antena de transmisión de señales de baja frecuencia provenientes del módulo de transmisión tras su acondicionamiento, consistente en un conductor tipo espira con una alta direccionalidad (fig. 4)
- Un módulo de comunicaciones digitales (25)

B. Un equipo móvil receptor (1, fig. 1) constituido por los siguientes elementos:

- Receptores de campo magnético triaxial (31, fig. 6; fig. 4) con una etapa de adaptación de la señal del sensor que consiste en amplificación y eliminación de ruido (32, fig. 6, párr. [0051])
- Sensores inerciales consistentes en acelerómetros y giróscopos (párr. [0083])
- Un módulo de procesamiento de datos (32, 33 fig. 6)
- Un módulo de comunicaciones (35, fig. 6)
- Una pantalla táctil (*Smart-phone*, ejemplo 1, párr. [0046])

C. Un sistema de comunicación inter-balizas (párr. [0054]-[0056])

A la vista de lo anterior, todas las características estructurales que definen el sistema reivindicado se encuentran idénticamente descritas en el documento D01 y por tanto, la reivindicación 1 no satisface el requisito de novedad, según lo establecido en el art. 6.1 de la Ley de Patentes 11/86.

**Reivindicación 2**

En cuanto al objeto de la reivindicación 2, el documento D01 describe el siguiente procedimiento (se incluyen entre paréntesis referencias a D01):

Procedimiento de localización (ver ejemplo 2, párr. [0073]-[0083]) apto para entornos metálicos que comprende la siguiente secuencia de operaciones (fig. 14):

- A. Cada una de las balizas disponibles en la red, emite una onda magnética continua de baja frecuencia y amplitud constante (A0, A1, A2, fig. 7; S101, fig. 14)
- B. El receptor lleva a cabo la estimación de posición, identificando unívocamente la procedencia de las señales recibidas de cada una de las balizas mediante el método de control de acceso múltiple por división en frecuencia (método 3, párr. [0069]; S103, fig. 14)
- C. El equipo receptor (sensor magnético triaxial, 31, fig. 4) capta y adapta estas señales mediante amplificación y filtrado (32)
- D. Las señales son convertidas al dominio digital usando un convertidor analógico digital (AD, fig. 9)
- E. La señal digitalizada es posteriormente procesada en el módulo de procesamiento (DSP, fig. 9) para obtener los valores de amplitud de las señales transmitidas
- H. La información obtenida se representa en el *display* del equipo receptor a través de una interfaz de usuario (*Smart-phone*, ejemplo 1, párr. [0046])

La diferencia entre lo anterior y el procedimiento reivindicado en la solicitud reside en una serie de operaciones comprendidas en las etapas E-G, referidas al tratamiento de señales digitales, tales como, por ejemplo, el filtrado de la componente continua, la ecualización o la aplicación de algoritmos conocidos, como el de Newton-Raphson.

Todas estas operaciones se consideran operaciones habituales para un experto en la materia enfrentado al tratamiento de señales digitalizadas y cuya implementación no supone una contribución técnica ni implica un efecto técnico distinto al esperado.

En consecuencia, se considera que la reivindicación 2 no satisface el requisito de actividad inventiva, tal y como se establece en el art. 8.1 de la Ley de Patentes 11/86.

En conclusión, a la vista del estado de la técnica anterior, la solicitud no cumple los requisitos de patentabilidad que se establecen en el art. 4.1 de la Ley de Patentes 11/86.