

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 940 242**

21 Número de solicitud: 202131028

51 Int. Cl.:

G01S 17/00

(2010.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

02.11.2021

43 Fecha de publicación de la solicitud:

04.05.2023

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ (100.0%)
Plaza de San Diego, s/n
28801 Alcalá de Henares (Madrid) ES

72 Inventor/es:

UREÑA UREÑA, Jesús;
HERNÁNDEZ ALONSO, Álvaro;
APARICIO ESTEVE, Elena;
VILLADANGOS CARRIZO, José Manuel;
GARCÍA DOMÍNGUEZ, Juan Jesús;
JIMÉNEZ MARTÍN, Ana y
PÉREZ RUBIO, María Del Carmen

54 Título: **SISTEMA Y PROCEDIMIENTO DE POSICIONAMIENTO DE ALTA VELOCIDAD CON EMISORES MÓVILES TIPO LEDS Y RECEPTORES ESTÁTICOS TIPO FOTODIODOS EN CUADRANTES**

57 Resumen:

Esta invención describe un sistema de posicionamiento óptico (visible e infrarrojos) de alta velocidad basado en emisores móviles tipo LED y receptores estáticos consistentes en arrays de fotodiodos organizados en cuadrantes (tipo QADA). Los emisores transmiten simultáneamente sin interferencia mutua mediante el empleo de técnicas de codificación y modulación. En los receptores se emplea una apertura con una forma geométrica conocida, preferentemente cuadrada, que permita a partir de la medida de las zonas iluminadas en los fotodiodos estimar los ángulos de llegada (o de impacto) de los haces de luz en cada receptor. Finalmente, y para aquellos entornos con al menos 2 receptores convenientemente distribuidos, se obtiene la posición 3D del emisor LED mediante triangulación. Además, en el caso de que un objeto o persona dispongan de al menos 3 emisores LED dispuestos en una configuración geométrica conocida, se determina la pose 3D de dicho objeto o persona.

ES 2 940 242 A1

DESCRIPCIÓN**SISTEMA Y PROCEDIMIENTO DE POSICIONAMIENTO DE ALTA VELOCIDAD CON EMISORES MÓVILES TIPO LEDS Y RECEPTORES ESTÁTICOS TIPO FOTODIODOS EN CUADRANTES**

5

SECTOR DE LA TÉCNICA

La invención pertenece al área técnica de la tecnología electrónica y las comunicaciones. Dentro de esta área, y atendiendo a su aplicación, se encuadra en el campo de sistemas de posicionamiento y navegación.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Los primeros sistemas de posicionamiento en interiores, también conocidos como sistemas de posicionamiento local, datan de la década de los años noventa, surgiendo como alternativa a los sistemas GNSS (Global Navigation Satellite Systems), que proporcionan un posicionamiento adecuado en exteriores, pero presentan limitaciones en espacios interiores o con cobertura reducida.

15

En su desarrollo se han ido empleando diferentes tecnologías sensoriales. Los sistemas acústicos emplean el sonido y/o los ultrasonidos para determinar la posición de objetos o personas en un rango centimétrico, a partir de la medida de los tiempos de vuelo [A. R. J. Ruiz and F. Seco, “*Precise localisation of archaeological findings with a new ultrasonic 3D positioning sensor*”, Sensors and Actuators A, Phys., vol. 123–124, pp. 224–233, 2005), o las diferencias en tiempos de vuelo [Y. Cheng, X. Wang, T. Caelli, and B. Moran, “*Target tracking and localization with ambiguous phase measurements of sensor networks*,” in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. (ICASSP), pp. 4048–4051, 2011] entre emisores y receptores. Otra alternativa son los sistemas mecánicos, donde las IMUs (Inertial Measurement Unit) permiten determinar velocidades y direcciones de movimientos, a partir de sus acelerómetros y giróscopos [A. R. J. Ruiz, F. S. Granja, J. C. Honorato, and J. I. Rosas, “*Pedestrian indoor navigation by aiding a foot-mounted IMU with RFID signal strength measurements*,” in Proc. Int. Conf. Indoor Positioning Indoor Navigation (IPIN), pp. 1–7, 2010], presentando un error acumulativo que implica su combinación habitual con otras tecnologías. También los sensores magnéticos han sido empleados para medir el campo magnético natural terrestre, u otros campos artificiales provocados por elementos constructivos metálicos, y utilizar esa información para el posicionamiento [J. Haverinen and A. Kemppainen, “*Global*”

20

25

30

35

indoor self-localization based on the ambient magnetic field,” Robot. Autonom. Syst., vol. 57, no. 10, pp. 1028–1035, 2009].

Otra tecnología predominante en el sector es la radio-frecuencia (RF), debido al uso que hace de una infraestructura que en la mayoría de los casos ya se encuentra desplegada [R. Mautz, “*Indoor positioning technologies*,” M.S. thesis, Dept. Civil, Environ. Geomatic Eng., Inst. Geodesy Photogramm., ETH Zurich, Zürich, Switzerland, 2012.]. Sin embargo, en las distintas variedades existentes (Wi-Fi, BLE, UWB, 5G, etc.), su precisión y rendimiento final dependen en gran medida de factores como los niveles de potencia, el rango de las señales, o los métodos empleados (*signal strength fingerprinting*, determinación de tiempos de vuelo, etc.). En cuanto a los sistemas ópticos, éstos pueden ser sistemas pasivos, que detectan marcas con iluminación natural, o activos, que emplean iluminación con emisores de luz visible o infrarroja. Habitualmente el transmisor es siempre una lámpara o un conjunto de diodos LED, mientras que en el receptor pueden emplearse sensores o cámaras capaces de capturar imágenes [G. Simon, G. Zachár, and G. Vakulya, “*Lookup: Robust and accurate indoor localization using visible light communication*,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 66, no. 9, pp. 2337–2348, 2017], o fotodetectores, de forma individual o en *arrays* [T. Q. Wang, Y. A. Sekercioglu, A. Neild, and J. Armstrong, “*Position accuracy of time-of-arrival based ranging using visible light with application in indoor localization systems*,” J. Lightw. Technol., vol. 31, no. 20, pp. 3302–3308, 2013]. Un caso particular de éstos es el dispositivo QADA (*Quadrant photodiode Angular Diversity Aperture*). En [S. Cincotta, C. He, A. Neild, and J. Armstrong, “*High angular resolution visible light positioning using a quadrant photodiode angular diversity aperture receiver (QADA)*,” Opt. Express, vol. 26, no. 7, p. 9230, 2018] se propone el uso de una detector QADA junto con una apertura rectangular para simplificar el análisis matemático de los puntos de impacto que permite determinar los ángulos de llegada (AoA) desde un transmisor, para así estimar su posición. En [E. Aparicio-Esteve, A. Hernández, J. Ureña, J. M. Villadangos, *Visible Light Positioning System Based on a Quadrant Photodiode and Encoding Techniques*, IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement, vol. 69, no. 8, pp. 5589–5603, 2020] se amplía este estudio mediante la codificación de la señal para permitir la convivencia de varias transmisiones simultáneas, cada una de ellas asociadas a un código unívoco.

En este sentido, aunque es posible aplicar otros métodos basados en tiempos de llegada (ToA) o diferencias de tiempo de llegada (TDoA) mencionados anteriormente, éstos suelen presentar el inconveniente de que, debido a la elevada velocidad de propagación de la luz,

cualquier imprecisión en la determinación de los mismos conlleva elevados errores en el posicionamiento final [H. Steendam, T. Q. Wang, and J. Armstrong, “*Theoretical lower bound for indoor visible light positioning using received signal strength measurements and an aperture-based receiver*,” J. Lightw. Technol., vol. 35, no. 2, pp. 309–319, 2017]. Los métodos basados en RSS suelen tener un corto alcance [P. H. Pathak, X. Feng, P. Hu, and P. Mohapatra, “*Visible light communication, networking, and sensing: A survey, potential and challenges*,” IEEE Commun. Surv. Tuts., vol. 17, no. 4, pp. 2047–2077, 2015], y una cobertura limitada, debido a las múltiples reflexiones y el efecto del multicamino; mientras que los basados en AoAs [C. Wang, L. Wang, X. Chi, S. Liu, W. Shi, and J. Deng, “*The research of indoor positioning based on visible light communication*,” China Commun., vol. 12, no. 8, pp. 85–92, 2015] suelen presentar aproximaciones más sencillas con montajes que evitan las limitaciones anteriores a partir de tres medidas, y sin necesidad de sincronismo entre emisores y receptores.

En cuanto al uso de sistemas activos con luz visible o infrarroja para posicionamiento, esta solución presenta la ventaja de que los emisores luminosos se encuentran ya disponibles en la mayoría de los recintos y salas interiores, a través de la propia iluminación, y como receptores muchas veces se pueden usar dispositivos inteligentes tipo teléfono inteligente o tableta, por lo que no requieren el despliegue de infraestructura adicional o ésta es más limitada. Además, los sistemas ópticos suelen presentar precisiones comparables a los ultrasonidos, normalmente en el rango de centímetros. Existen soluciones comerciales de elevado coste, para su uso en entornos acotados, que hacen uso de sistemas de cámaras con iluminación infrarroja, como los sistemas VICOR (www.vicor.es) u Optitrack (www.optitrack.com), pero éstos requieren un despliegue complejo.

En [D. A. Tavares Cavalcanti, A. Soomro, J. Wang, *Emergency response and tracking using lighting networks*, Patent No.: US 10.297.140 B2, 2019] se propone un sistema de posicionamiento simbólico, donde cada uno de los puntos habituales de iluminación de un espacio interior es codificado con identificador propio, que un receptor puede adquirir. Este mismo receptor proporciona el identificador detectado a un servidor a través de una red local, siendo posible así conocer al menos la habitación donde se encuentra el receptor. De forma similar, en [S.-B. Park, D.-K. Jung, H.-S. Shin, J.-S. Choi, K.-W. Lee, K.-U. Song, *Indoor navigation method and system using illumination lamps*, Patent No.: US 8.510.033 B2, 2013] se propuso un posicionamiento de granularidad gruesa a partir de la asignación de identificadores individuales a los distintos puntos de iluminación de un espacio interior, que no

compartían la misma zona de cobertura. Anteriormente, en [R. Want, D. Goldberg, A. G. LaMarca T. A. Cass, M. D. Weiser, *Infrared beacon positioning system*, Patent No.: US 6.292.744 B1, 2001] se plantea una solución similar, a partir de lámparas incandescentes comerciales a las que se acopla un transmisor de infrarrojos, que se encarga de emitir un
 5 identificador que pueda ser detectado por el receptor que quiere posicionarse de forma simbólica, tanto en ambientes interiores como exteriores.

La novedad de [J.-H. Ann, J.-S. Son, E.-T. Won, *System and method for navigation using visible light communications*, Patent No.: US 7.970.537 B2, 2011] radica en que los emisores
 10 pueden compartir una misma área de cobertura, pudiéndose implementar mapas de intensidades para posicionamiento (*fingerprinting*). En esta misma línea, en [D. Ryan, K. E. Green, E. P. Malandrakis, K. Klitenik, *System and method for communication with a mobile device via a positioning system including RF communication and modulated beacon light sources*, Patent No.: US 9.876.568 B2, 2018] se introduce el concepto de modulación de las
 15 transmisiones lumínicas en el área de cobertura, a la vez que un enlace RF permite obtener el identificador de cada emisor.

Todas estas patentes describen esquemas en los que los emisores se encuentran instalados en el entorno, muchas veces como parte de la iluminación necesaria en el recinto, mientras
 20 que el receptor se halla a bordo del objeto, móvil o persona que debe posicionarse.

Asimismo, cabe mencionarse que es posible encontrar en publicaciones científicas numerosas soluciones híbridas, incorporando tecnologías ópticas con otras, tratando así de fusionar las ventajas de cada una de ellas y de minimizar los inconvenientes.

25 **EXPLICACIÓN DE LA INVENCION**

Esta invención presenta un sistema de posicionamiento óptico de alta velocidad para espacios interiores y exteriores basado en emisores móviles tipo LED, y en receptores en posiciones estáticas basados en fotodiodos organizados en cuadrantes (QADA). Los receptores son capaces de detectar las transmisiones simultáneas de los emisores LED, y mediante la
 30 determinación de los ángulos de llegada de esas transmisiones, y la posterior triangulación, estimar la posición final y la pose de un determinado objeto o persona, cuando éste consta de varios emisores con una determinada configuración geométrica.

Los emisores se ubican sobre el objeto o persona a posicionar en número variable, teniendo
 35 en cuenta que es necesario un mínimo de tres emisores para que el sistema sea capaz de

estimar posición y pose del activo posicionado. El sistema habilita la transmisión simultánea de todos los emisores LED sin interferencia cruzada mediante la codificación de las transmisiones con un código propio para cada emisor (como pueden ser las secuencias pseudo-aleatorias, los conjuntos complementarios de secuencias, etc., y en general cualquier
5 secuencia con buenas propiedades de autocorrelación y correlación cruzada), así como mediante la aplicación de una modulación que permita adaptar el código de cada emisor al ancho de banda disponible y a las características del mismo. Estas técnicas de codificación permitirán que un solo objeto o persona pueda disponer de varios emisores para determinar posición o pose, o que en un mismo entorno sea posible la coexistencia de varios objetos o
10 personas a localizar minimizando las interferencias entre ellos.

Los receptores se ubican en el entorno en posiciones estratégicas para maximizar la cobertura del despliegue (normalmente en planos perpendiculares, como paredes o techos). Cada conjunto receptor consiste en *arrays* de fotodiodos, cada uno con un área sensible dividida en
15 cuadrantes, sobre los que incide el haz de luz emitida por cada emisor. Dicho haz pasa a través de una apertura cuadrangular, que existirá en cada fotodiodo, paralela a la superficie sensora, centrada con su eje óptico y separada una distancia h_{ap} , que proyecta un área iluminada de forma cuadrada sobre la superficie de cada fotodiodo que depende del ángulo de incidencia del haz. La medida independiente de las intensidades recibidas en cada
20 cuadrante del fotodiodo, en función del área finalmente iluminada, permite estimar el ángulo de llegada de la transmisión de cada uno de los emisores LED existentes sin interferencia entre ellos. La forma de estimar el ángulo de llegada es obteniendo las coordenadas del punto central del área iluminada. Para ello, la señal recibida en cada fotodiodo será procesada mediante técnicas de correlación (filtro acoplado) para identificar las secuencias/códigos
25 correspondientes a cada emisor.

Una vez determinados los ángulos de llegada para cada emisor en cada uno de los receptores del sistema (al menos dos), se estima la posición de cada uno de ellos mediante triangulación, y en el caso de que un objeto o persona tenga varios emisores (al menos tres) con una
30 configuración geométrica conocida, se determina la pose final del mismo. A idénticos resultados se llega también aplicando técnicas de homografía para obtener esa posición y pose (algoritmos PnP, *perspective-n-points*).

En esta invención, las transmisiones mencionadas anteriormente se encuentran moduladas
35 con portadoras que pueden llegar hasta los MHz, mientras que las longitudes típicas de las

secuencias empleadas en la codificación también se pueden ajustar en valores relativamente bajos (algunas decenas de bits), dependiendo de las condiciones de relación señal a ruido en el entorno. Esto lleva a que se pueda realizar una transmisión nueva, y por tanto una nueva estimación de posición y pose en el sistema, con frecuencias de actualización de hasta miles de veces por segundo.

Todo el proceso anteriormente descrito se puede resumir, considerando un emisor i -ésimo y un receptor j -ésimo genéricos, en los siguientes pasos:

1. El diodo i -ésimo emite la señal correspondiente a su código de modo sincronizado con el resto de emisores.
2. El haz lumínico pasa a través de la apertura cuadrangular del receptor j -ésimo e ilumina una superficie cuadrada sobre el sensor, ocupando un área determinada en cada cuadrante del mismo, $A_{1,j,i}$, $A_{2,j,i}$, $A_{3,j,i}$ y $A_{4,j,i}$, donde el primer subíndice hace alusión al cuadrante (1, 2, 3 y 4), el segundo al receptor (j) y el tercero al emisor (i). La energía recibida en cada cuadrante es detectada a partir de las cuatro fotocorrientes generadas por el sensor. A partir de ello, se obtienen los dos parámetros, $p_{x,j,i}$ y $p_{y,j,i}$, definidos en (1) y (2):

$$p_{x,j,i} = \frac{(A_{1,j,i} + A_{4,j,i}) - (A_{2,j,i} + A_{3,j,i})}{A_{1,j,i} + A_{2,j,i} + A_{3,j,i} + A_{4,j,i}} \quad (1)$$

$$p_{y,j,i} = \frac{(A_{1,j,i} + A_{2,j,i}) - (A_{3,j,i} + A_{4,j,i})}{A_{1,j,i} + A_{2,j,i} + A_{3,j,i} + A_{4,j,i}} \quad (2)$$

3. Se puede definir un sistema de referencia local, $(X_{r,j}, Y_{r,j}, Z_{r,j})$, en cada receptor QADA y centrado sobre el mismo, donde el sensor está sobre el plano $(X_{r,j}, Y_{r,j})$, definiendo el primer cuadrante del mismo los valores positivos de ambas variables. Sobre dicho sistema, el centro del área cuadrada iluminada por el emisor i -ésimo puede obtenerse como $(x_{r,j,i}, y_{r,j,i})$, dada por (3):

$$\begin{bmatrix} x_{r,j,i} \\ y_{r,j,i} \end{bmatrix} = -\frac{l}{2} \cdot \lambda_j \cdot \begin{bmatrix} p_{x,j,i} + \delta_j \cdot p_{y,j,i} \\ -\delta_j \cdot p_{x,j,i} + p_{y,j,i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_{c,j} \\ y_{c,j} \end{bmatrix} \quad (3)$$

En la ecuación anterior, l es el lado de la apertura, λ_j depende de la desviación de la separación nominal entre el sensor y la apertura, δ_j es el ángulo de desalineamiento entre la orientación de los lados de la apertura y los ejes de los cuadrantes del sensor y $(x_{c,j}, y_{c,j})$ es el posible descentramiento del centro de la apertura respecto al centro óptico del sensor. Todos estos parámetros pueden ser ajustados mediante un procedimiento de calibración.

4. Se puede definir un sistema de referencia global (XYZ) alineado con el sistema de

referencia local, de modo que las coordenadas del centro óptico del sensor j-ésimo fuesen (X_j, Y_j, Z_j) , en este caso con $Z_j = 0$, y las coordenadas del emisor i-ésimo $(X_{t,i}, Y_{t,i}, Z_{t,i})$. Nótese que esta restricción no resta generalidad al proceso, toda vez que siempre se puede aplicar un paso adicional de rotación y traslación de sistemas de referencia. Teniendo en cuenta que el punto central obtenido en (3) sería el de incidencia de un rayo que, proviniendo del emisor i-ésimo, pasa por el centro de la apertura del receptor j-ésimo, se puede obtener por triangulación la siguiente ecuación (4):

$$y_{r,j,i} \cdot (X_j - X_{t,i}) = x_{r,j,i} \cdot (Y_j - Y_{t,i}) \quad (4)$$

5. Disponiendo de al menos dos receptores, se puede construir un sistema de ecuaciones para obtener la abscisa y la ordenada del emisor $(X_{t,i}, Y_{t,i})$, que estará sobredimensionado si, además, hay más de un emisor. El sistema se puede resolver por minimización, por ejemplo, usando la expresión (5):

$$(X_{t,i}, Y_{t,i}) = (\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{b} \quad (5)$$

Definiéndose cada fila de la matriz $\mathbf{A}$ (cuya transpuesta es $\mathbf{A}^T$) de dimensiones $(I \cdot J) \times 2$, siendo I el número total de emisores y J el número total de receptores, como $(-y_{r,j,i} \ x_{r,j,i})$; y cada fila de la matriz $\mathbf{b}$, de dimensiones $(I \cdot J) \times 1$ como $(Y_j \cdot x_{r,j,i} - X_j \cdot y_{r,j,i})$.

6. Una vez obtenidas las coordenadas $(X_{t,i}, Y_{t,i})$ de cada emisor, se puede también triangular para obtener la coordenada $Z_{t,i}$, con la misma consideración de que el punto central obtenido en (3) sería el de incidencia de un rayo que, proviniendo del emisor i-ésimo, pasa por el centro de la apertura del receptor j-ésimo. Así, se puede obtener la expresión (6) a partir de cada medida de un emisor-receptor y, finalmente, promediarlas para obtener el valor final.

$$Z_{t,i} = h_{ap} \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{(X_{t,i} - X_j)^2 + (Y_{t,i} - Y_j)^2}{x_{r,j,i}^2 + y_{r,j,i}^2}} \right) \quad (6)$$

7. A partir de las coordenadas de varios emisores, si los mismos guardan una relación geométrica entre ellos conocida, se puede obtener la pose (posición y orientación) del activo posicionado. De este modo, con dos emisores se puede establecer la pose en 2D y, con tres, la pose en 3D.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego

de figuras en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1: muestra un esquema del sistema de posicionamiento óptico, tanto la parte emisora a bordo del activo a localizar, como los arrays receptores fijos en el entorno, y los bloques de procesamiento asociados a los mismos.

Figura 2: representa la geometría seguida para caracterizar el sistema suponiendo un emisor genérico i -ésimo (2.1) y un receptor genérico (2.3), incluyendo los sistemas de referencia involucrados, y la relación entre las posiciones, y las áreas iluminadas.

A continuación se proporciona una lista de los distintos elementos representados en las figuras:

- 1.1 Emisores lumínicos tipo LEDs.
- 1.2 Codificación y modulación de emisores.
- 1.3 Amplificadores para excitación de LEDs.
- 1.4 Receptores lumínicos.
- 1.5 Demodulación y filtros acoplados.
- 1.6 Puntos centrales de impacto de cada emisión.
- 1.7 Cálculo de la posición del array de emisores LEDs.
- 2.1 Emisor i -ésimo.
- 2.2 Coordenadas sobre el sistema de referencia global XYZ.
- 2.3 Receptor j -ésimo.
- 2.4 Sistema de referencia local.
- 2.5 Área sensora.
- 2.6 Área iluminada.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La invención define el diseño e implementación de un sistema de posicionamiento óptico de alta velocidad.

En la figura 1 se muestra un esquema del sistema de posicionamiento óptico compuesto por un conjunto de emisores lumínicos tipo LEDs (1.1) a bordo del activo (persona, objeto móvil, dron, etc.) a localizar. Cada uno de estos emisores lumínicos modula su emisión para ajustarse al ancho de banda de los sensores, así como del canal deseado, y emplea en la transmisión una secuencia para su codificación (1.2). Esta codificación permitirá la emisión

simultánea de varios emisores, y su posterior identificación en la recepción, evitando la interferencia cruzada. Para ello, se pueden emplear secuencias pseudo-aleatorias, códigos derivados de los conjuntos complementarios de secuencias, y otras familias de secuencias disponibles con prestaciones similares. Tras esta etapa, cada emisor lumínico tiene su correspondiente etapa de excitación (driver) (1.3).

El sistema de posicionamiento óptico también consta de receptores lumínicos (1.4) que son instalados adecuadamente en la zona en la cual se quiere llevar a cabo el posicionamiento para proporcionar la cobertura deseada. Cada receptor estará formado por dos o más fotodiodos ópticos tipo QADA, con una distribución geométrica conocida que permita estimar el ángulo de llegada (Angle-of-Arrival, AoA) de la luz procedente de cada emisor lumínico (1.1) respecto a cada QADA. Para ello, la señal recibida es demodulada, y correlada (filtro acoplado) (1.5), de forma que a partir de la energía lumínica estimada es posible determinar el punto central de impacto de la emisión (1.6) en el fotodiodo QADA, y consecuentemente el AoA. Combinando los AoAs de varios emisores lumínicos, sobre varios fotodiodos QADA, es posible determinar la posición y pose del activo móvil que porta los emisores lumínicos (al menos dos receptores para el caso de posicionamiento en tres dimensiones y al menos tres emisores para la estimación completa de pose en 3D) (1.7).

En la figura 2 se representa la geometría seguida para caracterizar el sistema suponiendo un emisor genérico i -ésimo (2.1), cuyas coordenadas sobre el sistema de referencia global XYZ (2.2) son $(X_{t,i}, Y_{t,i}, Z_{t,i})$, y un receptor, también genérico, j -ésimo (2.3), cuyo centro sensor está ubicado en coordenadas (X_j, Y_j, Z_j) , siendo en este caso $Z_j = 0$. En dicho centro se ubica un sistema de referencia local $(X_{r,j}, Y_{r,j}, Z_{r,j})$ (2.4), cuyos ejes están alineados con los del sistema general. El área sensora (2.5) está dividida en cuatro cuadrantes, también alineados con los sistemas de referencia. A una separación $z_{r,j} = h_{ap}$, hay una apertura cuadrada que deja pasar un haz de luz proveniente del emisor y que incide sobre el sensor QADA iluminando un área cuadrada (2.6) cuyo centro está desviado respecto al centro del sensor, de modo que sus coordenadas en el sistema de referencia local son $(x_{r,j,i}, y_{r,j,i})$. Dichas coordenadas, que son la base para la aplicación del algoritmo de posicionamiento, pueden obtenerse a partir de las áreas iluminadas en cada uno de los cuadrantes del sensor, denotadas como $A_{1,j,i}$, $A_{2,j,i}$, $A_{3,j,i}$ y $A_{4,j,i}$, donde el primer subíndice hace alusión al cuadrante 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Los emisores móviles están constituidos por diodos LEDS, que pueden ser del espectro tanto visible como infrarrojo. En la realización preferente, cada emisor tiene asignada una secuencia

Kasami de 63, 255 o 1023 bits, o LS de 71, 287 o 1151 bits, y la señal emitida es transmitida por desplazamiento de fase binaria BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) con una portadora cuadrada de 250 kHz. Esto conlleva que cada emisión tiene una duración aproximada de entre 0.25 y 4 ms. Los emisores son controlados por un sistema digital basado en un microcontrolador LPC1768 de bajo coste, así como en un amplificador de potencia.

En cuanto al receptor, se emplea uno tipo QADA, con una superficie sensible de unos 47.12 mm² dividida en cuadrantes, sobre el que se ubica una apertura con un cuadrado de lado 2.75 mm. Dicha apertura está separada de la superficie sensible 2.6 mm. Cada una de las señales recibidas por los fotodiodos es acondicionada y muestreada a una frecuencia de 2.5 MHz. Estas señales son procesadas (demodulación y filtro acoplado), hasta estimar los ángulos de llegada. A partir de estos AoAs se estima la posición y pose del activo que porta los emisores mediante un sistema digital con suficiente capacidad computacional, que puede estar basado en una arquitectura PC convencional, en procesadores tipo ARM, o en dispositivos FPGA. Este sistema digital procesa en tiempo real cada nueva muestra enviada por el sistema de adquisición con un intervalo de 400 ns, o bien almacena en un bloque de memoria una ventana de adquisición en la que al menos se captura una transmisión completa de los diodos LED, sobre la cual procesar, sin las restricciones del tiempo real, los ángulos de llegada de los haces de luz (en este último caso se reduce la tasa de estimación de la posición). Con la frecuencia de adquisición de 250 kHz y códigos de 1023 bits, para una detección continua de la señal recibida con las codificaciones de los diodos LEDs, el tamaño del bloque de memoria debe ser de 10.230 posiciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de posicionamiento de alta velocidad con emisores móviles tipo LEDs y receptores estáticos tipo fotodiodos en cuadrantes, que permite posicionar en 3D
5 activos móviles, personas, robots u objetos, que porten al menos tres emisores de luz visible o infrarroja, a partir de la distribución en el entorno de al menos dos receptores estáticos tipo cuadrante (fotodiodo QADA).
2. El procedimiento para la determinación de la posición 3D del activo a partir del sistema
10 de la reivindicación 1, el cual se caracteriza por:
 - a. Un esquema de modulación y codificación mediante secuencias binarias que habilita la transmisión simultánea desde todos los emisores LED existentes en el entorno, y su discriminación e identificación mediante técnicas de correlación (filtrado acoplado) en los fotodiodos QADA.
 - 15 b. El cálculo de los ángulos de llegada de los haces de luz provenientes desde cada emisor LED, mediante la aplicación de una apertura cuadrangular a los fotodiodos QADA, que permite discriminar la zona iluminada en cada cuadrante del fotodiodo QADA en función de su configuración geométrica.
 - c. El cálculo de la posición de cada emisor LED a partir de los ángulos de llegada
20 estimados en al menos dos fotodiodos QADA, mediante triangulación. Asimismo, el cálculo de la pose 3D del activo (persona u objeto) sobre la que se hayan acoplado un mínimo de tres emisores LED con una distribución geométrica conocida.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 2 para cualquier tipo de modulación, codificación o técnica de acceso simultáneo de varias transmisiones al mismo medio.
4. El sistema de la reivindicación 1 para cualquier tipo de dispositivos emisores y receptores de características similares, y para cualquier número y distribución de
30 emisores, sobre el activo móvil a posicionar, y receptores en el entorno.
5. El sistema de la reivindicación 1 para cualquier tipo de aplicación en que se requiera la posición de un activo móvil (persona y objeto), tanto en modo simbólico como bajo sistemas de coordenadas.
- 35 6. Para el sistema de la reivindicación 1, cualquier dispositivo de emisión de las señales de emisión descritas, así como el correspondiente de recepción, caracterizados por

- 5 implementar el esquema de codificación y modulación descrito mediante una lógica digital de control basada en dispositivos programables (microprocesadores, microcontroladores, FPGAs, etc.), un interfaz de comunicación para enviar los ángulos de llegada, posiciones y poses estimadas, además del resto de componentes necesarios para el acondicionamiento de los elementos descritos.

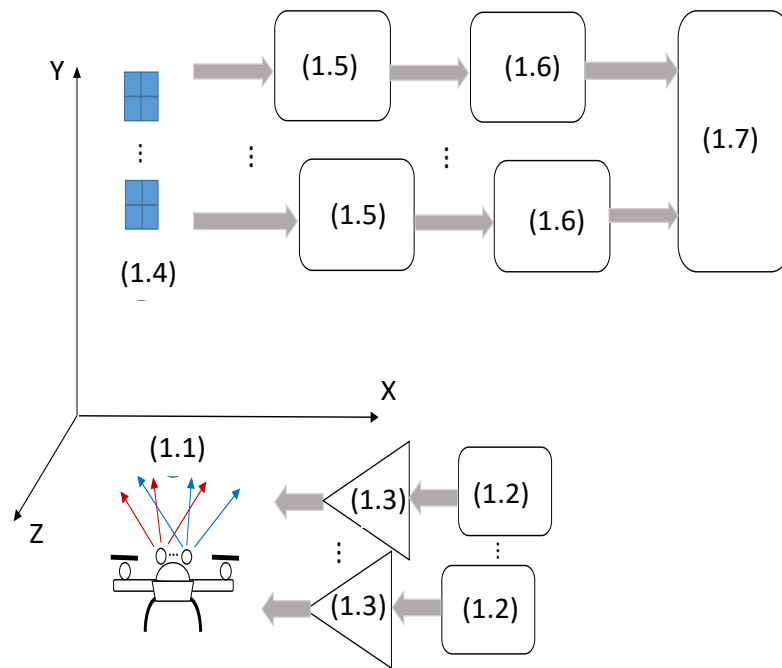


FIG. 1

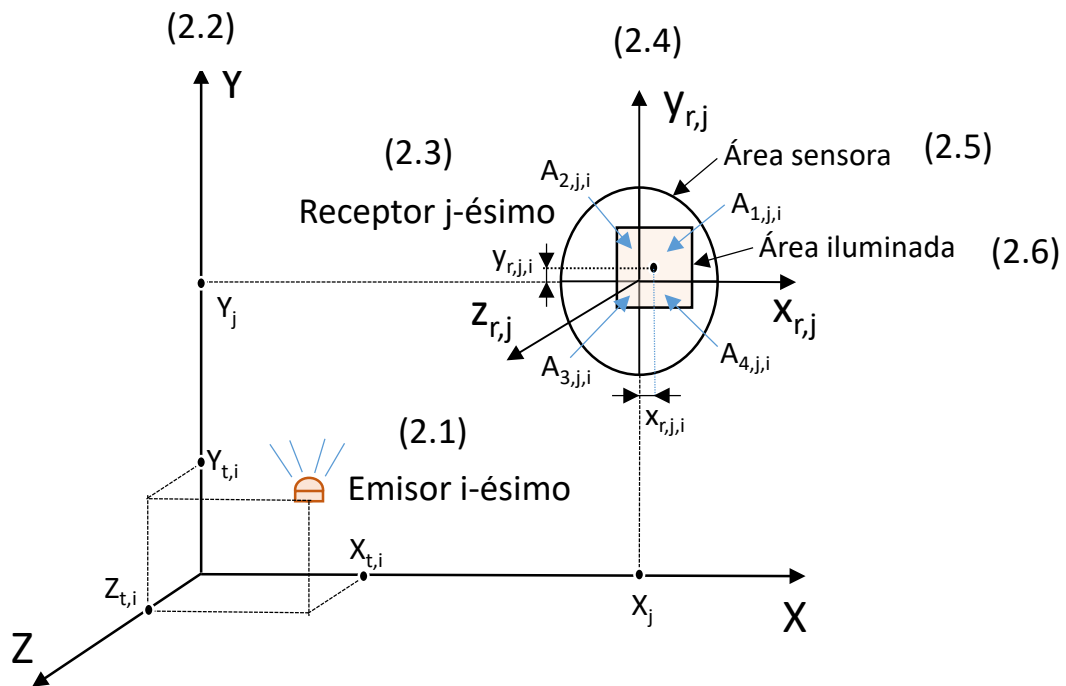


FIG. 2



- ②① N.º solicitud: 202131028
②② Fecha de presentación de la solicitud: 02.11.2021
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **G01S17/00** (2020.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	APARICIO-ESTEVE, ELENA et al.: "Visible Light Positioning System Based on a Quadrant Photodiode and Encoding Techniques". IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2019.12.30 IEEE, USA, 30/12/2019, Vol. 69, Nº 8, Páginas 5589 - 5603 [en línea][recuperado el 29-09-2022], ISSN 0018-9456, <DOI: doi:10.1109/TIM.2019.2962563>, abs., fig. 1, desc.: págs. 2-3.	1-6

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
30.09.2022

Examinador
G. Madariaga Domínguez

Página
1/2

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

G01S

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

WPI, EPODOC