

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual  
Oficina internacional



(10) Número de Publicación Internacional  
**WO 2016/102721 A1**

(43) Fecha de publicación internacional  
30 de junio de 2016 (30.06.2016) **WIPO | PCT**

- (51) Clasificación Internacional de Patentes:  
*G06T 7/00* (2006.01)
- (21) Número de la solicitud internacional:  
PCT/ES2015/000182
- (22) Fecha de presentación internacional:  
16 de diciembre de 2015 (16.12.2015)
- (25) Idioma de presentación: español
- (26) Idioma de publicación: español
- (30) Datos relativos a la prioridad:  
P201500011  
23 de diciembre de 2014 (23.12.2014) ES
- (71) Solicitante: **UNIVERSIDAD DE CANTABRIA** [ES/ES];  
Pabellón de Gobierno, Avda. de los Castros s/n, 39005 Santander (Cantabria) (ES).
- (72) Inventores: **VILLAR BONEL, Eugenio**; Dpto. Tecnología Electrónica e Ing. de Sistemas y, Automática. E.T.S.I. Industriales y Telecomunicaciones, Avda. de los Castros 46, 39005 Santander (Cantabria) (ES). **MARTINEZ MEDIAVILLA, Patricia M<sup>a</sup>**; Dpto. Tecnología Electrónica e Ing. de Sistemas y, Automática. E.T.S.I. Industriales y Telecomunicaciones, Avda. de los

Castros 46, 39005 Santander (Cantabria) (ES). **ALCALÁ GALÁN, Francisco José**; Dpto. Tecnología Electrónica e Ing. de Sistemas y, Automática. E.T.S.I. Industriales y Telecomunicaciones, Avda. de los Castros 46, 39005 Santander (Cantabria) (ES). **SÁNCHEZ ESPESO, Pablo Pedro**; Dpto. Tecnología Electrónica e Ing. de Sistemas y, Automática. E.T.S.I. Industriales y Telecomunicaciones, Avda. de los Castros 46, 39005 Santander (Cantabria) (ES). **FERNÁNDEZ SOLORZANO, Victor**; Dpto. Tecnología Electrónica e Ing. de Sistemas y, Automática. E.T.S.I. Industriales y Telecomunicaciones, Avda. de los Castros 46, 39005 Santander (Cantabria) (ES).

(81) Estados designados (*a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible*): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SPATIAL LOCALISATION USING LUMINOUS MARKERS FOR ANY ENVIRONMENT

(54) Título : MÉTODO W SISTEMA DE LOCALIZACIÓN ESPACIAL MEDIANTE MARCADORES LUMINOSOS PARA CUALQUIER AMBIENTE

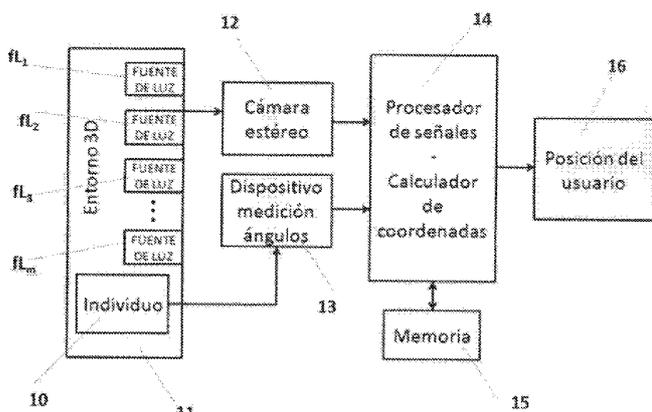


FIGURA 1

fl<sub>1</sub>, fl<sub>2</sub>, fl<sub>3</sub>, fl<sub>m</sub> LIGHT SOURCE  
10 Individual  
11 3D environment  
12 Stereo camera  
13 Angle-measuring device  
14 Signal processor - Coordinates calculator  
15 Memory  
16 Position of the user

(57) Abstract: The invention relates to a method and system for spatial localisation of an object (10) in a three-dimensional environment (11), comprising at least one luminous marker, comprising a stereo camera (12) for capturing a first image frame in a current moment and a second image frame in a previous moment, an angle-measuring device (13) for obtaining an angle of rotation of the object (10), a signal processor (14) with access to a memory (15) that stores, inter alia, a radius of the at least one marker detected in a real-time moment and in a previous moment n-1, said signal processor being configured to calculate coordinates (x-, y) of the object (10) in a moment in time i as follows: if the angle of rotation in the real-time moment and in the previous moment are different, (X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>)=(X<sub>n-1</sub>, Y<sub>n-1</sub>); if the two image frames are the same, (X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>)=(X<sub>n-1</sub>, Y<sub>n-1</sub>); in another case: if the radii are the same and there are a number of markers, (X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>) are calculated by means of triangulation using both image frames; if the radii are different and there are a number of markers, (X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>) are calculated by means of triangulation using a single image frame; if the radii are different and there is a single marker, (X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>) are calculated by means of stereo geometry; if the radii are the same and there is a single marker, (X<sub>n</sub>, Y<sub>n</sub>) are calculated using image coordinates of the marker in the current moment and in the previous moment.

(57) Resumen:

[Continúa en la página siguiente]

WO 2016/102721 A1



(84) **Estados designados** (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europea (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL,

PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publicada:**

— con informe de búsqueda internacional (Art. 21(3))

---

Método y Sistema de localización espacial de un objetivo (10) en un entorno (11) tridimensional que comprende al menos un marcador luminoso comprendiendo: - una cámara estéreo (12) para capturar una primera trama de imagen en un instante actual y una segunda trama de imagen en un instante anterior; - un dispositivo de medida de ángulos (13) para obtener un ángulo de giro del objetivo (10); - un procesador de señales (14) con acceso a una memoria (15) que almacena entre otros un radio del, al menos un; marcador detectado en un instante de tiempo actual  $n$  y en un instante de tiempo anterior  $n-1$  configurado para calcular unas coordenadas  $\{x-, y\}$  del objetivo (10) en un instante de tiempo  $i$  como sigue: - si el ángulo de giro en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior son distintos,  $(X_n, Y_n) = (X_{n-1}, Y_{n-1})$ ; - si las dos tramas de imagen son iguales,  $(X_n, Y_n) = (X_{n-1}, Y_{n-1})$ ; ~ en otro caso: - si los radios son iguales y hay varios marcadores,  $(X_n, Y_n)$  se calculan mediante triangulación usando ambas tramas de imagen; - si los radios son distintos y hay varios marcadores,  $(X_n, Y_n)$  se calculan mediante triangulación usando una sola trama de imagen; - si los radios son distintos y hay un único marcador,  $(X_n, Y_n)$  se calculan mediante geometría estéreo; - si los radios son iguales y hay un único marcador,  $(X_n, Y_n)$  se calculan usando coordenadas de imagen del marcador en el instante actual y en el anterior.

## **Método y Sistema de Localización espacial mediante Marcadores Luminosos para cualquier ambiente**

### **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención pertenece a los campos de la electrónica y las telecomunicaciones. Concretamente, la presente invención se aplica al área industrial que recoge las técnicas de detección de puntos de referencia para la localización y posicionamiento de un objetivo (una persona, animal o un objeto) en entornos controlados.

Más particularmente, la presente invención se refiere a un método y sistema para obtener, a partir del uso de marcadores luminosos, la posición y orientación de un objeto o sujeto, aplicable a cualquier tipo de ambiente, interior o exterior.

### **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

En los últimos años, está habiendo un creciente interés en aquellos sistemas o productos relacionados con la localización de objetos en tres dimensiones (3D). Los sectores que cubren esta tecnología son muy amplios, como robótica, medicina o videojuegos, entre otros.

Concretamente, el seguimiento de objetos está estrechamente relacionado con la realidad aumentada, donde el conocimiento de la posición del individuo es fundamental. Esta tecnología mezcla elementos virtuales con imágenes reales, permitiendo al usuario ampliar su información del mundo real o interactuar con él. La realidad virtual sin embargo, sustituye la realidad física con datos informáticos. Los sistemas de realidad aumentada pueden utilizar como dispositivos de visualización ('displays' en inglés) una pantalla óptica transparente (por ejemplo, Google Glass) o una pantalla de mezcla de imágenes (por ejemplo, la de un teléfono móvil inteligente, 'smartphone' en inglés). Además para poder conocer la posición del individuo con precisión, pueden basarse en el uso de cámaras, sensores ópticos, acelerómetros, giroscopios, GPS, etc. En el caso de que se empleen sistemas de visión, es necesario realizar un preprocesado de la región de interés donde se sitúa el individuo, utilizando algoritmos de imagen que permiten detectar esquinas, bordes o marcadores de referencia, para después, con estos datos obtener las coordenadas 3D reales del entorno. Estos sistemas requieren el uso de una CPU y memoria RAM con suficiente capacidad de

cómputo, para poder procesar las imágenes de las cámaras a tiempo real y con la menor latencia posible.

Cuando únicamente se pueda visualizar un marcador de referencia, se tiene que recurrir al uso de cámaras estereó y geometría epipolar. La caracterización de un punto en el espacio tridimensional requiere el conocimiento de sus coordenadas (x, y, z) dentro del entorno donde éste se encuentre, respecto a una posición de referencia. La técnica más común está basada en el uso de dos o más cámaras calibradas, que proporcionan una imagen izquierda y derecha de la misma escena. Para obtener las coordenadas 3D del punto u objeto a caracterizar, se aplica correspondencias estereó (buscar un mismo punto en ambas imágenes) y se calcula la geometría proyectiva o epipolar (describe la relación existente entre los planos de la imagen de las cámaras y el punto).

En el caso de tener más de un marcador o patrón disponible, se pueden aplicar otras técnicas para localizar el objeto en el escenario. A través de triangulación, conociendo la distancia real entre marcadores, es posible con sólo dos marcadores y una sola cámara obtener los parámetros para conseguir la profundidad al objetivo y posicionario en el entorno. Esta práctica simplifica el coste computacional, al no tener que analizar dos imágenes y sus correspondencias; pero requiere mayor precisión a la hora de detectar los marcadores. A pesar de eso, algunos autores ("Optical tracking using projective invariant marker pattern properties", R. van Liere et al., Proceedings of the IEEE Virtual Reality Conference 2003, 2003) consideran que, para poder realizar un mejor seguimiento del objeto, es necesario que el objeto tenga cuatro o más marcadores y que además se utilice visión estereó; para conseguir un sistema más preciso pero más lento.

Uno de los problemas que se han encontrado en otros estudios (US 7,231,063 B2, "Fudicial Detection System", L. Naimark et al.) a la hora de utilizar marcadores, es la luminosidad que tiene el ambiente donde van a ser tomadas las imágenes. Los puntos a detectar pueden perderse en la escena por falta de luz. Esto limita las aplicaciones que usan este sistema en ambientes interiores o con luminosidad controlada. Además, se hace necesario el uso de algoritmos de realce de contraste y/o el uso de marcadores específicos guardados en una base de datos, lo que incrementa sustancialmente el tiempo de cómputo de estos sistemas. Además de limitar considerablemente la distancia entre los marcadores impresos y el usuario del sistema, a no ser que su tamaño sea lo suficientemente grande para que lo capte el sensor de imagen. En algunos casos (WO 2013/120041 A1, "Method and apparatus

for 3D spatial localization and tracking of objects using active optical illumination and sensing”) se han propuesto este tipo de fuentes de luz con luminancia variable o luz pulsada, lo que puede ocasionar fallos de sincronización. Aun así, el uso de marcadores luminosos puede plantear problemas, concretamente en ambientes donde hay fuentes de luz con una luminancia mucho mayor que el propio marcador (en el peor caso, luz solar) o fuentes que emiten radiación en la misma dirección; en esas situaciones, el sensor de imagen no es capaz de diferenciar una fuente de luz de otra, por lo que obligará tal y como ocurría anteriormente, a utilizar esta tecnología en entornos luminosos sin grandes fuentes de luz en él.

La idea de detectar y posicionar los marcadores sirve para caracterizar los objetos o individuos que hay en él, de esa forma se localizan en el espacio. En el artículo “Wide area optical tracking in unconstrained indoor environments” (de A. Mossel et al., 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT), 2013) se propone incorporar marcadores luminosos infrarrojos en una cinta situada en la cabeza del usuario. Para ello, colocan en el escenario dos cámaras independientes, que requieren un proceso de sincronización para realicen el disparo simultáneamente, situadas a una distancia igual a la longitud de la pared de la habitación donde se va a probar. El algoritmo empleado, para hacer una estimación de la posición, se basa en la búsqueda de correspondencias estereo. Uno de los inconvenientes que presenta es que no se puede implementar para sistemas de realidad aumentada o simulada, porque las cámaras no muestran lo que ve el usuario, además de estar restringido a ambientes interiores con dimensiones limitadas.

Otros estudios como “Tracking of user position and orientation by stereo measurement of infrared markers and orientation sensing” (de M. Maeda, et al., Proceeding of the 8th. International Symposium on Wearable Computers (ISWC'04), 2004) plantean el uso de marcadores infrarrojos situados en la pared de una habitación, para localizar al usuario. Concretamente, proponen el uso de dos tipos de marcadores: activos y pasivos. Los marcadores activos están formados por un conjunto de tres LEDs infrarrojos y un emisor de señales, que envía datos de su posición real a un decodificador de señales que porta el usuario, por lo que una vez que los detecta conocen su posición absoluta. Los marcadores pasivos son únicamente una fuente de luz infrarroja, a partir de los cuales obtienen la posición relativa del usuario. Además de basarse en la recepción de señales de los marcadores activos, calculan la distancia relativa al marcador a partir de visión estereo. El

uso de esta técnica, al igual que ocurría en los casos explicados anteriormente, está limitado a espacios interiores.

Existen otros métodos, que no requieren la visión directa de una o más cámaras con los marcadores de referencia, para sistemas de localización y seguimiento del usuario. Las técnicas de radiofrecuencia consisten en medir distancias, de objetos estáticos o móviles, a partir de la emisión de pulsos electromagnéticos que son reflejados en un receptor. Estas ondas electromagnéticas se reflejarán cuando haya cambios significativos en la densidad atómica entre el entorno y el objeto, por lo que funcionan particularmente bien en los casos de materiales conductores (metales). Son capaces de detectar objetos a mayor distancia que otros sistemas basados en luz o sonido, sin embargo son bastante sensibles a interferencias o ruido. Además es complicado medir objetos que se encuentren entre sí a diferentes distancias al emisor, debido a que la frecuencia del pulso variará (más lento cuanto más lejos y viceversa). Aun así, hay estudios experimentales como "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system" (de P. Bahl et al., Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, Tel-Aviv, 2000) que demuestran su uso para estimar la localización del usuario con un alto nivel de precisión. Esta técnica no resulta apropiada en aplicaciones de realidad aumentada.

Otro ejemplo de soluciones existentes son los sistemas LIDAR, que calculan la distancia a través del tiempo que tarda un pulso luminoso en reflejarse en un objeto o superficie, utilizando un dispositivo con un láser pulsado como emisor de luz y un fotodetector como receptor de la señal reflejada. La ventaja de estos sistemas es la precisión que logran a largas distancias (utilizando láseres con longitud de onda  $>1000$  nm) y la posibilidad de mapear grandes extensiones, mediante barridos de pulsos luminosos. Sus inconvenientes son la necesidad de efectuar el análisis y procesado de cada punto, así como la dificultad de reconstruir automáticamente imágenes tridimensionales.

El problema técnico objetivo que se presenta es pues proporcionar un sistema para la detección de la posición y de la orientación de un individuo u objeto en cualquier tipo de ambiente, interior o exterior, con cualesquiera que sean sus condiciones de iluminación.

## DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención sirve para solucionar los problemas mencionados anteriormente, resolviendo los inconvenientes que presentan las soluciones comentadas en el estado de la técnica, proporcionando un sistema que, a partir del uso de uno o más marcadores luminosos de referencia y una única cámara estéreo, permite localizar espacialmente objetos o individuos en un escenario bajo cualquier condición ambiental y con distancias mayores entre el usuario y el marcador. El sistema se basa principalmente en el uso de marcadores luminosos para calcular posiciones relativas del objeto/individuo, una cámara estéreo para visualizar esos marcadores en la imagen del escenario y un dispositivo electrónico de medida de ángulos, tal como puede ser un giroscopio o brújula electrónica, para proporcionar ángulos de giro del usuario objetivo (objeto, persona o animal).

La presente invención permite detectar marcadores luminosos de referencia en cualquier tipo de ambientes, independientemente de las fuentes de luz que determinan las condiciones ambientales.

Un aspecto de la invención se refiere a un método para posicionar o localizar un objetivo mediante el uso de marcadores de referencia en cualquier entorno 3D que, a partir de una primera trama de imagen en un instante de tiempo actual y una segunda trama de imagen en un instante de tiempo anterior capturadas mediante una cámara estéreo, imágenes en las que se detecta al menos un marcador, obtiene las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo en el instante de tiempo actual  $n$ , para lo que realiza los siguientes pasos:

- obtener un ángulo de giro del objetivo en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior;
- si el ángulo de giro en el instante de tiempo actual y el ángulo de giro en el instante de tiempo anterior son distintos, calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo en el instante actual  $n$  igualándolas a las coordenadas  $(x_{n-1}, y_{n-1})$  del objetivo en el instante anterior  $n-1$ ;
- si la primera trama de imagen y la segunda trama de imagen son iguales, calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo en el instante actual igualándolas a las coordenadas  $(x_{n-1}, y_{n-1})$  del objetivo en el instante anterior;- si no, en otro caso, obtiene las coordenadas de imagen de, al menos un marcador detectado, y su radio, para comparar los radios en el instante de tiempo actual  $n$  y en el instante de tiempo anterior  $n-1$  y:

- si los radios son iguales y hay una pluralidad de marcadores, las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo en el instante actual se obtienen mediante triangulación usando la primera trama de imagen y la segunda trama de imagen;

- si los radios son distintos y hay también más de un marcador, las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo en el instante actual se obtienen mediante triangulación pero usando una sola trama de imagen, la captada en el instante actual;

- si los radios son distintos y hay un único marcador detectado, las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo en el instante actual se obtienen mediante el algoritmo de geometría estereó conocido en el estado de la técnica;

- si los radios son iguales y hay un único marcador detectado, las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo en el instante actual se obtienen mediante un algoritmo que recuerda al de geometría estereó pero usando las coordenadas de imagen del marcador en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior, en vez de una imagen izquierda y derecha del mismo instante de tiempo

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema para localizar un objetivo, que puede ser un objeto o un individuo, a partir de al menos un marcador de referencia en un espacio o entorno 3D, que comprende los siguientes medios:

- una cámara estereó para captar tramas de imagen en las que se detectan uno o más marcadores;
- un dispositivo medidor de ángulos para obtener el ángulo de giro del objetivo en cada instante de tiempo;
- un procesador de señales, con acceso a un dispositivo de almacenamiento (una memoria), configurado para realizar los pasos del método anteriormente descrito para obtener a su salida las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo calculadas en el instante de tiempo actual, usando, según cada caso arriba indicado, los datos obtenidos en el instante de tiempo anterior almacenados en la memoria.

Como marcador de referencia se utiliza una fuente luminosa, identificable en el entorno de utilización.

En un posible campo de aplicación, la invención que se describe puede emplearse para aplicaciones de Realidad Simulada. Para ello, se incorpora al sistema unas gafas de

Realidad Virtual. Tanto la cámara estéreo como las gafas pueden formar parte de un casco o equipo de sujeción que va colocado en la cabeza del usuario y conexionando la cámara con las gafas. El sistema puede incorporar de forma adicional un acelerómetro, que mide el desplazamiento realizado en un tiempo finito, lo que reduciría los errores acumulativos.

La presente invención posee una serie de características diferenciadoras con respecto a las soluciones existentes comentadas en el estado de la técnica anterior que presentan ventajas técnicas como las que siguen:

- Con respecto a US 7,231,063 B2, la presente invención resuelve el problema del tiempo de cómputo de sistemas existentes como el descrito en US 7,231,063 B2, debido a que se requieren algoritmos de realce de contraste y/o de marcadores específicos guardados en una base de datos, porque en la presente invención se utilizan marcadores luminosos que trabajan en el espectro visible o infrarrojo, como pueden ser los diodos emisores de luz (LEDs)
- Con respecto a WO 2013/120041 A1, una de las diferencias de la presente invención es que utiliza fuentes luminosas fijas y viene a resolver el problema que se da en ambientes donde hay fuentes de luz con una luminancia mucho mayor que el propio marcador. Para solucionar este problema, la presente invención usa un elemento que evita que las condiciones luminicas de un entorno afecten de forma significativa como es el uso de un fondo tras la fuente de luz.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

A continuación se pasa a describir de manera muy breve una serie de dibujos que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

FIGURA 1.- Muestra un diagrama de bloques esquemático del sistema de localización espacial de individuos u objetos, según una realización preferente de la invención.

FIGURA 2.- Muestra una representación simplificada de un tipo de marcador luminoso, que puede usar el sistema de la Figura 1.

FIGURA 3.- Muestra un entorno de uso de los marcadores de la Figura 2 y en el que es aplicable el sistema de la Figura 1, según una posible realización.

FIGURAS 4A-4B.- Muestran un esquema de los marcadores y parámetros que usa el sistema para localizar en el entorno individuos u objetos que se desplazan verticalmente y cuando sólo se detecta un único marcador.

FIGURAS 5A-5B.- Muestran un esquema de los marcadores y parámetros que usa el sistema para localizar en el entorno individuos u objetos que se desplazan verticalmente y cuando se detecta más de un marcador.

FIGURA 6A.- Muestra un esquema de los marcadores y parámetros que usa el sistema para localizar en el entorno individuos u objetos que se desplazan horizontalmente y cuando sólo se detecta un único marcador.

FIGURA 6B.- Muestra un esquema de los marcadores y parámetros que usa el sistema para localizar en el entorno individuos u objetos que se desplazan horizontalmente y cuando se detecta más de un marcador.

FIGURA 7.- Muestra un esquema del funcionamiento del método, es meramente un ejemplo de flujo de datos.

### **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION**

A continuación, se proponen posibles modos de realización del sistema de obtención, a partir del uso de uno o varios marcadores luminosos, de la posición y orientación de un usuario, en diferentes posibles ambientes, que pueden ser en interior o exterior, dentro de un escenario controlado.

La Figura 1 muestra un diagrama esquemático de la arquitectura de bloques del sistema para localizar en el espacio los objetos o individuos que constituyen un objetivo (10) en un entorno tridimensional (11) bajo cualquier condición ambiental definida por un número más

de fuentes de luz ( $fl_1, fl_2, fl_3, \dots, fl_m$ ), disponiendo de uno o más marcadores luminosos (20) como los mostrados en las Figuras 2-3, 4A-4B, 5A-5B y 6A-6B. El sistema comprende una cámara estéreo (12) para detectar los marcadores luminosos (20) y un dispositivo electrónico de medida de ángulos (13), por ejemplo, un giroscopio o brújula electrónica, con el que se obtienen los ángulos de giro del objetivo (10). Además, el sistema comprende un procesador digital de señales (14) que calcula las coordenadas de posición en el espacio de cada marcador luminoso (20) en el tiempo y las almacena en una memoria o dispositivo de almacenamiento (15). El procesador digital de señales (14) utiliza las coordenadas almacenadas y los parámetros de salida que obtiene de la cámara estéreo (12) y del dispositivo medidor de ángulos (13) para determinar a su salida (16) la posición del usuario objetivo (10).

En la Figura 2 se muestra un tipo de marcador de referencia (20) de los utilizados, que es un marcador luminoso y comprende dos elementos principales: una fuente de luz (21) y una superficie de contraste (22). La fuente de luz (21) preferente es un diodo LED que emite en el rango visible: 400-700 nm. Este tipo de fuente es una fuente de luz puntual que logra alcances mayores a 50 m para potencias mayores de 1 W. Además, un diodo LED se puede considerar como un producto no peligroso debido las potencias ópticas en las que trabaja y a que en el peor de los casos el tiempo de exposición es muy bajo (tiempo de reacción de aversión= ~250 ms). Aun así, el sistema puede usar marcadores (20) luminosos con otro tipo de fuentes de luz (21), debido a que el dispositivo que detecta el marcador luminoso (20), es decir, la cámara estéreo (12) que se usa como receptor de la luz, detecta tanto fuentes de luz (21) que trabajan en el espectro visible como infrarrojo. El sensor de imagen de la cámara estéreo (12) tiene una curva espectral que, para la longitud de onda del LED que se usa, indica una respuesta espectral con un valor superior a 0.005 A/W. Las bombillas de filamento son otro ejemplo de fuentes de luz (21), aunque son fuentes difusas con potencias ópticas emitidas inferiores a las alcanzables con un diodo LED. Otra posible fuente de luz (21) puede ser un diodo láser, aunque se trata de una fuente colimada capaz de focalizar la luz sobre un punto muy pequeño y, para la mayoría de los casos, todas aquellas potencias ópticas superiores a 1 mW pueden ser peligrosas. El último tipo de fuente de luz (21) que puede emplearse es un diodo LED infrarrojo, aunque debido al alcance que presenta, el inconveniente es que el usuario no es capaz de percibirlo y podría ocasionarle daños oculares. Por otra parte, la superficie de contraste (22) es de un color -por ejemplo, negra- y dimensiones que permiten distinguir entre el marcador luminoso (20) y cualquier fuente de luz externa. La pantalla o superficie de contraste (22) permite aplicar el

método aquí propuesto en ambientes con poca o mucha luminosidad, y a grandes distancias. La forma de la superficie de contraste (22) puede ser cualquiera, por ejemplo, cuadrada como en la Figura 2. Las dimensiones de la superficie de contraste (22) dependen de las condiciones lumínicas del entorno (11), del flujo luminoso de la fuente de luz (21) y de la distancia máxima que vaya a haber entre el objetivo (10) y los marcadores luminosos (20). La plantilla o superficie de contraste (22) se sitúa en la parte externa de la fuente de luz (21), concretamente en la posterior, quedando la fuente de luz (21) a la vista del usuario. En el caso que el ambiente o el fondo que haya detrás de la fuente de luz (21) sea lo suficientemente oscuro, no es necesario añadir la superficie de contraste (22). El sistema admite el uso de otro tipo de marcadores luminosos (20), como pueden ser marcadores impresos blancos con un reborde negro, aunque éstos no pueden emplearse en cualquier tipo de ambiente.

La Figura 3 muestra un posible escenario de aplicación del sistema, en el que la distribución de los marcadores (20). Sin embargo, Los marcadores (20) pueden situarse a diferentes distancias los unos de los otros, que el sistema ha de conocer de antemano. La altura entre cada marcador luminoso (20) y el suelo no está prefijada, pero es recomendable que sea aquella que permite visión directa entre la cámara estereo (12) y las fuentes luminosas ( $fl_1$ ,  $fl_2$ ,  $fl_3, \dots, fl_m$ ) de los marcadores (20) luminosos. En el caso de ambientes exteriores, los marcadores (20) se sitúan en soportes verticales para conseguir la altura necesaria. En el caso de ambientes interiores, los marcadores luminosos (20) pueden ir también en soportes verticales o sujetos en las paredes u objetos del entorno. La relación que hay entre el número  $m$  de marcadores (20) y la distancia entre ellos ( $d_1$ ,  $d_2$ ) depende del ángulo de apertura ( $2\phi$ ) de la cámara estereo (12), del ángulo de emisión ( $2\theta$ ) de la fuente de luz (21), por ejemplo el LED, del marcador (20) luminoso y de la distancia mínima ( $L$ ) que tiene que haber entre el objetivo (10), usuario del sistema, y las fuentes luminosas ( $fl_1$ ,  $fl_2$ ,  $fl_3, \dots, fl_m$ ), i.e., los LEDs, para que puedan visualizarse como mínimo una pareja de fuentes; según queda reflejado en la siguiente en la ecuación  $m/d \geq \frac{1}{2\phi \cdot L}$ .

El escenario donde se aplica el método no presenta ninguna característica predefinida con respecto a distribución, planta, obstáculos, de forma que el sistema se adapta a él. El tipo de ambiente, como se ha explicado anteriormente, puede ser interior o exterior. La única restricción que tiene es las dimensiones máximas de este entorno, estando limitadas por el alcance de las fuentes luminosas ( $fl_1$ ,  $fl_2$ ,  $fl_3, \dots, fl_m$ ) elegidas. Dicho alcance, se mide en

función de la intensidad y flujo luminoso de las fuentes de luz ( $fL_1, fL_2, fL_3, \dots, fL_m$ ) y de la sensibilidad del sensor de imagen de la cámara estéreo (12).

A partir de las imágenes capturadas por la cámara estéreo (12) y de las coordenadas de imagen de los marcadores luminosos (20) calculadas en una captura anterior, como más adelante se describe, por el procesador digital de señales (14) del sistema, este sistema permite localizar en la imagen unos puntos de referencia específicos mediante un algoritmo de detección de marcadores luminosos (20), como el que se describe seguidamente. El método que se va a describir no es único, pueden usarse otras variantes, devolviendo como parámetros de salida las coordenadas de imagen ( $u,v$ ) y el diámetro de los marcadores luminosos (20) detectados. En las coordenadas de imagen ( $u,v$ ) en 2 dimensiones, la primera coordenada  $u$  denota la coordenada según un eje horizontal y la segunda coordenada  $v$  denota la coordenada según un eje vertical, en el plano 2D de la imagen donde se detectan los movimientos. La detección de marcadores luminosos (20) se divide en los siguientes pasos:

- Conversión de imagen a escala de grises para reducir considerablemente el tamaño de la imagen, ya que así se pasa de tener tres canales, rojo, verde y azul, a sólo uno blanco y negro. Es decir, cada píxel de la imagen reduce su valor de 3 bytes a 1 byte.
- Filtrado de eliminación de ruido para eliminar los píxeles erróneos y ruido de las imágenes captadas por las cámaras. El tipo de filtro depende de lo nítidas que se deseen las imágenes y del tiempo de retraso que se pueda introducir en el sistema.
- Localización de píxeles vecinos con fuertes contrastes, analizando la imagen por ventanas y buscando aquellas regiones donde los contrastes entre píxeles vecinos son mayores. Este algoritmo tiene sentido porque las fuentes de luz (21) tienen valores de píxel en la imagen en torno a 255 y la plantilla (22) negra tiene valores en torno a 0.
- Obtención de las coordenadas de los marcadores luminosos (20), una vez localizadas las regiones que pueden corresponder a fuentes de luz (21), verificando que realmente lo sean. Lo primero que se comprueba es la forma de la fuentes de luz (21), que se aproxime a una circunferencia o elipse, y se obtienen las coordenadas imagen ( $u,v$ ), de su punto central así como su radio. Además se han de contrastar dichas regiones entre sí, verificando que todas se encuentran en filas de píxeles muy similares y que tienen valores de intensidad

similares, ya que se asume que todas son fuentes de luz (21) con la misma luminancia.

- Verificación final, comparando las coordenadas de los marcadores luminosos (20) calculadas con las obtenidas en una captura anterior. Una vez obtenidas las regiones que se han comprobado corresponden a marcadores luminosos (20), se procede a una última comprobación. En este caso, cotejando las posiciones de los marcadores actuales con los de un instante anterior; teniendo en cuenta que al ser momentos consecutivos, las coordenadas no cambian de forma muy significativa de un sitio a otro.

Para localizar en la imagen de un entorno (11) los puntos de referencia que dan la localización del usuario objetivo (10), es necesario conocer la siguiente información:

- a) las coordenadas de imagen ( $u$ ,  $v$ ) y radio de cada marcador (20) detectado por el algoritmo de obtención de marcadores anteriormente descrito a partir de la imagen capturada por la cámara estereó (12);
- b) el valor en grados  $^\circ$ , del giro del usuario objetivo, devuelto por el dispositivo de medida de ángulos (13), en el momento de la captura por la cámara estereó (12) de cada imagen; y
- c) los datos guardados en la memoria (15) como son: posición anterior, distancia real entre marcadores, distancia focal de las cámaras, ángulo de apertura de la cámara, distancia entre cámaras ('baseline', en inglés), trama de imagen ('frame', en inglés) anterior, radio anterior de los marcadores, vectores de posición anteriores de los marcadores y ángulo de giro anterior.

Considerando el caso particular de un entorno (11) continuo, sin obstáculos y de forma cuadrada, por ejemplo, como el escenario representado en la Figura 3, la posición del usuario objetivo (10) depende de los giros y el tipo de movimientos que realice – vertical: arriba o abajo, horizontal: izquierda o derecha-; o de si no realiza ningún movimiento.

Los métodos para el cálculo de la posición que se describen a continuación se resumen en la Figura 7, se implementan de diferentes maneras, ilustradas en las Figuras 4A-4B, 5A-5B y 6A-6B, dependiendo de la clase de desplazamiento que se haya registrado y del número de marcadores detectados, siendo válidos para cualquier tipo de marcador, tanto luminoso como impreso.

Como muestra la Figura 7, lo primero es comprobar el valor, en grados, devuelto por el dispositivo de medida de ángulos (13) para determinar si existe un giro significativo, lo cual ocurre en caso de ser el ángulo obtenido en el instante actual  $\delta(n)$  distinto al del instante anterior  $\delta(n-1)$ ; sin embargo, si  $\delta(n) = \delta(n-1)$  indica que el usuario objetivo (10) no ha girado. Si hay giro, las coordenadas de usuario son las mismas a pesar de que las imágenes capturadas por la cámara estéreo (12) cambien. Cuando el ángulo de giro, obtenido por el dispositivo de medida de ángulos (13), es constante en el tiempo, se compara la trama imagen capturada en el instante actual, frame (n), con la inmediatamente anterior frame (n-1) y si coinciden se interpreta como que no ha habido ningún movimiento del usuario. En el caso de que no haya desplazamiento, el método devuelve las mismas coordenadas de usuario que en el momento anterior ( $x_{n-1}$ ,  $y_{n-1}$ ); en caso contrario, se calcula la posición con toda la información, a)-c), mencionada anteriormente. De este modo, se evitan operaciones redundantes e innecesarias. Cuando se detecta cambio de posición, se aplica el algoritmo de detección de marcadores. Conociendo los valores de los radios de los marcadores detectados en el instante actual,  $r(n)$  y los del instante anterior  $r(n-1)$ , se puede identificar el tipo de desplazamiento del usuario objetivo (10):

- Si esos radios son distintos,  $r(n-1) \neq r(n)$ , el desplazamiento es hacia arriba o abajo. Para conocer la posición del objetivo (10) es necesario saber la distancia entre él y los marcadores, es decir, conocer el desplazamiento realizado verticalmente.
- Si esos radios son iguales,  $r(n-1) = r(n)$ , desplazamiento es a derecha o izquierda. Para conocer la posición del objetivo (10) es necesario saber cuánto se ha movido horizontalmente.

Una vez identificado el tipo de movimiento realizado por el objetivo (10), se le puede localizar en el entorno (11) según los siguientes métodos, que dependen del tipo de movimiento y del número  $m$  de marcadores (20) detectados.

Las Figuras 4A-4B muestran el caso en que se ha determinado que existe un movimiento vertical del objetivo (10) y cuando sólo se detecta un único marcador (20) en la imagen (40) binocular captada por la cámara estéreo (12). En este caso, no se puede usar un algoritmo de triangulación, debido a que no se puede relacionar los píxeles con una distancia real; por ello se tiene que recurrir a la técnica de visión estéreo y se necesitan los siguientes parámetros:

- la disparidad binocular ('disparity', en inglés) de la visión estéreo dada por las coordenadas  $u_L$  y  $u_R$ , rectificadas y sin distorsión respectivamente, del marcador

- (20) obtenido de las dos componentes de imagen, izquierda (41) y derecha (42), captadas por la cámara estéreo (12);
- los valores de distancia *baseline*  $B$  y distancia focal *focal\_length*  $f$  de la cámara estéreo (12); y
  - el ángulo de giro ( $\delta$ ) del usuario objetivo (10).

Para poder transformar las coordenadas de imagen a la profundidad, se calcula la geometría proyectiva en el instante actual  $n$  según la ecuación:

$$L_{\text{marcador}}(n) = \frac{\text{baseline} * \text{focal\_length}}{\text{disparity}} = \frac{B * f}{u_L - u_R}$$

Una vez calculada la distancia  $L_{\text{marcador}}(n)$  que hay entre el objetivo (10) y el marcador (20), se puede obtener su posición dentro escenario. Como se ha desplazado verticalmente, lo único que aparentemente ha cambiado es su coordenada  $y$ , pero es necesario tener en cuenta el ángulo de giro  $\delta$  para obtener las coordenadas absolutas. Las coordenadas  $(x_n, y_n)$  en el instante actual son igual a las coordenadas en el instante anterior  $(x_{n-1}, y_{n-1})$  más la suma del desplazamiento realizado:

Si $r(n-1) < r(n)$	$x_n = x_{n-1} + \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $ $y_n = y_{n-1} + \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $
Si $r(n-1) > r(n)$	$x_n = x_{n-1} - \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $ $y_n = y_{n-1} - \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $

Las Figuras 5A-5B muestran el caso en que se ha determinado que existe un movimiento vertical del objetivo (10) y se detectan dos o más marcadores (20, 20', 20'') en la imagen (50) captada por la cámara estéreo (12). En este caso, se puede aplicar triangulación, puesto que se dispone de más de un marcador, de la distancia real ( $d/m$ ) entre marcadores (20, 20', 20''), del ángulo de giro ( $\delta$ ), del ángulo de apertura ( $2\phi$ ) de la cámara (12) y del número de píxeles ( $A \times B$ ) de la imagen (50). Conociendo las coordenadas horizontales  $u$  de imagen de los marcadores (20, 20', 20''), se calcula, en píxeles, la distancia en píxeles  $q$  entre ellos,  $q = u_2 - u_1$ , que en el mundo real es igual a  $d/m$  metros, siendo  $m$  el número de

marcadores. Por lo tanto los metros reales de distancia  $L_{\text{marcador}(n)}$  que hay entre el objetivo (10) y uno de los marcadores, marcador (20), en el instante actual  $n$  es:

$$L_{\text{marcador}(n)} = \frac{\left| \frac{A}{2} - u_1 \right| * \frac{d}{m} * \cos \delta * \frac{1}{|u_n - u_1|}}{\tan \left( 2\varphi * \left| \frac{A}{2} - u_1 \right| \right)}$$

En las Figuras 4A-4B y 5A-5B, se representa el ángulo  $\Phi$  que se refiere a la mitad del ángulo de apertura ( $2\varphi$ ) de la cámara (12).

Conocida la distancia al marcador y la distancia que había en el instante anterior  $n-1$ , se calculan los metros recorridos como la diferencia entre ambos. A partir de ese valor y de la posición anterior del usuario, coordenadas del objetivo (10) en el instante anterior  $(x_{n-1}, y_{n-1})$ , se pueden calcular sus nuevas coordenadas  $(x_n, y_n)$  en el instante actual:

Si $r(n-1) < r(n)$	$x_n = x_{n-1} + \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $
	$y_n = y_{n-1} + \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $
Si $r(n-1) > r(n)$	$x_n = x_{n-1} - \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $
	$y_n = y_{n-1} - \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $

En este caso también se puede usar visión estereó para obtener la profundidad a los marcadores. Pero es necesario aplicar correspondencias estereó, es decir, relacionar los marcadores de la imagen izquierda con sus equivalentes de la imagen derecha. Obtenidas las correspondencias, se puede aplicar geometría proyectiva, como en el caso de un único marcador para obtener la distancia real a cada marcador.

Las Figuras 6A-6B muestran el caso en que se ha determinado que existe un movimiento horizontal del objetivo (10).

La Figura 6A se refiere al caso en que sólo se detecta un único marcador (20) en la imagen (61, 62). Se aplica un algoritmo que puede recordar al de geometría estereó, pero en este caso no se utilizan dos imágenes del mismo instante tomadas desde dos ángulos diferentes, sino que se utilizarán dos imágenes de instantes contiguos y misma perspectiva: la imagen captada en el instante actual (61) y la capturada en un instante inmediatamente anterior (62).

Asimismo, se cuenta con las coordenadas horizontales del marcador en el instante actual ( $u_n$ ) y las que se obtuvieron del frame anterior ( $u_{n-1}$ ), así como la distancia anterior entre el marcador y el usuario ( $L_{\text{marcador}}$ ) y la distancia focal ( $focal\_length$ ) de la cámara (12), para calcular el desplazamiento ( $D$ ) horizontal realizado por el usuario objetivo (10) según la siguiente expresión:

$$D = \frac{L_{\text{marcador}_{n-1}} * |u_{n-1} - u_n|}{focal\_length}$$

Una vez conocido el desplazamiento  $D$ , en metros, que ha realizado el usuario objetivo (10), se pueden obtener sus coordenadas reales, que dependen de su posición en el instante anterior  $n-1$  y del tipo de desplazamiento, izquierda o derecha, realizado:

Si $u_{n-1} < u_n$	$x_n = x_{n-1} - \cos(\delta) * D$
	$y_n = y_{n-1} + \sin(\delta) * D$
Si $u_{n-1} > u_n$	$x_n = x_{n-1} + \cos(\delta) * D$
	$y_n = y_{n-1} - \sin(\delta) * D$

La Figura 6B se refiere al caso en que se detecta más de un marcador (20, 20', 20'') en la imagen. Se emplea una técnica similar a la de triangulación explicada en el caso de un movimiento vertical del usuario con una pluralidad de marcadores detectados, pero en este caso se usan dos imágenes (63, 64) capturadas por el mismo sensor de imagen de forma consecutiva en el tiempo, teniendo la imagen actual (63) y la imagen captada en el instante anterior (64). Conociendo la distancia real entre marcadores y los pixeles que hay entre ellos,  $p$  pixeles en el instante actual  $n$  y  $q$  pixeles en el instante anterior  $n-1$ , se puede extrapolar a la longitud que se ha desplazado el usuario. Para ello se requiere conocer, además de la distancia entre marcadores ( $d/m$ ), el ángulo de giro ( $\delta$ ) y las coordenadas de imagen ( $u_{n-1}$ ) de los marcadores (20, 20', 20'') en la imagen anterior (64).

$$D = \cos(\delta) * \frac{d}{m} * \frac{q}{p} = \cos(\delta) * \frac{d}{m} * \frac{|u_{2n-1} - u_{1n}|}{|u_{2n} - u_{1n}|}$$

Al igual que ocurría en el caso de un único marcador, una vez conocido el desplazamiento  $D$  se pueden obtener las coordenadas reales del usuario objetivo (10):

Si $u_{n-1} < u_n$	$x_n = x_{n-1} - \cos(\theta) * D$
	$y_n = y_{n-1} + \sin(\theta) * D$
Si $u_{n-1} > u_n$	$x_n = x_{n-1} + \cos(\theta) * D$
	$y_n = y_{n-1} - \sin(\theta) * D$

En este caso también se puede aplicar el caso anterior de un único marcador detectado para obtener el desplazamiento ( $D$ ) realizado por el usuario objetivo (10). Es decir, a partir de las coordenadas del mismo marcador en dos imágenes contiguas, despreciando el resto de los marcadores detectados, y con la distancia anterior entre el marcador y el usuario, calcular el desplazamiento  $D$ .

## REIVINDICACIONES

1. Método para la localización espacial de un objetivo (10) usando al menos un marcador (20) luminoso identificable en el entorno de utilización de referencia, que en un instante de tiempo  $i$  calcula unas coordenadas  $(x_i, y_i)$  del objetivo (10), **caracterizado por que comprende:**

- capturar mediante una cámara estereó (12) una primera trama de imagen en un instante de tiempo actual y una segunda trama de imagen en un instante de tiempo anterior, detectando en la primera y segunda trama de imagen al menos un marcador (20);

- obtener un radio en un instante de tiempo actual y un radio en el instante de tiempo anterior del, al menos un, marcador (20) detectado en la primera trama de imagen y segunda trama de imagen;

- obtener un ángulo de giro del objetivo (10) mediante un dispositivo de medida de ángulos (13) en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior;

- si el ángulo de giro en el instante de tiempo actual y el ángulo de giro en el instante de tiempo anterior son distintos, calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual igualándolas a las coordenadas  $(x_{n-1}, y_{n-1})$  del objetivo (10) en el instante anterior;

- si la primera trama de imagen y la segunda trama de imagen son iguales, calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual igualándolas a las coordenadas  $(x_{n-1}, y_{n-1})$  del objetivo (10) en el instante anterior;

- si no, comparar los radios en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior del, al menos un, marcador (20) detectado y:

- si los radios son iguales y hay más de un marcador (20, 20', 20'') detectado, las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual se obtienen mediante triangulación usando la primera trama de imagen y la segunda trama de imagen;

- si los radios son distintos y hay más de un marcador (20, 20', 20'') detectado, las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual se obtienen mediante triangulación usando una sola trama de imagen que es la primera trama de imagen;

- si los radios son distintos y hay un único marcador (20) detectado, las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual se obtienen mediante geometría estereó;

- si los radios son iguales y hay un único marcador (20) detectado, las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual se obtienen calculando unas coordenadas de imagen del marcador (20) en el instante de tiempo actual en la primera trama de imagen y unas coordenadas de imagen del marcador (20) obtenidas en el instante de tiempo anterior en la segunda trama de imagen.

2. Método de localización espacial, de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que usa un marcador (20) luminoso que comprende una fuente de luz (21) y una superficie de contraste (22).

3. Método de localización espacial, de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que usa un marcador (20) luminoso que comprende una fuente de luz (21) que es un diodo LED.

4. Método de localización espacial, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**, si los radios son iguales y hay más de un marcador (20, 20', 20'') detectado, obtener las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual comprende:

- para cada marcador (20, 20', 20''), obtener en la primera trama de imagen unas coordenadas horizontales  $u_n$  de imagen en el instante de tiempo actual y en la segunda trama de imagen obtener unas coordenadas horizontales  $u_{n-1}$  de imagen en el instante de tiempo anterior;

- medir un desplazamiento D de cada marcador (20, 20', 20'') mediante la expresión:

$$D = \cos(\delta) * \frac{d}{m} * \frac{q}{p} = \cos(\delta) * \frac{d}{m} * \frac{|u_{n-1} - u_n|}{|u_{n-1}' - u_{n-1}''|}$$

donde p es un número de píxeles en el instante actual n y q es un número de píxeles en el instante anterior n-1, m es un número total de marcadores, d/m es una distancia real entre marcadores (20, 20', 20'') y  $\delta$  es el ángulo de giro del objetivo (10) obtenido;

- calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual mediante la ecuación:

Si $u_{n-1} < u_n$	$x_n = x_{n-1} - \cos(\delta) * D$
	$y_n = y_{n-1} + \sin(\delta) * D$
Si $u_{n-1} > u_n$	$x_n = x_{n-1} + \cos(\delta) * D$
	$y_n = y_{n-1} - \sin(\delta) * D$

5. Método de localización espacial, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**, si los radios son iguales y hay un único marcador (20) detectado, obtener las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual comprende:

- para el marcador (20) obtener en la primera trama de imagen unas coordenadas horizontales  $u_n$  de imagen en el instante de tiempo actual y en la segunda trama de imagen obtener unas coordenadas horizontales  $u_{n-1}$  de imagen en el instante de tiempo anterior;
- medir un desplazamiento  $D$  del objetivo (10) mediante la expresión:

$$D = \frac{L_{\text{marcador}_{n-1}} * |u_{n-1} - u_n|}{focal\_length}$$

donde la cámara (12) tiene una distancia focal  $focal\_length$  y  $L_{\text{marcador}_{n-1}}$  es una distancia entre el marcador (20) y el objetivo (10) medida en el instante de tiempo anterior,

- calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual mediante la ecuación:

Si $u_{n-1} < u_n$	$x_n = x_{n-1} - \cos(\delta) * D$
	$y_n = y_{n-1} + \sin(\delta) * D$
Si $u_{n-1} > u_n$	$x_n = x_{n-1} + \cos(\delta) * D$
	$y_n = y_{n-1} - \sin(\delta) * D$

6. Método de localización espacial, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**, si los radios, que son el radio en el instante actual  $r(n)$  y el radio en el instante anterior  $r(n-1)$ , son distintos y hay más de un marcador (20, 20', 20'') detectado, obtener las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual comprende:

- obtener en la primera trama de imagen unas primeras coordenadas horizontales  $u_1$  de imagen de un primer marcador (20, 20', 20'') y unas segundas coordenadas horizontales  $u_2$  de imagen de un segundo marcador (20')
- medir en el instante de tiempo actual una distancia  $L_{\text{marcador}_n}$  entre el objetivo (10) y el primer marcador (20) mediante la expresión:

$$L_{\text{marcador}_n}(n) = \frac{\left| \frac{A}{2} - u_1 \right| * \frac{d}{m} * \cos \delta * \frac{1}{|u_2 - u_1|}}{\text{tg} \left( 2\varphi * \left| \frac{A}{2} - u_1 \right| \right)}$$

donde la cámara (12) tiene un ángulo de apertura  $2\varphi$ ,  $AxB$  es un número de píxeles de imagen bidimensional en el instante actual,  $m$  es un número total de marcadores,  $d/m$  es una distancia real entre los marcadores (20, 20') y  $\delta$  es el ángulo de giro del objetivo (10) obtenido;

- obtener una distancia  $L_{\text{marcador}_{n-1}}$  medida en el instante de tiempo anterior entre el objetivo (10) y el primer marcador (20);
- calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual mediante la ecuación:

Si $r(n-1) < r(n)$	$x_n = x_{n-1} + \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $ $y_n = y_{n-1} + \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $
Si $r(n-1) > r(n)$	$x_n = x_{n-1} - \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $ $y_n = y_{n-1} - \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $

7. Método de localización espacial, de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que**, si los radios, que son el radio en el instante actual  $r(n)$  y el radio en el instante anterior  $r(n-1)$ , son distintos y hay un único marcador (20) detectado, obtener las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual comprende:

- obtener unas coordenadas del marcador (20) rectificadas  $u_L$  y  $u_R$  respectivamente en una componente de imagen izquierda (41) y una componente de imagen derecha (42) captadas por la cámara estéreo (12), una disparidad binocular
- medir en el instante de tiempo actual una distancia  $L_{\text{marcador}_n}$  entre el objetivo (10) y el marcador (20) mediante la expresión:

$$L_{\text{marcador}(n)} = \frac{B * f}{u_L - u_R}$$

donde la cámara estéreo (12) tiene una disparidad binocular igual a  $u_L - u_R$ , una distancia de referencia  $B$  y una distancia focal  $f$ ;

- obtener una distancia  $L_{\text{marcador}_{n-1}}$  medida en el instante de tiempo anterior entre el objetivo (10) y el marcador (20);
- calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual mediante la ecuación, donde  $\delta$  es el ángulo de giro del objetivo (10) obtenido en el instante actual:

Si $r(n-1) < r(n)$	$x_n = x_{n-1} + \sin(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $ $y_n = y_{n-1} + \cos(\delta) *  L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n} $
--------------------	---

$$\text{Si } r(n-1) > r(n) \quad \begin{aligned} x_n &= x_{n-1} - \sin(\delta) * |L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n}| \\ y_n &= y_{n-1} - \cos(\delta) * |L_{\text{marcador}_{n-1}} - L_{\text{marcador}_n}| \end{aligned}$$

8.- Sistema de localización espacial de un objetivo (10) en un entorno (11) tridimensional que comprende al menos un marcador (20) luminoso de referencia y un procesador digital de señales (14) para calcular unas coordenadas ( $x_i$ ,  $y_i$ ) del objetivo (10) en un instante de tiempo  $i$ , **caracterizado por que** comprende:

- una cámara estèreo (12) para capturar una primera trama de imagen en un instante de tiempo actual y una segunda trama de imagen en un instante de tiempo anterior;
- un dispositivo de medida de ángulos (13) para obtener un ángulo de giro del objetivo (10) en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior;
- el procesador de señales (14) con acceso a una memoria (15) que almacena un radio en un instante de tiempo actual y en un radio en el instante de tiempo anterior del, al menos un, marcador (20) detectado en la primera trama de imagen y segunda trama de imagen; el procesador de señales (14) configurado para:

- si el ángulo de giro en el instante de tiempo actual y el ángulo de giro en el instante de tiempo anterior son distintos, calcular las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo (10) en el instante actual igualándolas a las coordenadas ( $x_{n-1}$ ,  $y_{n-1}$ ) del objetivo (10) en el instante anterior;

- si la primera trama de imagen y la segunda trama de imagen son iguales, calcular las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo (10) en el instante actual igualándolas a las coordenadas ( $x_{n-1}$ ,  $y_{n-1}$ ) del objetivo (10) en el instante anterior;

- si no, comparar los radios en el instante de tiempo actual y en el instante de tiempo anterior del, al menos un, marcador (20) detectado y:

- si los radios son iguales y hay más de un marcador (20, 20', 20'') detectado, calcular las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo (10) en el instante actual mediante triangulación usando la primera trama de imagen y la segunda trama de imagen;

- si los radios son distintos y hay más de un marcador (20, 20', 20'') detectado, calcular las coordenadas ( $x_n$ ,  $y_n$ ) del objetivo (10) en el instante actual mediante triangulación usando una sola trama de imagen que es la primera trama de imagen;

- si los radios son distintos y hay un único marcador (20) detectado, calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual mediante geometría estéreo;

- si los radios son iguales y hay un único marcador (20) detectado, calcular las coordenadas  $(x_n, y_n)$  del objetivo (10) en el instante actual usando unas coordenadas de imagen del marcador (20) en el instante de tiempo actual en la primera trama de imagen y unas coordenadas de imagen del marcador (20) obtenidas en el instante de tiempo anterior en la segunda trama de imagen.

9.- Sistema de localización espacial de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado por que** el marcador (20) luminoso comprende una fuente de luz (21) que es un diodo LED.

10.- Sistema de localización espacial de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-9, **caracterizado por que** el marcador (20) luminoso que incluye una superficie de contraste (22)

11.- Sistema de localización espacial de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, **caracterizado por que** el entorno (11) es interior.

12.- Sistema de localización espacial de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, **caracterizado por que** el entorno (11) es exterior.

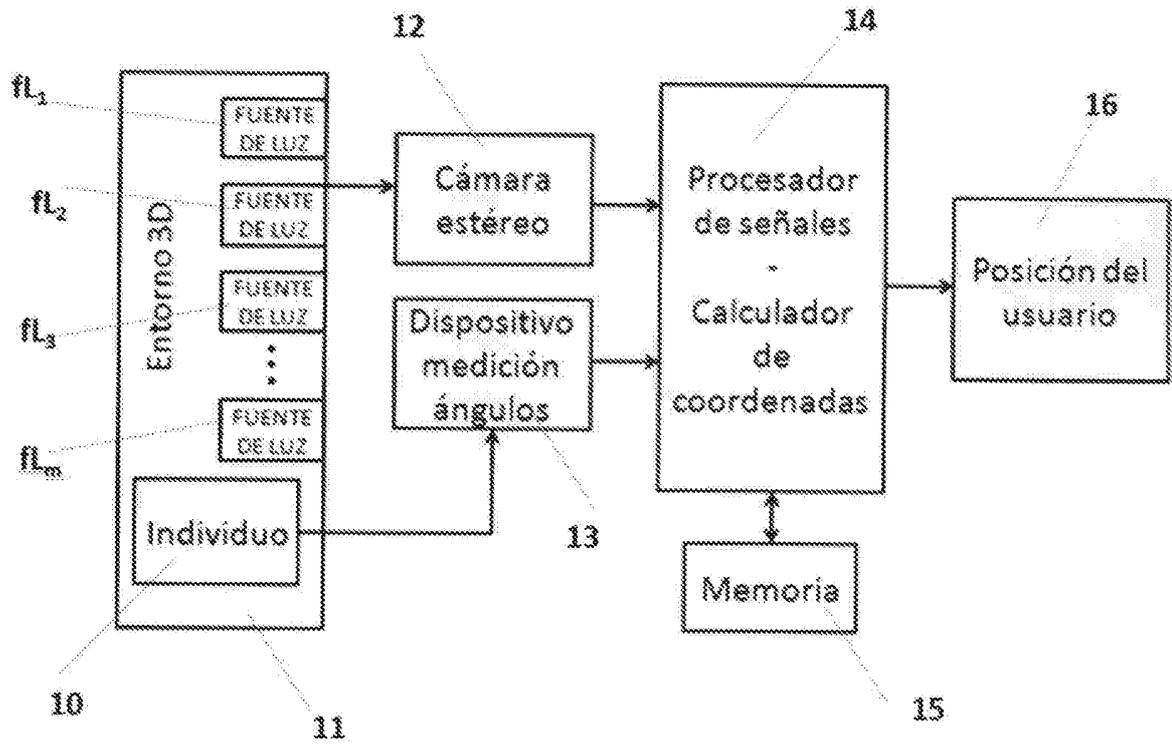


FIGURA 1

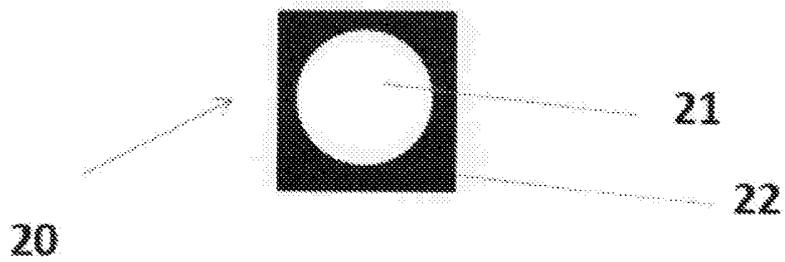


FIGURA 2

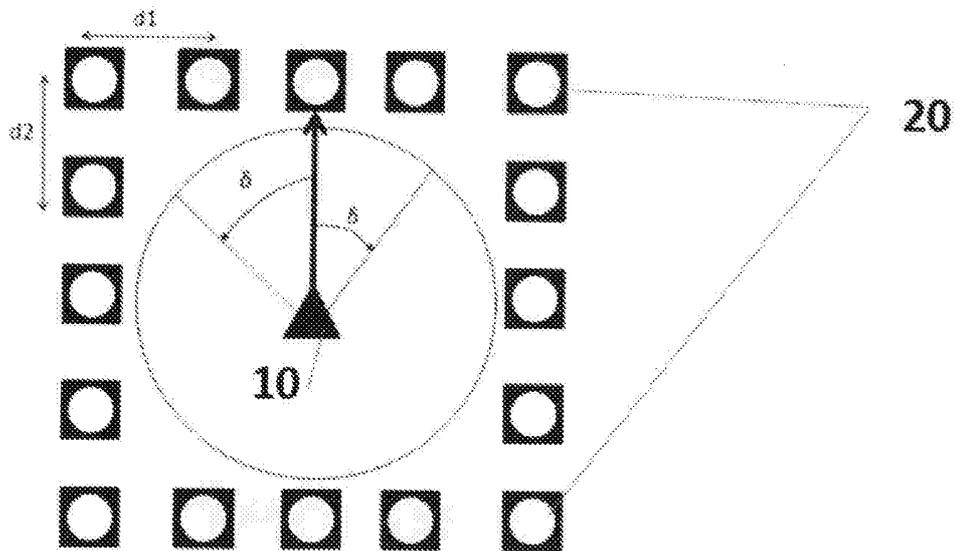


FIGURA 3

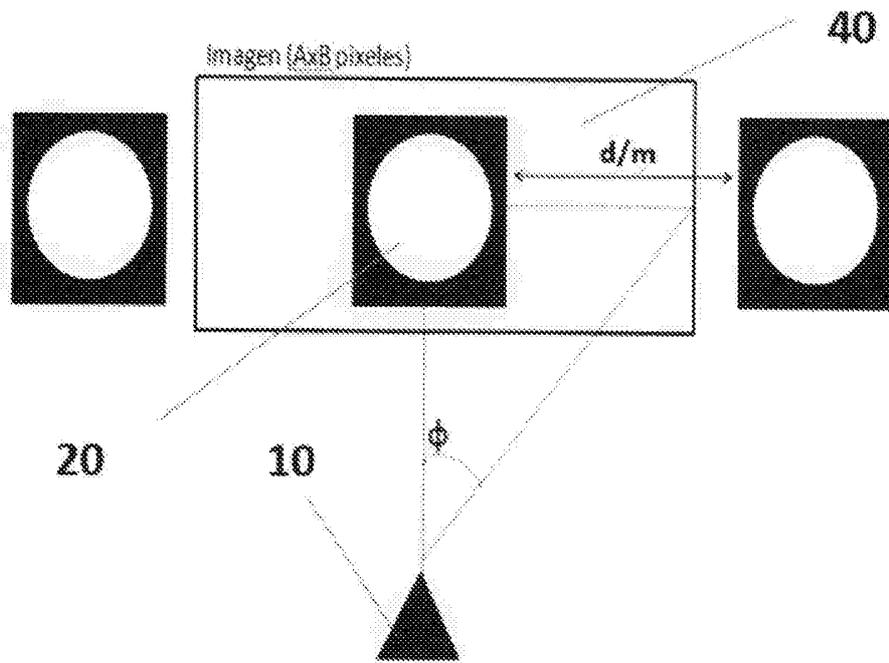


FIGURA 4A

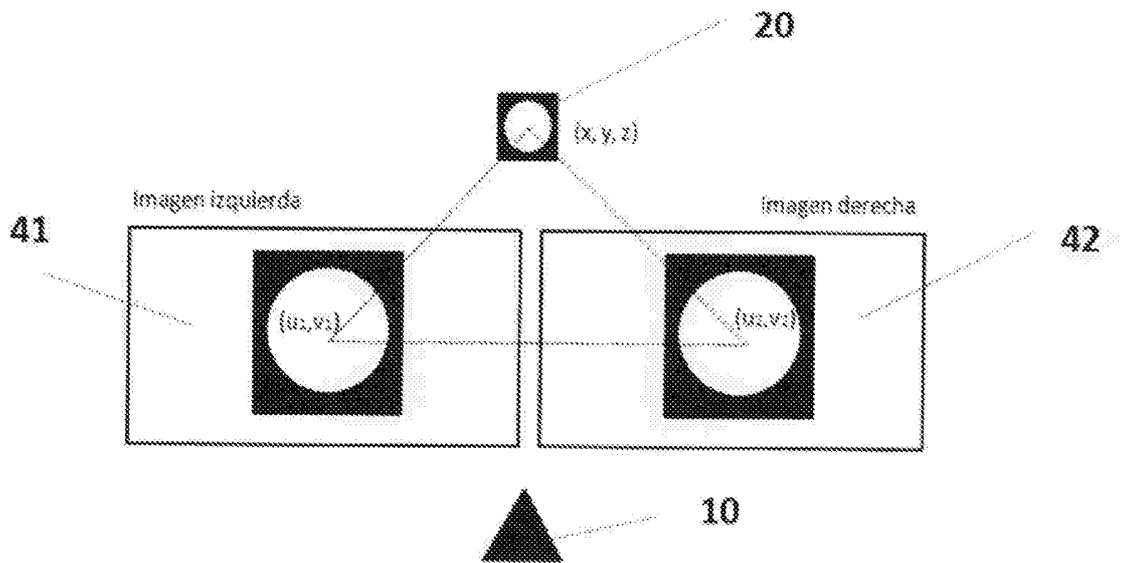


FIGURA 4B

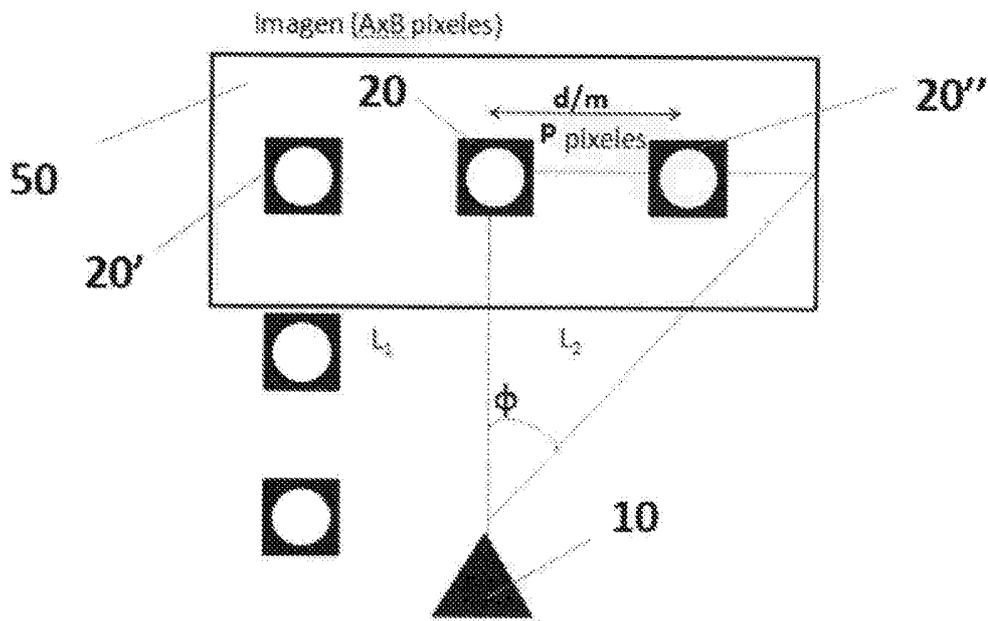


FIGURA 5A

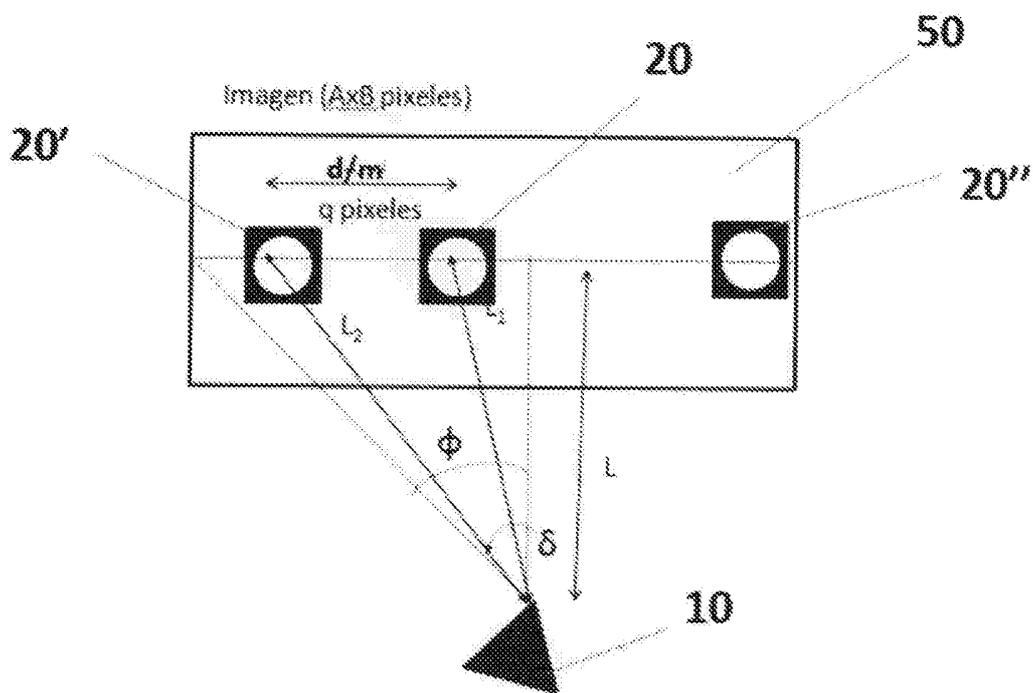


FIGURA 5B

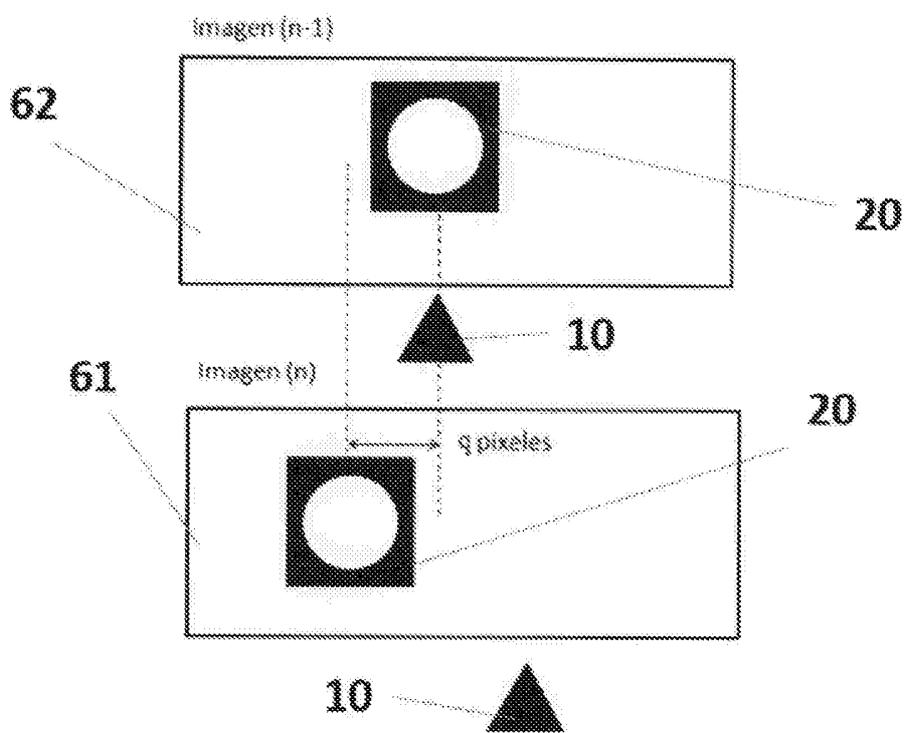


FIGURA 6A

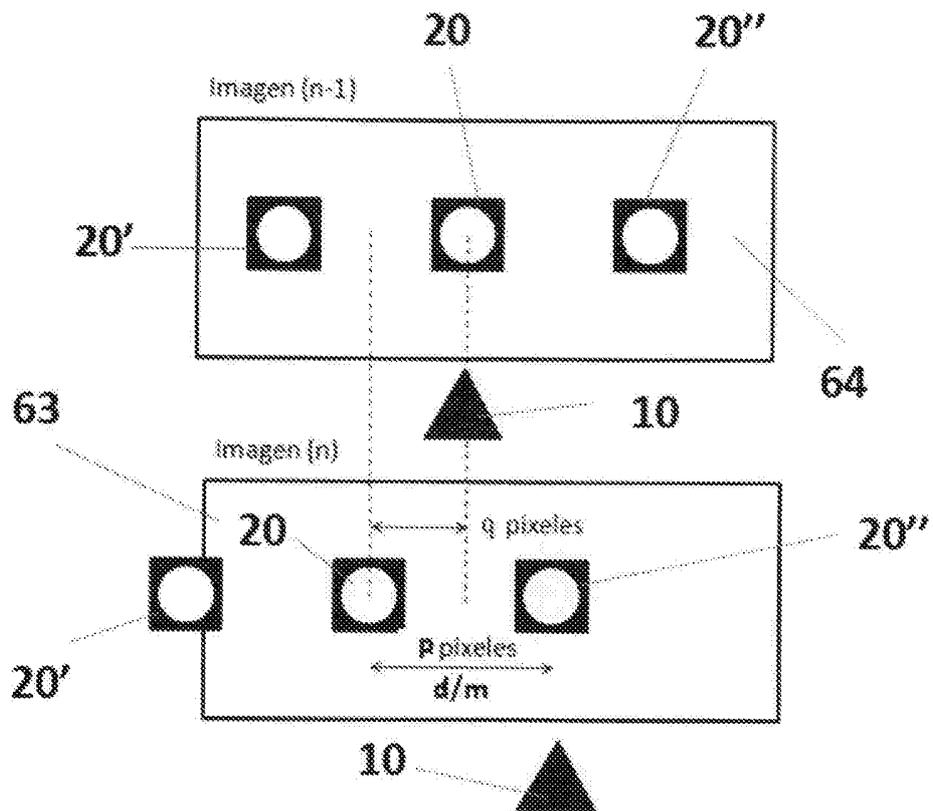


FIGURA 6B

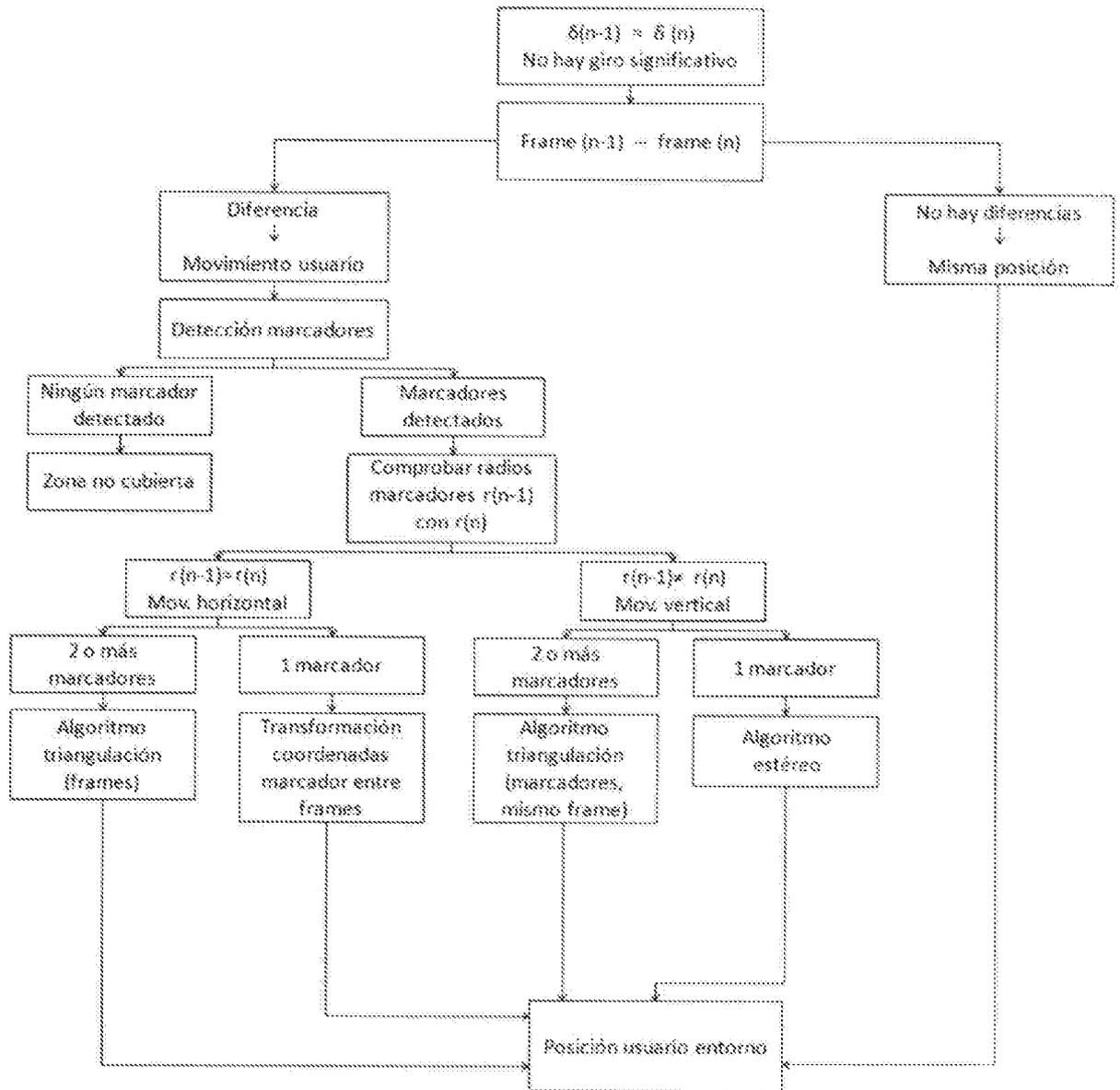


FIGURA 7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/ES2015/000182

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

**G06T7/00** (2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, INVENES, WPI, Inspec

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 7231063 B2 (NAIMARK LEONID ET AL.) 12/06/2007, figure 1, column 4, line 55 - column 6, line 44;	1-12
A	US 8761439 B1 (KUMAR RAKESH ET AL.) 24/06/2014, column 1, lines 40 - 49; column 3, lines 5 - 32; column 4, line 40 - column 5, line 38;	1-12
A	EP 1501051 A2 (CANON KK) 26/01/2005, figure 1, paragraphs[0025 - 0083];	1-12
A	US 2010045701 A1 (SCOTT KATHERINE ET AL.) 25/02/2010, figure 1, paragraphs[0022 - 0024]; paragraph [0056];	1-12

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means.</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search  
09/02/2016

Date of mailing of the international search report  
(10/02/2016)

Name and mailing address of the ISA/

Authorized officer  
M. Alvarez Moreno

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS  
Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)  
Facsimile No.: 91 349 53 04

Telephone No. 91 3495495

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES2015/000182

C (continuation).		DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT
Category *	Citation of documents, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	01/01/2001, YOU S et al. Fusion of vision and gyro tracking for robust augmented reality registration. PROCEEDINGS IEEE 2001 VIRTUAL REALITY. (VR). YOKOHAMA, JAPAN, MARCH 13 - 17, 2001; [PROCEEDINGS IEEE VIRTUAL REALITY.(VR)], 20010101 LOS ALAMITOS, CA, IEEE COMP. SOC, US 01/01/2001 VOL: Pags: 71 - 78 ISBN 978-0-7695-0948-8 ; ISBN 0-7695-0948-7 Doi: doi:10.1109/VR.2001.913772 TAKEMURA H; KIYOKAWA K (EDS) the whole document.	1-12
A	30/09/2008, ABABSA F et al. A robust circular fiducial detection technique and real-time 3D camera tracking. Journal of Multimedia Oct. 2008 Academy Publisher Finland 00/10/2008 VOL: 3 No: 4 Pags: 34 - 41 ISSN 1796-2048 (print) the whole document.	1-12
A	30/11/2001, VOGT S et al. Single camera tracking of marker clusters: multiparameter cluster optimization and experimental verification. Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2002 IEEE Comput. Soc. Los Alamitos, CA, USA 00/00/2002 VOL: Pags: 127 - 136 ISBN 0-7695-1781-1 Doi: doi:10.1109/ISMAR.2002.1115082 the whole document.	1-12

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/ES2015/000182

## Information on patent family members

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US7231063 B2	12.06.2007	US2004028258 A1	12.02.2004
-----	-----	-----	-----
US8761439 B1	24.06.2014	NONE	
-----	-----	-----	-----
EP1501051 A2	26.01.2005	US2005008256 A1	13.01.2005
		US7613356 B2	03.11.2009
		JP2005033319 A	03.02.2005
		JP4532856B B2	25.08.2010
		CN1578414 A	09.02.2005
		CN100417197C C	03.09.2008
-----	-----	-----	-----
US2010045701 A1	25.02.2010	NONE	
-----	-----	-----	-----

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2015/000182

## A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

**G06T7/00** (2006.01)

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

## B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

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

G06T

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

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

EPODOC, INVENES, WPI, Inspec

## C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	US 7231063 B2 (NAIMARK LEONID ET AL.) 12/06/2007, figura 1, columna 4, línea 55 - columna 6, línea 44;	1-12
A	US 8761439 B1 (KUMAR RAKESH ET AL.) 24/06/2014, columna 1, líneas 40 - 49; columna 3, líneas 5 - 32; columna 4, línea 40 - columna 5, línea 38;	1-12
A	EP 1501051 A2 (CANON KK) 26/01/2005, figura 1, párrafos[0025 - 0083];	1-12
A	US 2010045701 A1 (SCOTT KATHERINE ET AL.) 25/02/2010, figura 1, párrafos[0022 - 0024]; párrafo [0056];	1-12

En la continuación del recuadro C se relacionan otros documentos

Los documentos de familias de patentes se indican en el anexo

\* Categorías especiales de documentos citados:

"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.

"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.

"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).

"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.

"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.

"T" documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.

"X" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.

"Y" documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.

"&" documento que forma parte de la misma familia de patentes.

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

09/02/2016

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional.

**10 de febrero de 2016 (10/02/2016)**

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional

OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

Paseo de la Castellana, 75 - 28071 Madrid (España)

Nº de fax: 91 349 53 04

Funcionario autorizado

M. Alvarez Moreno

Nº de teléfono 91 3495495

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ES2015/000182

C (Continuación).		DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES
Categoría *	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
A	<p>01/01/2001, YOU S et al. Fusion of vision and gyro tracking for robust augmented reality registration. PROCEEDINGS IEEE 2001 VIRTUAL REALITY. (VR). YOKOHAMA, JAPAN, MARCH 13 - 17, 2001; [PROCEEDINGS IEEE VIRTUAL REALITY.(VR)], 20010101 LOS ALAMITOS, CA, IEEE COMP. SOC, US 01/01/2001 VOL: Pags: 71 - 78 ISBN 978-0-7695-0948-8 ; ISBN 0-7695-0948-7 Doi: doi:10.1109/VR.2001.913772 TAKEMURA H; KIYOKAWA K (EDS) todo el documento.</p>	1-12
A	<p>30/09/2008, ABABSA F et al. A robust circular fiducial detection technique and real-time 3D camera tracking. Journal of Multimedia Oct. 2008 Academy Publisher Finland 00/10/2008 VOL: 3 No: 4 Pags: 34 - 41 ISSN 1796-2048 (print) todo el documento.</p>	1-12
A	<p>30/11/2001, VOGT S et al. Single camera tracking of marker clusters: multiparameter cluster optimization and experimental verification. Proceedings of the IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality 2002 IEEE Comput. Soc. Los Alamitos, CA, USA 00/00/2002 VOL: Pags: 127 - 136 ISBN 0-7695-1781-1 Doi: doi:10.1109/ISMAR.2002.1115082 todo el documento.</p>	1-12

# INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

Informaciones relativas a los miembros de familias de patentes

PCT/ES2015/000182

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
US7231063 B2	12.06.2007	US2004028258 A1	12.02.2004
-----	-----	-----	-----
US8761439 B1	24.06.2014	NINGUNO	
-----	-----	-----	-----
EP1501051 A2	26.01.2005	US2005008256 A1	13.01.2005
		US7613356 B2	03.11.2009
		JP2005033319 A	03.02.2005
		JP4532856B B2	25.08.2010
		CN1578414 A	09.02.2005
		CN100417197C C	03.09.2008
-----	-----	-----	-----
US2010045701 A1	25.02.2010	NINGUNO	
-----	-----	-----	-----