

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 382 233**

51 Int. Cl.:
G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08845641 .3**
96 Fecha de presentación: **23.10.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2202686**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2010**

54 Título: **Método y aparato para calibrar una videocámara**

30 Prioridad:
24.10.2007 CN 200710182044

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
06.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
06.06.2012

73 Titular/es:
**HUAWEI DEVICE CO., LTD.
BUILDING B2, ZONE B, HUAWEI INDUSTRIAL
BASE BANTIAN LONGGANG DISTRICT
SHENZHEN
GUANGDONG 518129, CN**

72 Inventor/es:
**LI, Kai;
WANG, Jing;
LIU, Yuan y
FANG, Ping**

74 Agente/Representante:
Lehmann Novo, Isabel

ES 2 382 233 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para calibrar una videocámara

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a una tecnología de procesamiento de imágenes y, en particular, a un método y un aparato para calibrar una videocámara.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En el sistema de visión en estéreo de una videocámara, con el fin de obtener la información de profundidad o paralaje de un objeto en el entorno operativo, es necesario obtener una relación de proyección entre las coordenadas de un punto determinado del objeto en el sistema de coordenadas universal y las coordenadas de un punto de creación de imágenes del objeto del plano de imágenes. La tecnología de calibración de videocámara se desarrolla para registrar dicha información.

Esta tecnología está diseñada para obtener los parámetros internos y externos de la videocámara. Las características geométricas y ópticas de la videocámara se denominan parámetros internos y la relación de posición del sistema de coordenadas de la videocámara con respecto al sistema de coordenadas espacial se denomina parámetros externos.

En general, se dispone de tres métodos para calibrar la videocámara, incluyendo los métodos de calibración tradicional, calibración basada en visión activa y autocalibración.

25 La calibración tradicional se refiere a: utilizar un bloque de calibración maquinado con precisión como la plantilla de referencia para calcular los parámetros internos y externos de la videocámara estableciendo una relación de correspondencia o mapeado, entre los puntos existentes en las coordenadas tridimensionales (3D) en el bloque de calibración y sus puntos de imágenes.

30 La calibración basada en visión activa se refiere a: controlar la videocámara para realizar un movimiento especial, por ejemplo, una rotación alrededor del centro óptico o desplazamiento en dirección horizontal y el cálculo de los parámetros internos en función de las características especiales de dicho movimiento.

35 La autocalibración se refiere a: suponiendo que no se cambia ningún parámetro interno y el mapeado entre puntos de imagen se establece cuando se toman imágenes diferentes, la calibración de la videocámara en función de dicho mapeado entre los puntos de imagen y las limitaciones especiales entre los puntos de creación de imágenes en múltiples imágenes.

40 En el documento de Mackacek M. et al, "Calibración en dos etapas de un sistema de cámara estéreo para mediciones en grandes volúmenes", Meas. Sci. Technol. Vol. 14, páginas 1631 – 1639, 2003, se da a conocer un procedimiento de calibración en dos etapas en donde se necesiten calibraciones frecuentes.

45 A través de la investigación y de la práctica, el inventor ha identificado los siguientes problemas con la técnica antes citada.

1. Con respecto a la calibración tradicional, se necesita un bloque de calibración cada vez que se cambia el ángulo o la posición de la videocámara. Sin embargo, la colocación del bloque de calibración en un entorno operativo, durante un periodo prolongado de tiempo, puede hacer que el entorno operativo no sea armonioso y no está permitido en algunos entornos operativos. Además, es también incómodo sustituir el bloque de calibración cada vez que se cambia el ángulo o la posición de la videocámara.

2. Con respecto a la calibración basada en la visión activa, la videocámara necesita comprobarse para realizar un movimiento especial. Dicho movimiento, sin embargo, no se puede percibir ni controlar en algunas circunstancias. En tales casos, no se podrá utilizar este método.

3. Con respecto a la autocalibración, la videocámara se calibra con el supuesto de que los parámetros internos permanecen invariables y se determina el mapeado entre los puntos de imagen. De este modo, la calibración no es precisa ni estable. Por lo tanto, dicho método no es aplicable si se cambia cualquier parámetro interno.

60 SUMARIO DE LA INVENCION

Un método y un aparato para calibrar una videocámara se dan a conocer en las formas de realización de la presente invención. Dicho método y aparato son aplicables a múltiples entornos operativos y se caracterizan por su fácil manejo y alta precisión.

65

Un método para calibrar una videocámara se da a conocer en una forma de realización de la presente invención para resolver los problemas técnicos antes citados. Este método comprende:

5 la obtención de parámetros internos y externos de la videocámara según la plantilla de referencia y el registro de datos en el sistema de coordenadas universal del objeto de referencia en el entorno operativo y

10 cuando la videocámara necesita calibración, la obtención de imágenes del objeto de referencia desde al menos tres perspectivas, la obtención de los parámetros internos y externos de la videocámara en función de los datos registrados del objeto de referencia y la calibración de la videocámara.

15 En una forma de realización de la presente invención, se da a conocer, además, un método para calibrar la videocámara. Este método comprende:

la obtención de parámetros internos y externos de la videocámara según la plantilla de referencia y el registro de datos del objeto de referencia en el entorno operativo y

20 cuando la videocámara necesita calibración, la obtención de imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas, la obtención de los parámetros internos y externos de la videocámara en función de los datos registrados del objeto de referencia y la calibración de la videocámara.

25 Un aparato para calibrar la videocámara se da a conocer, además, en otra forma de realización de la presente invención. Este aparato comprende:

una unidad de calibración preliminar, adaptada para: obtener parámetros internos y externos de la videocámara según la plantilla de referencia y registrar, datos en el sistema de coordenadas universal, del objeto de referencia en el entorno operativo y

30 una unidad de recalibración, adaptada para: cuando la videocámara necesita calibración, la obtención de imágenes del objeto de referencia desde al menos tres perspectivas, obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en función de los datos registrados del objeto de referencia y calibrar la videocámara.

35 Un aparato para calibrar la videocámara se da a conocer, además, en otra forma de realización de la presente invención. Este aparato comprende:

una unidad de calibración preliminar, adaptada para: obtener parámetros internos y externos de la videocámara según la plantilla de referencia y registrar datos del objeto de referencia en el entorno operativo y

40 una unidad de recalibración, adaptada para: cuando la videocámara necesita calibración, obtener imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas, obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en función de los datos registrados del objeto de referencia y calibrar la videocámara.

45 Según se describe en la solución técnica anterior, para calibrar una videocámara, se necesita solamente una plantilla de referencia cuando se toman imágenes de un nuevo entorno operativo. Durante la calibración preliminar, necesita registrarse la información del objeto de referencia siguiente. En tal caso, sólo es necesario mantener el objeto de referencia en el entorno operativo y se puede utilizar el objeto de referencia para calibrar la videocámara. Ya no es necesario utilizar la plantilla de referencia para la calibración cada vez se cambia el ángulo de toma de imagen o la posición de la videocámara, con lo que se simplifica el funcionamiento y es aplicable a varios entornos operativos. Además, dicha solución es también aplicable aún cuando el movimiento de la videocámara sea imperceptible o no susceptible de control. Además, puesto que una plantilla de referencia maquinada con precisión, con datos dados, se utiliza en la calibración preliminar y los datos del objeto de referencia, registrados en la calibración preliminar, son exactos, resulta bastante alta la precisión de la calibración en función de los datos del objeto de referencia.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

55 La Figura 1 es un diagrama de flujo de una primera forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención;

La Figura 2 representa un teselado;

60 La Figura 3 representa un rectángulo inscrito en un círculo;

La Figura 4 es un diagrama de flujo de una segunda forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención;

65 La Figura 5 muestra la relación entre el teselado, el objeto de referencia, el plano de imágenes y el sistema de coordenadas de la videocámara en una forma de realización de la presente invención;

La Figura 6 es un diagrama de flujo de una tercera forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención;

5 La Figura 7 representa la relación entre el rectángulo inscrito en el círculo, el plano de imágenes y el sistema de coordenadas de la videocámara en una forma de realización de la presente invención;

La Figura 8 representa una estructura de una primera forma de realización de un aparato para calibrar la videocámara de la presente invención;

10 La Figura 9 es un diagrama de flujo de una cuarta forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención y

15 La Figura 10 representa una estructura de una segunda forma de realización de un aparato para calibrar la videocámara de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FORMAS DE REALIZACIÓN DE LA INVENCIÓN

20 Un método y un aparato para calibrar la videocámara se dan a conocer en las formas de realización de la presente invención. El método y aparato para calibrar la videocámara son aplicables a múltiples entornos operativos y se caracterizan por un fácil manejo y alta precisión.

25 La Figura 1 es un diagrama de flujo de una primera forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención.

Etapa 101: Se toman imágenes de una plantilla de referencia y de un objeto de referencia.

30 Cuando se utiliza la videocámara para la toma de imagen de un nuevo entorno operativo, necesita colocarse una plantilla de referencia en este entorno operativo y un objeto en la proximidad de la plantilla de referencia, en este entorno operativo, se elige como el objeto de referencia.

35 En esta etapa, la plantilla de referencia puede ser un bloque de calibración maquinado con precisión o cualquier otro objeto con datos dados, tales como un teselado o un rectángulo inscrito en un círculo. La Figura 2 representa el teselado y la Figura 3 representa el rectángulo inscrito en un círculo.

En esta etapa, cualquier objeto en el entorno operativo se puede utilizar como el objeto de referencia si está suficientemente próximo a la plantilla de referencia para la toma de imágenes en el entorno operativo. Dadas varias opciones, se prefiere un objeto con características geométricas, por ejemplo:

40 un objeto cuasi-rectangular o cualquier objeto con diseño rectangular, tal como placas de identificación, *notebooks*, *notepads*, losetas de suelo y caracteres rectangulares en placas de identificación, que están todos ellos diseñados con ángulos rectos y líneas rectas, mientras que los caracteres en las placas de identificación son rectangulares;

45 un objeto redondo o cualquier objeto con diseño redondo, tal como jarras y nueve teclas redondas en un teléfono y objetos lineales, tales como el contorno de un *notebooks*, plumas, tubos fluorescentes y líneas de intersección de paredes.

50 Una vez elegido el objeto de referencia, se toman imágenes, desde diferentes perspectivas, de la plantilla de referencia y del objeto de referencia.

Etapa 102: La videocámara es preliminarmente calibrada y se registran las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia.

55 Puesto que los datos de la plantilla de referencia se proporcionan por anticipado, los parámetros internos y externos de la videocámara se pueden obtener utilizando la plantilla de referencia. A continuación, se calibra la videocámara y se registran las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia.

Etapa 103: La plantilla de referencia se desplaza alejándose.

60 En esta etapa, la plantilla de referencia se puede desplazar para facilitar operaciones posteriores.

Etapa 104: La videocámara se recalibra según el objeto de referencia.

Cuando la posición o el ángulo de toma de la videocámara se cambia debido a un cierto motivo y se requiere una nueva calibración, el objeto de referencia elegido en la calibración preliminar se puede utilizar para recalibrar la videocámara. Esto es así porque:

5 En la etapa 102, se proporcionan los datos de la plantilla de referencia y las posiciones de los puntos de características, en el objeto de referencia, se pueden registrar con exactitud en función de dicha plantilla de referencia. A continuación, para la videocámara, se proporcionan los datos del objeto de referencia. Por lo tanto, la videocámara se puede volver a calibrar según el objeto de referencia. Puesto que los datos del objeto de referencia registrados según la plantilla de referencia, en la calibración preliminar, es de alta precisión, será también alta la precisión de recalibración de la
10 videocámara en función del objeto de referencia.

El método para calibrar la videocámara, dado a conocer en la presente invención, se detalla mediante las formas de realización proporcionadas a continuación.

15 La Figura 4 es un diagrama de flujo de una segunda forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención, en donde se utiliza un teselado como la plantilla de referencia.

Etapa 401: El teselado utilizado como la plantilla de referencia y un objeto de referencia son objeto de toma de imagen.

20 Cuando la videocámara se utiliza para la toma de un nuevo entorno operativo, necesita colocarse un teselado utilizado como la plantilla de referencia en este entorno operativo y se elige un objeto en la proximidad del teselado como el objeto de referencia. El objeto que no es fácilmente alejado es un objeto preferido.

25 Una vez elegido el objeto de referencia, el teselado utilizado como la plantilla de referencia y el objeto de referencia se toman por la videocámara desde al menos tres perspectivas.

Etapa 402: La videocámara se calibra en función de los datos dados del teselado.

30 La Figura 5 representa la relación entre el teselado, el objeto de referencia, el plano de imágenes y el sistema de coordenadas de la videocámara.

En la Figura 5, $X_C Y_C Z_C$ indica el sistema de coordenadas de la videocámara y $X_W Y_W Z_W$ indica el sistema de coordenadas universal.

35 La relación geométrica de creación de imágenes entre el punto de imagen $m(u, v)$ en el plano de imágenes 503 y el punto objeto espacial $M(X, Y, 0)$ en el teselado 501 se muestra como sigue:

$$sm = K [R \ t] M.$$

40 El teselado 501 utilizado como la plantilla de referencia es una plantilla plana maquinada con precisión y se proporcionan todos los datos tales como el tamaño, la cantidad y secuencia de rejillas. Por lo tanto, los datos del punto objeto espacial en el teselado 501 también se proporcionan. Suponiendo que el teselado 501 está relacionado con el sistema de coordenadas universal $Z = 0$, la ecuación anterior se convierte en una matriz de proyección de perspectivas en caso de coordenadas homogéneas como sigue:

45

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K [r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K [r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

50 en donde K indica la matriz de parámetros internos de la videocámara; $\tilde{M} = [X \ Y \ 1]^T$ indica las coordenadas homogéneas del punto objeto espacial $M(X, Y, 0)$ en el teselado 501; $\tilde{m} = [u \ v \ 1]^T$ indica las coordenadas homogéneas del punto $m(u, v)$ que corresponde a un punto proyectado desde el teselado 501 en el plano de imágenes 503 y R y t, respectivamente, indican la matriz de giro y el vector de traslación del sistema de coordenadas de la videocámara en relación con el sistema de coordenadas universal.

$$H = [h_1 \ h_2 \ h_3] = \lambda K [r_1 \ r_2 \ t] \Rightarrow r_1 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_1, \quad r_2 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_2, \quad \lambda \text{ indica el factor de escala.}$$

55

En función de las características de la matriz de giro, r_1 y r_2 indican vectores ortogonales, es decir, $r_1^T r_2 = 0$ y $\|r_1\| = \|r_2\| = 1$. Cada imagen contenida mediante toma puede tener las dos limitaciones básicas siguientes en la matriz de parámetros internos:

5
$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0 \quad y \quad h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2.$$

Puesto que se desconocen cinco parámetros internos de la videocámara, cuando el número de imágenes obtenidas por la toma es igual o mayor que tres, estos cinco parámetros internos de la videocámara se pueden obtener, de forma única, por intermedio de la ecuación de la envolvente.

10 A través de $h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0$ y $h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2$ se obtiene el parámetro interno K y a continuación, la matriz de giro R y el vector de traslación t , junto con los parámetros internos de la videocámara, se pueden obtener como sigue:

15
$$r_1 = \lambda K^{-1} h_1, r_2 = \lambda K^{-1} h_2, r_3 = r_1 \times r_2, t = \lambda K^{-1} h_3 \quad \text{en donde} \quad \lambda = 1 / \|K^{-1} h_1\| = 1 / \|K^{-1} h_2\|.$$

Entonces, la calibración de la videocámara está completa.

Etapa 403: Se registran las posiciones de los puntos de características del objeto de referencia.

20 Los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara se utilizan para determinar las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia en la proximidad del teselado, esto es, las coordenadas de los puntos de características en el espacio 3D o en el sistema de coordenadas universal.

25 El proceso de registro se detalla como sigue.

En general, según la geometría proyectiva epipolar, se puede obtener lo siguiente:

30
$$\begin{cases} \lambda_i m_i = K[I,0]M_i = P M_i \\ \lambda'_i m'_i = K[R,t]M_i = P' M_i \end{cases}$$

en donde: m_i y m'_i , respectivamente, indican los dos puntos de imagen de los puntos espaciales M_i y M'_i en el plano de proyección de la videocámara; λ_i y λ'_i indican, respectivamente, los dos factores de escala correspondientes de los puntos espaciales proyectados de la videocámara sobre el plano de imágenes; P y P' indican, respectivamente, la matriz de proyección de la videocámara cuando los puntos espaciales se proyectan sobre el plano de imágenes correspondiente; K indica la matriz de parámetros internos de la videocámara y $[R, t]$ indica la matriz de parámetros externos de la videocámara, es decir, la matriz de giro y el vector de traslación.

En el caso de que los parámetros internos y externos de la videocámara se proporcionen, las coordenadas de los puntos espaciales se pueden deducir inversamente en función de los puntos de imágenes, según se indica a continuación:

40
$$\begin{cases} M_i \approx P^+ m_i \\ M'_i \approx (P')^+ m'_i \end{cases}$$

en donde $P^+ = P^T (P P^T)^{-1}$ y $(P')^+ = P'^T (P' P'^T)^{-1}$ indican las matrices pseudo-inversas de P y P' respectivamente; $P = K[I,0]$, $P' = K[R,t]$; M_i y M'_i indican, respectivamente, los puntos espaciales de los puntos de imagen m_i y m'_i que son inversamente proyectados en el espacio 3D y “ \approx ” indica que solamente un factor de escala falta en la ecuación.

Entonces, se registran las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia.

50 Etapa 404: El teselado utilizado como la plantilla de referencia se desplaza alejándose.

En este momento, el teselado usado como la plantilla de referencia se puede desplazar alejándose para facilitar las operaciones posteriores.

Etapa 405: La videocámara se recalibra en función del objeto de referencia.

5 Cuando la posición o el ángulo de toma de la videocámara se cambia debido a cierto motivo y se requiere una nueva calibración, el objeto de referencia elegido, en la calibración preliminar, se puede utilizar para recalibrar la videocámara.

10 Suponiendo que se elige una placa de identificación como el objeto de referencia, la videocámara se puede volver a calibrar en función de la información registrada en la etapa 403 a cerca de las posiciones de los puntos de características en la placa de identificación utilizada como el objeto de referencia. Dicho de otro modo, el teselado se sustituye por la placa de identificación calibrada y la placa de identificación se utiliza como una nueva plantilla de referencia para calibrar de nuevo la videocámara. Sus detalles son como sigue:

15 toma de imagen de la placa de identificación desde al menos tres perspectivas para obtener las imágenes correspondientes;

la utilización de la transformación de Hough para detectar las líneas rectas en la placa de identificación, tales como los cuatro bordes del lado del nombre, soporte de lados triangulares y líneas rectas en el carácter;

20 el ajuste de todas las líneas y el establecimiento de la ecuación de coordenadas para obtener las posiciones de vértices y del punto en donde se produce la intersección de las diagonales y

25 la obtención de las coordenadas de puntos de imagen de caracteres en la placa de identificación y las correspondientes coordenadas de la placa de identificación en el sistema de coordenadas universal y la utilización de las coordenadas de imágenes de puntos de características, las coordenadas correspondientes en el sistema de coordenadas universal y la ecuación lineal para obtener los parámetros internos y externos de la videocámara.

30 Actualmente, la videocámara es objeto de nueva calibración. Según se describió anteriormente, para calibrar la videocámara en esta forma de realización, se necesita una plantilla de referencia para calibración solamente cuando ha de efectuarse una toma de imagen en un nuevo entorno operativo. En la calibración preliminar, la información del siguiente objeto de referencia necesita registrarse al mismo tiempo. A continuación, sólo es necesario mantener el objeto de referencia en el entorno operativo del que se va a tomar imagen y el objeto de referencia se puede utilizar para fines de calibración. Ya no es necesario utilizar la plantilla de referencia para calibración cada vez que se cambie la posición o el ángulo de toma de la videocámara, con lo que se simplifican las operaciones y se hace aplicable a varias entornos operativos. Además, dicha solución es también aplicable si el movimiento de la videocámara es imperceptible o no susceptible de control. Además, puesto que una plantilla de referencia maquinada con precisión con datos dados se utiliza en la calibración preliminar y los datos del objeto de referencia registrados en la calibración preliminar son exactos, también es bastante alta la precisión de la calibración basada en los datos del objeto de referencia.

40 La Figura 6 es un diagrama de flujo de una tercera forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención, en donde un rectángulo inscrito en un círculo se utiliza como la plantilla de referencia.

Etapa 601: Se realiza una toma de imagen del rectángulo inscrito en el círculo utilizado como la plantilla de referencia así como un objeto de referencia.

45 Cuando la videocámara se utiliza para la toma de imagen de un nuevo entorno operativo, un rectángulo inscrito en un círculo, que se utiliza como la plantilla de referencia, necesita colocarse en este entorno operativo y un objeto en la proximidad del rectángulo inscrito en el círculo se selecciona como el objeto de referencia. Se prefiere el objeto que no se toma fácilmente alejándose.

50 Una vez elegido el objeto de referencia, se toman imágenes del rectángulo inscrito en el círculo utilizado como la plantilla de referencia y del objeto de referencia desde al menos tres perspectivas.

Etapa 602: La videocámara es calibrada en función de datos dados del rectángulo inscrito en el círculo.

55 La Figura 7 representa la relación entre el rectángulo inscrito en el círculo, el plano de imágenes y el sistema de coordenadas de la videocámara.

60 En la Figura 7, la referencia 701 indica el sistema de coordenadas de la videocámara, 702 indica el plano de imágenes, 703 indica el rectángulo inscrito en el círculo utilizado como la plantilla de referencia y $X_W Y_W Z_W$ indica el sistema de coordenadas universal.

En primer lugar, el módulo se calibra para la videocámara.

El origen del sistema de coordenadas universal se establece en el centro del rectángulo inscrito en el círculo 703, con el eje Z perpendicular al plano en donde el rectángulo está inscrito en el círculo. Entonces, las correspondientes coordenadas homogéneas del punto $[X_w Y_w 0]^T$ en el círculo se indican a continuación:

5
$$M = [X_w \ Y_w \ 0 \ 1]^T$$

A continuación, V_{Mi} se establece para indicar los cuatro puntos en donde el círculo se intersecta con el rectángulo:

10
$$V_{Mi} = [X_M^i \ Y_M^i \ 1]^T \ (i = 1,2,3,4)$$

De este modo, las coordenadas homogéneas correspondientes al punto de imagen (u, v) en el círculo son:

$$m = [u \ v \ 1]^T$$

15 La transformación de proyección de perspectivas, entre los puntos de imagen y las coordenadas universales es:

$sm = PM$ en donde:

20
$$P = K[R \ T] = (p_{ij})_{3 \times 4}$$

P indica la matriz de transformación de proyección y λ indica el factor de escala;

$$K = \begin{pmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$

25 K indica la matriz de parámetros internos de la videocámara;

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} = (r_1 \ r_2 \ r_3)$$

30 R indica la matriz de giro de unidad de los parámetros externos de la videocámara y

$$T = (t_x, t_y, t_z)^T$$

indicando T el vector de traslación de los parámetros externos de la videocámara.

35 En este momento, se obtienen los parámetros internos y externos y se completa la calibración preliminar de la videocámara.

Etapa 603: Las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia se registran.

40 El proceso de registrar las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia comprende: la obtención de la solución de forma cerrada de la videocámara, la realización de una optimización no lineal y la determinación de las posiciones de los puntos de características en el objeto en la proximidad de la plantilla de referencia en función de los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara, en donde el proceso de obtención de la solución de forma cerrada de la videocámara comprende:

45 deducir la siguiente fórmula en función de la ecuación $sm = PM$:

$$\begin{cases} u = \frac{p_{11}X_w + p_{12}Y_w + p_{14}}{p_{31}X_w + p_{32}Y_w + p_{34}} \\ v = \frac{p_{21}X_w + p_{22}Y_w + p_{24}}{p_{31}X_w + p_{32}Y_w + p_{34}} \end{cases}$$

es decir:

$$\begin{cases} X_w = a_1u + b_1v + c_1 \\ Y_w = d_1u + e_1v + f_1 \end{cases}$$

en donde, $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$ dependen de los parámetros internos y externos de la videocámara.

En el sistema de coordenadas universal, los valores de las coordenadas del punto $[X_w Y_w 01]^T$, en el círculo, satisfacen la ecuación siguiente:

$$X_w^2 + Y_w^2 = r^2$$

en donde, r indica el radio del círculo del rectángulo inscrito en el círculo 703 y se proporcionan datos. Por lo tanto, se puede deducir la fórmula siguiente:

$$(X_w \ Y_w \ 0 \ 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = (X_w \ Y_w \ 0 \ 1)C \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$

Los cuatro lados del rectángulo que se proyectan en el plano de imágenes 702 se detectan por la transformación de Hough y las líneas en donde están situados los cuatro lados se ajustan mediante una ecuación lineal como sigue:

$$l_i = (l_{i1} \ l_{i2} \)^T$$

en donde: $i = 1, 2, 3, 4; \ l_{ij}, j = 1, 2$. Los valores de l y de i no son iguales a 0 al mismo tiempo.

Las líneas en donde los cuatro lados están situados en el plano de imágenes 702 se expresan en la ecuación siguiente:

$$l_{i1}x + l_{i2}y = 0 (i = 1,2,3,4)$$

Las líneas $l^j = (l^{j1} \ l^{j2} \)^T (j = 1,2)$ en donde están situadas las diagonales se expresan en la ecuación siguiente:

$$l^{j1}x + l^{j2}y = 0 (j = 1,2)$$

Por lo tanto, se puede deducir las coordenadas de cuatro vértices V_{mi} del rectángulo que se proyecta sobre el plano de imágenes 702, como sigue:

$$V_{mi} = [u_m^i \ v_m^i \ 1]^T (i = 1,2,3,4)$$

Estos cuatro vértices V_{mi} están situados también sobre una curva cuadrática, es decir, la curva de imagen de círculo proyectado sobre el plano de imágenes 702.

En función de las características no susceptibles de cambio de la proyección, las coordenadas del punto O' en donde se intersectan las diagonales en el rectángulo que se proyecta sobre el plano de imágenes 702 son las coordenadas del punto de imagen del centro O del círculo que se proyecta sobre el plano de imágenes 702.

Los valores del punto de imagen (u, v) del círculo pueden satisfacer una ecuación cuadrática elíptica. Esta ecuación se puede determinar mediante cinco coordenadas incluyendo las coordenadas de los cuatro vértices y las coordenadas del punto donde se intersectan las diagonales en el rectángulo que se proyecta o los coeficientes de las curvas que se pueden obtener mediante un ajuste de curva cuadrático:

5

$$au^2 + buv + cv^2 + du + ev + g = 0$$

Tomando en consideración la forma cuadrática de álgebra avanzada, $m^T Qm = 0$, en donde Q se expresa de forma de simétrica por los parámetros a, b, c, d, e y g :

$$Q = \begin{pmatrix} a & b/2 & d/2 \\ b/2 & c & e/2 \\ d/2 & e/2 & g \end{pmatrix}$$

10

Hasta ahora, se establece la relación entre cinco pares de puntos. Los cuatro vértices del rectángulo inscrito en el círculo 703 corresponden a los cuatro puntos correspondientes en el plano de imágenes 702 y el centro del rectángulo inscrito en el círculo 703 corresponde al punto correspondiente del plano de imágenes 702. Además, los valores de todos estos

15

pares de puntos pueden satisfacer la ecuación $m = [u \ v \ 1]^T$, en donde los valores de los cuatro pares de vértices pueden satisfacer la ecuación siguiente:

$$au^2 + buv + cv^2 + du + ev + g = 0$$

$$(X_w \ Y_w \ 0 \ 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = (X_w \ Y_w \ 0 \ 1) C \begin{pmatrix} X_w \\ Y_w \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = 0$$

20

Entonces, los resultados son:

$$sV_{mi} = PV_{Mi}, sC_o = PC_o, V_{Mi}^T CV_{Mi} = 0, V_{mi}^T QV_{mi} = 0$$

$$(i = 1, 2, 3, 4)$$

Además, $\lambda C = P^T QP$, en donde λ indica el factor de escala.

25

Sobre la base de las ecuaciones $\lambda C = P^T QP$, (3) y (4), se puede obtener la solución de forma cerrada para los parámetros de la videocámara.

La realización de la optimización no lineal comprende:

30

la utilización de la solución de forma cerrada precedente como el valor inicial de la fórmula siguiente y la realización de la optimización no lineal para parámetros de la videocámara para obtener la función minimizada:

$$\sum_{i=1}^N (\|g(M_c) - m_c\|^2 + \sum_{j=1}^4 \|h(pl_{Mj}) - pl_{mj}\|^2)$$

35

en donde, $g(M_c)$ indica la proyección del punto M_c del círculo espacial sobre el plano de imágenes 702 y $h(pl_{Mj})$ indica la proyección del punto pl_{Mj} desde los cuatro lados del rectángulo inscrito en el círculo sobre el plano de imágenes 702.

40

El proceso de determinar las posiciones de los puntos de características del objeto en la proximidad de la plantilla de referencia en función de los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara comprende:

45

suponiendo que se elige una placa de identificación para ser el objeto de referencia, la utilización de la transformación de Hough para detectar los cuatro lados del rectángulo que se proyectan sobre el plano de imágenes 702 y mientras tanto, la detección de todas las líneas rectas en la placa de identificación, por ejemplo, los cuatro bordes del lado del nombre, que soporta lados triangulares y las líneas rectas en los caracteres; si el objeto de referencia presenta líneas de arco, la detección de dichas líneas de arco;

el ajuste lineal de la ecuación de coordenadas de cada línea recta utilizando el mismo método y la obtención de las coordenadas de cada vértice y las coordenadas de los puntos angulares y de los puntos extremos de caracteres, en el lado del nombre, en función de la intersección de las líneas rectas y

5 el cálculo de las coordenadas de cada punto de características en la placa de identificación en el espacio 3D y la obtención y registro de la posición relativa entre los puntos de características en el caso de que $sm = PM$, $g(M_c)$ indica la proyección del punto M_c del círculo espacial sobre el plano de imágenes 702, $h(p_{M_j})$ indica la proyección del punto p_{M_j} desde los cuatro lados del rectángulo inscrito en el círculo sobre el plano de imágenes 702, mediante el cual se obtiene el punto de imagen y se proporciona la matriz de parámetros P de la videocámara, en donde la posición relativa incluye las líneas rectas entre dos puntos extremos del rectángulo, la distancia entre puntos, los puntos angulares de los caracteres, la distancia entre los puntos extremos y los lados del rectángulo y así sucesivamente.

10 Etapa 604: El rectángulo inscrito en el círculo utilizado como la plantilla de referencia se desplaza en el sentido de alejarse.

En este momento, el rectángulo inscrito en el círculo, utilizado como la plantilla de referencia se puede desplazar para facilitar las operaciones posteriores.

15 Etapa 605: La videocámara se vuelve a calibrar en función del objeto de referencia.

Cuando la posición o ángulo de toma de la videocámara se cambia debido a un cierto motivo y se necesita una nueva calibración, el objeto de referencia elegido para la calibración preliminar se puede utilizar para volver a calibrar la videocámara.

20 El ejemplo de que un placa de identificación se elige como el objeto de referencia se utiliza aquí como elemento adicional. La videocámara se puede volver a calibrar en función de la información registrada en la etapa 603 a cerca de las posiciones de los puntos de características en la placa de identificación utilizada como el objeto de referencia. Dicho de otro modo, el teselado se sustituye por la placa de identificación calibrada y la placa de identificación se utiliza como una nueva plantilla de referencia para volver a calibrar la videocámara. Los detalles correspondientes son como sigue:

25 la toma de imagen de la placa de identificación desde al menos tres perspectivas para obtener sus imágenes;

30 la utilización de la transformación de Hough para detectar las líneas rectas en la placa de identificación, tales como los cuatro bordes del lado del nombre, soporte de lados triangulares y líneas rectas en los caracteres;

el ajuste de todas las líneas y el establecimiento de la ecuación de coordenadas para obtener la posición de cada vértice y del punto en donde se produce la intersección de las diagonales;

35 la obtención de las coordenadas del punto de imagen del carácter en la placa de identificación;

el cálculo y la obtención de los parámetros de la videocámara en función de las coordenadas de cada punto y la ecuación lineal utilizando el mismo método que se detalla en la etapa 603, esto es, la obtención de la solución de forma cerrada de la videocámara utilizando el rectángulo inscrito en el círculo y

40 la obtención del método de optimización no lineal utilizando el rectángulo inscrito en el círculo, según se describe en la etapa 603, para obtener finalmente los parámetros de la videocámara.

45 Actualmente, la videocámara está recalibrada. Según se describió anteriormente, para calibrar la videocámara en esta forma de realización, se requiere una plantilla de referencia para calibración solamente cuando ha de tomarse imágenes de un nuevo entorno operativo. En la calibración preliminar, la información del siguiente objeto de referencia necesita registrarse al mismo tiempo. Entonces, sólo es necesario mantener el objeto de referencia en el entorno operativo que será objeto de toma de imagen y el objeto de referencia se puede utilizar para la calibración. Ya no es necesario utilizar la plantilla de referencia para fines de calibración cada vez que se cambia la posición o el ángulo de toma de la videocámara, con lo que se simplifican las operaciones y se hace aplicable a varias entornos operativos. Además, dicha solución es también aplicable si el movimiento de la videocámara es imperceptible o no susceptible de control. Además, puesto que se utiliza una plantilla de referencia maquinada con precisión con datos dados en la calibración preliminar y los datos del objeto de referencia registrados en la calibración preliminar son exactos, la precisión de la calibración en función de los datos del objeto de referencia es bastante alta.

50 La Figura 8 representa una estructura de una primera forma de realización de un aparato para calibrar la videocámara de la presente invención. Este aparato comprende:

55 una unidad de calibración preliminar 810, adaptada para: obtener parámetros internos y externos de la videocámara en función de una plantilla de referencia y para registrar datos de un objeto de referencia en el entorno operativo

una unidad de recalibración 820, adaptada para: cuando la videocámara necesita calibración, obtener imágenes del objeto de referencia desde al menos tres perspectivas, obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en función de los datos registrados del objeto de referencia y para calibrar la videocámara.

5 La unidad de calibración preliminar 810 comprende:
una unidad de obtención de parámetros 811, adaptada para: obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en función de la plantilla de referencia y

10 una unidad de registro 812, adaptada para: registrar datos del objeto de referencia en el entorno operativo. Si se utiliza un teselado como la plantilla de referencia, la unidad de registro 812 comprende:

15 una primera unidad de registro 812a, adaptada para: según los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara sobre la base de la plantilla de referencia, la determinación y el registro de posiciones de los puntos de características, en el objeto de referencia, en la proximidad del teselado en el entorno operativo.

Si se utiliza un rectángulo inscrito en un círculo como la plantilla de referencia, la unidad de registro comprende:

20 una segunda unidad de registro 812b adaptada para: detectar las líneas rectas y/o las líneas de arco en el objeto de referencia, al mismo tiempo que se detectan las líneas rectas del rectángulo inscrito en el círculo y para registrar las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia.

25 La unidad de recalibración 820 comprende:
una unidad de obtención de imágenes 822 adaptada para: obtener las imágenes del objeto de referencia desde al menos tres perspectivas cuando se tenga que calibrar la videocámara y

30 una unidad de cálculo 821, adaptada para: detectar características del objeto de referencia para obtener posiciones de imágenes de los puntos de características y líneas, para obtener coordenadas de las imágenes de los puntos de características y líneas y las correspondientes coordenadas del objeto de referencia en un sistema de coordenadas universal y para calcular los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de las imágenes de los puntos de características, las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y las ecuaciones de parámetros.

35 Si se utiliza una placa de identificación como el objeto de referencia, la unidad de cálculo 821 comprende, además, una unidad de cálculo de placa de identificación, adaptada para:

40 detectar las líneas rectas en las placas de identificación;
ajustar cada línea recta y establecer la ecuación de coordenadas para obtener posiciones de cada vértice y punto en donde se produce la intersección de las diagonales;

45 obtener las coordenadas de puntos de imagen de los caracteres en la placa de identificación y las correspondientes coordenadas de la placa de identificación en el sistema de coordenadas universal y

calcular los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de las imágenes de los puntos de características, las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y la ecuación lineal.

50 Además, el método para calibrar la videocámara dado a conocer en las formas de realización de la presente invención comprende:

la obtención de los parámetros internos y externos de la videocámara en función de la plantilla de referencia;
55 el registro de los datos del objeto de referencia en el entorno operativo y

cuando la videocámara necesita calibración, la obtención de las imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas y los parámetros internos y externos de la videocámara adquiridos en función de los datos registrados del objeto de referencia para calibrar la videocámara.

60 La Figura 9 es un diagrama de flujo de una cuarta forma de realización de un método para calibrar la videocámara de la presente invención. En este método, se utiliza un teselado como la plantilla de referencia y se efectúa la toma de imagen por la videocámara desde al menos dos perspectivas, incluyendo las etapas siguientes:

65 Etapa 901: Se toman imágenes, desde al menos dos perspectivas, del teselado utilizado como la plantilla de referencia y un objeto de referencia.

5 Cuando la videocámara se utiliza para la toma de imágenes de un nuevo entorno operativo, un teselado utilizado como la plantilla de referencia necesita colocarse en este entorno operativo y un objeto en este entorno operativo, en la proximidad de este teselado, se elige como el objeto de referencia. El objeto que no es fácilmente tomado en sentido de alejamiento es preferido.

Una vez elegido el objeto de referencia, el teselado utilizado como la plantilla de referencia y el objeto de referencia, se someten a la toma de imágenes desde al menos dos perspectivas.

10 Etapa 902: La videocámara se calibra en función de los datos dados del teselado.

La Figura 5 representa la relación entre el teselado, el objeto de referencia, el plano de imágenes y el sistema de coordenadas de la videocámara.

15 En la Figura 5, $X_c Y_c Z_c$ indica el sistema de coordenadas de la videocámara y $X_w Y_w Z_w$ indica el sistema de coordenadas universal.

La relación geométrica de creación de imágenes entre el punto de imagen $m(u, v)$ en el plano de imágenes 503 y el punto objeto espacial $M(X, Y, O)$ en el teselado 501 se muestra como sigue:

20
$$sm = K[R \ t]M$$

en donde K indica la matriz triangular superior de los parámetros internos de la videocámara, según se muestra a continuación:

25
$$K = \begin{bmatrix} k_u & s & p_u \\ 0 & k_v & p_v \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Esta autocalibración está diseñada para determinar la matriz de parámetros internos K de la videocámara, en donde:

30 k_u indica la ampliación de la imagen en la dirección u (dirección horizontal) en pixels;

k_v indica la ampliación de la imagen en la dirección v (dirección vertical) en pixels;

35 s indica el factor de distorsión del eje de coordenadas distorsionado de la cámara y

p_u y p_v indican las coordenadas de los puntos de principio en pixels.

40 Los parámetros k_u y k_v están estrechamente relacionados con la distancia focal de la videocámara. Si la matriz de sensibilización de la videocámara incluye pixels cuadrados ($k_u = k_v$) y $s = 0$, k_u y k_v indican la distancia focal de la videocámara en pixels. Si la matriz de sensibilización incluye pixels no cuadrados, por ejemplo, la videocámara que integra el dispositivo acoplado por carga (CCD), k_u indica la relación en la distancia focal f al tamaño del pixel en la dirección u y k_v indica la relación de la distancia focal f al tamaño del pixel en la dirección v.

45 Puesto que el teselado 501 utilizado como la plantilla de referencia es una plantilla plana maquinada con precisión y sus datos, tales como el tamaño, la cantidad y secuencia de rejillas que se proporcionan, el punto de objeto espacial en el teselado 501 se proporcionan los datos correspondientes. Suponiendo que el teselado 501 está asociado al plano del sistema de coordenadas universal $Z=0$, la ecuación anterior se convierte en una matriz de proyección de perspectivas en el caso de coordenadas homogéneas como sigue:

50
$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K[r_1 \ r_2 \ r_3 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K[r_1 \ r_2 \ t] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = H \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}.$$

En esta ecuación, K indica la matriz de parámetros internos de la videocámara; $\tilde{M} = [X \ Y \ 1]^T$ indica las coordenadas homogéneas del punto de objeto espacial $M(X, Y, 0)$ en el teselado 501; $\tilde{m} = [u \ v \ 1]^T$ indica las coordenadas homogéneas del punto $m(u, v)$ que corresponde a un punto proyectado desde el teselado 501 en el plano de imágenes 503; R y t indican, respectivamente, la matriz de giro y el vector de traslación del sistema de coordenadas de la videocámara en relación con el sistema de coordenadas universal.

En
$$H = [h_1 \ h_2 \ h_3] = \lambda K [r_1 \ r_2 \ t] \Rightarrow r_1 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_1, \quad r_2 = \frac{1}{\lambda} K^{-1} h_2, \quad \lambda \text{ indica el factor de escala.}$$

Según las características de la matriz de giro, r_1 y r_2 indican vectores ortogonales, es decir $r_1^T r_2 = 0$ y $\|r_1\| = \|r_2\| = 1$. Cada imagen obtenida por toma de imágenes puede presentar las dos limitaciones básicas siguientes sobre la matriz de parámetros internos:

$$h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0 \quad \text{y} \quad h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2.$$

Puesto que cinco parámetros internos de la videocámara son desconocidos, cuando el número de imágenes obtenidas mediante toma de imágenes es igual o superior a tres, esto cinco parámetros internos de la videocámara se pueden obtener, de forma única, aplicando la ecuación de la envolvente.

En la aplicación real, la definición estándar (SD) e incluso las videocámaras de alta definición (HD) han incorporado técnicas cada vez más sofisticadas, se acorta la distancia entre las distancias focales en la dirección u y en la dirección v y el punto de principio de parámetros internos de la videocámara se aproxima al centro de las coordenadas de la imagen tomada. Por lo tanto, solamente necesita calcularse la distancia focal de las videocámaras en numerosos casos. Con respecto a los parámetros internos de la videocámara, sin embargo, el punto de principio se puede establecer para que sea el centro de la imagen tomada, por ejemplo. De este modo, solamente ha de obtenerse un parámetro. Por lo tanto, cuando han de tomarse dos o más imágenes, la distancia focal de la videocámara se puede obtener, de forma única, aplicando la ecuación lineal.

Basándose en $h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 = 0$ y $h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 = h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2$, se puede obtener el parámetro interno K . De este modo, la matriz de giro R y el vector de traslación t utilizados como parámetros externos de la videocámara se pueden obtener como sigue:

$$r_1 = \lambda K^{-1} h_1, r_2 = \lambda K^{-1} h_2, r_3 = r_1 \times r_2, t = \lambda K^{-1} h_3, \text{ en donde } \lambda = 1 / \| K^{-1} h_1 \| = 1 / \| K^{-1} h_2 \|\$$

Entonces, la calibración de la videocámara está completa.

Etapa 903: Se registran las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia.

Los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara se utilizan para determinar posiciones de los puntos de características en el objeto en la proximidad del teselado, es decir, las coordenadas de los puntos de características en el espacio 3D o en el sistema de coordenadas universal.

El proceso de registro se detalla como sigue.

En general, según la geometría proyectiva epipolar, se puede obtener lo siguiente:

$$\begin{cases} \lambda_i m_i = K[I, 0] M_i = P M_i \\ \lambda'_i m'_i = K[R, t] M_i = P' M_i \end{cases}$$

en donde, m_i y m'_i indican, respectivamente, los dos puntos de imagen de los puntos espaciales M_i y M'_i en el plano de proyección de la videocámara, λ_i y λ'_i indican, respectivamente, los dos factores de escala de los puntos espaciales proyectados de la videocámara sobre el plano de imágenes; P y P' indican, respectivamente, la matriz de proyección de la videocámara cuando los puntos espaciales se proyectan sobre el plano de imágenes correspondiente; K indica la matriz de parámetros internos de la videocámara $[R, t]$ indica la matriz de parámetros externos de la videocámara, es decir, la matriz de giro y el vector de traslación.

Dados los parámetros internos y externos disponibles de la videocámara, las coordenadas de los puntos espaciales se pueden deducir inversamente en función de los puntos de imagen, según se muestra a continuación:

$$\begin{cases} M_i \approx P^+ m_i \\ M'_i \approx (P')^+ m'_i \end{cases}$$

5 en donde $P^+ = P^T (PP^T)^{-1}$ y $(P')^+ = P'^T (P'P'^T)^{-1}$ indican las matrices pseudo-inversas de P y P' , respectivamente; $P = K[I,0]$, $P' = K[R,t]$; M_i y M'_i indican, respectivamente, los puntos espaciales de puntos de imagen m_i y m'_i proyectados inversamente en el espacio 3D y “ \approx ” indica que solamente falta un factor de escala en la fórmula.

10 A continuación, se registran las posiciones de los puntos de características en el objeto de referencia.

Etapa 904: El teselado utilizado como la plantilla de referencia se desplaza en el sentido de alejarse.

15 En este momento, el teselado utilizado como la plantilla de referencia se puede desplazar en sentido de alejarse para facilitar las operaciones posteriores.

Etapa 905: La videocámara se vuelve a calibrar en función del objeto de referencia.

20 Cuando la posición o el ángulo de toma de imagen de la videocámara se cambia debido a un cierto motivo y se necesita una nueva calibración, el objeto de referencia en la calibración preliminar, se puede utilizar para volver a calibrar la videocámara.

25 Suponiendo que se elige una placa de identificación como el objeto de referencia, la videocámara se puede recalibrar en función de la información registrada en la etapa 903 a cerca de las posiciones de los puntos de características en la placa de identificación utilizada como el objeto de referencia. Dicho de otro modo, el teselado se sustituye por la placa de identificación calibrada y la placa de identificación se utiliza como una nueva plantilla de referencia para recalibrar la videocámara. Sus detalles son como sigue:

30 la toma de imagen de la placa de identificación desde al menos dos perspectivas para obtener las imágenes;

la utilización de la transformación de Hough para detectar las líneas rectas en la placa de identificación, tales como los cuatro bordes en el lado del nombre, el soporte de los lados triangulares y de las líneas rectas en el carácter;

35 el ajuste de todas las líneas y el establecimiento de la ecuación de coordenadas para obtener las posiciones de cada vértice y punto en donde se produce la intersección de las diagonales y

40 la obtención de las coordenadas de puntos de imagen de los caracteres en la placa de identificación y las correspondientes coordenadas de la placa de identificación en el sistema de coordenadas universal y el cálculo de los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de las imágenes de los puntos de características, de las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y de la ecuación lineal.

45 Actualmente, la videocámara está recalibrada. Según se describió anteriormente, para calibrar la videocámara en esta forma de realización, se necesita una plantilla de referencia para calibración solamente cuando ha de tomarse la imagen de un nuevo entorno operativo. En la calibración preliminar, la información del objeto de referencia siguiente necesita registrarse al mismo tiempo. Entonces, solamente es necesario mantener el objeto de referencia en el entorno operativo del que se van a tomar imágenes y el objeto de referencia se puede utilizar para calibración. Ya no es necesario utilizar la plantilla de referencia para calibración cada vez cuando se cambia la posición o el ángulo de toma de imagen de la videocámara, con lo que se simplifican las operaciones y se hace aplicable a varios entornos operativos. Además, dicha solución es también aplicable si el movimiento de la videocámara es imperceptible o no susceptible de control. Además, puesto que una plantilla de referencia maquinada con precisión, con los datos dados, se utiliza en la calibración preliminar y los datos del objeto de referencia registrados en la calibración preliminar son exactos, la precisión de la calibración en función de los datos del objeto de referencia es bastante alta.

55 Además, cuando se utiliza un rectángulo inscrito en un círculo como la plantilla de referencia, la plantilla de referencia puede ser objeto de toma de imágenes desde al menos dos perspectivas.

La Figura 10 representa una estructura de una segunda forma de realización de un aparato para calibrar la videocámara de la presente invención. Este aparato comprende:

60

una unidad de calibración preliminar 1010, adaptada para: obtener parámetros internos y externos de la videocámara en función de una plantilla de referencia y para registrar datos de un objeto de referencia en el entorno operativo y

- 5 una unidad de recalibración 1020, adaptada para: cuando la videocámara necesita calibración, para obtener imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas, para obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en función de los datos registrados del objeto de referencia y para calibrar la videocámara.

La unidad de calibración preliminar 1010 comprende:

- 10 una unidad de obtención de parámetros 1011, adaptada para obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en función de la plantilla de referencia y

una unidad de registro 1012, adaptada para registrar los datos del objeto de referencia en el entorno operativo.

- 15 La unidad de recalibración 1020 comprende:

una unidad de obtención de imagen 1022 adaptada para: obtener las imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas cuando haya de calibrarse la videocámara y

- 20 una unidad de cálculo 1021, adaptada para: detectar características del objeto de referencia para obtener posiciones de imágenes de los puntos de características y líneas, para obtener coordenadas de las imágenes de los puntos de características y líneas y las correspondientes coordenadas del objeto de referencia en un sistema de coordenadas universal y para calcular los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de las imágenes de los puntos de características, las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y
25 las ecuaciones de parámetros.

- Para los expertos en esta técnica será evidente que la totalidad o algunas etapas descritas en las formas de realización anteriores se pueden poner en práctica mediante un hardware relacionado bajo las instrucciones de programas. Los programas se pueden memorizar en un medio de almacenamiento legible, por ejemplo, una memoria de lectura
30 solamente (ROM), un disco magnético o un disco óptico.

Un método y un aparato para calibrar la videocámara se dan a conocer en las formas de realización de la presente invención. Esta solicitud elabora ejemplos concretos que implican los principios y la puesta en práctica de la presente invención para facilitar el entendimiento de los métodos e ideas básicas de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la calibración de una videocámara, que comprende:
- 5 la obtención de parámetros internos y externos de la videocámara según una plantilla de referencia para calibrar preliminarmente la cámara y para registrar datos en el sistema de coordenadas universal de un objeto de referencia en el mismo entorno operativo con la plantilla de referencia y
- 10 cuando la videocámara necesita recalibración, la obtención de imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas, la obtención de los parámetros internos y externos de la videocámara en el tiempo en función de los datos registrados y las imágenes del objeto de referencia para recalibrar de nuevo la videocámara.
2. El método para la calibración de la videocámara según la reivindicación 1, en donde:
- 15 la obtención de imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas comprende: la obtención de imágenes del objeto de referencia desde al menos tres perspectivas.
3. El método para la calibración de la videocámara según la reivindicación 1 o 2, en donde:
- 20 el registro de los datos del objeto de referencia en el mismo entorno operativo con la plantilla de referencia comprende: la determinación y el registro de posiciones de puntos de características en el objeto de referencia, en la proximidad de la plantilla de referencia en el entorno operativo, en función de los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara según la plantilla de referencia.
- 25 4. El método para la calibración de la videocámara según la reivindicación 3, en donde: la plantilla de referencia es un rectángulo inscrito en un círculo y
- 30 los puntos de características en el objeto de referencia comprende: los puntos de características en las líneas rectas y/o las líneas de arcos en el objeto de referencia.
5. El método para la calibración de la videocámara según una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde:
- el objeto de referencia es una placa de identificación y
- 35 la obtención de los parámetros internos y externos de la videocámara, en el tiempo, basados en los datos y las imágenes registradas del objeto de referencia, para recalibrar la videocámara, comprende: detectar líneas rectas de la placa de identificación en las imágenes obtenidas; ajustar cada línea recta y establecer una ecuación de coordenadas para obtener posiciones de cada vértice y punto en donde se intersectan las diagonales, la obtención de coordenadas de puntos de imágenes de caracteres en la placa de identificación y las correspondientes coordenadas de la placa de
- 40 identificación en un sistema de coordenadas universal y el cálculo de los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de imágenes de los puntos de características, las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y ecuaciones lineales.
- 45 6. Un aparato para calibrar una videocámara, que comprende:
- una unidad de calibración preliminar, adaptada para: obtener parámetros internos y externos de la videocámara según una plantilla de referencia y para registrar datos en el sistema de coordenadas universal de un objeto de referencia en el mismo entorno operativo con la plantilla de referencia y
- 50 una unidad de recalibración, adaptada para: cuando la videocámara necesita recalibración, obtener imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas, obtener los parámetros internos y externos de la videocámara en el tiempo según los datos registrados del objeto de referencia para recalibrar la videocámara.
7. El aparato para calibrar la videocámara según la reivindicación 6, en donde la unidad de calibración preliminar comprende:
- 55 una unidad de obtención de parámetros, adaptada para: obtener los parámetros internos y externos de la videocámara según la plantilla de referencia y
- 60 una unidad de registro adaptada para: registrar los datos del objeto de referencia en el entorno operativo.
8. El aparato para calibrar la videocámara según la reivindicación 7, en donde: la plantilla de referencia es un teselado y
- 65 la unidad de registro comprende una primera unidad de registro, adaptada para: según los parámetros internos y externos obtenidos de la videocámara basados en la plantilla de referencia, determinar y registrar posiciones de puntos de características en el objeto de referencia, en la proximidad del teselado en el entorno operativo.

9. El aparato para calibrar la videocámara según la reivindicación 7 u 8, en donde: la plantilla de referencia es un rectángulo inscrito en un círculo y

5 la unidad de registro comprende una segunda unidad de registro, adaptada para: cuando se detecta líneas rectas del rectángulo inscrito en el círculo, detectar líneas rectas y/o líneas de arcos en el objeto de referencia y registrar posiciones de puntos de características en el objeto de referencia.

10. El aparato para calibrar la videocámara según una de las reivindicaciones 6 a 9, en donde la unidad de recalibración comprende:

10 una unidad de obtención de imágenes, adaptada para: obtener las imágenes del objeto de referencia desde al menos dos perspectivas cuando la videocámara ha de recalibrarse y

15 una unidad de cálculo, adaptada para: detectar las características del objeto de referencia para obtener posiciones de imágenes de los puntos de características y de líneas; obtener coordenadas de las imágenes de los puntos de características y de las líneas y de las correspondientes coordenadas del objeto de referencia en un sistema de coordenadas universal y

20 calcular los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de las imágenes de los puntos de características, de las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y de las ecuaciones de parámetros.

11. El aparato para calibrar la videocámara según la reivindicación 10, en donde:

25 el objeto de referencia es una placa de identificación y

30 la unidad de cálculo comprende una unidad de cálculo de placa de identificación, adaptada para: detectar líneas rectas de la placa de identificación; ajustar cada línea recta y establecer una ecuación de coordenadas para obtener posiciones de cada vértice y punto en donde se produce la intersección de las diagonales; obtener coordenadas de puntos de imágenes de caracteres en la placa de identificación y las correspondientes coordenadas de la placa de identificación en el sistema de coordenadas universal y para calcular los parámetros internos y externos de la videocámara en función de las coordenadas de las imágenes de los puntos de características, las correspondientes coordenadas en el sistema de coordenadas universal y las ecuaciones lineales.

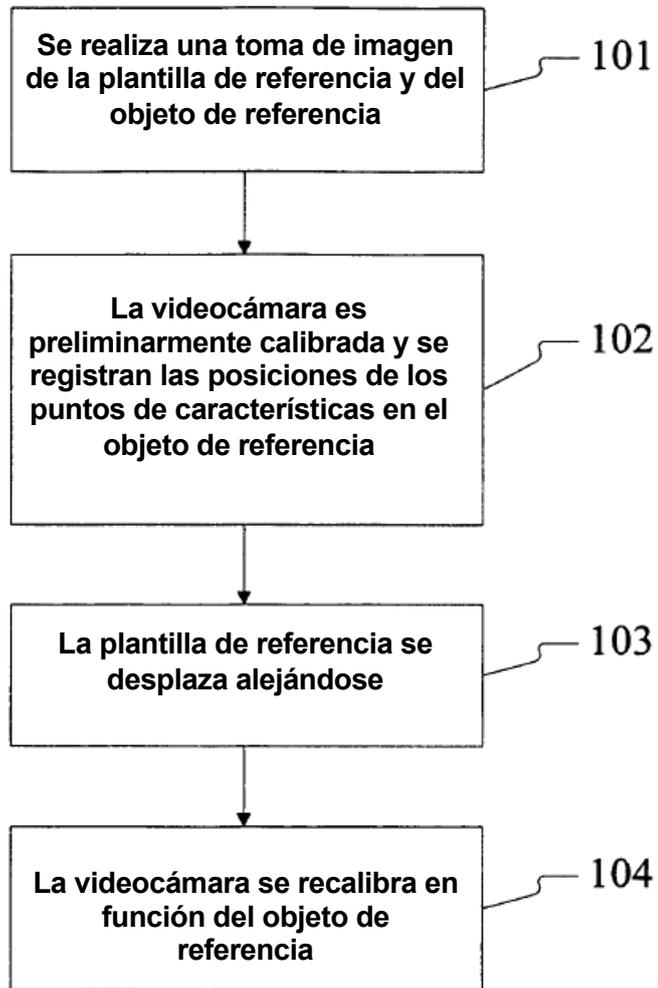


Figura 1

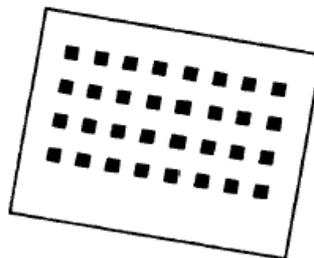


Figura 2



Figura 3

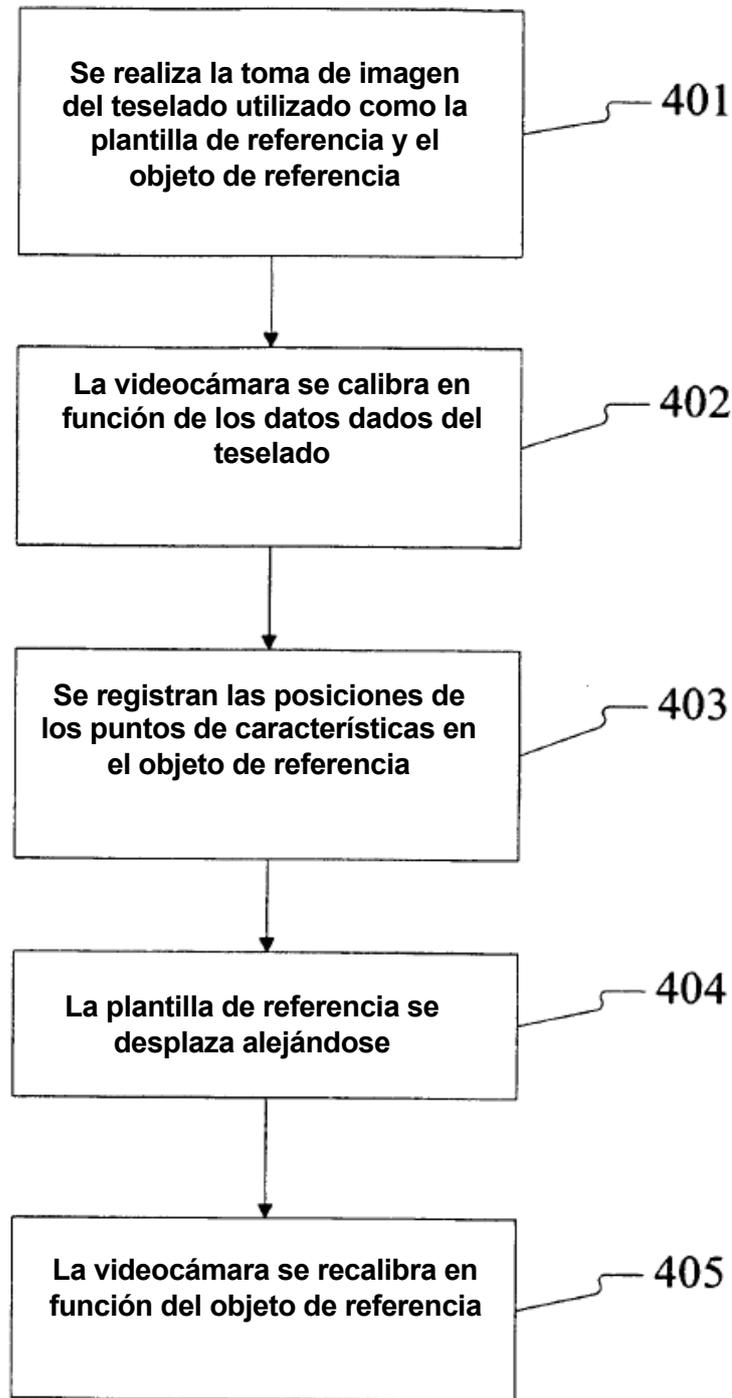


Figura 4

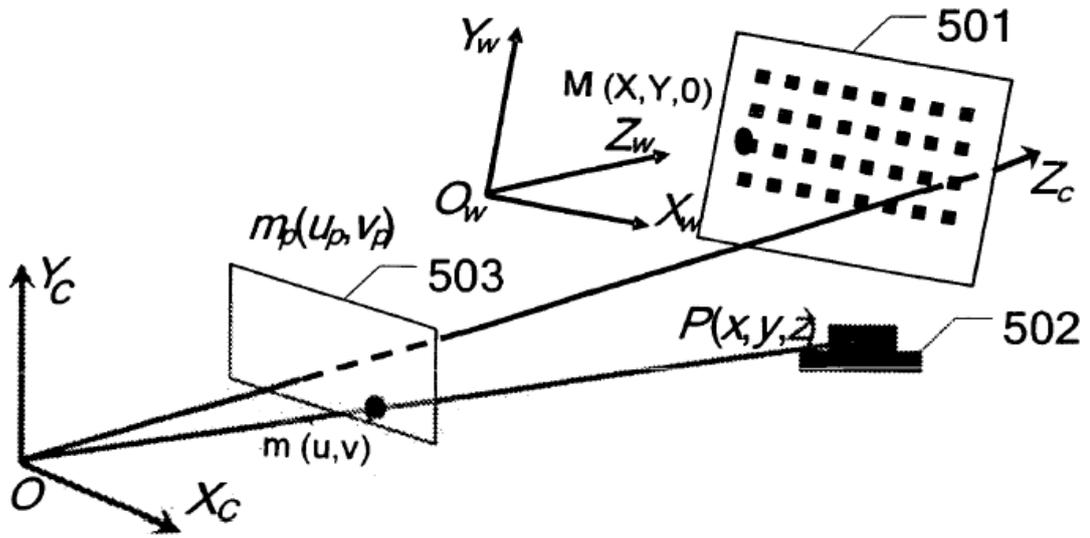


Figura 5

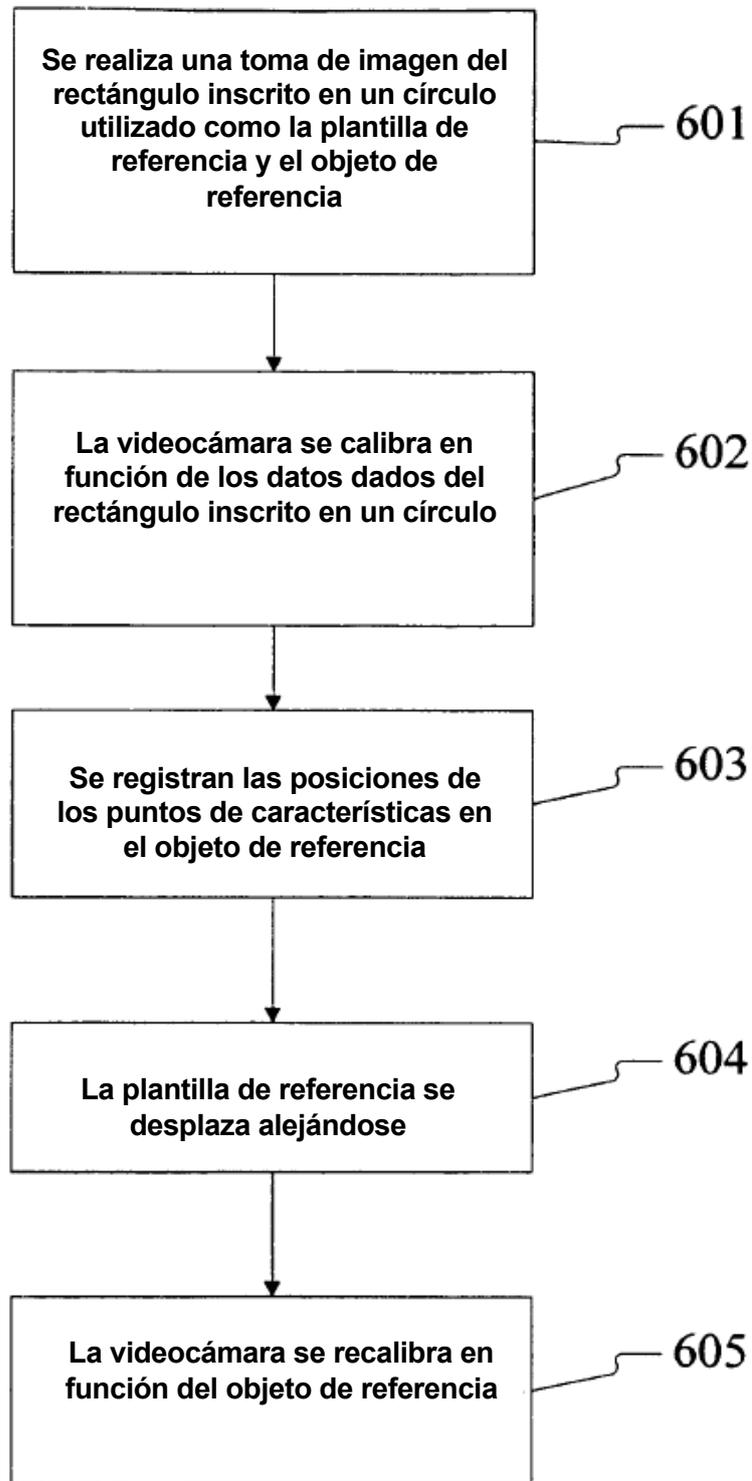


Figura 6

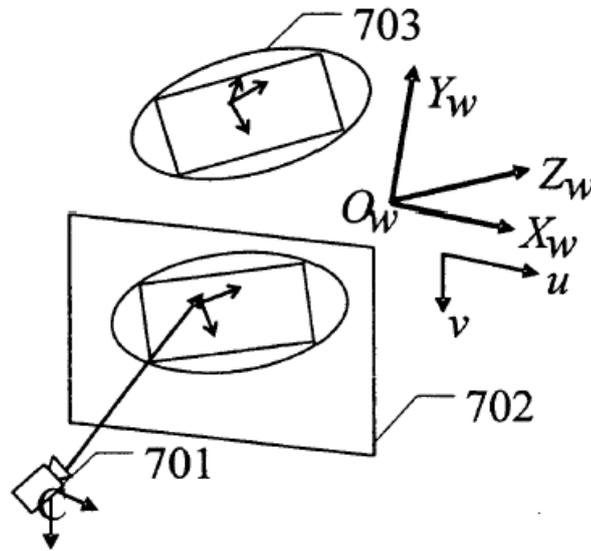


Figura 7

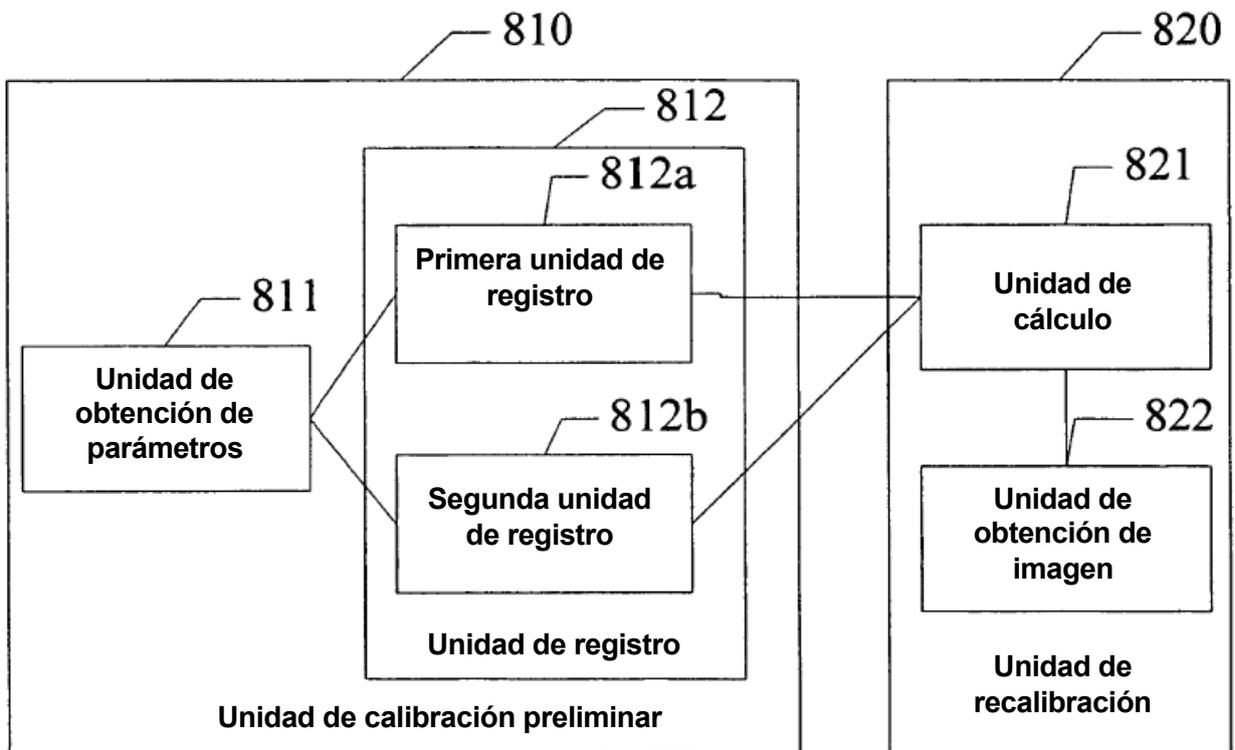


Figura 8

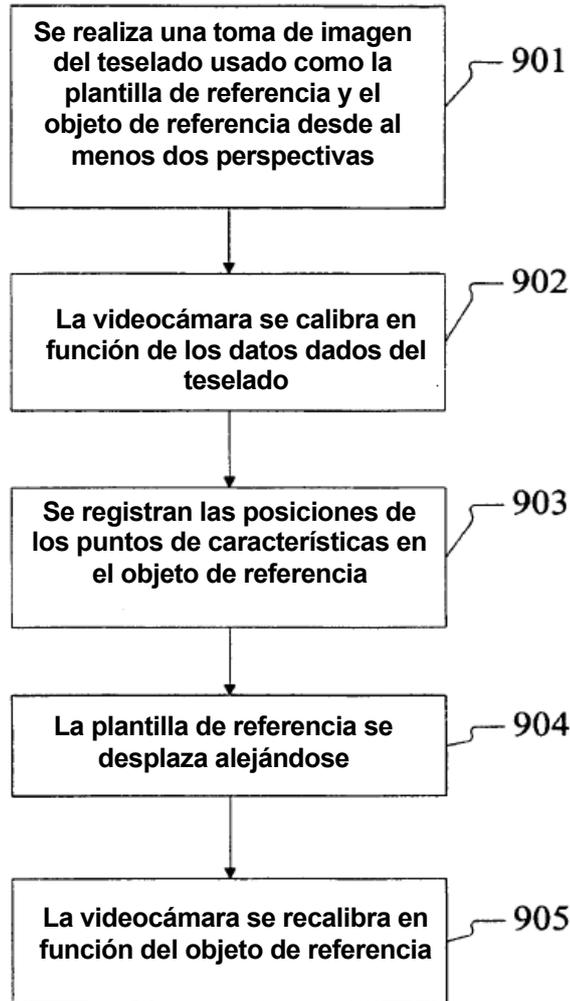


Figura 9

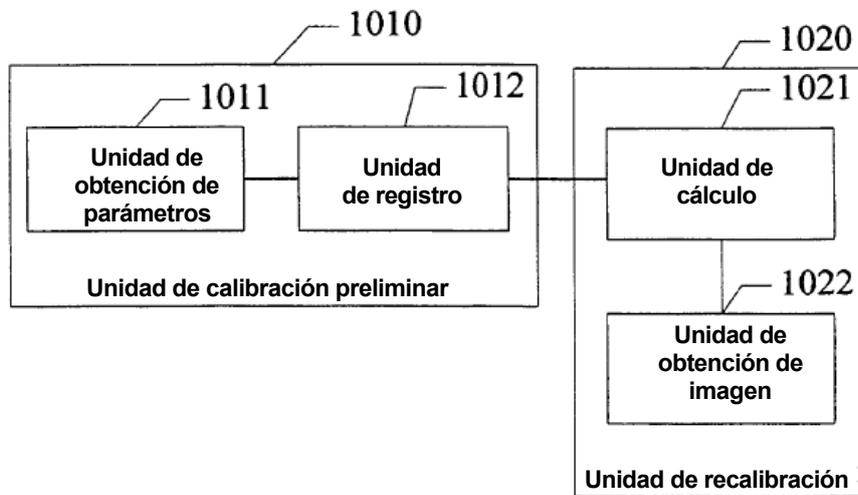


Figura 10