



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 239**

51 Int. Cl.:
G01B 11/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08022163 .3**

96 Fecha de presentación : **08.03.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2040026**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **25.03.2009**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la calibración de un dispositivo para medir la forma de una superficie reflectante.**

30 Prioridad: **05.04.2006 DE 10 2006 015 792**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.06.2011

73 Titular/es: **ISRA SURFACE VISION GmbH**
Albert-Einstein-Allee 36-40
45699 Herten, DE

72 Inventor/es: **Rudert, Armin y**
Wienand, Stephan

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 360 239 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

La invención se refiere a un sistema para medir la forma de una superficie reflectante con al menos un soporte de muestras para crear una muestra para la reflexión sobre una superficie reflectante y al menos una cámara para la observación píxel a píxel de la muestra que se refleja sobre la superficie. Además de esto se describe un procedimiento para calibrar el sistema, que puede usarse en especial para determinar la posición y orientación de la cámara y de la muestra. La medición de forma y la calibración pueden llevarse también a cabo en el marco de un procedimiento conjunto.

Los procedimientos de este tipo, en los que se refleja una muestra conocida según su forma y posición en una superficie reflectante y la imagen reflejada se observa y valora con una cámara, se conocen para la medición de forma de superficies reflectantes. De este modo describe p.ej. el documento DE 197 57 106 A1 un dispositivo para la medición automatizada de la forma de superficies reflectantes esféricas o incluso no esféricas. Para esto se sitúa en el lado opuesto a la superficie a medir una muestra iluminada, de dispersión difusa, en donde la imagen de la muestra que se obtiene sobre la superficie reflectante es captada por una cámara electrónica. La muestra se elige de tal modo que se obtiene, en el sensor de imagen de la cámara, una imagen de bandas aproximadamente rectas y equidistantes que pueden valorarse con una precisión especialmente elevada, mediante una transformada discreta de Fourier. Para poder medir la superficie en cualquier dirección espacial el sistema de bandas, que se obtiene en el sensor de imagen, debe presentar bandas ortogonales entre ellas.

Del documento DE 103 45 586 A1 se conocen un procedimiento y un dispositivo para determinar la estructura de una superficie, en los que se crea una muestra plana de un generador de imágenes y se refleja sobre la superficie. La muestra reflejada es reproducida por un tomador de imágenes y a continuación es valorado por un control. Para conseguir una medición de la superficie del objeto sencilla, económica y rápida el generador de imágenes crea consecutivamente varias muestras planas con estructuras planas, a modo de puntos de imagen, en donde las estructuras de dos muestras presentan entre sí diferentes dimensiones y los diferentes puntos de imagen de dos plantillas en cada caso una posición definida. Debido a que en este procedimiento ya no pueden tomarse bandas finas de una muestra de bandas, las bandas que se utilizan para la muestra de bandas son relativamente anchas, que presentan un desarrollo de luminosidad sinusoidal. Estas muestras se crean en monitores TFT.

El documento DE 101 27 304 A1 describe un procedimiento y un dispositivo para determinar un contorno tridimensional de una superficie reflectante de un objeto, en los que una reflexión de una trama conocida sobre la superficie de un objeto se reproduce mediante un sistema reproductor sobre un receptor y se valora la imagen obtenida. Aquí se propone usar una trama conocida a partir de al menos dos distancias diferentes a la superficie reflectante, en donde la posición relativa de la trama y del receptor en el espacio debe ser conocida.

En todos estos supuestos se parte de la base de que la posición y la orientación del sistema de medición han sido determinadas previamente mediante un procedimiento de calibración apropiado y por ello son conocidas. Esto puede materializarse también para superficies a medir pequeñas. Sin embargo, si se quiere medir superficies grandes con una precisión suficiente y la velocidad exigida en procesos productivos actuales, es normalmente necesario usar varias cámaras, que deben encontrarse de forma preferida dentro de la muestra. Para medir grandes superficies la muestra reflejada sobre la superficie reflectante debe presentar un tamaño suficiente. Debido a que la muestra además tiene que ser variable, la muestra se proyecta con frecuencia en forma de una imagen sobre un cristal deslustrado. Sin embargo, para esto se necesita mucho espacio en el caso de grandes superficies, que a menudo no está disponible. Aparte de esto se utilizan para crear la muestra pantallas planas, en donde para la creación de muestras de gran superficie con frecuencia se usan varias pantallas, que tienen que calibrarse en complicados procedimientos de calibración en cada una de las cámaras utilizadas. A la hora de utilizar varias pantallas y cámaras es necesario además encontrar un método sobre cómo puede materializarse la transición entre una cámara y la siguiente o la pantalla siguiente.

En el caso de utilizarse sólo una muestra a una distancia determinada de la superficie así como sólo una cámara, tampoco puede determinarse definitivamente la forma de la superficie reflectante con los procedimientos habituales, porque se produce una ambigüedad entre el ángulo superficial y al distancia superficial o la altura superficial, que no puede resolverse sin informaciones adicionales. Este problema es resuelto mediante el procedimiento conocido (véase p.ej. el documento DE 101 27 304 A1), por medio de que se utilizan varias cámaras o se disponen varias muestras a una distancia diferente de la superficie. Sin embargo, esto tiene el inconveniente de una elevada complejidad de aparatos, ya que cada región de la superficie a medir tiene que cubrirse con varias muestras y/o cámaras.

Poe el documento WO 2005/031251 A1 se conoce un procedimiento para determinar la estructura de una superficie, en el que se crean consecutivamente varias muestras de bandas planas con estructuras planas, a modo de puntos de imagen, mediante un generador de imágenes. Aquí se refleja la muestra de bandas sobre una superficie y se reproduce mediante una óptica en un tomador de imágenes, en donde la imagen tomada se valora después mediante un control. El tomador de imágenes presenta una matriz de tomadores de puntos de imagen. La matriz de tomadores de puntos de imagen puede estar configurada por ejemplo mediante un chip CCD o un chip CMOS o bien, para la

termografía, mediante una cámara termográfica.

Por la publicación "Shape measurement of small objects using LCD fringe projection with phase shifting", C. Quan et al., Opt. Comm. 189 (2001), páginas 21 a 29, se conoce el hecho de llevar a cabo una medición tridimensional de la forma de una superficie. La publicación se ocupa en especial de la determinación de forma mediante microscopía de gran alcance, proyección anular LCD y técnica de desplazamiento de fase. La calibración se materializa por medio de que se utilizan dos planos desplazados uno respecto al otro a una distancia de 50 μm , para crear una pequeña variación en el campo anular a causa del aumento de lente del sistema óptico, durante la toma de la imagen. Esta variación se utiliza para determinar un coeficiente, que caracteriza la configuración del sistema óptico de medición.

Como ya se ha representado anteriormente, la invención se refiere a un procedimiento para calibrar un sistema, el cual presenta un soporte de muestras con una muestra para la reflexión sobre una superficie reflectante y una cámara para la observación píxel a píxel de la muestra reflejada sobre la superficie. Para calibrar se utilizan dos superficies reflectantes planas, de gran superficie, en una disposición en paralelo cuya distancia exacta no es necesario que sea conocida. Una ventaja especial de esta calibración estriba en que no es necesario utilizar ninguna información adicional a la geometría de la muestra y la orientación paralela exacta de las dos superficies reflectantes.

Debido a que el apoyo plano de grandes superficies reflectantes en la práctica ha demostrado sin embargo ser dificultoso, la superficie reflectante se crea mediante un líquido.

Conforme a la invención se propone también que la superficie reflectante se cree mediante un líquido. De este modo puede calibrarse fácilmente el sistema utilizado para medir la forma, en donde conforme a la invención los pasos de la calibración y la medición de forma pueden combinarse entre ellos y llevarse a cabo en especial consecutivamente. La calibración puede realizarse tanto antes como después de la verdadera medición de forma. A causa de la gran superficie, idealmente plana, es además posible calibrar al mismo tiempo todos los componentes implicados con gran precisión.

Para trabajar en unas condiciones ópticas aproximadamente comparables, se propone conforme a la invención que las superficies reflectantes paralelas se dispongan a una altura comparable con la superficie reflectante a medir.

Esto puede materializarse de forma especialmente sencilla, si las dos superficies reflectantes paralelas se crean mediante dos niveles de llenado diferentes del líquido en una bandeja y/o la bandeja se desplaza de forma correspondiente. Mediante la utilización de un fluido en especial suficientemente semilíquido pueden crearse dos superficies reflectantes idealmente paralelas, que presentan óptimas cualidades reflectantes, ya que la superficie no presenta en sí misma ninguna curvatura ni irregularidad. Conforme a la invención está previsto además que mediante mediciones se compruebe si el líquido ha llegado al reposo después de una variación de altura. Esto puede realizarse en el caso más sencillo por medio de que se comprueba si, en el caso de tomas consecutivas, todavía muestran diferencias en el mismo píxel de la cámara. En cuanto esto ya no sea el caso, puede partirse de un nivel de líquido estacionario o en reposo.

Aparte de esto, la superficie reflectante puede configurarse mediante la utilización del líquido en una bandeja dimensionada suficientemente, con un tamaño tal que todos los soportes de muestras y la cámara del sistema puedan calibrarse en un sistema de coordenadas común.

Como líquido es especialmente adecuada la glicerina.

Por último se propone conforme a la invención en la reivindicación 6 un sistema para medir la forma de una superficie reflectante con al menos un soporte de muestras para crear una muestra, que puede reflejarse sobre la superficie reflectante, al menos una cámara para la observación píxel a píxel de la muestra reflejada sobre la superficie y una unidad de valoración para valorar las imágenes de cámara y para determinar la forma y/o calibrar. Conforme a la invención está previsto que el sistema presente una instalación para disponer una superficie reflectante plana, de gran superficie, en donde la superficie reflectante está formada por un líquido.

Como instalación para disponer una superficie reflectante plana es especialmente apropiada una bandeja, en la que puede verterse el líquido. Mediante niveles de llenado de diferente altura en la bandeja es posible, de forma sencilla, configurar varias superficies reflectantes paralelas y adaptar la altura de las superficies reflectantes a la posición de los objetos a medir. Además de esto puede alternativamente también elevarse o descenderse la bandeja.

En una configuración preferida del sistema un soporte de muestras puede ser un monitor, en especial un monitor TFT, sobre el que pueden representarse diferentes muestras.

Asimismo, conforma a la invención pueden estar dispuestos varios soportes de muestras en un cuadrilátero, en donde de forma preferida en cada punto de cruce del soporte de muestras está dispuesta en cada caso una cámara. Naturalmente es también posible disponer los monitores acodados e incluso perpendiculares entre ellos. La disposición óptima de los monitores se obtiene en especial de la forma de superficie a medir, cuyo recorrido óptimo es a menudo

conocido, de tal modo que la disposición de los monitores puede optimizarse a este respecto.

Para el análisis de la muestra tomada por la cámara, que presenta p.ej. una secuencia de muestra de al menos dos componentes de muestra diferenciables, que aparecen periódicamente, puede utilizarse un procedimiento que valore fases, un procedimiento codificado en tiempo y/o un procedimiento codificado en frecuencia. Este procedimiento puede utilizarse para la calibración, para la medición de forma o para ambos procedimientos. La secuencia de muestra puede presentar por ejemplo dos diferentes intensidades de luz. Ha quedado demostrado que mediante este procedimiento puede conseguirse una resolución de posición especialmente alta. Por ello es extraordinariamente apropiado para determinar la posición del punto de muestra de la muestra reproducido en el píxel. Un procedimiento codificado en tiempo y/o frecuencia puede presentarse p.ej. de tal modo, que diferentes muestras se representen consecutivamente en el tiempo y/o para un periodo de tiempo diferente sobre los soportes de muestras y sean tomadas por las cámaras. En una valoración subsiguiente puede determinarse mediante una valoración fundamentalmente combinatoria, porque se conoce la clase de muestra, qué píxel de cámara observa qué región de muestra. La solución más sencilla estribaría en activar individualmente cada píxel de monitor de un soporte de muestras configurado como pantalla y asociarlo al píxel de cámara respectivo. Mediante una selección de muestra apropiada y la secuencia en el tiempo de diferentes muestras, sin embargo, puede acelerarse y/o simplificarse esta determinación. Otra posibilidad consiste en un procedimiento de valoración de fases, en el que la muestra presenta p.ej. un determinado desarrollo de luminosidad. Mediante el desplazamiento de la muestra puede realizarse después, mediante un análisis de fases, una localización exacta del punto de muestra. Para esto se desplaza la muestra por ejemplo al menos tres veces. También puede pensarse también en una combinación de estos dos procedimientos.

Se deducen también ventajas, particularidades y posibilidades de aplicación de la presente invención de la siguiente descripción de ejemplos de realización y del dibujo.

Aquí muestran:

la fig. 1 un sistema conforme a la invención para medir la forma de una superficie reflectante conforme a una primera forma de realización;

la fig. 2 un sistema conforme a la invención para medir la forma de una superficie reflectante conforme a una segunda forma de realización;

la fig. 3 los soportes de muestras y las cámaras de un sistema para medir la forma de una superficie reflectante conforme a una tercera forma de realización;

la fig. 4 la trayectoria de los rayos para un píxel de cámara durante la calibración de un sistema conforme a la invención y

a fig. 5 para la valoración de los triángulos utilizados durante la calibración en la trayectoria de los rayos conforme a la fig. 4.

En la fig. 1 se ha representado la estructura básica de un sistema 13 para medir la forma de una superficie reflectante 14 de un objeto 3 a medir. El sistema 13 presenta una cámara 1, que observa a través de la superficie reflectante 14 la muestra 15 de un soporte de muestras 2. Para poder determinar la forma de la superficie reflectante 14 del objeto 3, debe ser conocida la relación entre la cámara 1 y la muestra 15 del soporte de muestras 2. Para esto se determinan el sistema de coordenadas 16 de la cámara 1 y el sistema de coordenadas 17 de la muestra 15 en una calibración. Adicionalmente pueden calibrarse tanto la cámara 1 como la muestra 15 en un sistema de coordenadas 7 de uso planetario. De este modo se conocen las posiciones y orientaciones tanto de la cámara 1 como de la muestra 15 en el sistema 13.

La cámara 1 está preparada para la observación píxel a píxel de la muestra 15 reflejada sobre la superficie reflectante 14. En la descripción del sistema 13 se modela la cámara 1 en primer lugar como cámara sencilla con diafragma perforado, para la que no se necesita ningún parámetro de cámara interno como la distancia teórica de la imagen, distorsión, desplazamiento del punto principal, etc. Sin embargo, estos pueden usarse, siempre que sean conocidos, para la rápida convergencia del procedimiento, por medio de que la cámara 1 se modele como cámara corregida con diafragma perforado, de tal modo que después con ayuda de los parámetros de cámara conocidos se transforme la imagen 8, tomada por la cámara 1, en una imagen corregida con los parámetros conocidos. Esta imagen se trata sin embargo en el siguiente procedimiento como si fuese tomada por una cámara sencilla con diafragma perforado.

Si una cámara observa directamente en oblicuo a una muestra cualquiera, es posible establecer solamente mediante la valoración de la imagen una relación espacial entre la muestra plana conocida y la cámara. Aquí es ventajoso que se utilice una muestra 15 para la calibración que se encuentre exactamente en la misma posición que la muestra 15 usada posteriormente para la medición de forma, porque la relación exacta entre la plantilla 15 y la cámara 1 se necesita para la valoración de la medición de forma. La expresión de la muestra 15 puede ser diferente. Para esto está prevista como soporte de muestras 2 una pantalla plana, p.ej. una pantalla TFT, sobre la cual puede representarse cualquier muestra

15. A causa de las medidas de píxel conocidas de la pantalla plana 2 también se conoce con precisión la geometría de la muestra 15 representada. Sin embargo, también puede pensarse en otras materializaciones para un soporte de muestras 2, p.ej. placas intercambiables con una muestra medida en un fijador.

5 Como puede verse en la fig. 1, la cámara no puede ver sin embargo la muestra 15 sobre el soporte de muestras 2, si no se encuentra ningún objeto de medición 3 reflectante en el volumen de medición. Siempre que la cámara 1 y el soporte de muestras 2 deban calibrarse en su disposición utilizada para la posterior medición de forma, es necesario disponer por lo tanto un objeto con una forma conocida exactamente con características reflectantes en la posición comparable con el objeto de medición 3. En especial debería tratarse de una superficie reflectante exactamente plana, porque después se obtienen relaciones matemáticas sencillas para la calibración.

10 Debido a que mediante la posición no conocida de este reflector plano se introducen grados de libertad adicionales en el sistema de ecuaciones a resolver, la muestra 15 utilizada para la calibración debe contemplarse a través de al menos dos reflectores en diferentes posiciones. La solución más sencilla para esto es la disposición de dos reflectores exactamente paralelos a diferentes alturas que se observan consecutivamente, en donde la altura de los propios reflectores no es necesario que sea conocida. Estas dos superficies reflectantes 5, 6 se han representado en la fig. 1 mediante líneas de trazo continuo.

15 En la práctica se trata, en el caso de los objetos 3 a medir, p.ej. de parabrisas de vehículos de motor. En el caso de estas dimensiones de objetos 3 la producción y disposición de las superficies reflectantes 5, 6 de gran superficie no es muy sencilla, porque es muy caro producir reflectores con una planicidad suficiente en dimensiones correspondientemente grandes y montar estos sin curvaturas a dos alturas diferentes. Para crear las dos superficies reflectantes 5, 6 paralelas, la parte inferior de la instalación 13 está configurada por ello como bandeja 4. En esta bandeja 4 se vierte un líquido con suficiente viscosidad, que presente una buena superficie reflectante. Las dos alturas se materializan por medio de que se vierten en la bandeja 4 consecutivamente dos diferentes cantidades de líquido. Esta disposición tiene la ventaja de que las dos superficies reflectantes 5, 6 están dispuestas idealmente planas y paralelas. Aparte de esto puede reproducirse en todo momento la orientación de estas superficies reflectantes, lo que no es imprescindible para llevar a cabo la medición de forma, pero facilita la manipulación del sistema de medición, p.ej. al sustituir una cámara defectuosa y durante la calibración posterior que es después necesaria. Un líquido apropiado con suficiente viscosidad es la glicerina.

20 En la figura 2 se ha representado un sistema 13 comparable, el cual sin embargo presenta varios (tres) soportes de muestras 2 y varias (dos) cámaras 1, que están dispuestas unas junto a otras y en total cubren una gran región del objeto, por medio de que puede medirse la superficie de un objeto. Mediante la previsión de la bandeja 4 rellena de glicerina para crear las superficies reflectantes 5, 6 es posible, de forma sencilla, calibrar todas las muestras 15 del soporte de muestras 2 y todas las cámaras 1 simultáneamente en un sistema de coordenadas común 10, ya que las superficies reflectantes 5, 6 del líquido 1 pueden producirse de forma sencilla en cualquier tamaño.

30 A este respecto la superficie de líquido 5, 6 define de forma preferida el plano x-y de un sistema de coordenadas común para todas las cámaras 1 y soportes de muestras 2. Si aparte de esto las cámaras 1 y la muestra 15 o los soportes de muestras 2 están dispuestos de tal modo, que cada cámara 1 ve al menos con otra cámara 1 conjuntamente una muestra 15 sobre el mismo soporte de muestras 2, puede determinarse aparte de esto la relación entre todos los componentes en la rotación alrededor de la normal superficial de la superficie reflectante 5, 6 y el desplazamiento mutuo sobre esta superficie. A este respecto no es imprescindible que cada una de las dos cámaras 1 reproduzcan sobre un soporte de muestras 2 la misma región de muestra 15, ya que a causa de la geometría conocida de toda la muestra 15 sobre el soporte de muestras 2, puede establecerse la relación entre dos diferentes regiones de muestra 15. Como punto cero del sistema de coordenadas 10 puede elegirse cualquier punto sobre la superficie. Lo mismo es aplicable para el punto cero de la rotación alrededor de la normal superficial. De este modo pueden calibrarse todos los componentes conjuntamente en un sistema de coordenadas 10.

35 Una disposición especialmente conveniente para un sistema 13 conforme a la invención se ha representado en la fig. 3, en la que están dispuestos n x m soportes de muestras a modo de matriz en un cuadrilátero. En cada punto de cruce del soporte de muestras 2 se encuentra una cámara 1, de tal modo que cada cámara 1 ve cuatro soportes de muestra 2 y – aparte de los soportes de muestras 2 en el borde de la matriz – todos los soportes de muestras 2 son observados por cuatro cámaras 1. Las regiones de imagen 12 correspondientes de las cámaras 1 se han representado a trazos.

40 Aunque para medir la forma de un objeto 3 no es necesario determinar un sistema de coordenadas reproducible, porque la forma del objeto es naturalmente invariable con relación a transformaciones de coordenadas entre diferentes sistemas de coordenadas de referencia, es deseable en algunos casos establecer una relación con un sistema de coordenadas prefijado fijamente. Esto puede facilitar, p.ej., la manipulación de todo el sistema de coordenadas 13.

45 La orientación del plano X-Y en el sistema de coordenadas 10 es siempre igual a través del nivel de líquido. Para los otros grados de libertad la cámara 1 puede aplicar marcas reconocibles. De este modo puede definirse sobre un soporte de muestras 2 un punto cero y caracterizar éste de tal modo, que pueda ser reconocido por al menos una

cámara 1. Mediante la determinación de un segundo punto fijo puede determinarse también el punto cero de la rotación alrededor de la normal de superficie. En el caso de utilizarse pantallas planas como soportes de muestras 2, esta caracterización puede indicarse también sobre la pantalla.

5 Como sistema de coordenadas común 10 puede utilizarse por ello en primer lugar el sistema de coordenadas, cuyo plano X-Y coincide con la superficie reflectante 5, 6. Partiendo de este sistema de coordenadas 10 puede establecerse después una relación con cualquier sistema de coordenadas 7 de uso planetario, que p.ej. esté unido a la bandeja 4.

10 Con relación a la fig. 4 se describe a continuación en detalle la instalación del sistema 13 con base en una muestra 15 reproducida sobre una pantalla plana 2. A este respecto se establece para cada píxel de la cámara 1 del sistema 13 el píxel de la pantalla plana 2, al que mira la cámara 1 o el píxel de cámara respectivo. Esta medición es en primer lugar independiente de la calibración y establece la dirección de observación de la cámara 1 para cada píxel.

15 A este respecto se determinan como parámetros las posiciones de la cámara x_k , y_k y z_k en el sistema de coordenadas de referencia. El punto determinado por las coordenadas x_k , y_k y z_k designa el punto en el que todos los rayos que entran en la cámara inciden en el objetivo. Aparte de esto se determinan como parámetros adicionales las posiciones de cada píxel de la pantalla plana 2 en el sistema de coordenadas de referencia así como la dirección de observación de cada píxel de la cámara 1, incluyendo la distorsión del objetivo (también medida) en el sistema de coordenadas de referencia.

20 Debajo de la disposición del sistema 13 formado por las cámaras 1 y las pantallas planas 2 (monitores TFT) se coloca una bandeja 4 llena de glicerina, que puede aplicarse a diferentes alturas. Esta bandeja 4 se ha ennegrecido por el interior. En cuanto entra en reposo la glicerina situada en la bandeja, se ajusta una superficie reflectante 5, 6 ópticamente impecable y plana. Después se asocian para dos alturas (h_1 , h_2) a cada píxel de la cámara 1 el píxel correspondiente de la pantalla plana 2, sobre el que se ha reflejado el rayo del píxel de cámara implicado mediante el reflector 5, 6. Las magnitudes h_1 y h_2 son las dos alturas a las que se ha medido el nivel de glicerina (superficie reflectante 5, 6).

25 La medición se realiza por medio de que sobre la pantalla plana 2 se indican consecutivamente muestras 15 apropiadas y sus imágenes reflejadas 8 son tomadas por la cámara 1. Mediante una elección apropiada de las muestras 15 puede identificarse cada píxel de pantalla aislado, después de un número determinado de imágenes 8. Para esto puede codificarse cada píxel en su secuencia de luminosidad (p.ej. como código de grises) o se utiliza un desarrollo adecuado de medio tono o una secuencia de desarrollos de medio tono.

30 A continuación se indica un ejemplo para una parametrización adecuada que, sin embargo, puede variar. El origen de coordenadas se une al píxel (0,0) de cualquier pantalla plana 2. Mediante la elección de las coordenadas espaciales de este píxel se determina la posición del sistema de coordenadas. La superficie reflectante 5, 6 del nivel de líquido se elige en paralelo al plano X-Y del sistema de coordenadas 10, de tal modo que la dirección Z del sistema de coordenadas 10 es perpendicular a la superficie reflectante 5, 6. El eje X del sistema de coordenadas discurre en perpendicular al lado largo de la pantalla plana 2, que define el origen.

35 Mediante esta elección se prefija un sistema de coordenadas 10 claro, en el que pueden medirse todos los componentes del sistema.

40 Por motivos constructivos se conoce con alta precisión la distancia entre dos píxeles sobre una pantalla plana 2. Para un monitor de 17" esta distancia es p.ej. de 0,264 mm. Siempre que se conozcan la posición de un píxel de monitor en el espacio y los tres ángulos sólidos, en los que está dispuesto el monitor en el espacio. Esta métrica es exactamente la misma en todas las pantallas planas 2 y garantiza, de este modo, que las coordenadas planetarias tridimensionales también sean métricas.

45 En la fig. 4 se ha representado ahora la trayectoria de los rayos para un único píxel de una cámara 1. A este respecto las coordenadas x_k , y_k y z_k son las posiciones de la cámara, h_1 y h_2 las alturas de las superficies reflectantes 5, 6 así como x_{s1} , y_{s1} y z_{s1} las coordenadas espaciales, sobre las que se refleja un píxel de cámara al reflejarse a la altura h_1 . A este respecto los triángulos representados en diferentes escalas de gris, en la parte inferior de la fig. 4, son similares en sentido matemático.

De forma correspondiente a la representación en la fig. 5 los dos triángulos pequeños y los dos grandes se reúnen en cada caso un triángulo. La altura y la anchura de estos dos triángulos se conocen después. A causa de la similitud de los triángulos se aplica la siguiente ecuación:

50
$$\frac{a}{x_k - x_{s2}} = \frac{b}{x_k - x_{s1}} \quad \text{con} \quad a = z_k + z_{s1} - 2h_1 \quad \text{y} \quad b = z_k + z_{s2} - 2h_2$$

Con esta relación puede calcularse un parámetro en la ecuación. Una vez resuelta x_k esta ecuación se convierte en:

$$x_k = \frac{ax_{s1} - bx_{s2}}{a - b}$$

El cálculo para y_k se obtiene de forma análoga intercambiando las direcciones coordenadas X e Y.

5

Esta ecuación se establece para cada píxel de la cámara 1. La condición para la solución del sistema de ecuaciones es que todos los rayos, de píxeles que pertenezcan a una misma cámara 1, se corten en un punto. El sistema de ecuaciones que se obtiene de ello es resuelto mediante un algoritmo de optimización conocido apropiado, p.ej. Newton-Gauss-Jordan. Para simplificar la optimización pueden utilizarse también sólo algunos píxeles seleccionados.

10

Como valores iniciales ventajosos para la optimización pueden usarse valores apropiados. De este modo puede medirse en bruto la posición de todas las pantallas planas 2 como posición de los píxeles 0,0 y utilizarse como valor inicial. Lo mismo puede aplicarse a los tres ángulos sólidos de cada monitor. Aparte de esto se miden en bruto las alturas de cada cámara Z y de las superficies reflectantes 5, 6 h_1 y h_2 y se utilizan como valor inicial.

15

Para cada pantalla plana 2 se optimizan después las coordenadas X, Y y Z del píxel (0,0) así como la posición de los tres ángulos sólidos. Lo mismo puede aplicarse a las alturas h_1 y h_2 de las superficies reflectantes 5, 6 así como a la altura de la posición de cámara Z. Como resultado de la optimización se obtienen la posición y situación correctas de cada pantalla plana 2 así como de la cámara 1. Adicionalmente para cada píxel, para el que al menos para una altura se ha llevado a cabo una medición, se conoce el punto al que mira la cámara en el plano $z=0$. Para las reflexiones en las alturas h_1 y h_2 se obtiene la siguiente ecuación

$$x_{z=0} = x_k - \frac{z_k(x_k - x_{s1})}{z_k + z_{s1} - 2h_1} \quad \text{y} \quad x_{z=0} = x_k - \frac{z_k(x_k - x_{s2})}{z_k + z_{s2} - 2h_2}$$

Estas ecuaciones se obtienen de la observación de los triángulos conforme a la fig. 5.

20

Debido a que este cálculo se realiza por separado para cada píxel de cámara, después de la calibración para cada píxel de la cámara 1 se conoce la dirección de observación en el espacio, y precisamente incluyendo la distorsión de objetivo, porque ésta también se ha tenido en cuenta o medido al tomar la imagen. En lugar del modelado de la cámara con modelos de distorsión se determina también, en este modo de procedimiento, para cada píxel explícitamente una dirección de observación.

25

Básicamente también podría modelarse un modelo de distorsión. Por medio de esto se modifica el sistema de ecuaciones optimizador, con la finalidad de que estos parámetros aparezcan y se optimicen adicionalmente, lo que significa una mayor complejidad de cálculo.

30

Asimismo podría para cada altura del nivel llevarse a cabo una calibración, en principio conocida, sobre una muestra plana, sin tener en cuenta el hecho de que la cámara 1 en realidad mira a un reflector de la muestra 15. Después se obtiene para cada altura de reflector h_1 y h_2 otra posición de cámara virtual. Sin embargo, debido a que es conocido que en realidad se trata siempre de la misma posición de cámara y sólo eran diferentes las alturas de reflector (en el caso de unas superficies de reflector 5, 6 exactamente paralelas), puede establecerse un sistema de ecuaciones que aproveche esta condición marginal. Mediante la optimización del sistema de ecuaciones se obtiene después la posición correcta de la cámara 1.

35

Este método tiene la ventaja de que la calibración puede dividirse en dos pasos y para el primer paso pueden usarse métodos estándar conocidos. Sin embargo, tiene el inconveniente de que para el primer paso sólo puede usarse la muestra 15 sobre un soporte de muestras 2. En una disposición con varias cámaras 1 un soporte de muestras 2 cubre en la práctica, sin embargo, sólo una parte del campo visual, y esto también por un lado, es decir sólo en un lado del campo visual. Sin embargo, una buena calibración sólo puede llevarse a cabo si el campo visual está ocupado en cierta medida uniformemente con puntos de muestra.

40

LISTA DE SÍMBOLOS DE REFERENCIA

1
2
3
4
45
6

- 1 Cámara
- 2 Soporte de muestras, pantalla plana
- 3 Objeto
- 4 Bandeja
- 5 Superficie reflectante para calibración
- 6 Superficie reflectante para calibración

	7	Sistema de coordenadas de uso planetario
	8	Imagen, píxel de cámara
	9	Marca
	10	Sistema de coordenadas común
5	11	Región cubierta
	12	Campo visual de una cámara
	13	Sistema
	14	Superficie reflectante
	15	Muestra
10	16	Sistema de coordenadas de la cámara
	17	Sistema de coordenadas de la muestra

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Procedimiento para la calibración de un sistema para medir la forma de una superficie reflectante, en donde el sistema presenta un soporte de muestras (2) con una muestra (15) para la reflexión sobre una superficie reflectante (14) y una cámara (1) para la observación píxel a píxel de la muestra (15) que se refleja sobre la superficie (14), **caracterizado porque** para la calibración de las posiciones y de la orientación de la cámara (1) y de la muestra (15) así como de la dirección de observación de cada píxel de la cámara (1) se utilizan dos superficies reflectantes (5, 6) planas, de gran superficie en disposición paralela, y la superficie reflectante (5, 6) se crea mediante un líquido.
- 10 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** las superficies reflectantes (5, 6) se disponen a una altura comparable con la superficie reflectante (14) que se va a medir.
- 10 3.- Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** las superficies reflectantes (5, 6) se crean mediante dos diferentes niveles de llenado del líquido en una bandeja (4) y/o un desplazamiento de la bandeja (4).
- 15 4.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** el soporte de muestras (2) y la cámara (1) se calibran en un sistema de coordenadas (10) común.
- 15 5.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** el líquido está configurado con suficiente viscosidad y de forma preferida es glicerina.
- 20 6.- Sistema para medir la forma de una superficie reflectante (14) con al menos un soporte de muestras (2) para crear una muestra (15), que puede reflejarse sobre la superficie reflectante (14), al menos una cámara (1) para la observación píxel a píxel de la muestra (15) reflejada sobre la superficie (14) y una unidad de valoración para valorar las imágenes de cámara (8) para determinar la forma y/o calibrar, **caracterizado porque** el sistema presenta una instalación (4) para disponer una superficie reflectante (5, 6) plana, de gran superficie, en donde la superficie reflectante está formada por un líquido.
- 7.- Sistema según la reivindicación 6, **caracterizado porque** la instalación para disponer la superficie reflectante (5, 6) plana es una bandeja (4).
- 8.- Sistema según la reivindicación 6 ó 7, **caracterizado porque** un soporte de muestras (2) es una pantalla plana.
- 25 9.- Sistema según una de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizado porque** están dispuestos varios soportes de muestras (2) en un cuadrilátero y en puntos de cruce de los soportes de muestras (2) están dispuestas varias cámaras (1).
- 10.- Sistema según una de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizado porque** los soportes de muestras (2) están dispuestos de tal modo, que cubren los ángulos sólidos que se obtienen mediante la superficie reflectante (14).

Fig. 1

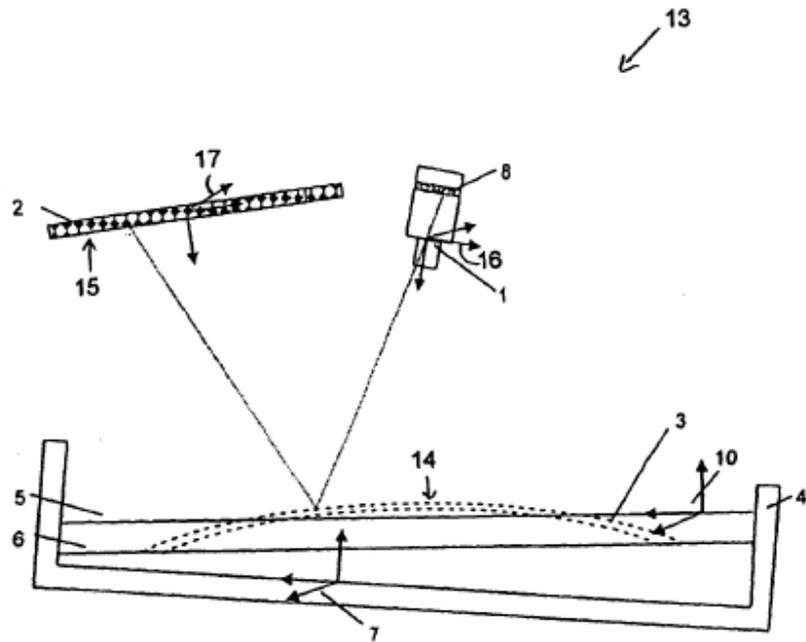


Fig. 2

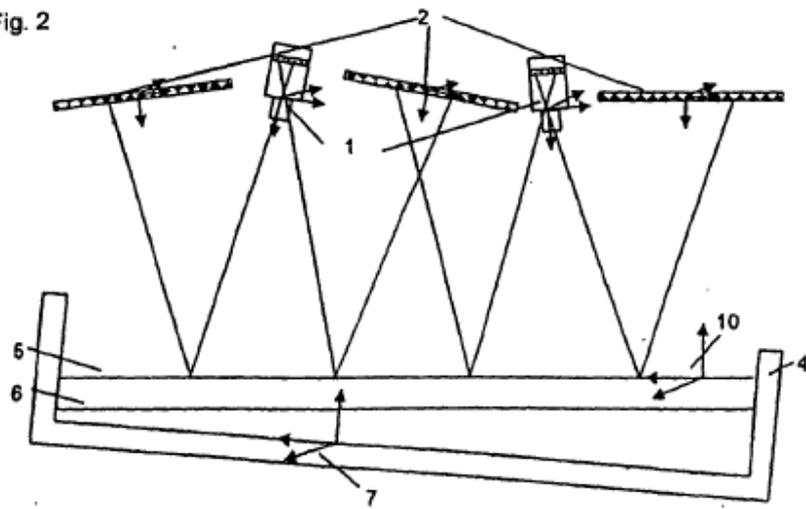


Fig. 3

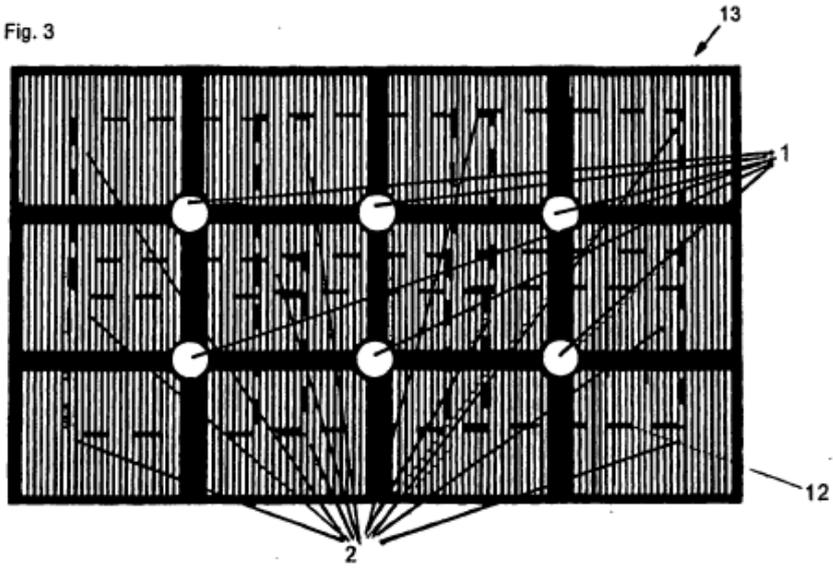


Fig. 4

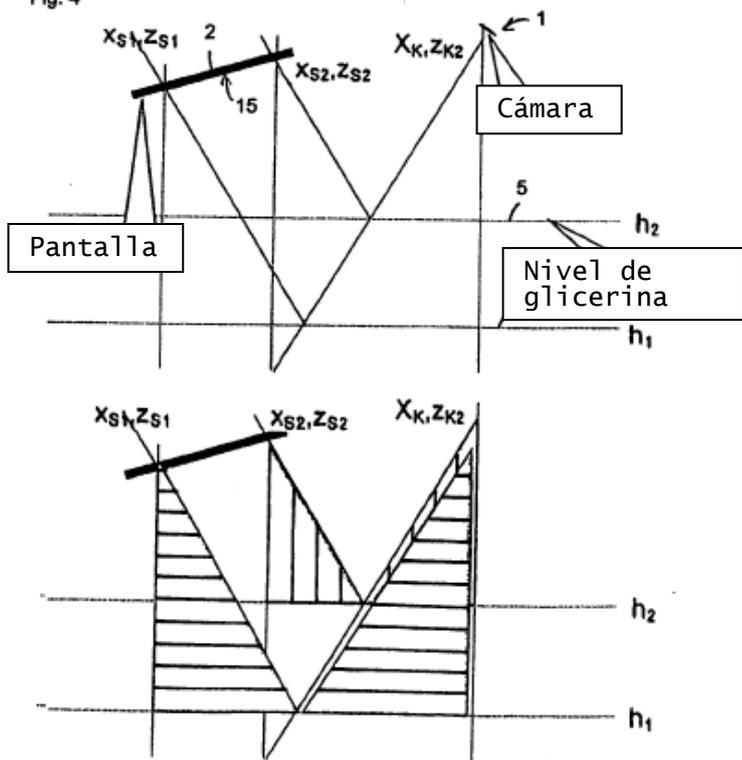


Fig. 5

