



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 902**

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

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07711857 .8**

96 Fecha de presentación : **08.03.2007**

97 Número de publicación de la solicitud: **2002203**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.12.2008**

54 Título: **Procedimiento y sistema para la medición de la forma de una superficie reflejante.**

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

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2010

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 2 348 902 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 procedimiento para la medición de la forma de una superficie reflejante, en el que está previsto al menos un dibujo para la reflexión en una superficie reflejante y al menos una cámara para la observación píxel por píxel del dibujo reflejado en la superficie
5 siendo conocidas la posición y la orientación de la cámara y del dibujo.

Para la medición de la forma de superficies reflejantes son conocidos los procedimientos de este tipo, en los que un dibujo de forma y posición conocidas se refleja en una superficie reflejante, observándose y evaluándose la imagen reflejada con una cámara. Por ejemplo el documento DE 197 57 106 A1 describe un dispositivo para la medición automatizada de la forma
10 de superficies reflejantes esféricas o también asféricas. Para ello, en el lado opuesto de la superficie a medir se coloca un dibujo iluminado, que dispersa de forma difusa, captándose mediante una cámara electrónica la imagen del dibujo que se genera mediante la superficie reflejante. El dibujo se elige de tal forma que en el sensor de imagen de la cámara se genera una imagen de bandas aproximadamente rectas y equidistantes, que mediante una transformada de
15 Fourier discreta pueden evaluarse con una exactitud especialmente elevada. Para poder medir la superficie en cualquier dirección en el espacio, el sistema de bandas que se genera en el sensor de imagen debe presentar bandas orientadas ortogonalmente unas respecto a otras.

Por el documento DE 103 45 586 A1 se conocen un procedimiento y un dispositivo para determinar la estructura de una superficie, en el que un generador de imagen genera un dibujo
20 plano reflejándose el mismo en la superficie. El dibujo reflejado es reproducido por un captador de imagen y es evaluado posteriormente por un dispositivo de control. Para conseguir una medición planiforme simple, económica, así como rápida de la superficie del objeto, el generador de imagen genera sucesivamente elemento de imagen por elemento de imagen varios dibujos planos con estructuras planas, presentando las estructuras de dos dibujos dimensiones
25 diferentes y los distintos elementos de imagen de dos dibujos una posición definida, respectivamente. Puesto que en este procedimiento ya no pueden captarse bandas finas de un dibujo de bandas, para el dibujo de bandas se usan bandas relativamente anchas, que presentan una distribución sinusoidal de la luminosidad. Estos dibujos se generan en monitores TFT.

El documento DE 101 27 304 A1 describe un procedimiento y un dispositivo para determinar un contorno tridimensional de una superficie reflejante de un objeto, en el que una reflexión de una trama conocida se reproduce en la superficie del objeto mediante un sistema reproductor en un receptor evaluándose la imagen generada. Para ello se propone usar una trama conocida desde al menos dos distancias diferentes de la superficie reflejante, debiendo conocerse la posición relativa entre las tramas y el receptor en el espacio.
30

En todos estos planteamientos se parte de que la posición y la orientación del sistema de
35

medición se han determinado previamente mediante un procedimiento de calibrado adecuado siendo, por lo tanto, conocidas. Esta puede realizarse perfectamente para superficies pequeñas a medir. No obstante, cuando se pretende medir superficies más grandes con una exactitud suficiente y la rapidez requerida en los procesos modernos de producción, por lo general es necesario usar varias cámaras, que preferiblemente deben encontrarse en el interior del dibujo. Para medir superficies grandes, el dibujo que se refleja en la superficie reflejante debe presentar un tamaño suficiente. Puesto que el dibujo debe ser, además, variable, el dibujo se proyecta en muchos casos en forma de una imagen en un cristal mate. No obstante, en el caso de superficies grandes se necesita mucho espacio para ello, que en muchos casos no está disponible. Además, se usan pantallas planas para la generación del dibujo, usándose para la generación de dibujos de superficies grandes en muchos casos varias pantallas, que deben calibrarse en procedimientos de calibrado complicados para cada una de las cámaras usadas. Al usar varias pantallas y cámaras debe encontrarse, además, un método con el que puede realizarse la transición de una cámara a la siguiente o a la siguiente pantalla.

M. Petz et al.: "Reflection Grating Photogrammetry: A Technique for Absolute Shape Measurement of Specular Free-Form Surfaces" en PROCEEDINGS OF SPIE-INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING, OPTICAL MANUFACTURING AND TESTING VI 2005, tomo 5869, páginas 1 a 12, describe distintos planteamientos para determinar la forma de una superficie reflejante con ayuda de un dibujo de referencia. Entre ellos se encuentra la reconstrucción de una superficie reflejante de este tipo partiendo del ángulo de la superficie, para lo cual debe conocerse la posición exacta de un punto de apoyo en la superficie reflejante. La posición de este punto de apoyo puede determinarse mediante métodos trigonométricos.

Al usar sólo un dibujo a una distancia determinada de la superficie, así como de usar sólo una cámara, la forma de la superficie reflejante tampoco puede determinarse definitivamente con los procedimientos convencionales, porque resulta una ambigüedad entre el ángulo de la superficie y la distancia de la superficie o la altura de la superficie, que no puede resolverse sin información adicional. Este problema se resuelve con los procedimientos conocidos (véase por ejemplo el documento DE 101 27 304 A1) porque se usan varias cámaras o porque están dispuestos varios dibujos a distintas distancias de la superficie. No obstante, esto tiene el inconveniente de conllevar elevados costes para los equipos, puesto que cada zona de la superficie a medir debe ser cubierta por varios dibujos y/o cámaras.

Por lo tanto, el objetivo de la presente invención es proponer una posibilidad con la que se permita con unos costes reducidos de equipos una medición de la forma fiable de superficies reflejantes, en particular también de objetos transparentes, debiendo poderse manejar la medición de la forma de un modo especialmente sencillo.

La solución del objetivo arriba expuesto se indica en la reivindicación 1. En particular, se propone que para la medición de la forma se determinen el ángulo de la superficie y la altura de la superficie a partir de las direcciones visuales conocidas píxel por píxel de la cámara y las posiciones del dibujo que corresponden a la reproducción del dibujo reflejado en los píxeles de la cámara. En el marco de esta invención, la superficie reflejante no sólo es una superficie completamente reflejante, sino en particular también una superficie parcialmente transparente o una hoja de cristal. Por lo tanto, la invención en su conjunto también es especialmente adecuada para la medición de lunas delanteras para vehículos. Gracias a que se conoce preferiblemente la dirección visual para cada píxel de la cámara, a partir de la posición de la zona de dibujo reflejada en este píxel puede determinarse la posición de dibujo correspondiente con una elevada resolución local y con unos medios ópticos sencillos, de modo que también es posible una medición rápida y exacta de la superficie. Además, la medición de la superficie también puede realizarse si la cámara se encuentra en el foco de superficies curvadas de forma esférica.

La dirección visual de cada píxel de la cámara puede conocerse aquí, en particular, gracias a un calibrado previo o posterior de un sistema para la medición de la forma.

Según una realización preferible del procedimiento propuesto, para el análisis del dibujo captado por la cámara, que presenta por ejemplo una secuencia de dibujos de al menos dos componentes de dibujo distinguibles, que se presentan periódicamente, se usa un procedimiento de evaluación de fase, un procedimiento codificado en el tiempo y/o un procedimiento codificado en frecuencia. Preferiblemente, la secuencia de dibujos puede presentar dos intensidades de luz distintas. Se ha mostrado que mediante este procedimiento puede conseguirse una resolución local especialmente elevada. Por lo tanto, también es excelente para determinar la posición del punto de dibujo reproducido en el píxel en el dibujo. Un procedimiento codificado en el tiempo y/o codificado en frecuencia puede prever por ejemplo, que se representen distintos dibujos de forma sucesiva en el tiempo y/o durante intervalos de tiempo diferentes en los soportes de los dibujos siendo captados por las cámaras. Puesto que el tipo de los dibujos es conocido, en una evaluación posterior pueden determinarse mediante una evaluación sustancialmente combinatoria las zonas de dibujo a las que están dirigidos los distintos píxeles de cámara. El planteamiento más simple sería mandar individualmente cada píxel de monitor de un soporte de dibujos realizado como pantalla y asignarlo al píxel de cámara correspondiente. No obstante, gracias a una selección apropiada de dibujos y una secuencia sucesiva en el tiempo de distintos dibujos, esta determinación puede acelerarse y/o mejorarse. Otra posibilidad está en un procedimiento de evaluación de fase, en el que el dibujo presenta, por ejemplo, una determinada distribución de la luminosidad. Mediante un desplazamiento del dibujo puede realizarse a continuación una localización exacta del punto del dibujo mediante un análisis de fase. Para ello,

el dibujo se desplaza preferiblemente al menos tres veces. También es posible una combinación de estos dos procedimientos.

Según una realización preferible del procedimiento propuesto, para al menos un punto de apoyo en la superficie reflejante se determina exactamente la altura de la superficie. A
5 continuación, puede estimarse partiendo de ello la altura de la superficie en un punto adyacente al punto de apoyo determinándose a partir de la misma el ángulo de la superficie de éste. Puesto que la determinación del ángulo en las mediciones de sistema que se presentan en la práctica, es decir, con distancias de medición no demasiado pequeñas, no es muy sensible a inexactitudes en cuanto a la altura, de este modo puede determinarse con gran exactitud el ángulo de la
10 superficie. Este ángulo de la superficie en los puntos de apoyo y los puntos adyacentes a los puntos de apoyo puede integrarse obteniéndose a continuación la forma de superficie buscada. Aquí, por puntos adyacentes no sólo se entienden las zonas de la superficie directamente adyacentes al punto de apoyo sino también puntos más alejados, que delimitan respectivamente a puntos de la superficie para los que ya se ha determinado o estimado la altura de la superficie
15 y/o el ángulo de la superficie. En principio, en este caso es posible determinar partiendo de sólo un punto de apoyo dispuesto por ejemplo aproximadamente en el centro de la superficie a examinar toda la estructura o forma de la superficie. Para mejorar la exactitud, pueden usarse, además, métodos de por sí conocidos para la corrección de la curvatura.

Para determinar la altura de la superficie, según la invención está previsto que se use un
20 objeto de forma lineal, que está dispuesto delante del dibujo y preferiblemente no perpendicularmente respecto a la superficie reflejante. A partir de la dirección visual conocida del píxel de la cámara que reproduce el punto de la superficie (recta con dirección conocida en el espacio) y el punto de dibujo ocultado por el objeto de forma lineal se determina un plano y se determina el punto de intersección del objeto con este plano. Mediante el punto de intersección
25 del objeto con el plano y el punto de dibujo ocultado, también puede determinarse la recta que parte del punto del dibujo y que se extiende hasta el punto de superficie en la superficie reflejante. El punto de intersección de las dos rectas determina a continuación con gran exactitud la altura de la superficie buscada. Como objeto son especialmente adecuadas las formas que pueden describirse fácilmente en términos matemáticos, como rectas o círculos. En la práctica,
30 pueden estar realizados mediante varillas finas o por ejemplo mediante hilos tensados delante del dibujo.

Aunque en principio es posible medir toda la forma partiendo de un punto de apoyo, la exactitud de la medición de la forma puede aumentarse según la invención porque se ponen
35 varios puntos de apoyo en una trama preferiblemente densa en la superficie a medir, determinándose a continuación la forma de la superficie a partir de cada uno de los distintos

puntos de apoyo. De este modo, la forma de la superficie sólo se estima hasta una distancia determinada alrededor de un punto de apoyo basándose para ello en la altura de la superficie determinada en el punto de apoyo, de modo que los errores por la determinación de la posición o altura exacta del punto de apoyo no se hacen notar demasiado. Puesto que a partir de las formas de superficie determinadas alrededor de cada punto de apoyo debe formarse una superficie completa, resultan condiciones supletorias que aumentan la exactitud de la medición de la forma en conjunto. Además, el cálculo alrededor de cada punto de apoyo puede realizarse paralelamente, de modo que el procedimiento puede realizarse de forma especialmente rápida.

Para aumentar aún más la exactitud, según la invención es posible que el dibujo, que puede presentarse en particular en monitores, se afine sucesivamente empezando con un dibujo basto llegando en particular hasta el límite de resolución de los monitores. Como dibujo puede usarse, por ejemplo, una trama de bandas, pudiendo elegirse la forma de bandas no obstante prácticamente a libre elección y de forma específica para cada aplicación. Unas formas de dibujo adecuadas pueden ser rectángulos, rectángulos inclinados, formas trapezoidales o sinusoidales. Para poder medir cada dirección en el espacio del dibujo, los dibujos o tramas de bandas se generan en dos direcciones distintas, no paralelas en el espacio y son reflejados por la superficie que ha de ser medida. Es preferible una disposición ortogonal de los dibujos, es decir, un giro de 90° del dibujo en la proyección.

Además, según la invención se propone generar durante una medición distintas estructuras de dibujos, que pueden elegirse en particular en función de la forma que ha de ser medida y la finura del dibujo que ha de aplicarse en este momento.

El procedimiento según la invención para la medición de la forma puede aplicarse, en particular, en objetos transparentes. Un ejemplo de aplicación típico son las lunas delanteras de automóviles u otros cristales abombados. En este caso puede medirse de forma especialmente preferible al mismo tiempo la forma de varias superficies reflejantes, por ejemplo la cara superior e inferior de una hoja de cristal y/o varias hojas de cristal u otros objetos transparentes dispuestos uno encima del otro. En particular al tratarse de la medición de objetos transparentes es recomendable adaptar las estructuras de los dibujos según la finura del dibujo reflejado de tal modo que aún pueda llegarse a la resolución de las estructuras de los dibujos de las distintas superficies. Para ello puede cambiarse, por ejemplo, de un dibujo de bandas a un dibujo de puntos.

Cuando se trata de medir varias superficies, puede conseguirse una mejora considerable porque en una primera etapa del procedimiento la superficie dispuesta arriba se determina, en particular, sólo hasta una exactitud con la que las reflexiones múltiples aún no tienen importancia. Como alternativa o, dado el caso, adicionalmente pueden medirse las zonas de la superficie en

las que las reflexiones múltiples de las distintas superficies aún pueden ser separadas o resueltas. Basada en esta medición se conoce a continuación aproximadamente la forma de la superficie y, por lo tanto, puede calcularse como se representa el dibujo conocido en reflexiones múltiples, de modo que en una segunda etapa del procedimiento pueden evaluarse las reflexiones múltiples. Si se conocen aproximadamente la forma y la posición de las superficies que han de ser medidas, en lugar de una medición basta de la forma de la superficie en la primera etapa del procedimiento también pueden usarse los valores conocidos. En función de la forma de dibujo concretamente existente, el dibujo puede afinarse en particular cada vez más, pudiendo determinarse la forma de la superficie, dado el caso, con gran exactitud en mediciones iterativas. En función de la forma de superficie determinada (de forma provisional) o previamente conocida puede adaptarse correspondientemente el tipo del dibujo al afinar la estructura del dibujo. Esto también es válido para el caso de medir sólo una superficie, puesto que la estructura adecuada del dibujo depende en particular también de la forma de la superficie.

Finalmente está representado un sistema para la medición de la forma de una superficie reflejante con al menos un soporte de dibujos para generar un dibujo que puede ser reflejado en la superficie reflejante, al menos una cámara para la observación píxel por píxel del dibujo reflejado en la superficie y una unidad de evaluación para la evaluación de las imágenes de la cámara y para la determinación de la forma y/o el calibrado. Está previsto que el sistema presente un dispositivo para la disposición de una superficie de espejo plana de superficie grande, estando formada la superficie de espejo preferiblemente por un líquido.

Como dispositivo para la disposición de una superficie de espejo plana es especialmente adecuada una bandeja que puede llenarse con el líquido. Gracias a niveles de relleno de alturas diferentes en la bandeja es posible realizar de forma sencilla varias superficies de espejo paralelas y adaptar la altura de las superficies de espejo aproximadamente a la posición de los objetos que han de ser medidos. Además, como alternativa en particular también es posible elevar o bajar la bandeja.

El soporte de dibujo puede ser un monitor, en particular un monitor TFT, en el que pueden representarse distintos dibujos.

Además, pueden estar dispuestos varios soportes de dibujos en un cuadrado, estando dispuesto preferiblemente en cada punto de intersección de los soportes de dibujos una cámara, respectivamente. Naturalmente, también es posible disponer los monitores en ángulos e incluso perpendicularmente uno respecto al otro. La disposición óptima de los monitores resulta, en particular, de la forma de las superficies que han de ser medidas, cuya forma óptima se conoce en muchos casos, de modo que la disposición de los monitores puede optimizarse correspondientemente.

Otras ventajas, características y posibilidades de aplicación de la presente invención resultan también de la descripción expuesta a continuación de ejemplos de realización y del dibujo. Todas las características descritas y/o representadas en las figuras representan por separado o en cualquier combinación el objeto de la invención, también independientemente de su resumen en las reivindicaciones o en las referencias de éstas.

Muestran:

La Figura 1 un sistema para la medición de la forma de una superficie reflejante según una primera forma de realización;

la Figura 2 un sistema para la medición de la forma de una superficie reflejante según una segunda forma de realización;

la Figura 3 los soportes de dibujos y cámaras de un sistema para la medición de la forma de una superficie reflejante según una tercera forma de realización;

la Figura 4 la trayectoria de los rayos para un píxel de cámara durante el calibrado de un sistema;

la Figura 5 la evaluación de los triángulos usados en el calibrado en la trayectoria de los rayos según la Figura 4;

la Figura 6 el sistema según la Figura 1 durante una medición de la forma que no usa el procedimiento según la invención; y

la Figura 7 el sistema según la Figura 1 durante la medición de la forma según el procedimiento según la invención.

En la Figura 1 está representada la estructura básica de un sistema 13 para la medición de la forma de una superficie reflejante 14 de un objeto 3 que ha de ser medido. El sistema 13 presenta una cámara 1, que observa el dibujo 15 de un soporte de dibujos 2 a través de la superficie reflejante 14. Para poder determinar la forma de la superficie reflejante 14 del objeto 3, debe conocerse la relación entre la cámara 1 y el dibujo 15 del soporte de dibujos 2. Para ello, se determinan en un calibrado el sistema de coordenadas 16 de la cámara 1 y el sistema de coordenadas 17 del dibujo 15. Adicionalmente, tanto la cámara 1 como el dibujo 15 pueden ser calibrados en un sistema de coordenadas 7 global. No obstante, esto no es imprescindible, aunque mejora la claridad del sistema en conjunto. En lugar del sistema de coordenadas 7 global, también el sistema de coordenadas 16 de la cámara 1 o el sistema de coordenadas 17 del dibujo 15 pueden usarse como sistema de coordenadas global. Gracias a ello, en el sistema 13 se conocen las posiciones y orientaciones tanto de la cámara 1 como del dibujo 15.

La cámara 1 está preparada para la observación píxel por píxel del dibujo 1 reflejado en la superficie reflejante 15. En la descripción del sistema 13, la cámara 1 se modela en primer lugar como simple cámara con diafragma perforado, para la que no se necesitan parámetros internos

de cámara, como distancia teórica de la imagen, distorsión, desplazamiento de puntos principales o similares. No obstante, en la medida en la que se conozcan, éstos pueden usarse para la convergencia más rápida del procedimiento modelándose la cámara 1 como cámara con diafragma perforado corregida, de modo que con ayuda de los parámetros conocidos de la cámara la imagen 8 captada por la cámara 1 se convierte mediante cálculo en una imagen corregida con los parámetros conocidos. No obstante, esta imagen se seguirá procesando en el procedimiento posterior nuevamente como si hubiese sido tomada por una cámara con diafragma perforado simple.

Cuando una cámara está dirigida a un dibujo a elegir libremente directamente desde una dirección oblicua, es posible establecer sólo mediante la evaluación de la imagen una relación en el espacio entre el dibujo plano conocido y la cámara. Aquí es ventajoso usar para el calibrado un dibujo que se encuentra en una posición exactamente igual que el dibujo 15 usado posteriormente para la medición de la forma, porque la relación exacta entre el dibujo 15 y la cámara 1 se necesita para la evaluación de la medición de la forma. La realización del dibujo 15 puede variar. Para ello, como soporte de dibujos 2 está prevista una pantalla plana, por ejemplo una pantalla TFT, en la que pueden representarse dibujos 15 de cualquier tipo. Debido a las medidas conocidas de los píxeles de la pantalla plana 2, por lo tanto se conoce también exactamente la geometría del dibujo 15 representado. No obstante, también son concebibles otras realizaciones para un soporte de dibujos 2 o placas intercambiables con un dibujo medido en un dispositivo de sujeción.

Como puede verse en la Figura 1, la cámara no puede ver el dibujo 15 en el soporte de dibujos 2 si no hay un objeto a medir 3 reflejante en el volumen de medición. Si la cámara 1 y el soporte de dibujos 2 deben ser calibrados en su disposición usada en la posterior medición de la forma, un objeto cuya forma se conoce exactamente con propiedades reflejantes debe estar dispuesto en una posición comparable a la del objeto a medir 3. Preferiblemente, debería ser una superficie reflejante exactamente plana, porque en este caso resultan relaciones matemáticas simples para el calibrado.

Puesto que por la posición no conocida de este espejo plano se incorporan grados de libertad adicionales en el sistema de ecuaciones que ha de ser resuelto, el dibujo 15 usado para el calibrado debe ser observado mediante al menos dos espejos en distintas posiciones. La solución más sencilla para ello es la disposición de dos espejos exactamente paralelos a distintas alturas, que se observan uno tras otro, no debiendo conocerse la altura de los espejos propiamente dichos. Estas dos superficies de espejo 5, 6 están representadas en la Figura 1 mediante líneas continuas.

En la práctica, los objetos a medir 3 son, por ejemplo, lunas delanteras de automóviles.

En estas mediciones de objetos 3, la fabricación y disposición de las superficies de espejo 5, 6 de superficie grande no son sencillas, porque es muy caro fabricar espejos suficientemente planos con medidas correspondientemente grandes y alojarlos sin deformaciones a distintas alturas. Para generar las dos superficies de espejo 5, 6 paralelas, la parte inferior de la instalación 13 está realizada, por lo tanto, como bandeja. Esta bandeja 4 se llena con un líquido con suficiente viscosidad que tenga una superficie con buenas propiedades reflejantes. Las dos alturas se realizan porque la bandeja 4 se llena sucesivamente con dos distintas cantidades de líquido. Esta disposición tiene la ventaja de que las dos superficies de espejo 5, 6 tienen una planeidad ideal y están dispuestas paralelamente entre sí. Además, la orientación de estas superficies de espejo puede reproducirse en cualquier momento, lo cual no es imprescindible para realizar la medición de la forma, aunque facilita la manipulación del sistema de medición, p.ej. al cambiar una cámara defectuosa y al realizar el recalibrado necesario en este caso. Un líquido adecuado con una viscosidad suficiente es glicerina.

En la Figura 2 está representado un sistema 13 comparable, aunque éste presenta varios (tres) soportes de dibujos 2 y varias (dos) cámaras 1, que están dispuestas una al lado de la otra y que cubren juntas una zona de objeto grande, en la que puede medirse la superficie de un objeto. Gracias a prever la bandeja 4 llenada con glicerina para generar las superficies de espejo 5, 6, es posible calibrar de forma sencilla todos los dibujos 15 de los soportes de dibujos 2 y todas las cámaras 1 al mismo tiempo en un sistema de coordenadas 10 común, puesto que pueden realizarse las superficies de espejo 5, 6 del líquido de forma sencilla con cualquier tamaño.

La superficie de líquido 5, 6 define preferiblemente el plano x-y de un sistema de coordenadas común para todas las cámaras 1 y soportes de dibujos 2. Si las cámaras 1 y los dibujos 15 ó los soportes de dibujos 2 están dispuestos, además, de tal forma que cada cámara 1 está dirigida junto con al menos otra cámara 1 a un dibujo en el mismo soporte de dibujos 2, puede determinarse además la relación entre todos los componentes en la rotación alrededor de la perpendicular respecto a la superficie de la superficie de espejo 5, 6 y el desplazamiento en esta superficie entre los distintos componentes. No es imprescindible que cada una de las dos cámaras reproduzca en un soporte de dibujos 2 la misma zona de dibujo 15, puesto que gracias a la geometría conocida del dibujo total 15 en el soporte de dibujos 2 puede determinarse la relación entre dos zonas de dibujo 15 distintas. Como punto cero del sistema de coordenadas 10 puede elegirse cualquier punto en la superficie. Lo mismo es válido para el punto cero de la rotación alrededor de la perpendicular respecto a la superficie. De este modo, todos los componentes pueden calibrarse de forma conjunta en un sistema de coordenadas 10.

Una disposición especialmente recomendable para un sistema 13 según la invención está

representada en la Figura 3, en el que $n \times m$ soportes de dibujos están dispuestos a modo de matriz en un cuadrado. En cada punto de intersección de los soportes de dibujos 2 se encuentra una cámara 1, de modo que cada cámara 1 observa cuatro soportes de dibujos 2 y, con excepción de los soportes de dibujos 2 en el borde de la matriz, todos los soportes de dibujos 2 son observados por cuatro cámaras 1. Las zonas de imagen 12 correspondientes de las cámaras 1 están representadas con una línea de trazo interrumpido.

Aunque para la medición de la forma de un objeto 3 no sea necesario definir un sistema de coordenadas reproducible, porque la forma del objeto es naturalmente invariante respecto a las transformaciones de coordenadas entre distintos sistemas de coordenadas de referencia, en algunos casos es deseable establecer una relación con un sistema de coordenadas fijamente predeterminado. Esto puede facilitar, por ejemplo, la manipulación de todo el sistema de medición 13.

La orientación del plano X-Y en el sistema de coordenadas 10 es siempre igual gracias al nivel del líquido. Para los otros grados de libertad, pueden aplicarse marcas que pueden ser percibidos por la cámara 1. Por ejemplo, puede definirse un punto cero en un soporte de dibujos 2 identificándose el mismo de tal modo que pueda ser percibido por al menos una cámara 1. Gracias a la definición de un segundo punto fijo, también puede definirse el punto cero de la rotación alrededor de la perpendicular respecto a la superficie. Al usar pantallas planas como soportes de dibujos 2, esta identificación también puede mostrarse en la pantalla.

Como sistema de coordenadas 10 común puede usarse, por lo tanto, en primer lugar el sistema de coordenadas cuyo plano X-Y coincide con la superficie de espejo 5, 6. Partiendo de este sistema de coordenadas 10, puede establecerse posteriormente una relación con un sistema de coordenadas 7 global a elegir libremente, que está relacionado por ejemplo, con la bandeja 4.

Respecto a la Figura 4, a continuación se describirá detalladamente el ajuste del sistema 13 con ayuda de un dibujo 15 reproducido en una pantalla plana 2. Aquí, para cada píxel de la cámara 1 del sistema 13 se determina el píxel de la pantalla plana 2 al que está dirigida la cámara 1 o el píxel de cámara correspondiente. En primer lugar, esta medición es independiente del calibrado y define la dirección visual de la cámara 1 para cada píxel.

Como parámetros se usan las posiciones de las cámaras x_k , y_k y z_k , en el sistema de coordenadas de referencia. El punto definido por las coordenadas x_k , y_k , y z_k se refiere al punto en el que inciden todos los rayos que llegan a la cámara en el objetivo. Además, como otros parámetros se determinan las posiciones de cada píxel de la pantalla plana 2 en el sistema de coordenadas de referencia, así como la dirección visual de cada píxel de la cámara 1 incluida la distorsión del objetivo (también medida) en el sistema de coordenadas de referencia.

Debajo de la disposición del sistema 13 de cámaras 1 y pantallas planas 2 (monitores TFT) se coloca una bandeja 4 llena de glicerina, que puede fijarse a distintas alturas. Esta bandeja está ennegrecida en el lado interior. En cuanto la glicerina que se encuentra en la bandeja haya reposado, se ajusta una superficie reflejante 5, 6 plana y ópticamente impecable. A
5 continuación, se asignan para dos alturas (h_1 , h_2) a cada píxel de la cámara 1 el píxel correspondiente de la pantalla plana 2, al que el rayo del píxel de la cámara correspondiente ha sido reflejado por el espejo 5, 6. Las magnitudes h_1 , h_2 son las dos alturas a las que se ha medido el nivel de glicerina (superficie de espejo 5, 6).

La medición se realiza porque en la pantalla plana 2 se muestran sucesivamente dibujos
10 15 adecuados siendo captadas las imágenes reflejadas 8 de éstos por la cámara 1. Gracias a una elección adecuada de los dibujos 15, tras un número determinado de imágenes 8 puede identificarse cada uno de los píxeles de pantalla. Para ello, cada píxel puede ser codificado en su secuencia de luminosidad (por ejemplo como código Grey) o se utiliza un gradiente de medios tonos adecuado o una secuencia de gradientes de medios tonos.

A continuación, se indicará un ejemplo para un parametrización adecuada, aunque la
15 misma puede ser variada sin que se abandone el objeto de la presente invención. El origen de coordenadas se relaciona con el píxel (0,0) de una pantalla plana 2 a elegir libremente. Gracias a la elección de la coordenada en el espacio de este píxel, queda definida la posición del sistema de coordenadas. La superficie de espejo 5, 6 del nivel de líquido se elige paralelamente al plano
20 X-Y del sistema de coordenadas 10, de modo que la dirección Z del sistema de coordenadas 10 queda dispuesta perpendicularmente respecto a la superficie de espejo 5, 6. El eje X del sistema de coordenadas se extiende perpendicularmente respecto al lado largo de la pantalla plana 2 que define el origen.

Gracias a esta elección queda predeterminado un sistema de coordenadas 10 unívoco,
25 en el que pueden medirse todos los componentes del sistema.

Debido a la producción, la distancia entre dos píxeles en una pantalla plana 2 se conoce con gran exactitud. Para un monitor de 17", esta distancia es por ejemplo de 0,264 mm. Si es conocida la posición de un píxel de monitor en el espacio y los tres ángulos sólidos en los que el monitor está dispuesto en el espacio, para cada píxel del monitor puede determinarse
30 exactamente la posición en el espacio. Esta métrica es exactamente igual en todas las pantallas planas 2 y garantiza, por lo tanto, que las coordenadas globales tridimensionales también sean métricas.

En la Figura 4 está representada la trayectoria de los rayos para un solo píxel de una cámara 1. En este caso, las coordenadas x_k , y_k y z_k son las posiciones de la cámara, h_1 y h_2 son
35 las alturas de las superficies de espejo 5, 6, así como x_{s1} , y_{s1} y z_{s1} son las coordenadas en el

espacio a las que se refleja un píxel de cámara en caso de una reflexión a la altura h_1 . En este caso, los triángulos representados en distintos medios tonos en la parte inferior de la Figura 4 son similares en términos matemáticos.

5 Según la representación en la Figura 5, los dos triángulos pequeños y los dos grandes pueden unirse formando, respectivamente, un triángulo. En este caso es conocida la altura y la anchura de estos dos triángulos. Debido a la similitud de los triángulos es válida la siguiente relación:

$$10 \quad \frac{a}{x_k - x_{s2}} = \frac{b}{x_k - x_{s1}} \quad \text{con } a = z_k + z_{s1} - 2h_1 \text{ y } b = z_k + z_{s2} - 2h_2$$

Con esta relación puede calcularse un parámetro en la ecuación. Al resolver para x_k , resulta la siguiente ecuación:

$$15 \quad x_k = \frac{ax_{s1} - bx_{s2}}{a - b}$$

Y_k puede calcularse de forma análoga cambiándose las direcciones de las coordenadas X e Y .

20 Esta ecuación se forma para cada píxel de la cámara 1. La condición para resolver el sistema de ecuaciones es que todos los rayos de píxeles que pertenecen a una cámara 1 determinada se crucen en un punto. El sistema de ecuaciones que resulta por ello se resuelve mediante un algoritmo de optimización adecuado, conocido, por ejemplo Newton-Gauss-Jordan. Para simplificar la optimización, también pueden usarse sólo algunos píxeles seleccionados.

25 Como valores iniciales ventajosos para la optimización pueden usarse valores adecuados. La posición de todas las pantallas planas 2 puede medirse aproximadamente como posición del píxel 0,0 usándose como valor inicial. Lo mismo es válido para los tres ángulos en el espacio de cada monitor. Además, se miden aproximadamente las alturas de cada cámara Z así como las superficies de espejo 5, 6 h_1 y h_2 usándose como valor inicial.

30 Para cada pantalla plana 2 se optimizan a continuación la coordenada X , Y y Z del píxel (0,0), así como los tres ángulos en el espacio de su posición. Lo mismo es válido para las alturas h_1 y h_2 de las superficies de espejo 5, 6, así como la altura de la posición de la cámara Z . Como resultado de la optimización se obtienen la posición y situación correctas de cada pantalla plana 2 y de cada cámara 1. Adicionalmente se conoce para cada píxel que ha realizado una medición
35 válida para al menos una altura el punto al que está dirigida la cámara en el plano $z=0$. Para las reflexiones a las alturas h_1 y h_2 resulta la siguiente relación:

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

5 Estas ecuaciones resultan de la observación de los triángulos según la Figura 5.

Puesto que este cálculo se hace por separado para cada píxel de cámara, después del calibrado se conoce para cada píxel de la cámara 1 la dirección visual en el espacio, concretamente incluida la distorsión del objetivo, porque esta también se ha tenido en cuenta o se ha medido al captar la imagen. En lugar de la modelación de la cámara con modelos de
10 distorsión, al proceder de esta manera se determina por lo tanto para cada píxel explícitamente una dirección visual.

En principio, también podría modelarse un modelo de distorsión. De este modo el sistema de ecuaciones que ha de ser optimizado cambia en el sentido de que estos parámetros aparecen y se optimizan adicionalmente, lo cual supone un mayor esfuerzo de cálculo.

15 Además, podría realizarse para cada altura de espejo un calibrado de por sí conocido respecto a un dibujo plano, sin tenerse en cuenta el hecho de que la cámara 1 está dirigida en realidad a un espejo del dibujo 15. En este caso, para cada altura de espejo h_1 y h_2 resulta otra posición virtual de la cámara. No obstante, como es conocido que se trata en realidad siempre de la misma posición de cámara, habiendo variado sólo las alturas del espejo (con superficies de
20 espejo 5, 6 exactamente paralelas), puede formarse un sistema de ecuaciones que aprovecha esta condición supletoria. A continuación, se obtiene la posición correcta de la cámara 1 mediante la optimización del sistema de ecuaciones.

Este método tiene la ventaja de que el calibrado puede descomponerse en dos etapas, pudiendo usarse para la primera etapa métodos estándar conocidos. No obstante, tiene el
25 inconveniente de que para la primera etapa sólo puede usarse el dibujo 15 en un soporte de dibujos 2. Sin embargo, en una disposición de varias cámaras 1, un soporte de dibujos 2 cubre en la práctica sólo una parte del campo de la imagen, y esto sólo en un lado, es decir, en un lado del campo de la imagen. No obstante, un buen calibrado sólo puede realizarse si el campo de la imagen está ocupado de una forma aproximadamente uniforme con puntos de dibujo.

30 En cuanto se haya realizado el calibrado del sistema 13 de la forma anteriormente descrita, puede procederse a la medición de la forma de la superficie reflejante 14 del objeto 3. Para ello, se encienden distintas pantallas planas 2, dado el caso, en primer lugar sucesivamente o al mismo tiempo con distintas luminosidades, para detectar a qué pantalla plana 2 está dirigida una cámara 1. A continuación, se genera una trama de bandas basta en la pantalla plana 2, para
35 delimitar aún más la posición en el dibujo 15 a la que está dirigida la cámara 1. El dibujo de bandas 15 se afina hasta el límite de resolución de la pantalla plana 2 y queda reproducido

respectivamente de forma correspondiente en los píxeles de la cámara 1.

Para poder medir la superficie reflejante 14 en todas las direcciones, el dibujo de bandas 15 se representa también girado 90° en las pantallas planas 2 y también en esta dirección se realiza el afinamiento anteriormente descrito del dibujo 15. Puesto que en la disposición descrita en principio no queda cubierta cada zona de la superficie reflejante 14 por dos dibujos 15 y/o dos cámaras 1, se genera una ambigüedad en cuanto al ángulo de la superficie y/o la distancia de la superficie.

Para resolver esta ambigüedad, se necesita al menos un punto inicial o de apoyo en el que se conoce una de las dos magnitudes (ángulo de la superficie o altura de la superficie). En éste pueden determinarse a continuación unívocamente la altura y el ángulo. Partiendo de este punto de apoyo, se estima a continuación la altura en los puntos adyacentes determinándose el ángulo a partir de ello. La determinación del ángulo no es muy sensible frente a inexactitudes en cuanto a la altura en las mediciones de sistema que se presentan en la práctica cuando las distancias entre las mediciones no son demasiado pequeñas. Por lo tanto, de esta forma puede determinarse con gran exactitud el ángulo de la superficie en un punto de la superficie. El ángulo de la superficie en los puntos de la superficie puede integrarse a continuación llegando a la forma total. Para mejorar la exactitud, también pueden usarse métodos de por sí conocidos para la corrección de la curvatura.

Puesto que al determinar un punto inicial o de apoyo por lo general es más fácil determinar una altura, para la resolución de la ambigüedad del ángulo de la superficie y de la altura de la superficie pueden aplicarse los siguientes procedimientos:

Si se ha medido el sistema total 13 en el sistema de coordenadas, se conoce la altura de soporte del objeto a medir. No obstante, los puntos de soporte del objeto a medir pueden ser siempre sólo pocos puntos, de modo que son grandes los intervalos de integración. Por lo tanto, al usar los puntos de soporte como puntos de apoyo, el resultado es muy sensible a pequeños errores de medición.

En la zona de solapamiento de dos cámaras también puede usarse un método de dos cámaras, en el que se determina la altura de un punto mediante la observación con dos cámaras cuya posición y orientación son conocidas. No obstante, esto es difícil en la práctica, puesto que en el caso de superficies curvadas, en muchos casos sólo una cámara ve un dibujo reflejado. Para captar toda la superficie mediante al menos dos cámaras, respectivamente, debería estar previsto un gran número de cámaras y/o dibujos.

Las superficies reflejantes, como las lunas de automóviles, presentan en parte zonas que no son reflejantes o que apenas son reflejantes. Esto es en particular el borde o por ejemplo zonas que no son reflejantes por llevar algo impreso. Estas zonas pueden ser medidas con

métodos conocidos para superficies no reflejantes, como triangulación de bandas o procedimientos de estereometría. No obstante, este método sólo funciona cuando existen zonas no reflejantes. Además, también en este caso se vuelven muy grandes los intervalos de integración, lo cual conduce a una gran dependencia de pequeños errores de medición.

5 Por lo tanto, pueden usarse los siguientes procedimientos para la medición de la altura de los puntos de apoyo.

Según una primera posibilidad, que no forma parte de la invención, se realizan pequeñas marcas 9 a una distancia determinada delante del dibujo 15 propiamente dicho en una trama predeterminada de puntos de apoyo. Estas marcas pueden estar dispuestas en pequeñas varillas
10 o en un disco antepuesto. La posición de una marca 9 está representada a título de ejemplo en la Figura 6. La marca 9 oculta una zona 11 pequeña del dibujo 15 para la cámara 1. Gracias a la detección de los puntos adyacentes del dibujo 15 puede determinarse exactamente cual de los puntos 11 del dibujo 15 queda oculto por la marca 9. De este modo puede determinarse por ejemplo con un procedimiento de triangulación la altura absoluta de la superficie reflejante 14 en
15 este punto.

La posición de las marcas 9 puede determinarse en un calibrado con el nivel de líquido propuesto como superficie de espejo 5, 6 en una etapa anterior o posterior.

En la Figura 7 se muestra el procedimiento según la invención, que se explicará a continuación y que supone un perfeccionamiento del procedimiento anteriormente descrito. De
20 forma comparable a la marca 9, se fija un objeto 18 fino de una forma conocida, que preferiblemente puede describirse fácilmente en términos matemáticos (por ejemplo una barra, un hilo o un círculo) y se fija a una distancia determinada delante del dibujo. El objeto 18 también puede ser un dibujo semitransparente en un disco antepuesto.

Este objeto 18 se reproduce en una cámara 1 o en los píxeles 8 de ésta. Puesto que el
25 objeto 18 es fino o semitransparente, puede determinarse la zona 11 cubierta del dibujo 15. Mediante el elemento de imagen o píxel de cámara 8 y el centro de reproducción de la cámara queda definida la dirección visual del píxel de cámara, que forma una recta partiendo del píxel 8. Esta recta está representada en la Figura 7 como línea punteada. Gracias a esta recta y el punto del dibujo 11 oculto conocido queda definido un plano. Si se conoce la posición del objeto 18 en
30 el espacio (por ejemplo por un calibrado), puede determinarse el punto de intersección 19 del objeto 18 con este plano. La única condición es que el objeto 18 no quede dispuesto completamente en este plano. Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante distintos objetos 18 con distintas orientaciones.

El punto de dibujo 11 oculto y el punto de intersección 19 definen otra recta, también
35 representada como recta punteada. El punto de intersección de las dos rectas es el punto de

superficie buscado, en el que puede determinarse a continuación con gran exactitud el punto de la superficie y a partir de éste el ángulo para la integración.

La posición del objeto 18 puede determinarse en el calibrado del sistema mediante una medición externa, pero preferiblemente mediante una segunda etapa de calibrado. En esta
5 segunda etapa, se determina tras el calibrado de la cámara 1 y del soporte de dibujos 2 la posición del objeto 18, mientras aún exista la superficie de espejo 5, 6 plana. Esto es posible porque en este momento es conocida la forma o disposición del espejo 5, 6.

Por lo tanto, con el procedimiento propuesto es posible una medición fiable de la
10 superficie reflejante superior de un objeto transparente. En muchos casos también pueden medirse superficies dispuestas por debajo de ésta, sin que para ello sea necesaria una disposición de aparatos costosa.

Lista de signos de referencia

- | | | |
|----|----|--|
| | 1 | Cámara |
| 15 | 2 | Soporte de dibujos, pantalla plana |
| | 3 | Objeto |
| | 4 | Bandeja |
| | 5 | Superficie de espejo para el calibrado |
| | 6 | Superficie de espejo para el calibrado |
| 20 | 7 | Sistema de coordenadas global |
| | 8 | Imagen, píxel de cámara |
| | 9 | Marca |
| | 10 | Sistema de coordenadas común |
| | 11 | Zona cubierta |
| 25 | 12 | Campo de imagen de una cámara |
| | 13 | Sistema |
| | 14 | Superficie reflejante |
| | 15 | Dibujo |
| | 16 | Sistema de coordenadas de la cámara |
| 30 | 17 | Sistema de coordenadas del dibujo |
| | 18 | Objeto |
| | 19 | Punto de intersección |

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento para la medición de la forma de una superficie reflejante (14), con un sistema que presenta al menos un dibujo (15) para la reflexión en la superficie reflejante (14) y al menos una cámara (1) para la observación píxel por píxel del dibujo (15) reflejado en la superficie (14), siendo conocidas la posición y la orientación de la cámara (1) y del dibujo (15), así como la dirección visual para cada píxel (8) de la cámara (1), determinándose a partir de las direcciones visuales conocidas para los píxeles (8) de la cámara (1) y las posiciones del dibujo (15) que corresponden a la reproducción del dibujo (15) reflejado en los píxeles (8) de la cámara (1) el ángulo de la superficie y la altura de la superficie para la medición de la forma, disponiéndose un objeto (18) de forma lineal delante del dibujo para la determinación exacta de la altura de la superficie de un punto de apoyo, de modo que al menos un punto (19) del objeto (18) oculte un punto del dibujo (11), siendo conocida la posición del objeto (18) en el espacio, determinándose a continuación un plano a partir de la dirección visual conocida del píxel que reproduce el punto de dibujo (11) y el punto del dibujo (11) y determinándose el punto (19) como punto de intersección del objeto (18) con este plano, además de determinarse el punto de apoyo como punto de intersección entre la dirección visual conocida del píxel que reproduce el punto del dibujo (11) y la recta que pasa por el punto del dibujo (11) y el punto (19).

2.- Procedimiento según la reivindicación 1, en el que para el análisis del dibujo (15) captado por la cámara (1) se usan un procedimiento de evaluación de fase, un procedimiento codificado en el tiempo y/o un procedimiento codificado en frecuencia.

3.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que, después de la determinación de la altura de la superficie para el punto de apoyo en la superficie reflejante (14), se estima la altura de la superficie en un punto de la superficie adyacente al punto de apoyo determinándose a partir de ello el ángulo de la superficie.

4.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que varios puntos de apoyo se ponen en una trama en la superficie (14) a medir.

5.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que el dibujo (15) se afina sucesivamente comenzando con un dibujo (15) basto.

6.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que se representan distintas estructuras de dibujos.

7.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la medición se realiza en objetos transparentes.

8.- Procedimiento según la reivindicación 7, en el que en una primera etapa del procedimiento se mide la superficie dispuesta arriba y/o las zonas de la superficie en las que

pueden separarse las reflexiones múltiples de las distintas superficies y en el que en una segunda etapa del procedimiento se evalúan las reflexiones múltiples.

5 9.- Procedimiento según la reivindicación 7 u 8, en el que en una primera etapa de procedimiento se usa una forma y posición previamente conocidas de la superficie calculándose como se representa el dibujo conocido en reflexiones múltiples y en el que en una segunda etapa del procedimiento se evalúan las reflexiones múltiples.

10.- Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la forma del dibujo (15) depende de la resolución.

Fig. 1

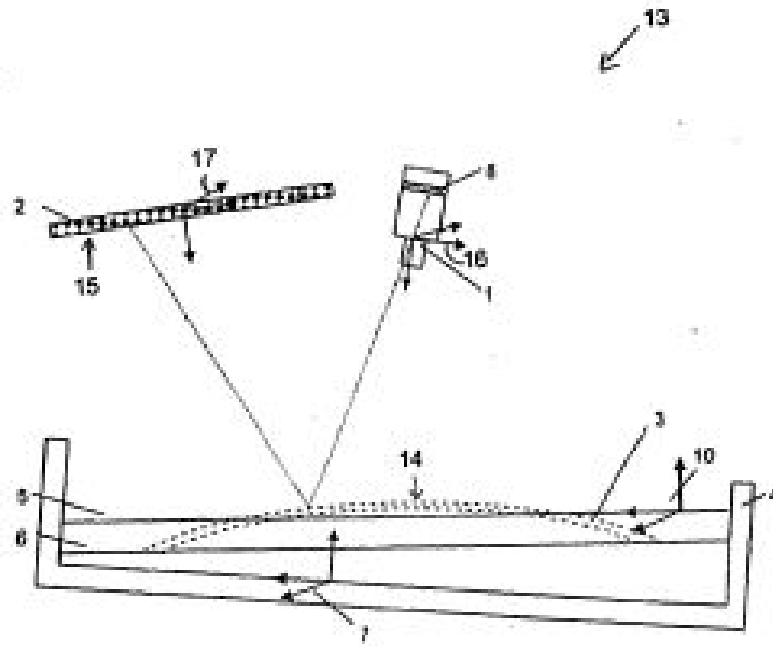


Fig. 2

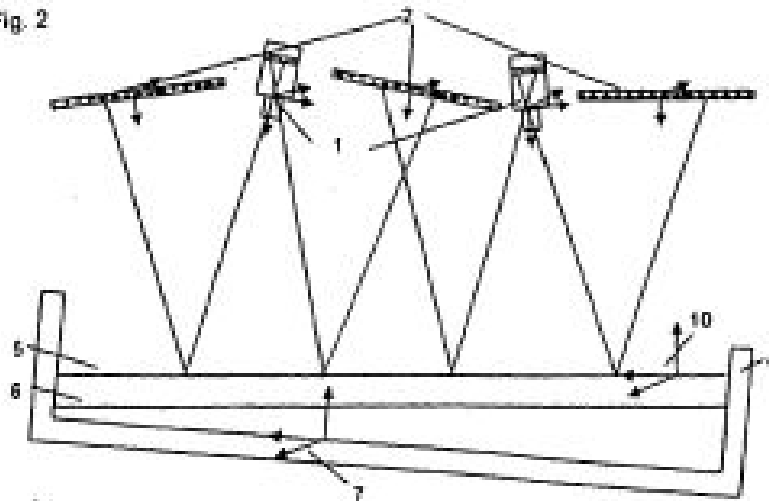


Fig. 3

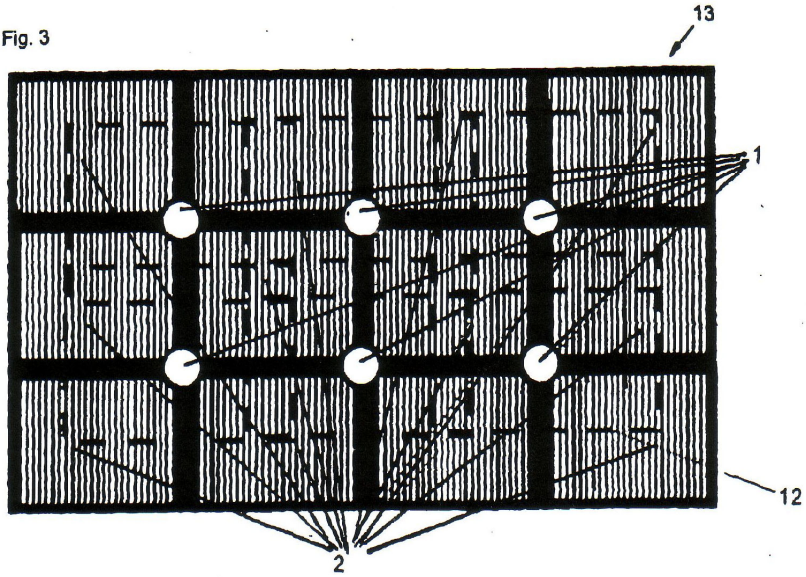


Fig. 4

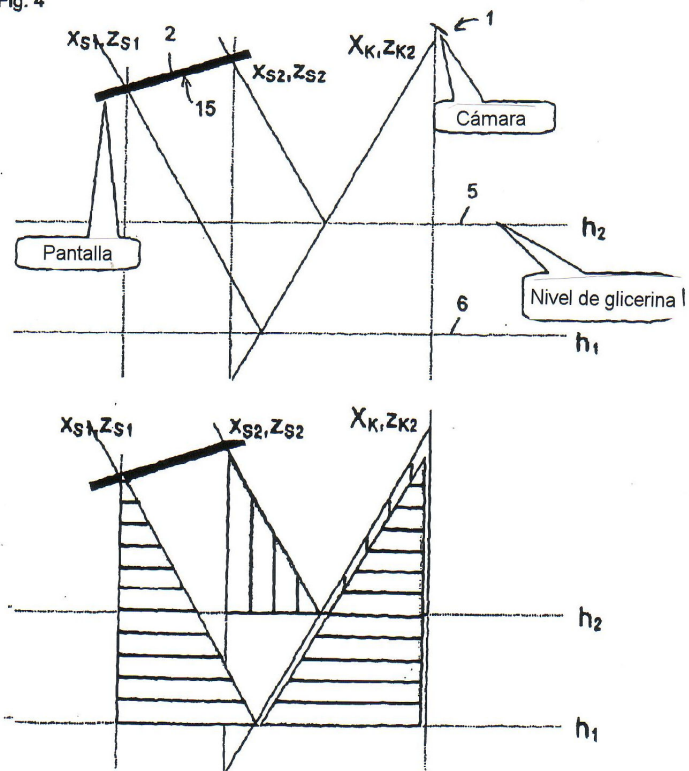


Fig. 5

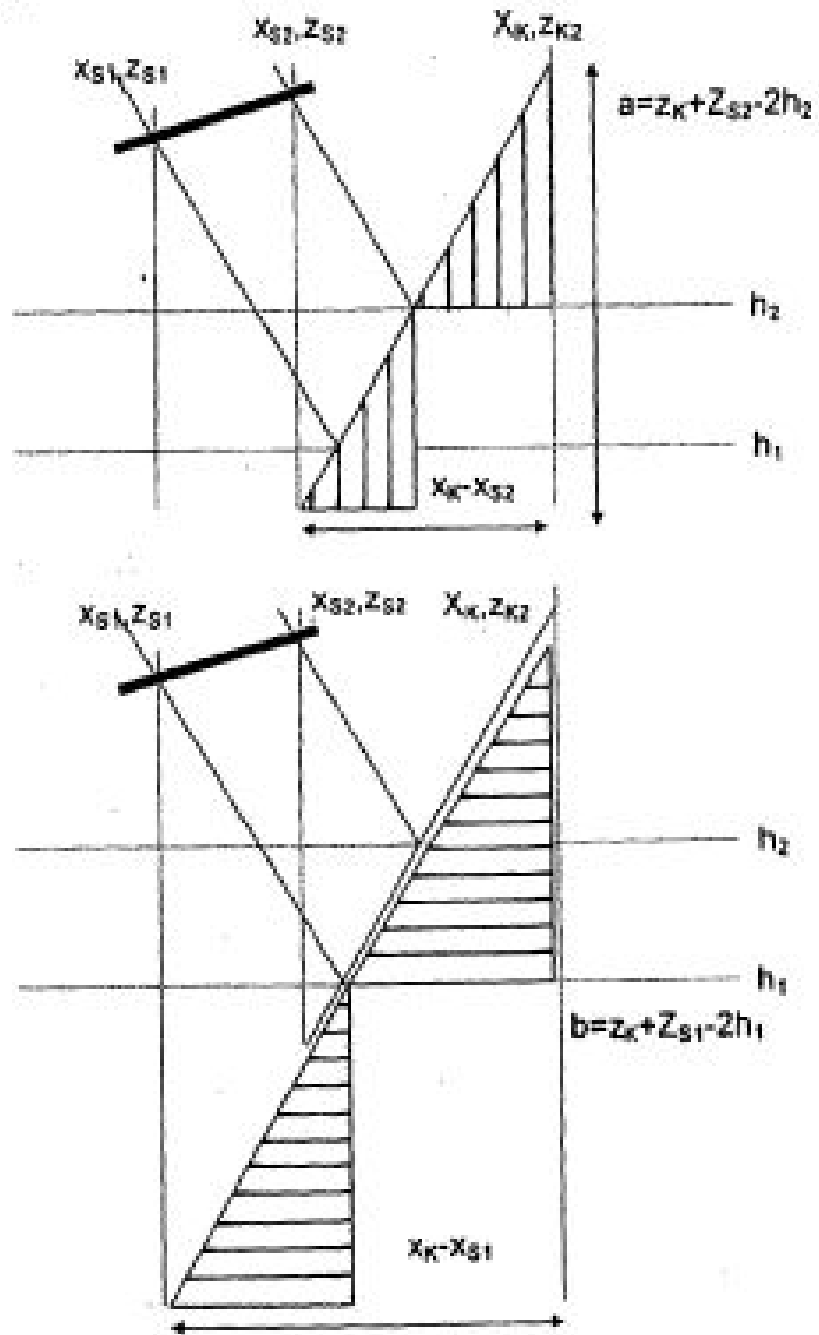


Fig. 6

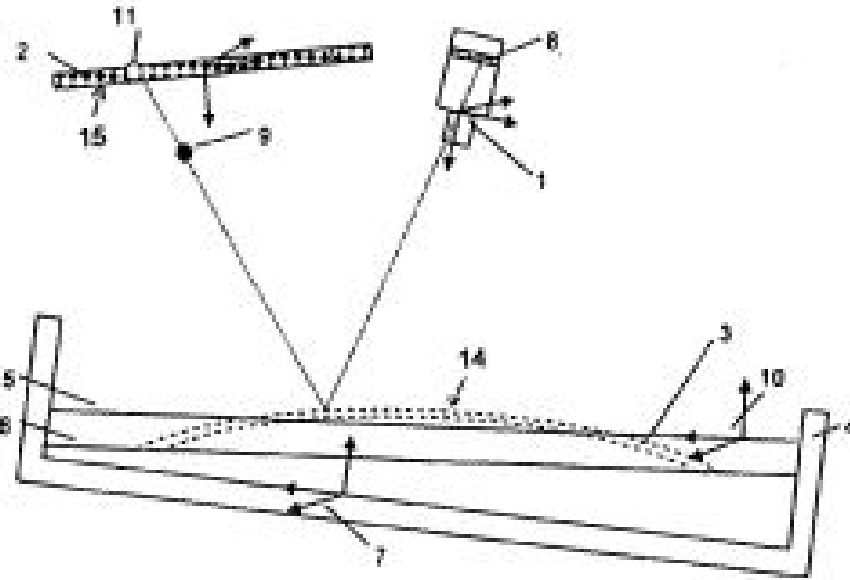


Fig. 7

