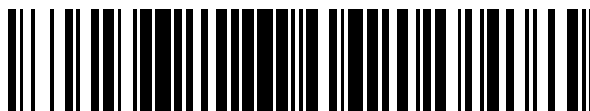


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 377 462**

51 Int. Cl.:
G01B 11/25 (2006.01)
G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07732643 .7**
96 Fecha de presentación: **03.05.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2024707**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.02.2009**

54 Título: **Sistema de escaneado y método para escanear**

30 Prioridad:
04.05.2006 GB 0608841

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.03.2012

73 Titular/es:
ISIS INNOVATION LIMITED
Ewert House, Ewert Place Summertown,
Oxford OX2 7SG, GB

72 Inventor/es:
PATERSON, James;
DANIEL, Ronald, William;
CLAUS, David y
FITZGIBBON, Andrew

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

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).

ES 2 377 462 T3

DESCRIPCIÓN

Sistema de escaneado y método para escanear

La presente invención se refiere a un sistema, y al correspondiente método, para escanear un objeto real. El objeto del escaneo puede ser un artículo completo o una porción suya, o la superficie o porción de la superficie de un artículo. El sistema y el método de la invención son capaces de realizar la adquisición de la geometría y de las propiedades de reflectancia de la superficie del material del objeto del escaneo. Los ejemplos de tales propiedades de reflectancia de la superficie del material incluyen el color de la superficie y la capacidad reflectante, a la que también puede referirse como propiedades de reflectancia.

Se conocen sistemas para la adquisición de la geometría 3D de la forma de un objeto, por ejemplo como se describe en el documento WO 2005/040850. Sin embargo, la información geométrica sola no es siempre suficiente para aplicaciones concretas de escaneo, tales como la adquisición de un modelo a todo color para videojuegos y películas de animación (por ejemplo, escanear y reconstruir una figura para su posterior animación), la visualización interactiva (por ejemplo, para usos médicos o para el uso académico tales como el escaneo de antigüedades para su posterior estudio), y el control de calidad (por ejemplo, inspeccionar el acabado superficial de un objeto con respecto a su acabado satinado o de brillo deseados, inspeccionar la perfección de la pintura aplicada sobre un objeto pintado).

Se conocen otros sistemas para adquirir información de un objeto por vía "estereofotométrica" (PS) (del inglés photometric stereo), es decir obtener información espacial sobre las propiedades de la interacción de la superficie de un objeto con la luz. La Figura 1 muestra un ejemplo de la disposición tradicional de los elementos de un sistema para la adquisición de un objeto por vía estereofotométrica. Se coloca una única cámara 100 para capturar imágenes de un objeto 101 iluminado individualmente y secuencialmente por un número de fuentes 102, 103, 104 de luz, habiéndose obtenido las posiciones geométricas de las fuentes de luz con respecto al objeto a través de una calibración anterior. En la Figura 1 se muestran tres fuentes de luz que representan una típica disposición mínima de los elementos. Sin embargo, hay problemas y limitaciones con semejante sistema: por ejemplo, dependiendo del modelo de reflectancia del material usado, la determinación de la información PS del objeto puede ser insoluble o requerir una cantidad extremadamente grande de energía o de tiempo de tratamiento. La variedad de materiales a los que se puede aplicar puede estar muy limitada, por ejemplo objetos que exhiban una reflexión especular no se pueden adquirir correctamente. Puede ayudar el uso de fuentes adicionales de luz y de modelos de de reflexión más avanzados, pero esto aumenta los requisitos de elementos del equipo y la dificultad de la calibración. Además, un sistema PS, como el anteriormente descrito, es incómodo de operar y de organizar su disposición, en concreto, se requieren fuentes de luz, geoméricamente múltiples y radiométricamente calibradas. Esto no permite, por si mismo, hacer posible que se consigan escáneres cómodos y movibles (por ejemplo, de mano). Los datos PS en los que se recupera la geometría por integración tienen también el problema de ser "no-métricos" en el sentido de que no proporcionan información sobre la altura, anchura y amplitud total, y pueden estar sujetos a una desviación de baja frecuencia debido a la integración, que implica una posible curvatura en el espacio.

Un problema más es registrar y combinar, es decir reconciliar, los datos geométricos y los datos fotométricos adquiridos con diferentes técnicas.

Las publicaciones "Building a digital model of Michelangelo's Florentine Pietà" (Construcción de un modelo digital de la Piedad Florentina de Miguel Ángel) (Computer Graphics and Applications, IEEE; Vol. 1, páginas 59-67, 01.2002) y "Strategies for registering range images from unknown camera positions" (Estrategias para registrar imágenes de rango desde posiciones de cámara desconocidas) (Three-Dimensional Image Capture and Applications III, Proc. SPIE, Vol. 3958, páginas 200-206, 03.2000) ambos escritos por F. Bernardini y colaboradores, describen la combinación de la proyección de modelos y fotometría. La publicación "A versatile camera position measurement system for virtual reality TV production" (Un sistema de medida de la posición de una cámara versátil para la producción de TV con realidad virtual) (International Broadcasting Convention, Conference Publication N° 447, 09.1997) de G-A. Thomas y colaboradores describen un registro de la posición para una cámara de mano.

La presente invención tiene por objeto aliviar, al menos parcialmente, uno o más de los problemas anteriores.

Por consiguiente, la presente invención proporciona un sistema de escáner según la reivindicación 1.

La presente invención proporciona también un método para escanear un objeto según la reivindicación 12.

Un sistema que realiza la invención es capaz de ofrecer ventajas que incluyen una exactitud mejorada, un coste reducido y una capacidad mejorada de uso con respecto a las tecnologías convencionales, y se puede producir en una cámara portátil, de mano. Además de las aplicaciones estándar para la adquisición geométrica 3D (tal como por ejemplo, ingeniería inversa, control de calidad), la capacidad del sistema para capturar las propiedades de reflectancia de la superficie del material, como por ejemplo color no homogéneo y la reflexión especular, lo hacen aplicable en una amplia variedad de otros campos, tales como la adquisición de modelos a todo color, la visualización interactiva, y el análisis de materiales, por ejemplo la inspección de la calidad de un trabajo de pintura o de un acabado superficial.

Un sistema o un método que realice la invención de forma ventajosa, solamente requiere un único sensor (por ejemplo una cámara) para capturar imágenes del objeto. Además, un sistema que realiza la invención requiere solamente, de forma ventajosa, una única fuente de luz, que puede ser una fuente de luz compuesta, pero la fuente de luz puede ser compacta con una dimensión máxima de, digamos, 150 mm o más pequeña. Tampoco se requieren fuentes adicionales de contraluz. Todas estas características hacen posible que el dispositivo de escáner de la invención se pueda hacer portátil, y preferiblemente de mano. Por supuesto, se pueden usar, opcionalmente, múltiples fuentes de luz si lo requiere la aplicación, pero el propio dispositivo de escáner puede ser, todavía, una sola unidad portátil, preferiblemente de mano.

Se describirán ahora las realizaciones de la invención, únicamente a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos que las acompañan, en los que:

La Figura 1 describe un sistema previo para adquirir información estereofotométrica de un objeto;

la Figura 2 describe un sistema que comprende un escáner, un objetivo óptico, un objeto y un procesador según una primera realización de la invención;

la Figura 3 describe el sistema de la primera realización adquiriendo información geométrica;

la Figura 4a muestra un conjunto de imágenes de un objeto adquirido por el sistema de la Figura 2 desde diferentes puntos de vista;

la Figura 4b muestra la información fotométrica procedente de la Figura 4a después de su tratamiento para dar un conjunto de imágenes reconstruidas desde el mismo punto de vista, pero iluminadas de forma eficaz por una fuente de luz desde diferentes direcciones;

la Figura 5 describe esquemáticamente el tratamiento para transformar una de las imágenes procedente de la Figura 4a en la correspondiente imagen de la Figura 4b;

la Figura 6 ilustra un sistema según una segunda realización de la invención; y

la Figura 7 describe el sistema de la Figura 6 en uso.

Ahora se describirá un sistema según una primera realización de la invención. La Figura 2 muestra los elementos componentes del sistema, que en esta realización consisten en un dispositivo 1 de escaneo, de mano; un objetivo óptico 17 y un procesador 21. Los componentes del escáner 1 de mano incluyen: el cuerpo principal del escáner 1, al que el resto de los componentes están acoplados; una cámara 12; un proyector 13 de rayas láser u otra fuente adecuada para proyectar uno o más planos de luz sobre el objetivo 17 y el objeto que hay sobre él para producir una línea o raya de luz visible para la cámara 12; y al menos una fuente 14 de luz fotométrica. Los componentes 1, 12 y 13, junto con el objetivo óptico 17, están descritos en la publicación WO 2005/040850; la fuente 14 de luz fotométrica es un añadido para formar el sistema que es el foco de la presente invención.

En la Figura 2, la fuente 14 de luz fotométrica es una luz brillante compuesta de múltiples LED dispuestos en un anillo alrededor de la lente 15 de la cámara, aunque esto no es, en modo alguno, la única configuración, y pueden resultar ventajoso tener luces adicionales tales como, por ejemplo, una fuente de luz de LED agrupados, situada al lado de el proyector 13 de rayas láser. En la realización descrita, la fuente de luz fotométrica está situada para ser sustancialmente co-lineal con la lente 15 de la cámara; en este contexto, "co-lineal" significa simplemente que el objeto es iluminado sustancialmente desde la misma dirección desde la que es visto, aunque esto no es una característica esencial de la invención. Los LED aquí referidos emiten luz azul que interacciona con una o más sustancias fluorescentes para generar luz aproximadamente blanca. Se pueden usar, por supuesto, otras fuentes tales como una bombilla de flash de una cámara.

El cuerpo principal del escáner, en la realización descrita en la Figura 2, consiste en un bastidor que comprende dos miembros laterales 1.1 y 1.2, separados uno del otro, unidos por tres barras 1.3, 1.4 y 1.5, aproximadamente perpendiculares a los miembros laterales. La barra 1.3 que está en medio constituye un asa de mano y está provisto de un disparador 16, usándose el disparador para encender o apagar la generación del láser. También se puede disponer de controles adicionales en el escáner 1, por ejemplo para encender o apagar la(s) fuente(s) de luz fotométrica. La cámara 12 y el proyector 13 de rayas láser están situados adyacentes a las respectivas barras 1.4 y 1.5 de los extremos del escáner. Una característica más de esta realización concreta es que la cámara 12 y el proyector 13 de rayas láser son ajustables con respecto al cuerpo del escáner alrededor del eje vertical. Esto se consigue acoplando estos dos componentes al cuerpo principal 1 del escáner mediante una varilla y un encastre, y permite que el escáner 1 de mano tenga una línea base ajustable entre la cámara 12 y la fuente 13 de láser para acomodarse a los objetos de diferentes tamaños. La cámara 12 es cualquier sensor electrónico adecuado de imagen, por ejemplo que use un elemento sensor de luz CCD y CMOS, y una lente o sistema de lentes 15 para enfocar una imagen del objeto 19 y el objetivo 17 sobre el elemento sensor.

El objetivo óptico 17 consiste en un objetivo plano con un diseño de dimensiones conocidas, es este caso un cuadrado negro con una línea que lo rodea. Se sitúa un marcador de la orientación, en este caso un círculo blanco

18, en la parte superior izquierda del cuadrado negro. Se comprenderá que el objetivo óptico puede tener otras formas, como por ejemplo una forma tridimensional, sin embargo sus dimensiones métricas se deben conocer con antelación, con una exactitud especificada (las propiedades métricas del objetivo se discuten en el documento WO 2005/040850). Una propiedad adicional del objetivo óptico es que es de reflexividad conocida, por ejemplo en el caso de usar una cartulina blanca con impresión láser, se sabe que la cartulina será mate y sustancialmente igualmente reflectante a través del intervalo espectral de la luz visible (una propiedad de calibración adicional disponible en la nueva tecnología que se describe en este documento). La geometría del objetivo y las propiedades de reflectancia se pueden calibrar por anticipado según se requiera. Durante la operación, el objeto 19 que se va a captar se sitúa sobre el objetivo 17, que puede variar a escala global dependiendo del tamaño del objeto que se va a captar. En la realización descrita más adelante, durante la operación, el escáner de mano se mueve con respecto al objetivo estacionario, sin embargo en otras realizaciones el escáner puede permanecer fijo, con el objetivo moviéndose respecto a él, por ejemplo en el caso de partes que se examinan y que se mueven sobre una cinta transportadora con múltiples objetivos añadidos.

El procesador 21 puede ser un ordenador de mesa o un ordenador portátil, y se requiere para formar la imagen y procesar los datos necesarios para las diversas funciones del sistema, así como para el almacenamiento de los datos intermedios y finales que describen el objeto captado. Un monitor 22, CRT o LCD acoplado, permite la exposición de los datos intermedios y finales al usuario, junto con los controles para su interacción. El escáner 1, el procesador 21 y el monitor 22 pueden estar conectados por cables para la comunicación de datos. Como alternativa, la comunicación entre los componentes puede ser inalámbrica. Tampoco es esencial para el procesador 21 que sea exterior al escáner; con la miniaturización adecuada, se puede disponer, íntegramente en el escáner de mano, del visualizador y de los necesarios elementos especializados del procesador.

Ahora se describirá un método de operación del sistema de escáner, según una realización de la invención, en términos de las siguientes funciones realizadas, a saber: localización de la cámara; recuperación métrica de los datos de la forma geométrica del objeto; adquisición de datos fotométricos del objeto; y combinación de los datos geométricos y los datos fotométricos para producir un modelo perfeccionado de la geometría del objeto y de las propiedades de reflectancia de la superficie.

Como se describe en el documento WO 2005/040850, la primera función del sistema es llevar a cabo la localización de la cámara óptica, es decir, determinar la posición de la cámara en el espacio (específicamente ángulos de giro, de inclinación, y de oscilación de la cámara, y las coordenadas X, Y, Z, del centro efectivo de la cámara) con respecto a un sistema de ejes de coordenadas absolutas elegido sobre el objetivo, mostrado en la Figura 2 como el conjunto de ejes 20. Como el objetivo tiene un tamaño métrico conocido, la posición relativa de la cámara se puede determinar métricamente con el conocimiento dado de ciertas propiedades de la formación de imagen de la cámara, como por ejemplo la distancia focal. La calibración geométrica de la cámara es una técnica conocida y se puede llevar a cabo en un planteamiento de imagen seleccionada. En un ejemplo de esto, se captan múltiples imágenes del objetivo de calibración de una cámara 2D, cuyas dimensiones características son conocidas, no siendo necesario que el objetivo de calibración sea el mismo que el usado durante el escaneo del objeto. Luego se realizan las operaciones de tratamiento de imágenes para extraer las localizaciones de las características del objetivo en las imágenes de calibración, y luego una serie de operaciones basadas en la geometría descriptiva usadas para obtener parámetros que determinen las propiedades de la formación de imágenes de la cámara.

Con el conocimiento de las características de la formación de imagen de la cámara (o *parámetros intrínsecos*), la localización métrica de la cámara con respecto al objetivo óptico 17 se puede llevar a cabo a partir de una única imagen del objetivo. Esto se consigue hallando ciertas características específicas del objetivo en la imagen (por ejemplo, los lados de la línea que rodea el cuadrado negro del centro del objetivo), aplicando luego geometría descriptiva para determinar una homografía desde el sistema de ejes de coordenadas del objetivo a la cámara. El documento WO 2005/040850 da más detalles de la localización de la cámara mediante la formación de una imagen del objetivo óptico.

Como se describe en el documento WO 2005/040850, la segunda función del sistema es llevar a cabo la recuperación métrica de la información de la forma geométrica procedente del objetivo. La Figura 3 demuestra este proceso. Un plano, o múltiples planos, de luz 30 son proyectados, desde el escáner, sobre el objetivo 17 y el objeto 19 que hay sobre él. Una fase de calibración (no mostrada) determina la distancia relativa y la orientación del plano, o planos, de luz, con respecto al centro efectivo de la cámara, el cual permanece fijo durante el proceso de escaneo. La información que sale de la función de localización proporciona la posición y la orientación de la cámara con respecto al objetivo óptico, y de ahí el ángulo y la posición relativa del plano de luz con respecto al objetivo. Se aplican las rutinas de tratamiento de imágenes para detectar la posición de la raya de luz en la imagen, tanto sobre el objeto como sobre el objetivo, que es clara y concisa, ya que la raya es muy intensa comparada con la luz del ambiente procedente, por ejemplo, de la iluminación estándar de la habitación. El conocimiento de la posición y de la orientación del plano del objetivo en la imagen permite que se determine la intersección del plano de luz, o de cada uno de los planos de luz, con el plano del objetivo. Luego se puede determinar la información sobre la forma geométrica del objeto situado sobre el blanco a partir de la distorsión observada en la línea de luz en la imagen de la cámara. La detección de la raya sobre el objetivo se usa para mejorar la exactitud de la recuperación geométrica usando la disparidad. El resultado es adquirir una única "raya" de las muestras geométricas métricas (es decir,

puntos 3D) a través del objeto. La línea de luz hace un barrido “preferiblemente” sobre el objeto con el fin de adquirir un conjunto de muestras de la superficie del objeto.

Las ventajas concretas de la aproximación basada en el objetivo, respecto a la adquisición de la geometría, incluyen la retirada de costosos equipos de localización con cámara de precisión (equivalente a la retirada de un equipo que mueve con exactitud el objeto, como plataformas giratorias de precisión), y esa recuperación geométrica se lleva ahora a cabo con respecto a un objeto métrico conocido que está a la vista, reduciendo errores hasta un segundo orden. La adquisición de datos 3D con respecto a un sistema de ejes de coordenadas absolutas permite también hacer el modelo estadístico que se va a aplicar para reducir más el error global. El documento WO 2005/040850 proporciona más detalles. Habrá que indicar que la geometría aquí recuperada es métrica, sin embargo, se ajustará al nivel del ruido de la medida no sesgada dependiendo de, por ejemplo, la exactitud de la localización de la cámara, la calibración geométrica y la localización de la raya láser en la imagen. Es importante indicar que el uso del objetivo óptico métrico de referencia, genera medidas no sesgadas que son sometidas a ruido espacial de alta frecuencia. Otros sistemas admiten sesgos por su dependencia de los brazos de medida y de otras características que se deben calibrar por separado y registrarse con respecto al sistema de coordenadas del objeto.

La tercera función del sistema de escaneo es realizar la adquisición fotométrica del objeto. El principio fundamental aplicado es el *estereofotométrico* (PS). El concepto subyacente es adquirir una serie de *imágenes fotométricas* del objeto a través de la cámara, consistiendo las imágenes en el objeto que permanece en una posición fija con respecto a la cámara pero con variación geométrica en las condiciones de iluminación.

El tratamiento estereofotométrico requiere un modelo aproximado de las propiedades de reflexividad del material del objeto (posiblemente no homogéneo), que en el caso general se modela mediante la función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF) (del inglés; Bidirectional Reflectance Distribution Function). Para hacer el problema tratable, se usa habitualmente un modelo muy simplificado de la BRDF, por ejemplo el modelo de la Ley del coseno de Lambert. Aquí la reflexividad del material se expresa como uniforme a través de toda la variación de la energía de irradiación entrante y la energía radiante saliente. En este modelo simple, la variación de la intensidad a través del objeto, observada por la cámara, es dependiente únicamente de la cantidad de la energía irradiante entrante procedente de la fuente de luz y de los efectos de la perspectiva debidos a la geometría del objeto. En particular

$$I = \rho L \cdot N \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde I representa la intensidad observada por la cámara en un único punto sobre el objeto, P la energía de la luz irradiante entrante, N es la normal a la superficie respecto al objeto, L es la dirección normalizada respecto a la superficie de la luz entrante, y ρ la reflexividad de Lambert del objeto en ese punto.

En la puesta en práctica estándar de PS, la variación de P a través del objeto se determina habitualmente de forma aproximada en la anterior etapa de calibración, y de ahí que se pueda compensar. En el caso del ejemplo convencional de la Figura 1, la orientación relativa de la cámara y el objeto permanecen fijos durante cada cambio de la dirección de iluminación. La intensidad observada por la cámara en una localización concreta (es decir, pixel) en el conjunto de imágenes fotométricas debe corresponder siempre a la misma área de la superficie del objeto. Las intensidades en una localización concreta del pixel, en la imagen, se pueden considerar, por lo tanto, como un conjunto de *muestras fotométricas* procedentes de la superficie del objeto, visibles en la localización del pixel en la visión de la cámara. Sean las intensidades de N y las correspondientes direcciones de la luz, para un conjunto concreto de muestras fotométricas van a estar representadas por el superíndice, entonces $I^N = \rho L^N \cdot N$ (donde $\cdot$ indica el producto escalar de vectores). Hay que indicar que L^N se ha determinado mediante la anterior calibración (esto se puede conseguir a través de, por ejemplo, de la aproximación denominada “reloj de sol”, véase por ejemplo: *Design and use of an in-museum system for artefact capture* (Diseño y uso de un sistema, dentro de un museo, para la captura de un artefacto) de Rushmeier y colaboradores, IEEE/CVPR Workshop on Applications of Computer Vision in Archaeology 2003, y descrito aquí en el contexto de la segunda realización de la invención). Después de agrupar los N vectores (Ec. 1) a partir de la N muestras fotométricas, da:

$$\begin{bmatrix} I^1 \\ I^2 \\ \vdots \\ I^N \end{bmatrix} = \rho \begin{bmatrix} L_X^1 & L_Y^1 & L_Z^1 \\ L_X^2 & L_Y^2 & L_Z^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L_X^N & L_Y^N & L_Z^N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} N_X \\ N_Y \\ N_Z \end{bmatrix}$$

La cual se puede resolver por análisis de mínimos cuadrados mediante, por ejemplo, la pseudoinversa. La normal a la superficie es de longitud unidad, por lo que la normal N de la superficie derivada está normalizada, con ρ tomada como normal (N).

Quedará claro a partir de esta descripción que se puede usar PS, dado un modelo apropiado y soluble de la reflexividad del material, para derivar la geometría del objeto en forma de un conjunto de normales a la superficie, y las propiedades del material (en el ejemplo anterior, coeficientes de reflexividad de Lambert posiblemente no homogéneos). Esto es una técnica estándar conocida. También es posible realizar una operación similar con imágenes fotométricas en color (como por ejemplo, imágenes de canales R, G, B, comunes en la formación de imágenes digitales modelo), recuperando los conocimientos de, por ejemplo la radiación *albedo* y difusa del objeto.

El sistema de escaneo de esta realización de la invención se mejora, respecto a la disposición anterior de la Figura 1, añadiendo al menos una fuente de luz fotométrica al escáner, que él mismo se mueve libremente con respecto al objeto. Esto permite la adquisición de un número potencialmente ilimitado de imágenes fotométricas en las que cualquier fuente de luz se puede situar arbitrariamente, mientras que el objeto permanece a la vista de la cámara y en la zona de iluminación de la fuente de luz. En el ejemplo del escáner de mano de la Figura 2, se muestra una fuente 14 de luz co-lineal con una única cámara. La cuestión ahora es que mover la fuente de luz (y por tanto la cámara) da como resultado que la posición, orientación, y potencialmente la visibilidad del objeto (debido a la auto-oclusión) cambia en la imagen. Esto da como resultado que la posición de la muestra fotométrica correspondiente a una región concreta de la geometría de la superficie varía entre las imágenes fotométricas; además, la auto-oclusión del objeto con respecto a la cámara o a la luz puede dar como resultado muestras fotométricas para una región concreta que no está disponible en alguna o en la totalidad de las imágenes fotométricas. La Figura 4(a) ilustra esto, mostrando un conjunto de imágenes fotométricas de un objeto (una moneda) adquiridas moviendo el sistema de luz de la cámara, es decir el escáner 1. Claramente, la geometría observada bajo los píxeles de las imágenes varía a través del conjunto. Por lo tanto, un componente principal del sistema de escaneo es tratar las imágenes fotométricas capturadas para obtener un conjunto de muestras fotométricas *geométricamente alineadas*.

En esta realización descrita la aproximación tomada será para *rectificar* las imágenes fotométricas capturadas respecto a una orientación común, y al hacer eso determinar la visibilidad de la superficie. Esto requiere el conocimiento anterior de la geometría métrica del objeto, proporcionada por el componente de escaneo láser del sistema. Por eso, el componente fotométrico del sistema es dependiente de los datos procedentes del componente láser, y como la rectificación mejora con la calidad de los datos métricos, se potencia claramente la componente fotométrica mediante el comportamiento mejorado en la etapa de la adquisición geométrica. La rectificación de una imagen fotométrica se realiza proyectando en la imagen la geometría métrica previamente adquirida. Esto requiere el conocimiento de la posición de la cámara y la orientación usada para adquirir la imagen (obtenida a partir de la etapa de la localización óptica del sistema) y los parámetros de la formación de imagen de la cámara, como por ejemplo la distancia focal (adquirida durante la calibración geométrica de la cámara). Opcionalmente, se pueden aplicar otros parámetros tales como los que definen un modelo de la distorsión radial de la cámara, para mejorar la exactitud de la proyección del modelo. El resultado de la proyección es obtener las localizaciones en 2D de los puntos que comprenden la geometría de la superficie 3D en cada imagen fotométrica. Se consigue luego una reproyección del objeto desde un punto de vista arbitrario que vuelve a recuperar el objeto, asignando un valor de un color a los vértices proporcionados por el muestreo de la imagen original. La Figura 5 muestra un ejemplo de proyección de un modelo – los datos 3D del modelo 50, 51, 52 se proyectan en la imagen 53 para proporcionar localizaciones 2D de la geometría en la imagen fotométrica 54, 55, 56. La imagen fotométrica es muestreada en estas localizaciones y el modelo se vuelve a recuperar con estos valores de los colores para construir una vista rectificada en un punto de vista canónico 57 elegido, en este caso fronto-paralelo al plano principal de la moneda.

Los datos 3D métricos, en sí, proporcionan únicamente un conjunto de localizaciones 2D de la muestra en las imágenes fotométricas. Para determinar la visibilidad, la superficie del objeto se debe definir de alguna forma. Un ejemplo de esto es definir la conectividad entre los puntos basándose en un triángulo. Esto resulta trivial si los puntos están definidos, por ejemplo, como muestras de alturas sobre una rejilla de muestreo (como esto se realiza fácilmente, en nuestro sistema los datos métricos se adquieren con respecto a un objetivo óptico plano y métrico). En el caso de una nube arbitraria de puntos que definen un objeto convexo, por ejemplo, se puede aplicar la triangulación 3D de Delaunay. Existen otros esquemas y representaciones, tales como los métodos de Radial Basis Function (Función de base radial) para determinar superficies implícitas. Habiendo obtenido una representación de una superficie, la visibilidad con respecto a la cámara se puede determinar, por ejemplo, lanzando un rayo desde el centro de la cámara a través del objeto, o proyectando la superficie en la imagen como un conjunto de, por ejemplo, triángulos rellenos con una trama, usando técnicas estándar de regulación de la profundidad para obtener el punto más próximo a la cámara en cada pixel de la imagen. La oclusión con respecto a la luz (es decir, el auto-ensombrecimiento) se puede determinar de manera similar, en esta caso lanzando rayos desde el centro efectivo de la luz, o dando regulación de la profundidad desde la perspectiva de la fuente de luz (un componente de la técnica de *shadow buffering* (regulación de sombras), conocida en los gráficos por ordenador).

El resultado es determinar la localización 2D y la visibilidad de cada punto 3D que representa la geometría del objeto en cada imagen. En esta descripción del sistema, las imágenes fotométricas son muestreadas luego en estas localizaciones para reconstruir las imágenes fotométricas desde un único punto de vista canónico, realizando así una rectificación. La Figura 4(b) muestra un ejemplo de esto; las imágenes fotométricas de entrada (Figura 4a) muestra un objeto bajo la variación de la orientación y la postura con respecto a la cámara. Después de proyectar el modelo en las imágenes, se obtiene un conjunto de correspondientes vistas rectificadas, con el plano principal de la moneda fronto-paralelo al punto de vista de la reconstrucción (Figura 4b). Hay que indicar que en alguna de las

imágenes fotométricas, la geometría del objeto se determina para que esté oculta con respecto a la cámara, y por eso no se puede recuperar en la vista rectificadas; estas muestras se presentan en la Figura 4b como píxeles de color gris claro. Por eso, puede haber un número variable de muestras fotométricas a través de las localizaciones de las imágenes rectificadas.

Habiendo obtenido un número de conjuntos de muestras fotométricas, geoméricamente alineadas (es decir, Figura 4b), queda determinar la dirección de la luz incidente (indicada anteriormente por L) bajo la que se tomó cada muestra. Se ha comentado ya que la localización de la cámara se puede determinar con respecto al objetivo óptico y, por tanto, cualquier punto sobre el objeto a través de la función de localización del sistema. Consideremos ahora que la fuente de luz está acoplada rígidamente a la cámara durante la adquisición; entonces, si la posición de la luz con respecto a la cámara se obtiene a través de la etapa de pre-calibración (esto se puede conseguir de nuevo a través de, por ejemplo, una aproximación de tipo *reloj de sol*), la posición de la luz se puede derivar para cada imagen fotométrica. En particular, dada una posición L_C de la luz respecto a la cámara, la rotación y la traslación de la cámara con respecto al objetivo como una matriz R y vector t , entonces:

$$L_T = R^T(L_C - t) \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde L_T da la posición de la luz respecto al objetivo, y R^T indica la traspuesta de la matriz R . Las muestras fotométricas se pueden tratar ahora para recuperar la geometría respecto al sistema de ejes de coordenadas y las propiedades de reflectancia del material, como se describe, por ejemplo, en la Ec. 2.

En la disposición anterior, se ha dado el ejemplo de rectificación de las imágenes a un único punto de vista canónico para ayudar a su comprensión, sin embargo, en una puesta en práctica más avanzada se pueden usar múltiples puntos de vista, y de hecho se requieren para recuperar objetos de geometría más compleja que la moneda. Ampliando al caso general, es posible recuperar muestras fotométricas de una manera libre, extrayendo conjuntos de muestras fotométricas para localizaciones de superficies individuales sobre cualquier geometría 3D arbitraria.

La función final de los sistemas es combinar los datos geoméricos y fotométricos adquiridos para producir un modelo final de la geometría del objeto. Propiedades del objeto, tales como el color, se pueden expresar, por ejemplo, como mapas estándar de texturas y son independientes de este procedimiento. Los datos geoméricos proporcionan una estimación métrica no sesgada pero ruidosa de la geometría del modelo, habitualmente con una resolución espacial relativamente más baja que el muestreo fotométrico. Los datos fotométricos proporcionan una resolución relativamente alta pero una estimación sesgada del diferencial de la geometría del objeto como un conjunto de normales a las superficies. La integración de las normales a las superficies puede producir una estimación de una geometría subyacente del modelo, sin embargo esto está sometido a una distorsión de baja frecuencia y, por tanto, no es métrico. La combinación de las dos modalidades de datos es, por lo tanto, muy potente ya que potencialmente ofrece exactitud métrica y alta resolución de adquisición.

Se pueden aplicar diversas técnicas diferentes para combinar los dos conjuntos de datos para producir un modelo final. Un ejemplo simple es cuando los datos métricos de las alturas se representan como una rejilla 2D de distancias fuera del plano del objetivo, también conocido como un mapa de alturas o de distancias), y las normales a las superficies se representan mediante una tabla 2D muestreada de forma similar. Hay que indicar que en el caso de una resolución normal más alta, el mapa de alturas se puede interpolar mediante, por ejemplo, una interpolación lineal o cúbica para obtener una estimación de la geometría métrica a la misma frecuencia de muestreo. Los dos conjuntos de datos se pueden combinar usando un filtro.

Los dos conjuntos de datos, es decir, los PS y los geoméricos escaneados por láser, tienen características de ruido muy diferentes. Los datos métricos son láser, con bajos sesgo, pero están sometidos a ruido espacial de alta frecuencia. Los datos láser pueden dar idea de una medida media de campo de baja frecuencia de los puntos de la superficie del objeto escaneado. Los datos PS, por otro lado, no son métricos y proporcionan información sobre la normal a la superficie del objeto en una rejilla de muestra de muy alta densidad. El sistema ofrece por eso dos modalidades de sensores, una que genera estimaciones de las localizaciones de las superficies en 3D, perturbadas por el ruido, la otra que proporciona derivadas espaciales de la superficie del objeto. Las dos modalidades de sensores se combinan para optimizar sus características individuales de ruido, proporcionando el escáner láser información de baja frecuencia y el PS la información de alta frecuencia.

La descripción matemática de la operación de integración de las dos modalidades de sensores se puede ilustrar considerando los modelos discretos

$$\begin{aligned} x &= \hat{x} + n_1 \\ (\partial x)_x &= (\partial \hat{x})_x + n_2 \\ (\partial x)_y &= (\partial \hat{x})_y + n_3 \end{aligned} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde z indica una medida de una posición de la superficie; n_1 , n_2 y n_3 son tres fuentes de ruidos independientes que perturban las medidas verdaderas indicadas por el signo $\wedge$; (δz) indica la derivada espacial de la localización de la superficie con respecto a 'x' e 'y' como indica el subíndice que sigue. Los datos del escáner láser se modelan mediante la ecuación superior y los datos PS se modelan mediante las ecuaciones inferiores.

Hay muchos modos de combinar las dos medidas modeladas por la Ecuación 4. Un modo concreto apropiado es usar un filtro de Wiener. Un filtro de Wiener es la solución en estado estable para el problema de estimación del estado óptimo resuelto usando un filtro de Kalman. Un filtro de Wiener tiene un valor concreto cuando hay medidas de una derivada de una señal, como en el caso de la combinación de la geometría escaneada con láser y los datos PS. El filtro de Wiener se obtiene hallando las transformadas de Fourier de las señales de medida, y suponiendo que estas señales se generaron mediante procesos de ruido blanco, y están perturbadas por el ruido de la medida de espectro de frecuencia conocida. En esta realización suponemos que, a modo de ejemplo, los procesos de ruido son en sí mismos blancos.

Si el valor estimado de la posición de la superficie del objeto está indicado por $\hat{z}$, entonces el filtro de Wiener se minimiza

$$E \left[\iint (\hat{z} - z)^2 dx dy \right] \quad (\text{Ec. 5})$$

donde $E[\]$ indica el valor esperado.

Una alternativa es aproximar la integración de una manera determinada en la que se obtiene una medida ' d ' a partir de las tres medidas de la ecuación 4 usando la ecuación

$$d = \iint \left[\hat{z}_x - \hat{z}_x \right]^2 + \left[\hat{z}_y - \hat{z}_y \right]^2 + \lambda \left[\hat{z} - \hat{z} \right]^2 dx dy \quad (\text{Ec. 6})$$

Aquí λ especifica una ponderación relativa global sobre los datos de la altura original. Una λ creciente limita que los datos de salida estén más cerca de los datos métricos originales. En la práctica esto se puede conseguir muy rápidamente en el dominio de frecuencias a través del uso de técnicas estándar tales como la transformada rápida de Fourier (FFT) (del inglés; Fast Fourier Transform). En la bibliografía publicada, el uso del dominio de frecuencias se transforma en datos normales de integración, sin embargo no hay intentos de combinarlos con datos métricos. Hay que indicar que el uso de la FFT es para conseguir velocidad en vez de resolver un problema de mínimos cuadrados, como en el filtro de Wiener. También se pueden emplear otras técnicas, por ejemplo la transformada rápida de un tren de ondas.

El resultado de este proceso es producir información geométrica de alta resolución y alta exactitud del objeto (como por ejemplo un mapa de alturas), junto con información de la reflectancia (es decir, propiedades materiales del objeto, tales como el acabado superficial) registrada espacialmente con la información geométrica. Esta información se ha obtenido a partir de datos geométricos ruidosos, de resolución media y de datos fotométricos sesgados de baja exactitud. La información de salida se puede tratar más para ser suministrada a una aplicación de modelado, como por ejemplo un CAD convencional o una aplicación de animación, o similares.

Habría que indicar que no hay una necesidad inherente de adquirir los datos fotométricos y geométricos en distintas fases y, de hecho, puede haber ventajas inherentes en no hacer esto. Se ha mostrado anteriormente que los conocimientos anteriores sobre la forma métrica es esencial para conseguir la recuperación fotométrica con una cámara móvil. Hay que indicar también que los conocimientos anteriores sobre la geometría de la superficie pueden ayudar al proceso de escaneo láser permitiendo, por ejemplo, la predicción de dónde se podrían producir reflejos en la imagen de la cámara (dando lugar, potencialmente, a falsas detecciones de líneas láser). Se pueden usar también estimaciones de alta resolución de normales a las superficies para cuantificar la variable rugosidad superficial con el fin de detectar áreas con una alta probabilidad de "manchas" láser. Dando lugar de nuevo a detecciones de líneas falsas.

Unas múltiples pasadas de adquisición geométrica y fotométrica que interaccionan pueden, por lo tanto, aumentar la exactitud y la calidad global de los datos que caracterizan el objeto. La caracterización fotométrica de los objetos de geometría compleja puede requerir muchas imágenes con una amplia variedad de localizaciones de la cámara. El sistema fotométrico-geométrico combinado está bien adecuado para proporcionar esto, y puede, por ejemplo, proporcionar a un operador una información directa en lo que se refiere a la calidad (por ejemplo el número de muestras y la variabilidad de la localización de la luz/cámara) de los datos fotométricos adquiridos a través de la geometría del objeto, y/o puede indicar al operador las direcciones desde las que se obtendrían más datos fotométricos. Estas ventajas son posibles, por supuesto, por el sistema basado en el objetivo, ya que facilita y prolonga enormemente la capacidad de uso de la adquisición fotométrica, y está en contraste con los sistemas

fotométricos/geométricos que habitualmente tienen un hardware y fases de adquisición distintos, teniendo una variación fija de la geometría fotométrica.

Se describirá ahora una segunda realización de la invención que comprende un sistema capaz de realizar la adquisición de la geometría y de las propiedades del material, tales como el color, a partir de un objeto real. En esta realización, el foco está en la adquisición de la geometría y de las propiedades del material a partir de una superficie, como por ejemplo una pared o un suelo en vez de un objeto entero. Las aplicaciones para esta realización concreta están más especializadas que los escáneres de objetos generales descritos anteriormente en la Figura 1, sin embargo incluyen la adquisición de superficies para entornos sintéticos tales como películas o videojuegos, captura de tallas o jeroglíficos, captura con mucho detalles de arrugas, cicatrices u otras características del cuerpo para análisis cuantitativo de cirugía cosmética.

La figura 6 muestra algunos componentes del hardware de esta realización. La primera parte 600 del sistema comprende una cámara 601 instantánea digital acoplada mediante un brazo rígido 602 a una fuente de luz 603 fotométrica. En este ejemplo, la fuente de luz 603 es un cañón de destello fotográfico de alta potencia, sin embargo se pueden usar otras fuentes de luz tales como un LED u otra fuente de luz procedente de una bombilla estándar. También puede ser de provecho acoplar luces fotométricas adicionales, tales como unas de destello dispuestas en anillo, a la cámara 601. Además de la fuente o fuentes de luz 603 fotométrica se acopla también al brazo una fuente 604 de raya láser, y se puede disparar de forma sincrónica o asincrónica con la fuente(s) (603) de luz fotométrica. El segundo componente de hardware es un objetivo óptico 605, similar en esencia al objetivo óptico 17 de la Figura 2. Las diferencias principales están en el patrón geométrico aplicado sobre el objetivo (en este caso un patrón de cinco referencias puntuales 606-610), el orificio 611 en el centro del objetivo 605 y los cuatro conos, 612-615, usados para la calibración de la fuente de luz. Un tercer componente opcional del hardware es un objetivo 616, poco pesado, de una lámina de carbono con un patrón geométrico de puntos (referencias) a los del objetivo 605.

El uso de este sistema es similar al de la realización previa, sin embargo, si embargo, en vez de situar un objeto sobre el objetivo 605, el propio objetivo 605 se acopla a la superficie sometida a inspección, como por ejemplo la pared 620 en la Figura 7. El objetivo es realizar una reconstrucción, en gran medida, fotométrica de esta superficie usando datos métricos mínimos procedentes de emisor de rayas láser. Esto se realiza tomando una serie de imágenes fijas del objetivo 605 (con la superficie visible a través del anteriormente mencionado orificio 611) tratando luego las imágenes aparte. Las flechas en la Figura 7 describen el movimiento y la rotación del brazo del sistema 600 entre las sucesivas imágenes que se adquieren, con el fin de obtener imágenes desde diferentes puntos de vista e iluminadas desde diferentes direcciones. El flash 603 y el emisor de rayas láser 604 se encienden con cada adquisición de imagen de la cámara 601, proporcionando respectivamente información fotométrica y métrica acerca del objetivo 605. Como en la descripción anterior, la reconstrucción de la superficie requiere el conocimiento de:

- 1) los parámetros físicos del objetivo óptico 605 (conocidos por diseño);
- 2) los parámetros intrínsecos de la cámara 601, tales como la distancia focal (la calibración de la cámara se puede llevar a cabo mediante métodos bien conocidos basados en la imagen);
- 3) la localización de la cámara 601 con respecto al objetivo 605 en cada imagen (computable a partir de la orientación observada de las referencias del objetivo 606-610 de forma similar a la realización previa);
- 4) la localización de la fuente de luz 603 con respecto al objetivo 605 en cada imagen; y
- 5) la localización y orientación del emisor 604 de rayas láser con respecto al objetivo 605 en cada imagen.

Los requisitos 4) y 5) se pueden reducir para hallar la localización de la fuente de luz 603 y del emisor 604 de rayas con respecto a la cámara 801, ya que estos componentes se pueden fijar rígidamente al brazo 602. En este caso el conocimiento de 3) permite la transformación de las localizaciones respecto a la cámara, en localizaciones respecto al objetivo, para cada imagen capturada.

La posición de la raya respecto a la cámara se puede hallar usando técnicas estándar como las descritas en el documento WO 2005/040850. En la realización de la Figura 6, la posición de la luz con respecto a la cámara se halla observando las sombras triangulares proyectadas por los conos 612-615 sobre el objetivo 605, de forma similar al reloj de sol tradicional. La altura de los conos 612-615 se conoce con antelación y, por eso, la posición de la luz 603 se puede hallar mediante la intersección de los rayos procedentes de las puntas de las sombras proyectadas a través de las puntas geométricas conocidas de los conos 612-615 sobre el objetivo, como se conoce en la técnica.

En la práctica, se lleva a cabo una fase de calibración, con antelación, usando el objetivo 605, que puede estar hecho de metal. Luego se lleva a cabo una fase de captura usando el objetivo 616, poco pesado, acoplado a la superficie real, que es el objeto que está siendo escaneado. Esto tiene la ventaja de que únicamente el objetivo 616, de poco peso, necesita ser llevado siempre, lo cual es más conveniente, y es más fácil de acoplar a las superficies. Como alternativa, en principio, tanto la calibración como la captura se podrían realizar usando un único objetivo 605, y el objetivo 616, de poco peso, sería innecesario. Con ambas, esta realización y la realización previa, se puede

suministra el escáner precalibrado si la posición y la orientación de la cámara respecto a la fuente de luz y al emisor de rayas son fijas.

5 La recuperación fotométrica se realiza luego rectificando las vistas de entrada hasta un punto de vista canónico fronto-paralelo (como se describió anteriormente y se ilustra en las Figuras 4a y 4b), y realizando el tratamiento estereofotométrico. Según una técnica anterior, esta rectificación se realiza sin el conocimiento métrico anterior de la superficie. Esto se hace realizando múltiples pasadas de reconstrucción. En la primera se supone una superficie plana, y se realiza la rectificación. Habitualmente se verá un gran número de artefactos en las vistas rectificadas debido, por ejemplo a los efectos de paralaje en las imágenes de entrada. Esto conduce a una recuperación geométrica de exactitud limitada. En la segunda pasada, se usa la recuperación aproximada procedente de la primera para realizar una rectificación totalmente 3D, dando lugar a una rectificación mejorada del conjunto de las imágenes originales y dando lugar a una posterior recuperación geométrica muy mejorada.

10 Esta aproximación previa está bastante limitada por naturaleza, y en particular para realizar la integración de los datos fotométricos adquiridos (es decir, la solución de la Ec. 5) se requiere marcar a mano un número de escasas correspondencias en las imágenes de entrada para adquirir un pequeño conjunto de datos realmente métricos a través de una triangulación. Esto para el usuario es tiempo que se consume y con frecuencia es erróneo. Con el sistema según esta realización de la invención, el emisor de rayas láser se aplica para adquirir una "raya" de datos realmente geométricos a partir de la superficie en cada imagen de entrada. Combinar la información a través de las múltiples imágenes permite un número relativamente grande de muestras métricas que se van a tomar simultáneamente con los datos fotométricos. Esto es insuficiente para la recuperación detallada de una superficie pero proporciona suficiente información para la integración de los datos fotométricos de una manera automatizada. Al hacerlo así se elimina la necesidad de marcar puntos a mano a través de las imágenes de entrada y permite un tratamiento mucho más exacto y oportuno.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de escáner para escanear un objeto, comprendiendo el sistema:
un dispositivo escáner (1); un objetivo (17) independiente del objeto; y un procesador (21),
5 en el que el dispositivo escáner (1) es un dispositivo manual y comprende: un emisor (13) para proyectar un juego de luces sobre el objeto; y un sensor (12) para capturar imágenes del objeto,
en el que el objetivo (17) tiene características geométricas predeterminadas, visibles para el sensor (12) simultáneamente con el objeto, en el que el procesador (21) está adaptado para determinar la localización del sensor (12) con respecto al objeto,
10 en el que el procesador (21) está preparado, cuando se usa, para generar datos geométricos, que comprende un modelo tridimensional del objeto, basándose en las imágenes del objeto con el juego de luces proyectado sobre él por el emisor (13),
en el que el dispositivo escáner (1) comprende además una fuente de luz (14) para iluminar direccionalmente el objeto, y el sensor (12) está preparado para capturar imágenes fotométricas del objeto iluminado por la fuente de luz (14),
15 en el que el procesador (21) está preparado, cuando se usa, para generar un conjunto de imágenes fotométricas del objeto cuando está iluminado desde diferentes direcciones por la fuente de luz (14), y
en el que el procesador (21) está preparado, cuando se usa, para combinar los datos geométricos, el conjunto de imágenes fotométricas y la localización del sensor con respecto al objeto para cada imagen fotométrica, mediante un proceso de rectificación, para obtener un modelo que comprende información geométrica del objeto junto con información fotométrica espacialmente registrada con la información geométrica.
20 2. Un sistema de escáner según la reivindicación 1, que comprende un filtro aplicado por el procesador (21) para combinar los datos geométricos y los datos fotométricos, en el que preferiblemente el filtro comprende un filtro de Wiener.
25 3. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la fuente de luz (14) se posiciona en, o adyacente a, el sensor (12) para iluminar el objeto desde sustancialmente la misma dirección desde la que es visto por el sensor (12).
4. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el dispositivo escáner (1) es movable cuando se usa.
30 5. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, situado de forma que el objeto se puede situar entre el dispositivo escáner y el objetivo (17).
6. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el objetivo (605) está preparado para ser situado sobre el objeto.
7. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el objetivo (605) tiene una abertura (611) a través de la cual se puede ver el objeto.
35 8. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que se proporcionan el emisor (13), el sensor (12) y la fuente de luz (14) sobre el cuerpo principal (1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5) y tienen posiciones fijas, relativamente predeterminadas.
9. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que al menos una porción del objetivo (17) es de reflexividad predeterminada.
40 10. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el procesador (21) está preparado para proporcionar información al usuario del sistema con respecto al menos una dirección desde la cual se captura una imagen adicional del objeto basándose en los datos geométricos y/o en los datos fotométricos generados a partir de las imágenes previas.
45 11. Un sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende solamente un dicho único sensor (12) para capturar imágenes del objeto.
12. Un método para escanear un objeto que comprende las etapas de:

proporcionar un dispositivo escáner (1) manual que comprende: un emisor (13) para proyectar sobre el objeto un juego de luces; un sensor (12) para capturar imágenes del objeto; y una fuente de luz (14) para iluminar direccionalmente el objeto;

proporcionar un objetivo (17) que tiene características geométricas predeterminadas;

5 proporcionar el objeto que va a ser escaneado;

proporcionar el objetivo en una posición fija con respecto al objeto; y capturar simultáneamente imágenes del objeto y características del objetivo usando el sensor;

determinar la localización del sensor (12) con respecto al objeto basándose en las imágenes capturadas;

proyectar el juego de luces sobre el objeto usando el emisor (13);

10 generar datos geométricos, que comprenden un modelo tridimensional del objeto, basándose en las imágenes del objeto con el juego de luces proyectado sobre él;

iluminar direccionalmente el objeto usando la fuente de luz (14);

generar un conjunto de imágenes fotométricas para el objeto cuando se ilumina desde diferentes direcciones por la fuente de luz (14); y

15 combinar los datos geométricos, el conjunto de imágenes fotométricas y la localización del sensor con respecto al objeto para cada imagen fotométrica, mediante un proceso de rectificación, para obtener un modelo que comprende información geométrica del objeto junto con información fotométrica espacialmente registrada con la información geométrica.

20 13. Un método según la reivindicación 12, que comprende además mover el sensor (12) y la fuente de luz (14) entre la captura sucesiva de imágenes, que además comprende, preferiblemente, proporcionar información a un usuario del método sobre al menos una dirección desde la que se captura una imagen adicional del objeto basándose en los datos geométricos y/o los datos fotométricos generados a partir de las imágenes previas.

14. Un método según la reivindicación 12 ó 13, que comprende repetir todas las etapas para perfeccionar iterativamente el modelo de salida.

25 15. Un método según alguna de las reivindicaciones 12, 13 ó 14, puesto en práctica usando el sistema de escáner según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

Fig.1.

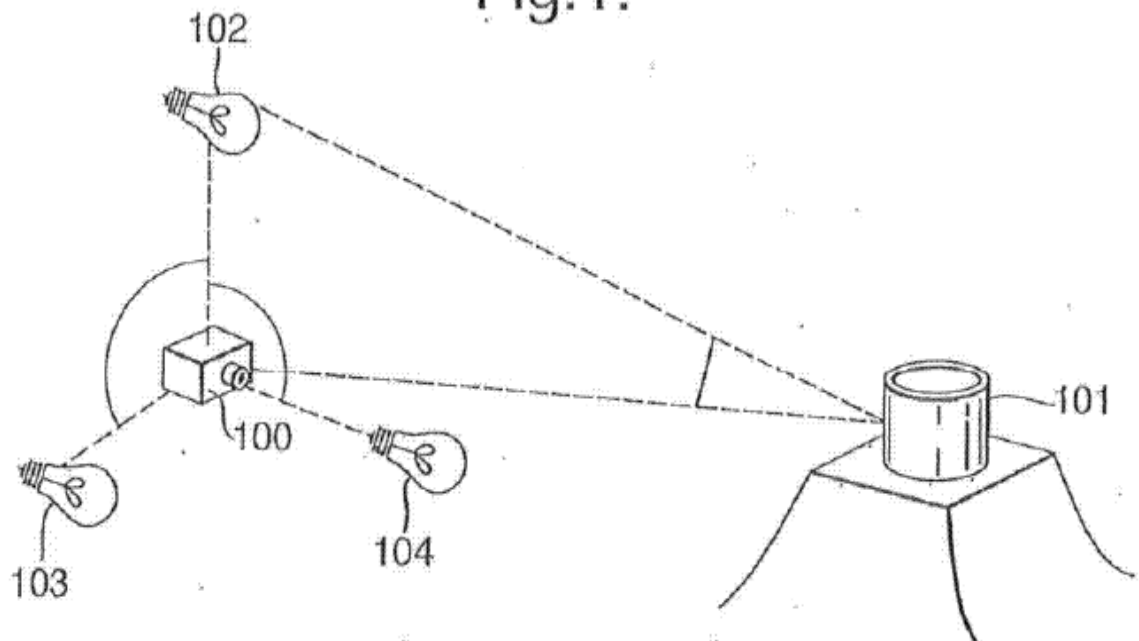


Fig.2.

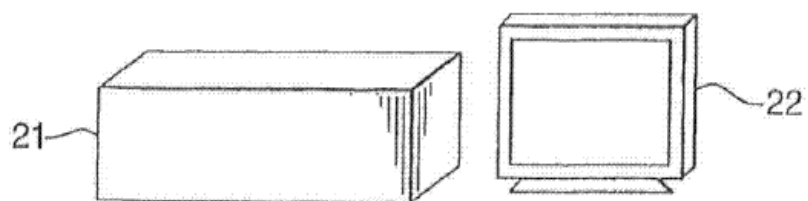
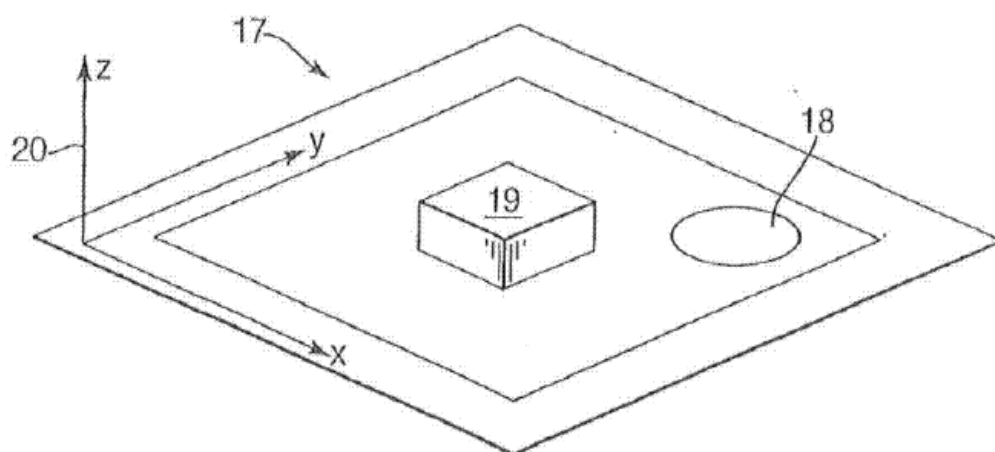
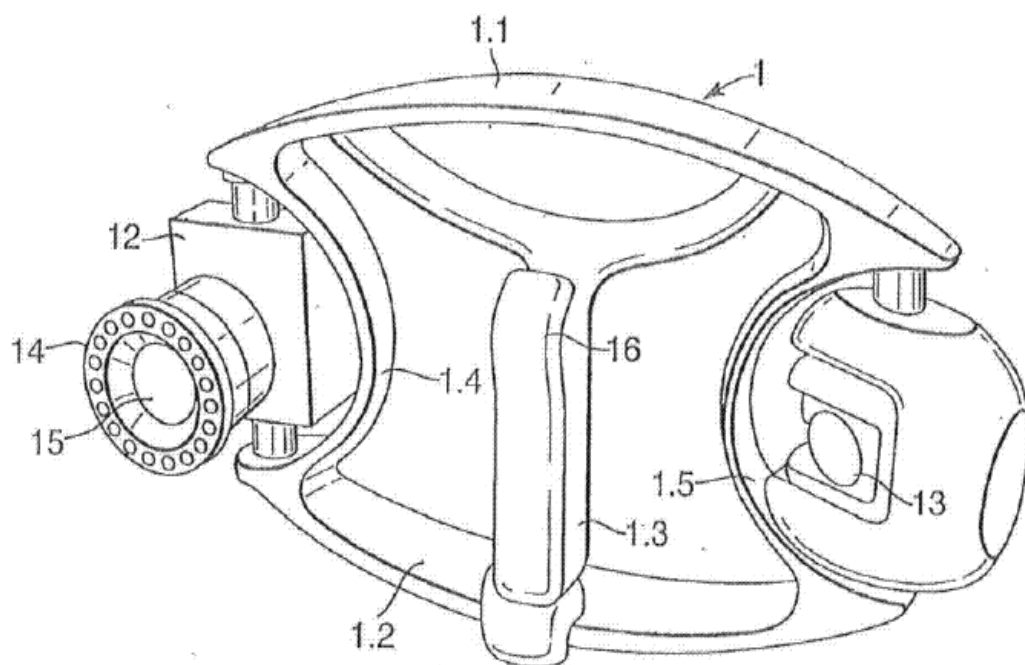


Fig.3.

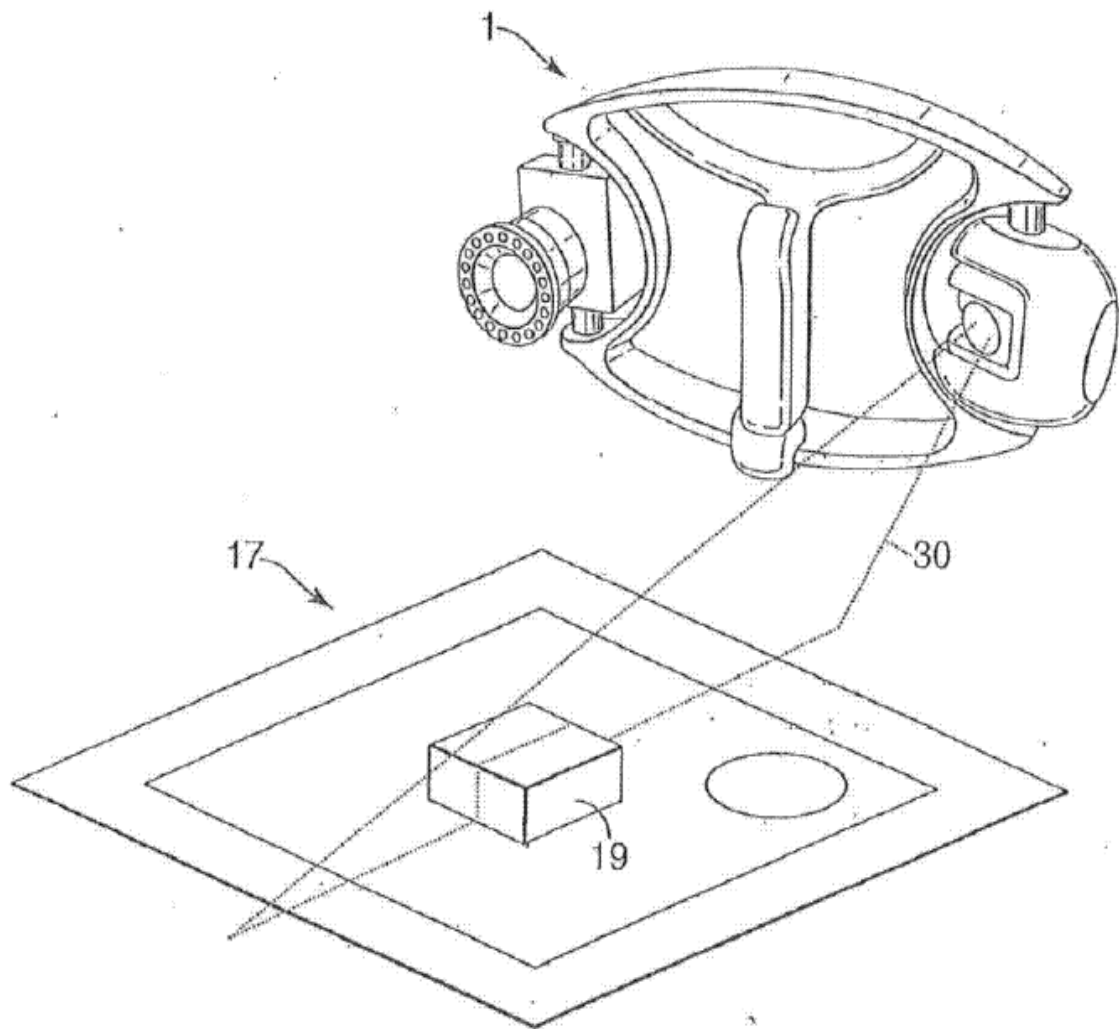


Fig.4a.

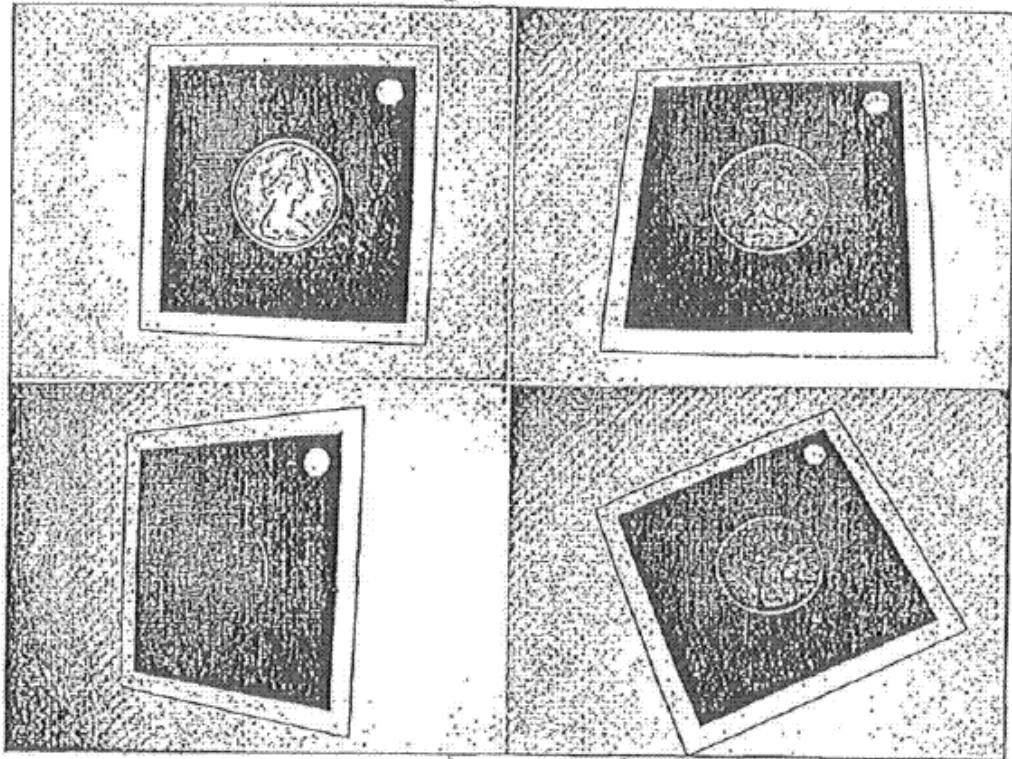


Fig.4b.

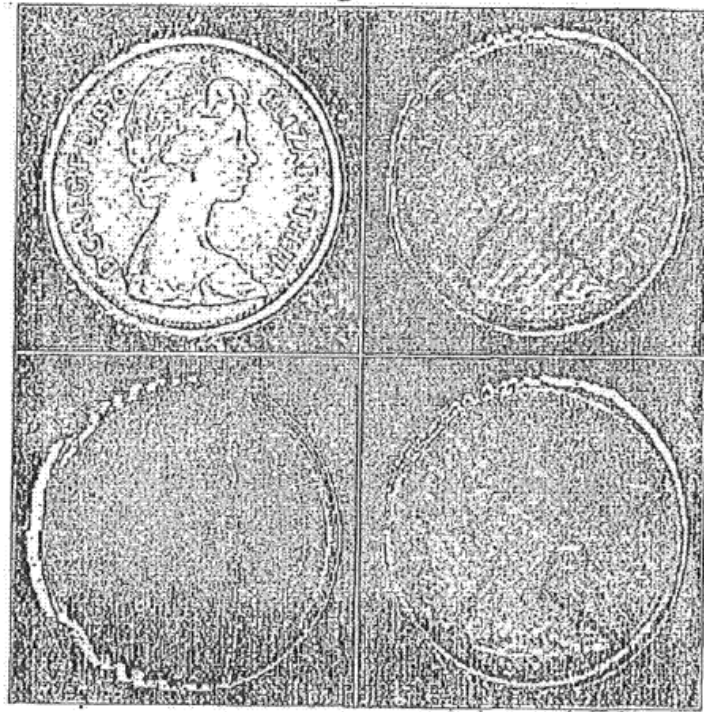


Fig.5.

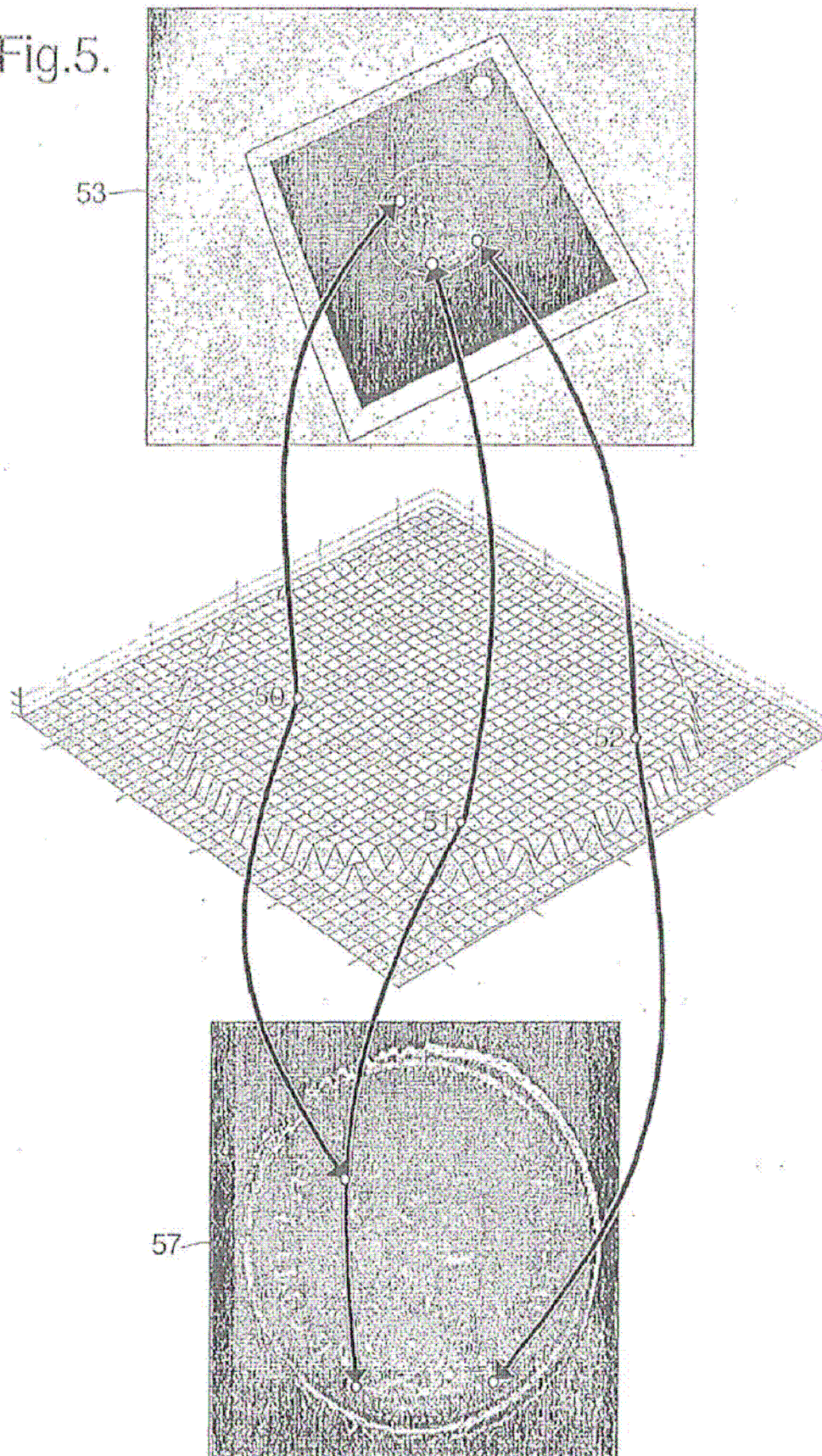


Fig.6.

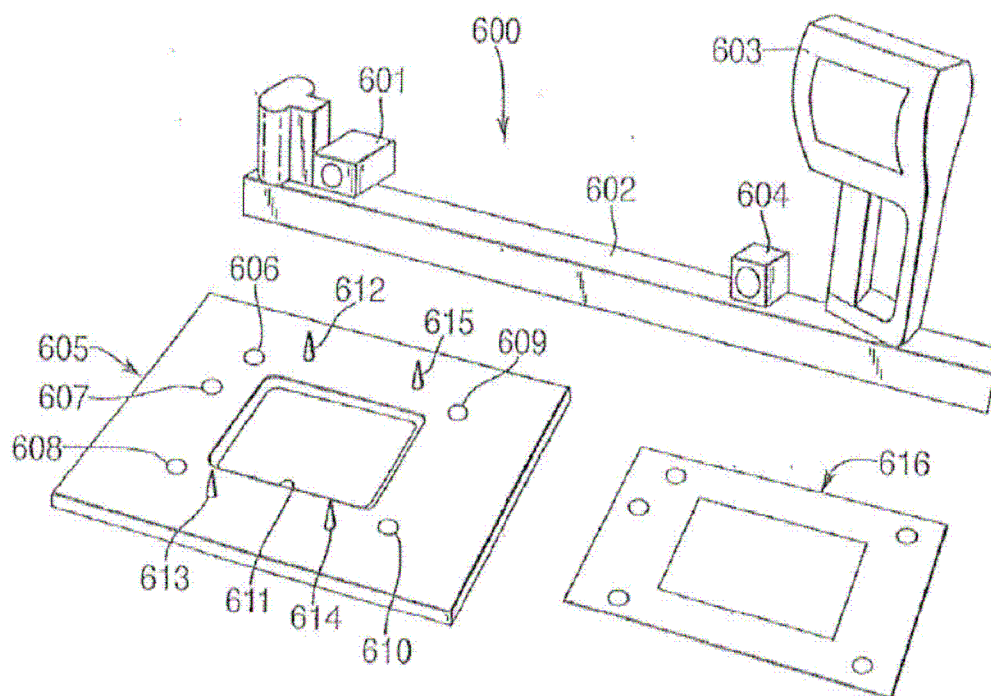


Fig.7.

