

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 607 052**

51 Int. Cl.:

A61B 5/00 (2006.01)

G01B 11/25 (2006.01)

H04N 13/02 (2006.01)

A61B 5/107 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.06.2010 PCT/DK2010/050148**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2010 WO10145669**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.06.2010 E 10727345 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016 EP 2442720**

54 Título: **Aparato de escaneo de enfoque**

30 Prioridad:

17.06.2009 US 187744 P
04.08.2009 US 231118 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.03.2017

73 Titular/es:

3SHAPE A/S (100.0%)
Holmens Kanal 7, 4. sal,
1060 Copenhagen, DK

72 Inventor/es:

FISKER, RUNE;
ÖJELUND, HENRIK;
KJÆR, RASMUS;
VAN DER POEL, MIKE;
QAZI, ARISH A y
HOLLENBECK, KARL-JOSEF

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 607 052 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

Aparato de escaneo de enfoque

5 La presente invención se refiere a un aparato y un método para escaneo 3D óptico de superficies. El principio del aparato y el método de acuerdo con la invención se puede aplicar en varios contextos. Una realización específica de la invención está particularmente adaptada para el escaneo intraoral, es decir, el escaneo directo de dientes y tejido blando circundante en la cavidad oral. Otras realizaciones dentales de la invención son adecuadas para el escaneo de impresiones dentales, moldes de yeso, moldes de mordida de cera, prótesis dentales y pilares dentales. Otra realización de la invención es adecuada para el escaneo de la parte interior y exterior de un oído humano, o impresiones del canal auditivo. La invención puede encontrar uso en el escaneo de la estructura 3D de la piel en aplicaciones dermatológicas o cosméticas / cosmetológicas, el escaneo de modelos de joyería o de cera de una joya completa o de parte de una joya, el escaneo de partes industriales e incluso el escaneo 3D resuelto en el tiempo, tal como el escaneo 3D resuelto en el tiempo de partes industriales en movimiento.

Antecedentes de la invención

15 La invención se refiere al escaneo tridimensional (3D) de la geometría de la superficie de objetos. El escaneo de la superficie de un objeto en 3 dimensiones es un campo de estudio bien conocido, y los métodos para el escaneo se pueden dividir en métodos con contacto y sin contacto. Un ejemplo de métodos de medidas con contacto son las Máquinas de Medida de Coordenadas (CMM – Coordinate Measurement Machines, en inglés), que mide permitiendo que una sonda táctil trace la superficie. Las ventajas incluyen gran precisión, pero el proceso es lento y una CMM es voluminosa y costosa. Los métodos de medida sin contacto incluyen rayos x y sondas ópticas.

20 La microscopía confocal es una técnica de toma de imágenes utilizada para aumentar el contraste micrográfico y/o para reconstruir imágenes tridimensionales mediante la utilización de un agujero espacial para eliminar la luz fuera de enfoque o los brillos en especímenes con más grosor que el plano focal.

25 Un microscopio confocal utiliza iluminación puntual y un agujero en un plano conjugado ópticamente delante del detector para eliminar la información fuera de enfoque. Solo se puede detectar la luz dentro del plano focal. Dado que en la microscopía confocal solo se ilumina un punto cada vez, las imágenes 2D necesitan un escaneo de tipo barrido y las imágenes 3D necesitan un escaneo de tipo barrido de toma de imágenes en un rango de planos focales.

30 En el documento WO 00/08415, el principio de la microscopía confocal se aplica iluminando la superficie con una pluralidad de puntos iluminados. Variando el plano focal, se pueden determinar posiciones de la superficie en un punto específico enfocado. No obstante, la determinación de la estructura superficial se limita a las partes de la superficie que están iluminadas mediante un punto.

35 El documento WO 2003/060587 se refiere a seccionar ópticamente un espécimen en un microscopio, donde el espécimen se ilumina con un patrón de iluminación. Las oposiciones enfocadas del plano de la imagen se determinan caracterizando un componente oscilatorio del patrón. No obstante, el plano focal solo se puede ajustar moviendo el espécimen y el sistema óptico uno con respecto a otro, es decir, más cerca o más lejos uno de otro. De este modo, la variación controlada del plano focal requiere una relación espacial controlada entre el espécimen y el sistema óptico, lo cual se cumple en un microscopio. No obstante, tal relación espacial controlada no es aplicable, por ejemplo, a un escáner manual.

40 El documento US2007/0109559 A1 describe un escáner de enfoque en el que las distancias se encuentran desde las posiciones de la lente de enfoque en las cuales se observa la intensidad de reflexión máxima de los haces de luz incidentes sobre el objeto que se está escaneando. En contraste con la invención explicada aquí, esta técnica anterior aprovecha una medida no predeterminada del patrón de iluminación y aprovecha la detección sin contraste y, por lo tanto, la relación de señal a ruido está por debajo del óptimo.

45 En el documento WO 2008/125605, se describe un medio para la generación de un patrón variable en tiempo compuesto por imágenes divididas alternantes. Este documento describe un método de escaneo para la obtención de una sección óptica de un objeto escaneado por medio de dos perfiles de iluminación diferentes, por ejemplo, dos patrones de fases opuestas. Estas dos imágenes se utilizan para extraer la sección óptica, y el método está limitado por la obtención de imágenes solamente a partir de dos perfiles de iluminación diferentes. Además, el método se basa en una calibración predeterminada que determina el desfase entre los dos perfiles de iluminación.

50 El documento US2007/0194214 describe un sistema de escaneo basado en el principio de la microscopía confocal, que comprende una fuente de luz, óptica de toma de imágenes para el enfoque de la luz emitida desde la fuente de luz sobre un objeto que se va a escanear, que comprende además un detector de imágenes para la sensor de la luz de un punto sobre el objeto que se retro dispersa desde el objeto y que lo atraviesa mediante la misma óptica de toma de imágenes hasta al menos dos elementos sensores sensibles a la radiación (píxel), en el que al menos dos elementos sensores están asignados a un punto del objeto irradiado mediante la óptica de toma de imágenes. El sistema de escaneo comprende además medios para cambiar la longitud de la trayectoria óptica (d) que se

encuentran en la trayectoria del haz entre la matriz de aperturas y el objeto, cuya distancia óptica (d) del plano de la imagen se puede variar de una manera especificada.

5 El documento US2003/0096210 describe un escáner que obtiene imágenes de la dentición de un paciente, que se convierten en tramas de datos tridimensionales. Los datos de las diferentes tramas se registran entre sí para proporcionar un modelo virtual tridimensional completo de la dentición.

Compendio de la invención

De este modo, un objeto de la invención es proporcionar un escáner que pueda ser integrado en una carcasa manejable, tal como una carcasa de mano. Otros objetos de la invención son: discriminar la información fuera de enfoque y proporcionar un tiempo rápido de escaneo.

10 Esto se consigue mediante un método y un escáner para la obtención y/o la medida de geometría 3D de al menos una parte de la superficie de un objeto, comprendiendo el citado escáner:

- al menos una cámara que contiene una matriz de elementos sensores,
- un medio para generar una luz de sondeo que incorpora un patrón espacial,
- 15 - un medio para transmitir la luz de sondeo al objeto, iluminando con ello al menos una parte del objeto con el citado patrón en una o más configuraciones,
- un medio para transmitir al menos una parte de la luz devuelta desde el objeto a la cámara,
- un medio para variar la posición del plano de enfoque del patrón sobre el objeto, aun manteniendo una relación espacial fija del escáner y el objeto,
- un medio para obtener al menos una imagen de la citada matriz de elementos sensores,

20 - un medio para evaluar una medida de la correlación en cada posición del plano de enfoque entre al menos un pixel de imagen y una función de ponderación, donde la función de ponderación se determina sobre la base de la información de la configuración del patrón espacial;

- un medio de procesamiento de datos para:

25 a) determinar mediante el análisis de la medida de la correlación la posición o posiciones enfocada o enfocadas de:

- cada uno de la pluralidad de píxeles de imagen para un rango de posiciones del plano de enfoque, o
- cada uno de una pluralidad de grupos de píxeles de imagen para un rango de posiciones del plano de enfoque, y

b) transformar los datos enfocados en coordenadas 3D del mundo real.

30 El método y aparato descritos en esta invención son para proporcionar una grabación superficial 3D de objetos, mediante la utilización de luz como agente de sondeo sin contacto. La luz se proporciona en forma de un patrón de iluminación para proporcionar una oscilación luminosa sobre el objeto. La variación / oscilación en el patrón puede ser espacial, por ejemplo, un cámara de damero estático, y/o puede ser variable en el tiempo, por ejemplo, moviendo un patrón a través del objeto que se está escaneando. La invención proporciona una variación del plano de enfoque del patrón sobre un rango de posiciones del plano de enfoque, aun manteniendo una relación espacial fija entre el escáner y el objeto. No significa que el escaneo se deba proporcionar con una relación espacial fija entre el escáner y el objeto, sino meramente que el plano de enfoque se puede variar (ser escaneado) con una relación espacial fija entre el escáner y el objeto. Esto proporciona una solución de escáner manual sobre la base de la presente invención.

40 En algunas realizaciones, las señales de la matriz de elementos sensores son intensidad de la luz.

Una realización de la invención comprende un primer sistema óptico, tal como una disposición de lentes, para transmitir la luz de sondeo hacia el objeto y un segundo sistema óptico para la luz de toma de imagen devuelta desde el objeto a la cámara. En la realización preferida de la invención, solo un sistema óptico muestra una imagen del patrón sobre el objeto y muestra una imagen del objeto, o al menos una parte del objeto, en la cámara, preferiblemente a lo largo del mismo eje óptico, aunque a lo largo de trayectorias ópticas opuestas.

45 En la realización preferida de la invención, un sistema óptico proporciona la toma de imágenes del patrón sobre el objeto que se está sondeando, y del objeto que se está sondeando hasta la cámara. Preferiblemente, el plano de enfoque se ajusta de tal manera que la imagen del patrón sobre el objeto sondeado se desvía a lo largo del eje óptico, preferiblemente en etapas iguales, de un extremo al otro de la región de escaneo. La luz de sondeo que se incorpora al patrón proporciona un patrón de luz y oscuridad sobre el objeto. Específicamente, cuando el patrón

varía en el tiempo para un plano de enfoque fijo, entonces las regiones enfocadas del objeto mostrarán un patrón oscilante de luz y oscuridad. Las regiones fuera de enfoque se mostrarán menores o sin contraste en las oscilaciones de luz.

5 Generalmente, se considera el caso en el que la luz incidente sobre el objeto se refleja de manera difusa y/o especular desde la superficie del objeto. Pero, se comprende que el aparato y el método de escaneo no se limitan a esta situación. Son aplicables también, por ejemplo, a la situación en la que la luz incidente penetra en la superficie y es reflejada y/o dispersada y/o da lugar a fluorescencia y/o fosforescencia en el objeto. Las superficies interiores en un objeto suficientemente translúcido se pueden iluminar también mediante el patrón de iluminación, y su imagen se puede mostrada en la cámara. En este caso es posible un escaneo volumétrico. Algunos organismos de tipo
10 plancton son ejemplos de tales objetos.

15 Cuando se aplica un patrón variable en el tiempo, se puede obtener un solo subescaneo tomando varias imágenes 2D en diferentes posiciones del plano de enfoque y en diferentes instancias del patrón. Dado que el plano de enfoque coincide con la superficie de escaneo en una sola posición de pixel, el patrón será proyectado sobre el punto de enfoque de la superficie y con un alto contraste, dando lugar por ello a una gran variación, o amplitud, del valor del pixel a lo largo del tiempo. Para cada pixel, es por ello posible identificar ajustes individuales del plano de enfoque para los cuales cada pixel estará enfocado. Utilizando el conocimiento del sistema óptico utilizado, es posible transformar la información de contraste en función de la posición del plano de enfoque en la información superficial en 3D, para cada pixel individual.

20 De este modo, en una realización de la invención, la posición de enfoque se calcula determinando la amplitud de la oscilación de la luz para cada uno de la pluralidad de elementos sensores para un rango de planos de enfoque.

25 Para un patrón estático, se puede obtener un solo subescaneo tomando varias imágenes 2D en diferentes posiciones del plano de enfoque. Dado que el plano de enfoque coincide con la superficie de escaneo, el patrón se proyectará sobre el punto de enfoque de la superficie y con alto contraste. El contraste alto da lugar a una gran variación espacial del patrón estático en la superficie del objeto, proporcionando con ello una gran variación, o amplitud, de los valores de pixel en un grupo de píxeles adyacentes. Para cada grupo de píxeles, es de este modo posible identificar los ajustes individuales del plano de enfoque para los que cada grupo de píxeles estarán enfocados. Utilizando el conocimiento del sistema óptico utilizado, es posible transformar la información de contraste en función de la posición del plano de enfoque en la información de la superficie 3D, para cada grupo individual de píxeles.

30 De este modo, en una realización de la invención, la posición de enfoque se calcula determinando la amplitud de oscilación de la luz para cada uno de la pluralidad de grupos de los elementos sensores para un rango de planos de enfoque.

35 La conversión de 2D a 3D de los datos de imagen se puede realizar de varias maneras conocidas en la técnica. Es decir, la estructura superficial 3D del objeto sondeado se puede determinar encontrando el plano correspondiente a la amplitud máxima de oscilación de la luz para cada elemento sensor, o para cada grupo de elementos sensores, en la matriz de sensores de la cámara cuando se registra la amplitud de la luz para un rango de planos de enfoque diferentes. Preferiblemente, el plano de enfoque se ajusta en etapas iguales de un extremo al otro de la región de escaneo. Preferiblemente, el plano de enfoque se puede mover en un rango lo suficientemente grande para coincidir al menos con la superficie del objeto que se está escaneado.

40 La presente invención se distingue a partir del documento WO 2008/125605, porque en las realizaciones de la presente invención que utilizan un patrón variable en el tiempo, las imágenes introducidas no están limitadas por dos perfiles de iluminación, y se pueden obtener a partir de cualquier perfil de iluminación del patrón. Esto es porque la orientación de la imagen de referencia no se basa completamente en una calibración predeterminada, sino por el contrario, en el momento específico de la obtención de la imagen introducida.

45 De este modo, el documento WO 2008/125605 aplica de manera específica exactamente dos patrones, que están realizados físicamente mediante una máscara de cromo sobre vidrio iluminada desde los dos lados, siendo el reverso reflectante. El documento WO 2008/125605, de esta manera, tiene la ventaja de utilizar partes no móviles, pero la desventaja de una relación de señal a ruido comparativamente peor. En la presente invención, existe la posibilidad de utilizar cualquier número de configuraciones de patrón, que hacen más preciso el cálculo de la
50 amplitud de la oscilación de la luz o la medida de la correlación.

Definiciones

Patrón: Señal luminosa que comprende una estructura espacial incorporada en el plano lateral. Se puede denominar también "patrón de iluminación".

55 **Patrón variable en el tiempo:** Patrón que varía en el tiempo, es decir, la estructura espacial incorporada varía en el tiempo. Se puede denominar también "patrón de iluminación variable en el tiempo". En lo que sigue, se denomina también "franjas".

Patrón estático: Patrón que no variable en el tiempo, por ejemplo, un patrón en damero estático o un patrón lineal estático.

5 **Configuración del patrón:** El estado del patrón. Conocimiento de la configuración del patrón en ciertas cantidades de tiempo para conocer la estructura espacial de la iluminación en ese tiempo. Para un patrón periódico, la configuración del patrón incluirá información de la fase del patrón. Si un elemento superficial del objeto que se está escaneando se muestra como imagen en la cámara, entonces el conocimiento de la configuración del patrón significa el conocimiento de qué parte del patrón está iluminando el elemento de la superficie.

10 **Plano de enfoque:** Una superficie en la que los rayos de luz emitidos desde el patrón convergen para formar una imagen sobre el objeto que se está escaneando. El plano de enfoque no necesita ser plano. Puede tener una superficie curva.

Sistema óptico: Una disposición de elementos sensores, por ejemplo, lentes, que transmiten, coliman y/o muestran una imagen de la luz, por ejemplo, transmitiendo la luz de sondeo hacia el objeto, mostrando como imagen el patrón sobre y/o en el objeto, y mostrando como imagen el objeto, o al menos una parte del objeto, en la cámara.

15 **Eje óptico:** Eje definido por la propagación de un haz de luz. Un eje óptico es preferiblemente una línea recta. En la realización preferida de la invención, el eje óptico se define mediante la configuración de una pluralidad de componentes ópticos, por ejemplo, la configuración de lentes en el sistema óptico. Puede haber más de un eje óptico si, por ejemplo, un sistema óptico transmite la luz de sondeo al objeto y otro sistema óptico muestra como imagen el objeto en la cámara. Pero, preferiblemente, el eje óptico se define mediante la propagación de la luz en el sistema óptico, transmitiendo el patrón sobre el objeto y mostrando como imagen el objeto en la cámara. El eje óptico a menudo coincidirá con el eje longitudinal del escáner.

20 **Trayectoria óptica:** La trayectoria definida por la propagación de la luz desde la fuente de luz a la cámara. De este modo, una parte de la trayectoria óptica preferiblemente coincide con el eje óptico. Mientras que el eje óptico es preferiblemente una línea recta, la trayectoria óptica puede ser una línea no recta, por ejemplo, cuando la luz es reflejada, dispersada, desviada, dividida y/u otros, por ejemplo, por medios divisores de haz, espejos, fibras ópticas y otros.

25 **Sistema telecéntrico:** Un sistema óptico que proporciona imágenes de tal manera que los rayos principales son paralelos al eje óptico del citado sistema óptico. En un sistema telecéntrico los puntos fuera de enfoque tienen substancialmente el mismo aumento que los puntos enfocados. Esto puede proporcionar una ventaja en el procesamiento de datos. Un sistema óptico perfectamente telecéntrico es difícil de conseguir; no obstante, un sistema óptico que sea substancialmente telecéntrico o casi telecéntrico se puede proporcionar mediante un diseño óptico cuidado. De este modo, cuando se hace referencia a un sistema óptico telecéntrico se debe entender que puede ser casi telecéntrico.

30 **Longitud de escaneo:** Una dimensión lateral del campo de visión. Si la punta de la sonda (es decir, la cabeza de escaneo) comprende óptica de desvío para dirigir la luz de sondeo en una dirección diferente tal como perpendicular al eje óptico, entonces la longitud de escaneo es la dimensión lateral paralela al eje óptico.

Objeto escaneado: El objeto que se va a escanear y acerca del cual el escáner proporciona información. "El objeto escaneado" se puede denominar solamente "el objeto".

35 **Cámara:** Sensor de captación de imágenes que comprende una pluralidad de sensores que responden a la entrada de luz en el sensor de captación de imágenes. Los sensores están ordenados preferiblemente en matrices 2D en filas y columnas.

Señal de entrada: Señal de entrada de luz o señal de entrada de sensor de los sensores de la cámara. Esta puede ser una intensidad integrada de luz incidente en el sensor durante el tiempo de exposición o de integración del sensor. En general, se traduce en un valor de pixel dentro de una imagen. Se puede denominar asimismo "señal de sensor".

40 **Señal de referencia:** Una señal obtenida a partir del patrón. Una señal de referencia se puede denotar asimismo función de ponderación o vector de ponderación o vector de referencia.

45 **Medida de la correlación:** Una medida del grado de correlación entre una señal de referencia y, de entrada. Preferiblemente, la medida de correlación se define de tal manera que si la señal de referencia y de entrada están relacionadas linealmente entre sí entonces la medida de la correlación obtiene una magnitud mayor que si no lo están. En algunos casos, la medida de la correlación es una amplitud de la oscilación de la luz.

50 **Imagen:** Una imagen se puede visualizar como una matriz de valores 2D (cuando se obtiene con una cámara digital) o en óptica, una imagen indica que existe una relación entre una superficie mostrada como imagen y una superficie de imagen en la que los rayos de luz que emergen desde un punto de la citada superficie mostrada como imagen substancialmente convergen en un punto de la citada superficie de la imagen.

Intensidad: En óptica, la intensidad es una medida de la potencia luminosa por unidad de área. En una grabación de imágenes con una cámara que comprende una pluralidad de elementos sensores individuales, intensidad se puede utilizar para denominar la señal luminosa registrada en los elementos sensores individuales. En este caso la intensidad refleja una integración en el tiempo de la potencia luminosa por unidad de área en el elemento sensor durante el tiempo de exposición implicado en la grabación de la imagen.

Notación matemática

- A Una medida de la correlación entre la función de ponderación y la señal luminosa grabada. Esta puede ser una amplitud de la oscilación luminosa.
- I Señal de entrada de la luz o señal de entrada de sensor. Esta puede ser la intensidad integrada de la luz incidente en el sensor durante el tiempo de exposición o la integración del sensor. En general, se traduce en un valor de pixel en una imagen.
- f Señal de referencia. Se puede denominar también valor de ponderación.
- n El número de medidas con un sensor de la cámara y/o varios sensores de la cámara que se utilizan para calcular una medida de la correlación.
- H Altura de la imagen en número de píxeles
- W Ancho de la imagen en número de píxeles

Los símbolos se explican también, cuando es necesario, en el texto.

Descripción detallada de la invención

El escáner comprende preferiblemente al menos un divisor de haz situado en la trayectoria óptica. Por ejemplo, una imagen del objeto se puede formar en la cámara por medio de un divisor de haz. Utilizaciones de ejemplo de los divisores de haz se ilustran en las figuras.

En una realización preferida de la invención, la luz se transmite en un sistema óptico que comprende un sistema de lentes. Este sistema de lentes puede transmitir el patrón hacia el objeto y la luz de las imágenes reflejada desde el objeto a la cámara.

En un sistema óptico confocal, los puntos fuera de enfoque tienen el mismo aumento que los puntos enfocados. La proyección telecéntrica puede, por lo tanto, facilitar significativamente el mapeo de datos de las imágenes 2D obtenidas a imágenes 3D. De este modo, en una realización preferida de la invención, el sistema óptico es substancialmente telecéntrico en el espacio del objeto sondeado. El sistema óptico puede ser también telecéntrico en el espacio del patrón y la cámara.

Foco variable

Un punto de pivotamiento de la invención es la variación, es decir, el escaneo, del plano de enfoque sin mover el escáner en relación con el objeto que se está escaneando. Preferiblemente, el plano de enfoque se puede modificar, tal como modificarse de manera continua de una manera periódica, mientras el medio de generación de patrón, la cámara, el sistema óptico y el objeto en escaneo son fijos unos respecto a otros. Además, el tiempo de toma de la superficie 3D debe ser lo suficientemente pequeño para reducir el impacto del movimiento relativo entre la sonda y los dientes, por ejemplo, reducir el efecto de temblor. En la realización preferida de la invención, el plano de enfoque se modifica por medio de al menos un elemento de enfoque. Preferiblemente el enfoque se varía periódicamente con una frecuencia predefinida. La citada frecuencia puede ser de al menos 1 Hz, tal como al menos 2 Hz, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 o al menos 10 Hz, tal como al menos 20, 40, 60, 80 o al menos 100 Hz.

Preferiblemente, el elemento de enfoque es parte del sistema óptico. Es decir, el elemento de enfoque puede ser una lente en un sistema de lentes. Una realización preferida comprende un medio, tal como una etapa de traslación, para ajustar y controlar la posición del elemento de enfoque. De esa manera, el plano de enfoque se puede variar, por ejemplo, trasladando el elemento de enfoque atrás y adelante a lo largo del eje óptico.

Si un elemento de enfoque se traslada atrás y adelante con una frecuencia de varios Hz, esto puede provocar la inestabilidad del escáner. Una realización preferida de la invención comprende de este modo medios para reducir y/o eliminar la vibración y/o el temblor del sistema de ajuste del elemento de enfoque, aumentando con ello la estabilidad del escáner. Esto puede, al menos parcialmente, ser proporcionado por un medio para la fijación y/o la sujeción del centro de gravedad del sistema de ajuste del elemento de enfoque, tal como un contrapeso o substancialmente un movimiento de contra equilibrado del elemento de enfoque; por ejemplo, trasladando un contrapeso en dirección contraria al movimiento del elemento de enfoque, se puede conseguir una facilidad en la operación si el contrapeso y el elemento de enfoque están conectados y son conducidos por el mismo medio de traslación. Esto puede, no obstante, reducir solo substancialmente la vibración al primer orden. Si el dispositivo equilibrado mediante un contrapeso es girado alrededor del eje equilibrado por el contrapeso, se puede producir

problemas relativos al par de torsión creado por los contrapesos. Otra realización de la invención comprende de este modo un medio para reducir y/o eliminar la vibración de primer orden, segundo orden, tercer orden y/u orden mayor, y/o el temblor del sistema de ajuste del elemento de enfoque, aumentando con ello la estabilidad del escáner.

5 En otra realización de la invención, más de un elemento óptico se mueve para desviar el plano de enfoque. En esa realización, resulta deseable que estos elementos se muevan juntos y que los elementos sean físicamente contiguos.

10 En una realización preferida de la invención, el sistema óptico es telecéntrico, o casi telecéntrico, para todas las posiciones del plano de enfoque. De este modo, incluso aunque una o más lentes del sistema óptico se pueda desviar atrás y adelante para cambiar la posición del plano de enfoque, la telecentricidad del sistema óptico se mantiene.

15 La realización preferida de la invención comprende guiado de enfoque. El guiado de enfoque es la correlación entre el movimiento de las lentes y el movimiento de la posición del plano de enfoque. Por ejemplo, un guiado de enfoque de 2 significa que una traslación del elemento de enfoque de 1 mm corresponde a una traslación de la posición del plano de enfoque de 2 mm. El guiado de enfoque se puede proporcionar mediante un diseño adecuado del sistema óptico. La ventaja del guiado de enfoque es que un pequeño movimiento del elemento de enfoque puede corresponder a una gran variación de la posición del plano de enfoque. En realizaciones específicas de la invención, el guiado de enfoque está entre 0,1 y 100, tal como entre 0,1 y 1, tal como entre 1 y 10, tal como entre 2 y 8, tal como entre 3 y 6, tal como al menos 10, tal como al menos 20.

20 En un ejemplo, el elemento de enfoque es una lente líquida. Una lente líquida puede controlar el enfoque sin utilizar ninguna parte móvil.

Cámara

25 La cámara puede ser una cámara digital estándar que contiene un CCD estándar o un chip CMOS con un convertidor A/C (Corriente alterna / Corriente continua) por línea de elementos sensores (píxeles). No obstante, para aumentar la tasa de tramas, el escáner de acuerdo con la invención puede comprender una cámara de alta velocidad que contiene múltiples convertidores A/C por línea de píxeles, por ejemplo, al menos 2, 4, 8 o 16 convertidores A/C por línea de píxeles.

Patrón

30 Otro elemento central de la invención es la luz de sondeo con un patrón incorporado que se proyecta en el objeto que se está escaneando. El patrón puede ser estático o variable en el tiempo. El patrón variable en el tiempo puede proporcionar una variación de luz y oscuridad sobre y/o el objeto. Específicamente, cuando el patrón se varía en el tiempo para un plano de enfoque fijo, entonces las regiones enfocadas del objeto mostrarán un patrón oscilante de luz y oscuridad. Las regiones fuera de enfoque mostrarán un contraste menor o inexistente en las oscilaciones luminosas. El patrón estático puede proporcionar una variación espacial de luz y oscuridad sobre y/o en el objeto. Específicamente las regiones enfocadas mostrarán un patrón de oscilación de luz y oscuridad en el espacio. Las regiones fuera de enfoque mostrarán menor, o ningún contraste en las oscilaciones luminosas espaciales.

40 La luz se puede proporcionar desde una fuente de luz externa, no obstante, preferiblemente el escáner comprende al menos una fuente de luz y un medio de generación de patrón para producir el patrón. Resulta ventajoso en términos de relación de señal a ruido, diseñar una fuente de luz tal que la intensidad en las partes no enmascaradas del patrón está tan cerca como sea posible respecto a la uniformidad. En otra realización, la fuente de luz y el medio de generación de patrón están integrados en un solo componente, tal como un LED segmentado. Un LED segmentado puede proporcionar en sí mismo un patrón estático y/o puede proporcionar un patrón variable en el tiempo, encendiendo y apagando secuencialmente los diferentes segmentos. En una realización de la invención, el patrón variable en el tiempo se varía periódicamente en el tiempo. En otra realización de la invención, el patrón estático varía periódicamente en el espacio.

45 La luz procedente de la fuente de luz (externa o interna) se puede transmitir a través del medio de generación del patrón, generando con ello el patrón. Por ejemplo, el medio de generación del patrón comprende al menos un elemento patrón translúcido y/o transparente. Para generar un patrón variable en el tiempo, se puede utilizar una rueda, con una máscara opaca. Por ejemplo, la máscara comprende una pluralidad de radios radiales, preferiblemente dispuestos en un orden simétrico. El escáner puede comprender asimismo medios para girar y/o trasladar el elemento patrón. Para generar un patrón estático se puede utilizar una placa de vidrio con una máscara opaca. Por ejemplo, la máscara comprende un patrón lineal o un patrón en damero. En general, la citada máscara preferiblemente posee periodicidad rotacional y/o de traslación. El elemento patrón está situado en la trayectoria óptica. De este modo, la luz procedente de la fuente de luz se puede transmitir a través del elemento patrón, por ejemplo, transmitido transversalmente a través del elemento patrón. El patrón variable en el tiempo puede ser
55 generado entonces girando y/o trasladando el elemento patrón. Un elemento patrón que genera un patrón estático no necesita ser movido durante el escaneo.

Correlación

Un objeto de la invención es proporcionar un tiempo de escaneo corto y procesamiento en tiempo real, por ejemplo, para proporcionar información de retorno en vivo a un operador de escáner para hacer más rápido el escaneo de un arco dentario completo. Sin embargo, el escaneo 3D de alta resolución en tiempo real crea una enorme cantidad de datos. Por lo tanto, se debe proporcionar procesamiento de datos en la carcasa del escáner, es decir, cerca de los componentes ópticos, para reducir la velocidad de transferencia de datos a, por ejemplo, un carro, estación de trabajo o pantalla. Para acelerar el tiempo de procesamiento de datos y para extraer información enfocada con una relación de señal a ruido óptima pueden existir varias técnicas de correlación incorporadas / implementadas. Esto puede, por ejemplo, estar implementado en la electrónica de la cámara para discriminar la información fuera de enfoque. El patrón se aplica para proporcionar iluminación con una estructura espacial incorporada en el objeto que se está escaneando. La determinación de la información enfocada se refiere al cálculo de una medida de la correlación de esta señal luminosa estructurada espacialmente (que se denomina señal de entrada) con la variación del propio patrón (que se denomina señal de referencia). En general, la magnitud de la medida de la correlación es elevada si la señal de entrada coincide con la señal de referencia. Si la señal de entrada muestra poca o ninguna variación, entonces la magnitud de la medida de la correlación es baja. Si la señal de entrada muestra una variación espacial grande, pero esta variación es diferente de la variación en la señal de referencia, entonces la magnitud de la medida de la correlación es también baja. En otra realización de la invención, el escáner y/o la cabeza del escáner puede ser inalámbrico, simplificando con ello el manejo y la operación del escáner y aumentando la accesibilidad en situaciones difíciles de escaneo, por ejemplo, escaneo intra-oral o en el oído. No obstante, la operación inalámbrica puede aumentar más la necesidad de un procesamiento local de los datos, para evitar la transmisión inalámbrica de datos 3D sin procesar.

El medio de generación de patrón proporciona la señal de referencia, y puede ser periódica. La variación en la señal de entrada puede ser periódica, y puede estar confinada a uno o a algunos periodos. La señal de referencia se puede determinar de manera independiente de la señal de entrada. Específicamente en el caso de una variación periódica, la fase entre la señal de entrada oscilante y la señal de referencia puede ser conocida de manera independiente de la señal de entrada. En el caso de una variación periódica, la correlación se refiere habitualmente a la amplitud de la variación. Si la fase entre la señal de entrada oscilante y la señal de referencia no se conoce, es necesario determinar tanto la parte del coseno como la parte del seno de la señal de entrada antes de que se pueda determinar la amplitud de variación de la señal de entrada. Esto no es necesario cuando la fase se conoce.

Una manera de definir la medida de la correlación matemáticamente con un conjunto discreto de medidas es un producto escalar calculado a partir de un vector de señal, $I = (I_1, \dots, I_n)$, siendo $n > 1$ elementos que representan señales de sensores y un vector de referencia $f = (f_1, \dots, f_n)$, de la misma longitud que el citado vector de señal de los pesos de referencia. La medida de la correlación A viene entonces dada como

$$A = f \cdot I = \sum_{i=1}^n f_i I_i$$

Los índices sobre los elementos en el vector de señal representan señales de sensores que están registradas en diferentes tiempos y/o en diferentes sensores. En el caso de una medida continua, la expresión anterior se generaliza fácilmente para implicar la integración en el lugar de la suma. En ese caso, el parámetro de integración es el tiempo y/o una o más coordenadas espaciales.

Un ejemplo es eliminar la parte de CC (Corriente continua) de la señal de correlación o de la medida de la correlación, es decir, cuando las sumas de los elementos del vector de referencia son cero ($\sum_{i=1}^n f_i = 0$). La posición de enfoque se puede encontrar como un extremo de la medida de la correlación calculada sobre todas las posiciones de elementos enfocadas. Se observa que, en este caso, la medida de la correlación es proporcional al coeficiente de la correlación de Pearson de prueba entre dos variables. Si la parte de CC no se elimina, puede existir una tendencia en la señal de CC sobre todas las posiciones de elementos enfocados, y esta tendencia puede ser dominante numéricamente. En esta situación, la posición de enfoque se puede encontrar mediante análisis de la medida de la correlación y/o una o más de sus derivadas, preferiblemente tras la eliminación de la tendencia.

Preferiblemente, se debe encontrar el extremo global. No obstante, aberraciones tales como la suciedad en el sistema óptico pueden resultar en máximos globales falsos. Por lo tanto, puede ser aconsejable buscar extremos locales en algunos casos. Si el objeto que se está escaneando es suficientemente translúcido, puede ser posible identificar las superficies o partes de superficies interiores que, de otro modo, están ocluidas. En tales casos, puede haber varios extremos locales que corresponden a superficies y puede resultar ventajoso procesar varios o todos los extremos.

La medida de la correlación se puede calcular típicamente sobre la base de señales de entrada que están disponibles como imágenes digitales, es decir, imágenes con un número finito de píxeles discretos. Por lo tanto, convenientemente, los cálculos para la obtención de medidas de la correlación se pueden realizar para píxeles de la

imagen o grupos de los mismos. Las medidas de la correlación se pueden visualizar entonces como pseudo-
imágenes.

5 La medida de la correlación aplicada en esta invención está inspirada por el principio de un amplificador sintonizado, en el que la señal de entrada se multiplica por la señal de referencia y se integra en un tiempo especificado. En esta invención, el patrón proporciona una señal de referencia.

Correlación temporal

10 La correlación temporal implica un patrón variable en el tiempo. La señal luminosa en los elementos sensores luminosos individuales en la cámara se registra varias veces mientras se varía la configuración del patrón. La medida de la correlación es, de este modo, calculada al menos con señales de sensores registradas en tiempos diferentes.

En el documento WO 98/45745 se muestra un principio para estimar la amplitud de la oscilación luminosa en una señal luminosa que varía periódicamente, en el que la amplitud se calcula primero estimando una parte del coseno y una parte del seno de la oscilación de la intensidad luminosa. No obstante, desde el punto de vista estadístico, esto no resulta óptimo, dado que se estiman dos parámetros para poder calcular la amplitud.

15 En esta realización de la invención, el conocimiento independiente de la configuración del patrón en cada señal luminosa permite el cálculo de la medida de la correlación en cada elemento sensor de luz.

En algunas realizaciones de la invención, el escáner comprende un medio para obtener el conocimiento de la configuración del patrón. Para proporcionar tal conocimiento, el escáner preferiblemente comprende además un medio para registrar y/o monitorizar el patrón variable en el tiempo.

20 Cada elemento sensor de luz individual, es decir, elemento sensor, de la cámara ve una variación en la señal luminosa correspondiente a la variación de la luz que ilumina el objeto.

25 Una realización de la invención obtiene la variación en el tiempo del patrón, trasladando y/o girando el elemento patrón. En este caso, la configuración del patrón se puede obtener por medio de un codificador de posición en el elemento patrón, combinado con el conocimiento anterior de la geometría del patrón que da lugar a una variación del patrón a través de los elementos sensores individuales. El conocimiento de la configuración del patrón se presenta, de este modo, como una combinación del conocimiento de la geometría del patrón que resulta en una variación a través de diferentes elementos sensores y en el registro del patrón y/o monitorización durante el escaneo 3D. En caso de un volante de rotación como elemento patrón, la posición angular del volante se puede obtener entonces mediante un codificador, por ejemplo, montado en el borde.

30 Una realización de la invención implica un patrón que posee periodicidad de traslación y/o rotacional. En esta realización existe un periodo de oscilación del patrón bien definido si el patrón es substancialmente trasladado y/o girado a una velocidad constante.

35 Un ejemplo comprende un medio para el muestreo de cada uno de una pluralidad de elementos sensores una pluralidad de veces durante un periodo de oscilación del patrón, preferiblemente muestreados un número entero de veces, tal como muestreados 2, 3, 4, 5, 6, 7, u 8 veces durante cada periodo de oscilación del patrón, determinando con ello la variación de luz durante un periodo. La medida de la correlación temporal entre la variación de luz y el patrón se puede obtener grabando varias imágenes en la cámara durante un periodo de oscilación (o al menos un periodo de oscilación). El número de imágenes grabadas durante un periodo de oscilación se denota n. El registro de la posición del patrón para cada imagen individual combinada con la variación del patrón conocida de manera independiente sobre el elemento sensor (es decir, obteniendo el conocimiento de la configuración del patrón) y las imágenes grabadas, permite una extracción eficiente de la medida de la correlación en cada elemento sensor individual de la cámara. Para un elemento sensor luminoso con subíndice j, las n señales luminosas registradas de ese elemento se denotan I_{1j}, \dots, I_{nj} . La medida de la correlación de ese elemento A_j se puede expresar como

$$A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

45 Aquí, la señal de referencia o la función de ponderación f se obtienen a partir del conocimiento de la configuración del patrón. f tiene dos índices i, j. La variación de f con el primer índice se obtiene a partir del conocimiento de la posición del patrón durante cada grabación de imagen. La variación de f con el segundo índice se obtiene a partir del conocimiento de la geometría del patrón que se puede determinar antes del escaneo 3D.

50 Preferible, pero no necesariamente, la señal de referencia f tiende a cero al cabo del tiempo, es decir, para todo j, se tiene

$$\sum_{i=1}^n f_{i,j} = 0$$

para suprimir la parte de CC de la variación de luz o la medida de la correlación. La posición de enfoque correspondiente al patrón que está enfocado en el objeto para un solo elemento sensor en la cámara vendrá dada por un valor de extremo de la medida de la correlación de ese elemento sensor cuando la posición de enfoque varía en un rango de valores. La posición de enfoque se puede variar en etapas iguales, de un extremo al otro de la región de escaneo.

Para obtener una imagen nítida de un objeto por medio de una cámara, el objeto debe estar enfocado y la óptica de la cámara y el objeto deben estar en una relación fija durante el tiempo de exposición del sensor de imagen de la cámara. Aplicado a la presente invención, esto debería implicar que el patrón y el foco se deben variar en etapas discretas para poder fijar el patrón y el foco para cada imagen muestreada en la cámara, es decir, fijos durante el tiempo de exposición de la matriz de sensores. No obstante, para aumentar la sensibilidad de los datos de la imagen, el tiempo de exposición de la matriz de sensores debe ser tan alto como la velocidad de trama del sensor lo permita. De este modo, en la realización preferida de la invención se graban (muestran) imágenes en la cámara mientras que el patrón está variando de manera continua (por ejemplo, girando de manera continua un volante del patrón) y el plano de enfoque se desplaza de manera continua. Esto implica que las imágenes individuales estarán ligeramente borrosas dado que son el resultado de una integración en el tiempo de la imagen, mientras que el patrón está variando y el plano de enfoque se mueve. Esto es algo que se podría esperar que condujese al deterioro de la calidad de los datos, pero, en la práctica, la ventaja de una variación simultánea del patrón y el plano de enfoque es mayor que el inconveniente.

En otra realización de la invención, las imágenes se graban (muestran) en la cámara mientras el patrón está fijo y el plano de enfoque se mueve de manera continua, es decir, ningún movimiento del patrón. Este podría ser el caso cuando la fuente de luz es una fuente de luz segmentada, tal como un LED segmentado que parpadea de una manera apropiada. En esta realización, el conocimiento del patrón se obtiene mediante una combinación del conocimiento anterior de la geometría de los segmentos individuales en el LED segmentado que dan lugar a una variación a través de los elementos sensores de luz y la corriente aplicada a diferentes segmentos del LED en cada grabación.

En otra realización más de la invención, las imágenes se graban (muestran) en la cámara mientras el patrón está variando de manera continua y el plano de enfoque está fijo.

En otra realización más de la invención, las imágenes se graban (muestran) en la cámara mientras el patrón y el plano de enfoque están fijos.

El principio de la correlación temporal se puede aplicar en general en el análisis de imágenes. De este modo, otra realización de la invención se refiere a un método para calcular la amplitud de la oscilación de una intensidad luminosa en al menos un elemento sensible a la luz (fotoeléctrico), generándose la citada oscilación de la intensidad luminosa periódicamente mediante variación del patrón de iluminación, y calculándose la citada amplitud en al menos un periodo de oscilación del patrón, comprendiendo el citado método las etapas de:

- proporcionar a lo siguiente un número predeterminado de tiempos de muestreo durante un periodo de oscilación del patrón:

- o muestrear el elemento sensible a la luz, proporcionando con ello la señal del citado elemento sensible a la luz, y
- o proporcionar una posición angular y/o una fase del patrón de iluminación variable periódicamente para el citado muestreo, y

- calcular la citada o citadas amplitud o amplitudes integrando los productos de una función periódica predeterminada y la señal del correspondiente elemento sensible a la luz en el citado número predeterminado de tiempos de muestreo, en el que la citada función periódica es una función de la posición angular y/o la fase del patrón de iluminación variable periódicamente. Esto se puede expresar asimismo como

$$A = \sum_i f(p_i) I_i$$

en la que A es la amplitud o la medida de la correlación calculada, i es el índice para cada muestreo, f es la función periódica, p_i es la fase de la posición angular I del patrón de iluminación para el muestreo de i, e I_i es la señal del elemento sensible a la luz para el muestreo de i. Preferiblemente, la función periódica tiende a cero en un periodo de oscilación del patrón, es decir,

$$\sum_i f(p_i) = 0.$$

5 Para generalizar el principio a una pluralidad de elementos sensibles a la luz, por ejemplo, en una matriz de sensores, la fase de la posición angular I del patrón de iluminación para un elemento sensible a la luz específico puede consistir en una fase de la posición angular I asociada con el patrón de iluminación, más un desfase constante asociado con el elemento sensible a la luz específico. Por ello, la medida de la correlación o amplitud de la oscilación de la luz en un elemento sensible a la luz j se puede expresar como

$$A_j = \sum_i f(\theta_j + p_i) I_{i,j},$$

en la que θ_j es el desfase constante para el elemento sensible a la luz j .

10 Un patrón de iluminación variable periódicamente se puede generar mediante un volante de rotación con una máscara opaca que comprende una pluralidad de radios radiales dispuestos en un orden simétrico. La posición angular del volante corresponderá por ello a la posición angular del patrón, y esta posición angular se puede obtener mediante un codificador montado en el borde del volante. La variación del patrón a través de los diferentes elementos sensores para diferentes posiciones del patrón se puede determinar antes del escaneo 3D en una rutina de calibración. Una combinación del conocimiento de esta variación del patrón y la posición del patrón constituye el conocimiento de la configuración del patrón. Un periodo de este patrón puede ser, por ejemplo, el tiempo entre dos radios, y la amplitud de uno solo o una pluralidad de elementos sensibles a la luz de este periodo se puede calcular mediante muestreo, por ejemplo, cuatro veces, en este periodo.

15 Un patrón de iluminación variable periódicamente se puede generar mediante un movimiento de rayado de Ronchi ortogonal a las líneas, y la posición se mide mediante un codificador. Esta posición corresponde a la posición angular del patrón generado. Alternativamente, se podría utilizar un patrón en damero.

20 Un patrón de iluminación variable periódicamente se puede generar mediante una matriz de LED de una sola dimensión que se puede controlar por línea.

Un patrón de iluminación variable se puede generar mediante un proyector de LCD o DLP.

Correlación óptica

25 El principio de correlación mencionado anteriormente (la correlación temporal) requiere algún tipo de registro del patrón variable en el tiempo, por ejemplo, el conocimiento de la configuración del patrón en cada registro del nivel de luz en la cámara. No obstante, un principio de la correlación sin este registro se proporcionaría en otra realización de la invención. Este principio se denomina "la correlación óptica".

30 En esta realización de la invención, una imagen del propio patrón y una imagen de al menos una parte del objeto que se está escaneando con el patrón proyectado sobre ella se combinan en la cámara. Es decir, la imagen en la cámara es una superposición del propio patrón y del objeto que se está sondeando con el patrón proyectado sobre el mismo. Una manera diferente de expresar esto es que la imagen en la cámara substancialmente sea una multiplicación de una imagen del patrón proyectada sobre el objeto con el propio patrón.

35 Esto se puede proporcionar de la siguiente manera. En un ejemplo, el medio de generación de patrón comprende un elemento patrón transparente con una máscara opaca. La luz de sondeo se transmite a través del elemento patrón, preferiblemente se transmite transversalmente a través del elemento patrón. La luz devuelta desde el objeto que se está escaneando es retransmitida en sentido contrario a través del citado elemento patrón y mostrada como imagen en la cámara. Esto se realiza preferiblemente de una manera en la que la imagen del patrón que ilumina el objeto y la imagen del propio patrón son coincidentes cuando ambas se muestran en la cámara. Un ejemplo particular de un patrón es un volante de rotación con una máscara opaca que comprende una pluralidad de radios radiales dispuestos en un orden simétrico de tal manera que el patrón posee periodicidad rotacional. En esta realización, existe un periodo de oscilación del patrón bien definido si el patrón se gira substancialmente a una velocidad constante. Se define el periodo de oscilación como $2\pi/\omega$.

45 Se observa que, en la realización descrita de la invención, el patrón de iluminación es un patrón de luz y oscuridad. Un elemento sensor de luz en la cámara con una señal proporcional a la intensidad luminosa integrada durante el tiempo de integración δt de la cámara con el subíndice j , I_j viene dado por

$$I_j = K \int_t^{t+\delta t} T_j(t') S_j(t') dt'$$

Aquí, K es la constante de proporcionalidad de la señal de sensor, t es el inicio del tiempo de integración de la cámara, T_j es la transmisión variable en el tiempo de la parte del elemento patrón giratorio mostrado como imagen

sobre el elemento sensor de luz de orden j , y S_j es la intensidad de luz variable en el tiempo de la luz devuelta desde el objeto escaneado y mostrada como imagen sobre el elemento sensor de luz de orden j . En la realización descrita, T_j es la función escalón definida substancialmente por $T_j(t) = 0$ para $\text{sen}(\omega t + \Phi_j) > 0$ y $T_j(t) = 1$ en el resto. Φ_j es una fase que depende de la posición del elemento sensor de orden j .

5 La señal en el elemento sensor de luz es una medida de la correlación del patrón y la luz devuelta desde el objeto que se está escaneando. La transmisión variable en el tiempo toma la función de la señal de referencia, y la intensidad de luz variable en el tiempo devuelta desde el objeto escaneado toma la función de la señal de entrada. La ventaja de esta realización de la invención es que una cámara de CCD o CMOS normal con elementos sensores de intensidad se puede utilizar para grabar directamente la medida de la correlación, dado que aparece como intensidad en los elementos sensores. Otra manera de expresar esto es que el cálculo de la medida de la correlación tenga lugar en el dominio óptico analógico, en lugar de en un dominio electrónico tal como una FPGA o un PC.

10 La posición de enfoque correspondiente al patrón que está enfocado sobre el objeto que se está escaneando para un solo elemento sensor en la cámara vendrá dada entonces por el valor máximo de la medida de la correlación grabada con ese elemento sensor, cuando la posición de enfoque es variada en un rango de valores. La posición de enfoque se puede variar en etapas iguales de un extremo al otro de la región de escaneo. Una realización de la invención comprende un medio para la grabación y/o integración y/o monitorización y/o almacenamiento de cada uno de una pluralidad de elementos sensores sobre un rango de posiciones del plano de enfoque.

15 Preferiblemente, se debe encontrar el máximo global. No obstante, aberraciones tales como la suciedad sobre el sistema óptico pueden resultar en falsos máximos globales. Por lo tanto, puede resultar aconsejable buscar máximos locales en algunos casos.

20 Dado que señal de referencia no tiende a cero, la medida de la correlación tiene un componente de CC. Puesto que la parte de CC no se elimina, puede existir una tendencia en la señal de CC sobre todas las posiciones del elemento de enfoque, y esta tendencia puede ser dominante numéricamente. En esta situación, la posición de enfoque se puede encontrar mediante el análisis de la medida de la correlación y/o una o más de sus derivadas.

25 En un ejemplo, el tiempo de integración de la cámara es un número entero M del periodo de oscilación del patrón, es decir, $\delta t = 2\pi M / \omega$. Una ventaja de esta realización es que la magnitud de la medida de la correlación se puede medir con una mejor relación de señal a ruido en presencia de ruido, que si el tiempo de integración de la cámara no fuese un número entero del periodo de oscilación del patrón.

30 En otro ejemplo, el tiempo de integración de la cámara es mucho mayor que el periodo de oscilación del patrón, es decir, $\delta t \gg 2\pi M / \omega$. Muchas veces, el tiempo de oscilación del patrón significaría aquí el tiempo de integración de la cámara al menos 10 veces el tiempo de oscilación o más preferiblemente tal como al menos 100 o 1000 veces el tiempo de oscilación. Una ventaja de esta realización es que no es necesaria la sincronización del tiempo de integración de la cámara y el tiempo de oscilación del patrón, dado que, para tiempos de integración de la cámara muy largos en comparación con el tiempo de oscilación del patrón, la medida de la correlación es substancialmente independiente de una sincronización precisa.

35 Equivalente al principio de correlación temporal, el principio de correlación óptica se puede aplicar en general en el análisis de la imagen. De este modo, otro ejemplo se refiere a un método para calcular la amplitud de la oscilación de una intensidad luminosa en al menos un elemento sensible a la luz (fotoeléctrico), siendo la citada oscilación de la intensidad luminosa generada por una superposición de un patrón de iluminación variable consigo mismo, y siendo la citada amplitud calculada mediante la integración en el tiempo de la señal del citado al menos un elemento sensible a la luz sobre una pluralidad de periodos de oscilación del patrón.

Correlación espacial

45 Los principios de la correlación mencionados anteriormente (la correlación temporal y la correlación óptica) requieren que el patrón sea variable en el tiempo. Si el sistema óptico y la cámara proporcionan una resolución lateral que es al menos dos veces la necesaria para el escaneo del objeto, entonces es posible escanear con un patrón estático, es decir, un patrón que no es variable en el tiempo. Este principio se denomina "correlación espacial". La medida de la correlación es, de este modo, calculada al menos con señales de sensores registradas en diferentes sitios de sensor.

50 La resolución lateral de un sistema óptico se debe entender como la capacidad de los elementos ópticos en el sistema óptico, por ejemplo, un sistema de lentes, para mostrar como imagen frecuencias espaciales sobre el objeto que se está escaneando hasta un cierto punto. Las curvas de transferencia de modulación del sistema óptico se utilizan típicamente para describir el mostrar como imágenes frecuencias espaciales en un sistema óptico. Se podría, por ejemplo, definir la resolución del sistema óptico como la frecuencia espacial sobre el objeto que se está escaneando, en el que la curva de transferencia de modulación ha disminuido, por ejemplo, al 50%. La resolución de la cámara es un efecto combinado de la separación de los elementos sensores individuales de la cámara y la resolución del sistema óptico.

En la correlación espacial, la medida de la correlación hace referencia a una correlación entre la señal de entrada y la señal de referencia que ocurre en el espacio más que en el tiempo. Así, en un ejemplo de la invención, la resolución de la geometría 3D medida es igual a la resolución de la cámara. No obstante, para la correlación espacial, la resolución de la geometría 3D medida es menor que la resolución de la cámara, tal como al menos 2 veces inferior, tal como al menos 3 veces inferior, tal como al menos 4 veces inferior, tal como al menos 5 veces inferior, tal como al menos 10 veces inferior. La matriz de elementos sensores está dividida, preferiblemente, en grupos de elementos sensores, preferiblemente grupos rectangulares, tal como grupos cuadrados de elementos sensores, preferiblemente elementos sensores contiguos. La resolución del escaneo, es decir, la geometría 3D medida, será determinada entonces por el tamaño de estos grupos de elementos sensores. La oscilación en la señal luminosa se proporciona en estos grupos de elementos sensores, y la amplitud de la oscilación luminosa se puede obtener entonces analizando los grupos de elementos sensores. La división de la matriz de elementos sensores en grupos se proporciona preferiblemente en la etapa de procesamiento de datos, es decir, la división no es una división física, requiriendo posiblemente por ello una matriz de sensores especialmente adaptada. De este modo, la división en grupos es "virtual", incluso aunque el único píxel de un grupo sea un píxel físico real.

En una realización de la invención, el patrón posee periodicidad de traslación a lo largo de al menos una coordenada espacial. En otra realización de la invención, el patrón periódico espacialmente está alineado con las filas y/o las columnas de la matriz de elementos sensores. Por ejemplo, en el caso de un patrón lineal estático, las filas o columnas de los píxeles de la cámara pueden ser paralelos a las líneas del patrón. O, en el caso de un patrón en damero estático, las filas y columnas del damero pueden estar alineadas con las filas y columnas, respectivamente, de los píxeles de la cámara. Alinear quiere decir que la imagen del patrón sobre la cámara está alineada con el "patrón" del elemento sensor en la matriz de sensores de la cámara. De este modo, una cierta ubicación física y orientación del medio de generación del patrón y la cámara requiere una cierta configuración de los componentes ópticos del escáner para que el patrón este alineado con la matriz de sensores de la cámara.

En otra realización de la invención, al menos un periodo espacial del patrón corresponde a un grupo de elementos sensores. En otra realización de la invención, todos los grupos de elementos sensores contienen el mismo número de elementos y tienen la misma forma. Por ejemplo, cuando el periodo de un patrón en damero corresponde a un grupo cuadrado, por ejemplo, de 2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10 o más píxeles en la cámara.

En otra realización más, uno o más bordes del patrón están alineados con y/o coinciden con uno o más de los bordes de la matriz de elementos sensores. Por ejemplo, un patrón en damero puede estar alineado con los píxeles de la cámara de tal manera que los bordes de la imagen del patrón en damero sobre la cámara coinciden con los bordes de los píxeles.

En una correlación espacial, el conocimiento independiente de la configuración del patrón permite calcular la medida de la correlación en cada grupo de detección de luz. Para una iluminación periódica espacialmente esta medida de la correlación se puede calcular sin tener que estimar la parte de coseno y la parte de seno de la oscilación de la intensidad luminosa. El conocimiento de la configuración del patrón se puede obtener antes del escaneo 3D.

En otra realización de la invención, la medida de la correlación, A_j , dentro de un grupo de elementos sensores con subíndice j se determina por medio de la fórmula siguiente:

$$A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

En la que n es el número de elementos sensores en un grupo de sensores, $\mathbf{f}_j = (f_{1,j} \dots f_{n,j})$ es el vector señal de referencia obtenido a partir del conocimiento de la configuración del patrón, e $\mathbf{I}_j = (I_{1,j}, \dots, I_{n,j})$ es el vector señal de entrada. Para el caso de sensores agrupados en regiones cuadradas con N sensores como lado del cuadrado, entonces $n = N^2$.

Preferible, pero no necesariamente, los elementos de la señal de referencia tienden a 0 en el espacio, es decir, para todo j , se tiene

$$\sum_{i=1}^n f_{i,j} = 0$$

para suprimir la parte de CC de la medida de la correlación. La posición de enfoque correspondiente al patrón que está enfocado sobre el objeto para un solo grupo de elementos sensores en la cámara vendrá dada por un valor de extremo de la medida de la correlación de ese grupo de elementos sensores, cuando la posición de enfoque se varía en un rango de valores. La posición de enfoque se puede variar en etapas iguales de un extremo al otro de la región de escaneo.

En el caso de un patrón en damero estático con bordes alineados con los píxeles de la cámara y con los grupos de píxeles que tienen un número par de píxeles tal como 2x2, 4x4, 6x6, 8x8, 10x10, una elección natural de la señal de referencia f sería que sus elementos asumiesen el valor 1 para los píxeles que muestran como imagen un cuadro blanco del damero, y -1 para los píxeles que muestran como imagen un cuadro negro del damero.

- 5 Equivalente a los otros principios de correlación, el principio de la correlación espacial se puede aplicar en general en el análisis de la imagen. En particular, en una situación en la que la resolución de la cámara es mayor de lo necesario en la imagen final. De este modo, otra realización de la invención hace referencia a un método de calcular la amplitud o amplitudes de a oscilación de una intensidad de luz en al menos un grupo de elementos sensibles a la luz, estando la citada oscilación de intensidad de luz generada por un patrón de iluminación estático variable espacialmente, comprendiendo el citado método las etapas de:

- proporcionar la señal de cada elemento sensible a la luz en el citado grupo de elementos sensibles a la luz, y
- calcular la citada amplitud o las citadas amplitudes integrando los productos de una función predeterminada y la señal del correspondiente elemento sensible a la luz sobre el citado grupo de elementos sensibles a la luz, en el que la citada función predeterminada es una función que refleja el patrón de iluminación.

- 15 Para generalizar el principio a una pluralidad de elementos sensibles a la luz, por ejemplo, en una matriz de sensores, la medida de la correlación o amplitud de la oscilación luminosa en el grupo j se puede expresar como

$$A_j = \sum^n f(i, j) I_{i,j},$$

en la que n es el número de elementos sensores en el grupo j , I_{ij} es la señal del elemento sensor de orden j en el grupo j y $f(i, j)$ es una función predeterminada que refleja el patrón.

- 20 En comparación con la correlación temporal, la correlación espacial tiene la ventaja de que no es necesario ningún patrón en movimiento. Esto implica que el conocimiento de la configuración del patrón se puede obtener antes del escaneo 3D. Por el contrario, la ventaja de la correlación temporal es su mayor resolución, puesto que no es necesario ningún agrupamiento de píxeles.

- 25 Todos los principios de la correlación, cuando se realizan con un sensor de imagen que permite tasas de tramas muy altas, permiten el escaneo 3D de objetos en movimiento con poco desenfoque debido al movimiento. Asimismo, hace posible rastrear los objetos en movimiento a lo largo del tiempo ("escaneo 4D"), con aplicaciones útiles, por ejemplo, en la visión artificial y la medida dinámica de la deformación. Tasas de tramas muy altas en este contexto son al menos 500, pero preferiblemente al menos 2000 tramas por segundo.

Transformación de extremos de medidas de la correlación a coordenadas mundo 3D.

- 30 Relacionar la posición o posiciones de enfoque identificadas relativas a sensores de la cámara o grupos de sensores de la cámara con las coordenadas mundo, se puede realizar mediante trazado con rayos por medio del sistema óptico. Antes de que tal trazado con rayos se pueda realizar, es necesario conocer los parámetros del sistema óptico. Un ejemplo comprende una etapa de calibración para obtener tal conocimiento. Otro ejemplo comprende una etapa de calibración en la que las imágenes de un objeto de geometría conocida se graban para una pluralidad de posiciones de enfoque. Tal objeto puede ser un patrón en damero plano. A continuación, el escáner se puede calibrar generando imágenes trazadas con rayos simulados del objeto de calibración y, a continuación, ajustando los parámetros del sistema óptico para minimizar la diferencia entre las imágenes simuladas y grabadas.

- 40 En otro ejemplo, la etapa de calibración necesita la grabación de imágenes para una pluralidad de posiciones de enfoque para varios objetos de calibración y/o varias orientaciones y/o posiciones diferentes de un objeto de calibración.

Con el conocimiento de los parámetros del sistema óptico, se puede emplear la técnica de rastreo con rayos para estimar el mapeo 2D -> 3D. Esto requiere que el sistema óptico del escáner sea conocido, preferiblemente mediante calibración. Se pueden realizar las siguientes etapas:

- 45 1. Desde cada pixel de la imagen (en el sensor de imagen), trazar un cierto número de rayos, partiendo desde el sensor de imagen y a través del sistema óptico (rastreo con rayo).

2. Desde los rayos que emiten, calcular el punto de enfoque, el punto en el que todos estos rayos substancialmente se cortan. Este punto representa la coordenada 3D de donde un pixel 2D estará enfocado, es decir, en rendimiento, el máximo global de la amplitud de oscilación de la luz.

3. Generar una tabla de búsqueda para todos los píxeles con sus correspondientes coordenadas 3D.

- 50 Las etapas anteriores se repiten para varias posiciones de la lente de enfoque que cubren el rango de operación del escáner.

Reflexiones especulares

5 Un alto contraste espacial de la imagen del patrón de enfoque sobre el objeto es, a menudo, necesario para obtener una buena relación de señal a ruido de la medida de la correlación de la cámara. Esta, a su vez, puede ser necesaria para obtener una buena estimación de la posición de enfoque correspondiente a un extremo en la medida de la correlación. Esta relación de señal a ruido suficiente para un correcto escaneo a menudo se consigue en objetos con una superficie difusa y una penetración de luz despreciable. Para algunos objetos, no obstante, es difícil conseguir un alto contraste espacial.

10 Una clase de objeto difícil es, por ejemplo, un objeto que muestra dispersión múltiple de la luz incidente con una longitud grande de difusión de la luz en comparación con el menor tamaño de la característica del patrón espacial mostrado como imagen sobre el objeto. Un diente humano es un ejemplo de tal objeto. El oído y el canal auditivo humanos son otros ejemplos. En caso de escaneo intra-oral, el escaneo se debería proporcionar preferiblemente sin rociar y/o secar los dientes para reducir las reflexiones especulares y la penetración de la luz. Se puede conseguir un mejor contraste espacial mostrando como imagen preferentemente la reflexión especular de la superficie del objeto sobre la cámara. De este modo, una realización de la invención comprende un medio para mostrar como imagen preferencial / selectivamente la luz reflejada especular y/o la luz reflejada de manera difusa. Esto se puede proporcionar si el escáner comprende además un medio para polarizar la luz de sondeo, por ejemplo, por medio de al menos un divisor de haz polarizador. Un divisor de haz polarizador puede, por ejemplo, ser proporcionado formando una imagen del objeto en la cámara. Esto se puede utilizar para extinguir las reflexiones especulares, porque si la luz incidente está polarizada linealmente, una reflexión especular del objeto tiene la propiedad de que preserva su estado de polarización.

20 El escáner de acuerdo con la invención puede comprender además medios para cambiar el estado de la polarización de la luz de sondeo y/o la luz reflejada desde el objeto. Esto se puede proporcionar por medio de una placa de retardo, situada preferiblemente en la trayectoria óptica. En una realización de la invención, la placa de retardo es una placa de retardo de cuarto de onda. Una luz polarizada linealmente se transforma en una onda de luz polarizada circularmente tras el paso de una placa de cuarto de onda con una orientación de 45 grados de su eje rápido con respecto a la dirección de polarización lineal. Esto se puede utilizar para mejorar las reflexiones especulares, debido a que una reflexión especular desde los objetos tiene la propiedad de que invierte el giro de la hélice de una onda luminosa polarizada circularmente, mientras que la luz que se refleja por parte de uno o más eventos de dispersión se despolarizada.

30 *El campo de visión (longitud de escaneo)*

En un ejemplo, la luz de sondeo se transmite hacia el objeto en una dirección substancialmente paralela al eje óptico. No obstante, para la cabeza de escaneo que se va a introducir en un espacio pequeño tal como la cavidad oral de un paciente es necesario que la punta de la cabeza del escáner sea suficientemente pequeña. Al mismo tiempo, la luz que sale de la cabeza de escaneo necesita salir de la cabeza de escaneo en una dirección diferente del eje óptico. De este modo, otra realización de la invención comprende un medio para dirigir la luz de sondeo y/o mostrar la imagen de un objeto en una dirección diferente del eje óptico. Esto se puede proporcionar por medio de al menos un elemento de desvío, situado preferiblemente a lo largo del eje óptico, para dirigir la luz de sondeo y/o mostrar como imagen un objeto en una dirección diferente del eje óptico. El elemento de desvío podría ser un elemento que refleje la luz tal como un espejo o un prisma. En una realización de la invención, se utiliza un espejo a 45 grados como óptica de desvío para dirigir la trayectoria de la luz sobre el objeto. Por ello, la luz de sondeo es guiada en una dirección perpendicular al eje óptico. En esta realización la altura de la punta del escáner es al menos tan larga como la longitud del escáner y preferiblemente de aproximadamente el mismo tamaño.

45 Un ejemplo comprende al menos dos fuentes de luz, tales como fuentes de luz con diferentes longitudes de onda y/o diferente polarización. Preferiblemente también, medios de control para controlar las citadas al menos dos fuentes de luz. Preferiblemente esta realización comprende medios para combinar y/o mezclar la luz de las citadas al menos dos fuentes de luz. Preferiblemente también medios para separar la luz de las citadas al menos dos fuentes de luz. Si se utilizan fuentes de luz de guía de ondas, pueden ser mezcladas por las guías de ondas. No obstante, se pueden proporcionar uno o más difusores para mezclar las fuentes de luz.

50 La separación y/o mezcla se puede proporcionar mediante al menos un dispositivo óptico que es parcialmente transmisor de la luz y parcialmente refleja la luz, estando el citado dispositivo óptico preferiblemente a lo largo del eje óptico, un dispositivo óptico tal como un espejo recubierto o una placa recubierta. Una realización comprende al menos dos de los citados dispositivos ópticos, estando los citados dispositivos ópticos preferiblemente desplazados a lo largo del eje óptico. Preferiblemente, al menos uno de los citados dispositivos ópticos transmite la luz a ciertas longitudes de onda y/o polarizaciones y refleja la luz a otras longitudes de onda y/o polarizaciones.

55 Un ejemplo comprende al menos una fuente luminosa primera y una segunda, teniendo las citadas fuentes luminosas diferente longitud de onda y/o polarización, y en el que

un primer dispositivo óptico refleja la luz desde la citada primera fuente de luz en una dirección diferente del eje óptico y transmite la luz de la citada segunda fuente de luz en una dirección diferente del eje óptico. Preferiblemente,

los citados dispositivos ópticos primero y segundo reflejan la luz de sondeo en direcciones paralelas, preferiblemente una dirección perpendicular al eje óptico, mostrando como imagen con ello diferentes partes de la superficie del objeto. Las citadas diferentes partes de la superficie del objeto pueden estar al menos parcialmente superpuestas.

5 De este modo, por ejemplo, la luz de una primera y una segunda fuente emitiendo luz de diferentes longitudes de onda (y/o polarizaciones) se mezclan entre sí utilizando una placa revestida adecuadamente que transmite la luz de la primera fuente de luz y refleja la luz de la segunda fuente de luz. En la punta del escáner a lo largo del eje óptico, un primer dispositivo óptico (por ejemplo, una placa adecuadamente revestida, un filtro dicróico) refleja la luz de la primera fuente de luz sobre el objeto y transmite la luz de la segunda fuente de luz a un segundo dispositivo óptico (por ejemplo, un espejo) en el extremo de la punta del escáner, es decir, más abajo del eje óptico. Durante el escaneo, la posición de enfoque se mueve de tal manera que la luz de la primera fuente de luz se utiliza para proyectar una imagen del patrón hasta una posición por debajo del primer dispositivo óptico, mientras que la
10 segunda fuente de luz se desconecta. La superficie 3D del objeto en la región por debajo del primer dispositivo óptico se graba. A continuación, la primera fuente de luz se desconecta y la segunda fuente de luz se conecta y la posición de enfoque se mueve de tal manera que la luz de la segunda fuente de luz se utiliza para proyectar una
15 imagen del patrón a una posición por debajo del segundo dispositivo óptico. La superficie 3D del objeto en la región por debajo del segundo dispositivo óptico se graba. La región cubierta con la luz de las dos fuentes de luz respectivamente puede estar parcialmente superpuesta.

En otro ejemplo, la luz de sondeo se dirige en una dirección diferente del eje óptico por medio de un espejo de desvío curvo. Esta realización puede comprender uno o más elementos ópticos, tal como lentes, con superficies que
20 pueden ser esféricas para proporcionar una correcta imagen óptica.

Otro ejemplo comprende al menos una etapa de traslación para trasladar un espejo o espejos a lo largo del eje óptico. Esto permite una punta del escáner con una altura menor que la longitud de escaneo. Se puede conseguir una longitud de escaneo grande combinando varios escáneres con uno o varios espejos en diferentes posiciones a lo largo del eje óptico.

25 En otro ejemplo, la luz de sondeo se dirige en una dirección diferente del eje óptico por medio de al menos una malla que proporciona un aumento anamórfico, de tal manera que la imagen del patrón sobre el objeto que se está escaneando se alarga. La malla puede ser marcada. En este ejemplo la fuente de luz debe ser monocromática o semi-monocromática.

Las realizaciones anteriores adecuadas para aumentar la longitud de escaneo pueden comprender medios de control para proporcionar una coordinación de las fuentes de luz y del elemento de enfoque.
30

Escaneo en color

Una realización de la invención solo registra la topología (geometría) de la superficie del objeto que se está escaneando. No obstante, se está adaptando otro ejemplo para obtener el color de la superficie que se está escaneando, es decir, capaz de registrar el color de los elementos de la superficie individuales del objeto que se
35 está escaneando junto con la topología superficial del objeto que se está escaneando. Para obtener información de color, la fuente de luz debe ser blanca o comprender al menos tres fuentes de luz monocromáticas con colores distribuidos a través de la parte visible del espectro electromagnético.

Para proporcionar información de color la matriz de elementos sensores puede ser un sensor de imágenes en color. El sensor de imagen puede contener un esquema de filtro de color Bayer. No obstante, se pueden proporcionar otros tipos de sensor de imagen en color, tal como un sensor de imagen en color de tipo Foveon, en el que el sensor de imagen proporciona registro de color en cada elemento sensor.
40

Un ejemplo comprende medios de selección de un color de la luz de sondeo cada vez, es decir, cambiando selectivamente entre diferentes colores de la luz de sondeo, iluminando con ello el objeto con diferentes colores. Si se utiliza una fuente de luz blanca, entonces es necesario proporcionar alguna clase de filtrado en color.
45 Preferiblemente, comprendiendo una pluralidad de filtros de color, tal como filtros de color rojo, verde y azul, y medios para insertar los citados filtros de color separadamente delante de la fuente de luz blanca, seleccionado con ello un color de la luz de sondeo.

En un ejemplo los filtros de color están integrados en el medio de generación de patrón, es decir, el medio de generación de patrón comprende filtros de color, tal como partes translúcidas y/o transparentes que están
50 substancialmente coloreadas monocromáticamente. Por ejemplo, un elemento patrón tal como un volante de rotación con una máscara opaca y en el que las partes translúcidas / transparentes son filtros de color. Por ejemplo, un tercio del volante es rojo, un tercio es verde y un tercio es azul.

Es posible, asimismo, proporcionar luz de sondeo de diferentes colores mediante al menos tres fuentes de luz monocromáticas, tales como láseres o LED, teniendo las citadas fuentes de luz longitudes de onda distribuidas a través de la parte visible del espectro de longitudes de onda. Esto requerirá asimismo un medio para mezclar las citadas fuentes de luz. Por ejemplo, placas adecuadamente recubiertas. En el caso de fuentes de luz de guías de onda, la mezcla puede ser proporcionada por un elemento de guía de ondas.
55

Para manejar los diferentes colores de la luz de sondeo, el sistema óptico es preferiblemente substancialmente acromático.

Un ejemplo comprende un medio para cambiar entre al menos dos colores, preferiblemente tres colores, tal como rojo, verde y azul, de la luz de sondeo para una posición del plano de enfoque. Es decir, para una única posición del plano de enfoque es posible cambiar entre diferentes colores de la luz de sondeo. Por ejemplo, conectando y desconectando diferentes fuentes de luz monocromáticas (que tienen una sola fuente de luz conectada cada vez) o aplicando diferentes filtros de color. Además, se puede determinar la amplitud de la señal luminosa de cada uno de la pluralidad de elementos sensores para cada color, para cada posición del plano de enfoque. Es decir, para cada posición de enfoque, el color de la luz de sondeo se puede cambiar. El patrón variable en el tiempo incorporado proporciona una señal luminosa oscilante de un solo color, y la amplitud de la señal en cada elemento sensor se puede determinar para ese color. Cambiando al siguiente color, la amplitud se puede determinar de nuevo. Cuando la amplitud ha sido determinada para todos los colores, la posición de enfoque se cambia y el proceso se repite. El color de la superficie que se está escaneando se puede obtener entonces por combinación y/o ponderación de la información de color a partir de una pluralidad de elementos sensores. Por ejemplo, el color expresado como, por ejemplo, una coordenada de color RGB de cada elemento de la superficie puede ser reconstruido hasta la amplitud máxima. Esta técnica se puede aplicar asimismo cuando se proporciona un patrón estático en el que el color de al menos una parte del patrón es variable en el tiempo.

Para disminuir la cantidad de datos que se deben procesar, la resolución del color de las imágenes se puede elegir para que sea menor que la resolución espacial. La información del color se proporciona a continuación mediante interpolación de datos. De este modo, en una realización de la invención, la amplitud de la señal luminosa de cada uno de una pluralidad de elementos sensores se determina para cada color, para posiciones del plano de enfoque de color puro seleccionadas, y la amplitud de la señal luminosa de cada uno de una pluralidad de elementos sensores se determina para un color, para cada posición del plano de enfoque. A continuación, el color de la superficie que se está escaneando se puede obtener interpolando la información de color de las posiciones del plano de enfoque de color puro. De este modo, por ejemplo, la amplitud se registra para todos los colores en un intervalo de N posiciones de enfoque; mientras, se selecciona un color para la determinación de la amplitud en todas las posiciones de enfoque. N es un número que podría ser, por ejemplo, 3, 5 o 10. Esto resulta en una resolución de color que es menor que la resolución de la topología de la superficie. Esta técnica se puede aplicar también cuando se proporciona un patrón estático en el que el color de al menos una parte del patrón es variable en el tiempo.

Otro ejemplo no registra información de color puro y emplea solo dos fuentes de luz con diferentes colores. Un ejemplo de esto es un escáner dental que utiliza luz roja y azul para distinguir tejido duro (diente) de tejido blando (encía).

Escaneo de impresión

Un ejemplo de la invención está adaptado para escaneo de impresión, tal como el escaneo de impresiones dentales y/o impresiones del canal auditivo.

Escáner de cavidad pequeña

Aplicaciones específicas del escáner de acuerdo con la invención se refieren al escaneo de cavidades, en particular cavidades del cuerpo. El escaneo en cavidades puede hacer referencia al escaneo de objetos en la cavidad, tal como al escaneo de dientes en una boca. No obstante, el escaneo, por ejemplo, del oído hace referencia al escaneo de la superficie interior de la propia cavidad. En general, el escaneo de una cavidad, especialmente una cavidad pequeña, requiere cierta clase de sonda para el escáner. De este modo, en una realización de la invención el punto de emisión de la luz de sondeo y el punto de acumulación de luz reflejada se sitúa en una sonda, estando la citada sonda adaptada para ser introducida en una cavidad, tal como una cavidad del cuerpo.

En otra realización de la invención la sonda está adaptada para escanear al menos una parte de la superficie de una cavidad, tal como un canal auditivo. La capacidad de escanear al menos una parte de la parte externa del oído y/o el canal auditivo y crear un modelo virtual o real del oído, es esencial en el diseño de la ayuda a la audición adaptada (por ejemplo, una concha o molde auditivo).

Hoy en día, el escaneo de los oídos se realiza en un proceso de dos etapas en el que se toma primero una impresión del oído de silicona, y la impresión se escanea a continuación utilizando un escáner externo en una segunda etapa.

De este modo, una realización de la invención comprende

una carcasa que contiene la cámara, un medio de generación de patrón, un medio de variación del enfoque y un medio de procesamiento de datos, y

al menos una sonda que contiene un primer sistema óptico, preferiblemente una sonda substancialmente alargada.

Preferiblemente, el punto de emisión de la luz de sondeo y el punto de acumulación de la luz devuelta desde el objeto escaneado se sitúa en la citada sonda. El sistema óptico en la sonda es para la transmisión de la luz de sondeo desde la carcasa hacia el objeto, y también para transmitir y/o mostrar como imagen la luz devuelta desde el objeto de nuevo hacia la carcasa en la que está situada la cámara. De este modo, el sistema óptico en la sonda puede comprender un sistema de lentes. En una realización de la invención la sonda puede comprender al menos una fibra óptica y/o un grupo de fibras para transmitir / transportar / guiar la luz de sondeo y/o la luz devuelta desde la superficie del objeto. En este caso, la fibra o fibras ópticas pueden actuar como sistema óptico de repetición que meramente transporta luz (es decir, la luz de sondeo y la luz devuelta) en el interior de la sonda. En una realización de la invención, la sonda es endoscópica. La sonda puede ser rígida o flexible. La utilización de una fibra o fibras ópticas en la sonda puede proporcionar, por ejemplo, una sonda flexible con un diámetro pequeño.

En una realización de la invención, la luz se transmite al objeto y se muestra como imagen solo por medio del sistema óptico de la sonda, el primer sistema óptico. No obstante, en otro ejemplo, la carcasa puede comprender además un segundo sistema óptico.

En otro ejemplo, la sonda se puede separar de la carcasa.

Entonces, preferiblemente, un primer punto de emisión de luz de sondeo y un primer punto de acumulación de luz devuelta está situado en la sonda, y un segundo punto de emisión de luz de sondeo y un segundo punto de acumulación de luz devuelta está situado en la carcasa. Esto puede requerir sistemas ópticos tanto en la carcasa como en la sonda. De este modo, se puede obtener un escaneo con la sonda unida a la carcasa. No obstante, también se puede obtener un escaneo con la sonda separada de la carcasa, es decir, la carcasa puede ser un escáner autónomo en sí mismo. Por ejemplo, la sonda puede estar adaptada para ser insertada y escanear en el interior de una cavidad, mientras que la carcasa puede estar adaptada para escanear las superficies exteriores. La unión de la sonda puede incluir transferencia mecánica y/o eléctrica entre la carcasa y la sonda. Por ejemplo, unir la sonda puede proporcionar una señal eléctrica a la electrónica de control en la carcasa que señala la configuración actual del dispositivo.

En un ejemplo, la luz de sondeo se dirige hacia el objeto en una dirección substancialmente paralela con el eje óptico y/o el eje longitudinal de la sonda. En otro ejemplo la sonda comprende un elemento reflectante posterior, tal como un espejo, para dirigir la luz de sondeo en una dirección diferente del eje óptico, preferiblemente en una dirección perpendicular al eje óptico. Aplicando al ejemplo mencionado anteriormente con una carcasa de escáner autónomo con la sonda separada, la luz de sondeo puede salir de la carcasa en una dirección paralela al eje óptico del sistema óptico en la carcasa (es decir, el segundo sistema óptico), mientras que, con la sonda unida, la luz de sondeo se puede dirigir en una dirección diferente del eje óptico del sistema óptico de la sonda (es decir, el primer sistema óptico). Por ello la sonda está mejor adaptada para el escaneo de una cavidad.

Además, la sonda puede comprender un medio para rotar (girar sobre sí mismo el elemento reflectante, preferiblemente alrededor de un eje substancialmente paralelo con el eje óptico y/o el eje longitudinal de la sonda. Por ello, la sonda se puede adaptar para proporcionar un escaneo de 360° alrededor del eje óptico y/o el eje longitudinal de la sonda, preferiblemente sin rotación de la sonda y/o el escáner.

En otro ejemplo de la invención, una pluralidad de sondas se adapta a la carcasa. Por ello, diferentes sondas adaptadas a diferentes entornos, superficies, cavidades, etc, se pueden conectar a la carcasa para tener en cuenta diferentes situaciones de escaneo. Un ejemplo específico de esto es cuando el escáner comprende una primera sonda que está adaptada para escanear la parte interior de un oído humano y una segunda sonda que está adaptada para escanear la parte exterior del citado oído humano. En lugar de una segunda sonda, puede ser la propia carcasa, es decir, con la sonda separada, la que esté adaptada para escanear la parte exterior del citado oído humano. Es decir, la carcasa puede estar adaptada para realizar un escaneo superficial 3D. En otras palabras: la carcasa con la sonda unida puede estar adaptada para escanear la parte interior de un oído humano, estando la sonda separada adaptada para escanear la parte exterior del citado oído humano. Preferiblemente, se proporciona un medio para mezclar y/o combinar datos 3D para la parte interior y exterior del oído, proporcionando con ello un modelo 3D completo de un oído humano.

Para realizaciones manuales de esta invención, un diseño de tipo pistola es ergonómico porque el dispositivo descansa confortablemente en el interior de la mano del operador, descansando la mayor parte de la masa, en la parte superior de la mano y/o la muñeca. En tal diseño, resulta ventajoso poder orientar la parte posterior reflectante mencionada anteriormente en múltiples posiciones. Por ejemplo, podría ser posible rotar una sonda con el elemento reflectante posterior, con o sin la etapa de separarlo del cuerpo principal del dispositivo de escaneo. Las sondas separables se pueden poner también en un autoclave, que es una ventaja definitiva para los escáneres aplicados en los humanos, por ejemplo, como dispositivos médicos. Para las realizaciones de esta invención que realizan un elemento de enfoque que se mueve físicamente por medio de un motor, es ventajoso colocar este motor dentro de un brazo en forma de pistola.

Utilización de sensores de movimiento, gravedad y magnéticos

Las realizaciones manuales de la invención preferiblemente incluyen sensores de movimiento tales como acelerómetros y/o giroscopios. Preferiblemente, estos sensores de movimiento son pequeños como los sensores de movimiento de los sistemas micro electromecánicos (MEMS – MicroElectroMechanical Systems, en inglés). Los sensores de movimiento deberían medir preferiblemente todo el movimiento en 3D, es decir tanto translaciones como rotaciones para los tres ejes de coordenadas principales. Los beneficios son:

A) Los sensores de movimiento pueden detectar vibraciones y/o temblor. Los escaneos afectados de tal manera pueden ser descartados o corregidos mediante el uso de técnicas de estabilización de imagen.

B) Los sensores de movimiento pueden ayudar con la unión y/o el registro de escaneos parciales entre sí. Esta ventaja es relevante cuando el campo de visión del escáner es menor que el objeto que se debe escanear. En esta situación, el escáner se aplica a regiones pequeñas del objeto (una cada vez) que entonces se combinan para obtener el escaneo completo. En el caso ideal, los sensores de movimiento pueden proporcionar la necesaria transformación de movimiento rígido relativo entre las coordenadas locales de los escaneos parciales, porque miden la posición relativa del dispositivo de escaneo en cada escaneo parcial. Los sensores de movimiento con precisión limitada pueden proporcionar además una primera idea para una unión / registro basado en software de escaneos parciales sobre la base, por ejemplo, de la clase de algoritmos del Punto más cercano iterativo, que resulta en un tiempo de cálculo reducido.

C) Los sensores de movimiento se pueden utilizar (también) como control remoto para el software que acompaña a la invención. Tal software, por ejemplo, se puede utilizar para visualizar el escaneo obtenido. Con el dispositivo de escaneo que actúa ahora como control remoto, el usuario puede, por ejemplo, rotar y/o aumentar la vista (moviendo el control remoto de la misma manera que se debería “mover” el objeto en la pantalla del ordenador). Especialmente en aplicaciones clínicas, tal utilización dual del escáner manual es preferible, aparte de las consideraciones higiénicas, porque el operador evita la contaminación de los dispositivos de entrada operados manualmente (pantalla táctil, ratón, teclado, etc.).

Incluso, si es demasiado impreciso para detectar el movimiento de traslación, un acelerómetro de 3 ejes puede proporcionar la dirección de gravedad con respecto al dispositivo de escaneo. Asimismo, un magnetómetro puede proporcionar información de dirección relativa al dispositivo de escaneo, en este caso desde el campo magnético de la tierra. Por lo tanto, tales dispositivos pueden ayudar a unir / registrar y actuar como elemento de control remoto.

La presente invención se refiere a diferentes aspectos, que incluyen el dispositivo de escaneo descrito anteriormente y a continuación, y a métodos correspondientes, dispositivos, utilidades y/o medios de producto, conduciendo cada uno de ellos a uno o más de los beneficios y ventajas descritos en conexión con el primer aspecto mencionado, y teniendo cada uno una o más realizaciones correspondientes a las realizaciones descritas en conexión con el primer aspecto mencionado y/o descrito en las reivindicaciones adjuntas.

En particular, en esta memoria se describe un método para obtener y/o medir la geometría 3D de al menos una parte de la superficie de un objeto, comprendiendo el citado método las etapas de:

- generar una luz de sondeo que incorpora un patrón espacial,
- transmitir la luz de sondeo hacia el objeto a lo largo del eje óptico de un sistema óptico, iluminando con ello al menos una parte del objeto con el citado patrón,
- transmitir al menos una parte de la luz devuelta desde el objeto a la cámara.
- variar la posición del plano de enfoque del patrón sobre el objeto mientras mantiene una relación espacial fija del escáner y el objeto,
- obtener al menos una imagen de la citada matriz de elementos sensores,
- evaluar una medida de la correlación en cada posición del plano de enfoque entre al menos un pixel de la imagen y una función de ponderación, donde la función de ponderación está determinada sobre la base de la información de la configuración del patrón espacial;
- determinar mediante análisis de la medida de la correlación la posición o posiciones de enfoque de:
 - cada uno de la pluralidad de píxeles de imagen en la cámara para el citado rango de posiciones del plano de enfoque, o
 - cada uno de una pluralidad de grupos de píxeles de imagen en la cámara para el citado rango de planos de enfoque, y
- transformar los datos de enfoque en coordenadas mundo reales 3D.

Se describe también un programa informático que comprende medios de código para provocar el que un sistema de procesamiento de datos realice un método cuando los citados medios de código de programa son ejecutados en el sistema de procesamiento de datos.

5 Se describe también un programa informático, que comprende un medio legible por ordenador almacenado en el medio de código del programa.

Se describe un escáner para obtener y/o medir la geometría 3D de al menos una parte de la superficie de un objeto, comprendiendo el citado escáner:

- al menos una cámara que contiene una matriz de elementos sensores,

- un medio para generar una luz de sondeo,

10 - un medio para transmitir la luz de sondeo hacia el objeto, iluminando con ello al menos una parte del objeto,

- un medio para transmitir la luz devuelta del objeto a la cámara,

- un medio para variar la posición del plano de enfoque en el objeto,

- un medio para obtener al menos una imagen de la citada matriz de elementos sensores.

- un medio para:

15 a) determinar la posición o posiciones de enfoque de:

- cada uno de una pluralidad de elementos sensores para un rango de posiciones del plano de enfoque, o

- cada uno de una pluralidad de los grupos de elementos sensores para un rango de posiciones del plano de enfoque, y

b) transformar los datos enfocados en coordenadas mundo reales 3D;

20 en el que el escáner comprende además medios de contrapeso para equilibrar los medios para variar la posición del plano de enfoque.

Se describe también un método para la obtención y/o medida de la geometría 3D de al menos una parte de la superficie de un objeto, comprendiendo el citado método las etapas de:

- contener una matriz de elementos sensores,

25 - generar una luz de sondeo,

- transmitir la luz de sondeo hacia el objeto, iluminando con ello al menos una parte del objeto,

- transmitir la luz devuelta del objeto a la cámara.

- variar la posición del plano de enfoque del patrón sobre el objeto,

- obtener al menos una imagen de la citada matriz de elementos sensores,

30 - determinar la posición o posiciones de enfoque de:

- cada uno de la pluralidad de píxeles de imagen en la cámara para el citado rango de posiciones del plano de enfoque, o

- cada uno de una pluralidad de grupos de píxeles de imagen en la cámara para el citado rango de planos de enfoque, y

35 - transformar los datos de enfoque en coordenadas mundo reales 3D.

donde el método comprende además equilibrar los medios de contra equilibrado para variar la posición del plano de enfoque.

Otro aspecto de la invención se refiere a un escáner 3D manual con un brazo en un ángulo de más de 30 grados con respecto al eje óptico principal del escáner, para su utilización en el escaneo intra-oral o en el oído.

40 **Breve descripción de los dibujos**

Figura 1: Presentación esquemática de una primera realización de ejemplo del dispositivo de acuerdo con la invención.

Figura 2: Presentación esquemática de una segunda realización de ejemplo del dispositivo de acuerdo con la invención (correlación óptica).

Figura 3: Presentaciones esquemáticas de realizaciones de ejemplo de patrones de acuerdo con la invención.

5 Figura 4: Presentación esquemática de un primer ejemplo de una punta de escáner plana con longitud de escaneo grande, que utiliza una pluralidad de espejos (dicróicos) y fuentes de luz.

[Figura 5: --borrada--]

Figura 6: Presentación esquemática de un tercer ejemplo de una punta de escáner plana con una longitud de escaneo grande, que utiliza un espejo curvo.

10 Figura 7: Presentación esquemática de un cuarto ejemplo de una punta de escáner plana con una longitud de escaneo grande, que utiliza una malla de difracción.

Figura 8: Presentación esquemática de una realización de ejemplo de un escáner de lente de enfoque equilibrado en peso.

Figura 9: Presentación esquemática de un ejemplo de un dispositivo para el escaneo simultáneo de la forma y color de una superficie.

15 Figura 12: Presentación esquemática de una realización de ejemplo de un dispositivo para el escaneo de al menos una parte de la parte externa del oído humano y/o una parte del canal auditivo de un oído humano.

Figura 13 (a) y (b): Esquemas que muestran cómo se puede utilizar una realización del escáner tanto para escanear el oído externo como el interno, respectivamente.

20 Figura 14; Esquema de una realización de sonda de escáner utilizada para escanear una cavidad de cuerpo estrecha, tal como un oído humano.

Figura 15: Ejemplos de configuraciones de espejo para utilizar con una sonda de escáner.

Figura 16: Representación esquemática de los valores / valores ponderados de la señal de referencia por pixel para un patrón en damero en un sistema óptico idealizado.

Figura 17: Ilustración del proceso de generación de una señal de referencia mezclada, visualizada como imágenes.

25 Figura 18: Parte superior: imagen de ejemplo con patrón proyectado que muestra un diente humano. Parte inferior: la medida de la correlación para la serie de posiciones de la lente de enfoque en el grupo de píxeles en tramas en la parte superior de la figura.

Figura 19: Imagen de la medida de la correlación mezclada de ejemplo de una escena intra-oral.

Figura 20: Ejemplo de un escáner intra-oral manual con un brazo de tipo pistola y una punta extraíble.

30 Se debe entender que las trazas de rayos y las lentes representadas en las figuras son solo con el propósito de ilustración, y representan trayectorias ópticas generalmente en los sistemas explicados. Las trazas de los rayos y las formas de las lentes no se deben considerar como limitativos del alcance de la invención en ningún sentido que incluya magnitud, dirección o enfoque de rayos luminosos, o haces que pasan a través de varios componentes ópticos, no obstante, las variaciones en número, dirección, forma, posición o tamaño de los mismos, excepto si se indica expresamente en la descripción detallada siguiente de las realizaciones de ejemplo ilustradas en los dibujos.

35

Descripción detallada de los dibujos

Un escáner superficial 3D manual funcional debe tener preferiblemente las siguientes propiedades:

- 1) Telecentricidad en el espacio del objeto que se está escaneando,
- 2) posibilidad de desvío del plano de enfoque aun manteniendo la telecentricidad y el aumento
- 40 3) esquema de enfoque simple que implica configuración de los componentes ópticos solo en el brazo del dispositivo y no en la punta de la sonda, y
- 4) un tamaño total coherente con un dispositivo de escaneo manual.

45 La realización del escáner ilustrado en la figura 1 es un escáner manual con todos los componentes dentro de la carcasa (cabeza) 100. La cabeza del escáner comprende una punta que puede ser introducida en una cavidad, fuente de luz 110, cámara 120 para recoger la luz de la fuente de luz, medio de generación de patrón 130, un divisor de haz 140, un sensor de imagen y electrónica 180, un sistema de lentes que transmite y muestra como imagen la

luz entre el patrón, el objeto que se está escaneando, y el sensor de imagen (cámara) 180. La luz de la fuente de luz 110 se desplaza atrás y adelante a través del sistema óptico 150. Durante este paso, el sistema óptico muestra como imagen el patrón 130 sobre el objeto que se está escaneando 200 y además muestra como imagen el objeto que se está escaneando sobre el sensor de imagen 181. El sistema de lentes incluye un elemento de enfoque 151 que se puede ajustar para desviar el plano de toma de imágenes de enfoque del patrón en el objeto sondeado 200. Una manera de realizar el elemento de enfoque es mover físicamente un solo elemento de lente atrás y adelante a lo largo del eje óptico. El dispositivo puede incluir óptica de polarización 160. El dispositivo puede incluir óptica de desvío 170, que dirige la luz fuera del dispositivo en una dirección diferente al eje óptico del sistema de lentes, por ejemplo, en una dirección perpendicular al eje óptico del sistema de lentes. En conjunto, el sistema óptico proporciona una toma de imágenes del patrón sobre el objeto que se está sondeando y desde el objeto que se está sondeando hasta la cámara. Una aplicación del dispositivo podría ser para determinar la estructura 3D de dientes en la cavidad oral. Otra aplicación podría ser para determinar la forma 3D del canal auditivo y la parte externa del oído.

El eje óptico en la figura 1 es el eje definido por una línea recta a través de la fuente de luz 110, la óptica 120 y las lentes en el sistema óptico 150. Esto corresponde asimismo al eje longitudinal del escáner ilustrado en la figura 1. La trayectoria óptica es la trayectoria de la luz desde la fuente de luz 110 al objeto 220, y de nuevo hacia la cámara 180. La trayectoria óptica puede cambiar la dirección, por ejemplo, por medio del divisor de haz 140 y la óptica de desvío 170.

El elemento de enfoque se ajusta de tal manera que la imagen del patrón en el objeto escaneado se desvía a lo largo del eje óptico, preferiblemente en etapas iguales de un extremo al otro de la región escaneada. Cuando el patrón se varía en el tiempo de una manera periódica para una posición de enfoque fija, entonces las regiones enfocadas en el objeto mostrarán un patrón variable en el espacio. Las regiones fuera de enfoque mostrarán un contraste menor o nulo en la variación de la luz. La estructura superficial 3D del objeto sondeado se determina encontrando el plano correspondiente a un extremo en la medida de la correlación para cada sensor en la matriz de sensores de la cámara cuando graba la medida de la correlación para un rango de posiciones de enfoque diferentes 300. Preferiblemente se movería la posición de enfoque en etapas iguales de un extremo de la región de escaneo al otro.

Generación de patrón

Una realización del medio de generación de patrón se muestra en la figura 3a: Un volante transparente con una máscara opaca 133 en forma de radios que apuntan radialmente desde el centro del volante. En esta realización, el patrón es variable en el tiempo, girando el volante con un motor 131 conectado al volante con, por ejemplo, un eje motor 132. La posición del patrón en el tiempo puede quedar registrada durante la rotación. Esto se puede conseguir, por ejemplo, utilizando un codificador de posición en el borde del patrón 134, u obteniendo la posición del eje directamente del motor 131.

La figura 3b ilustra otra realización del medio de generación de patrón: Una fuente de luz 135 segmentada, preferiblemente LED segmentado. En esta realización, la superficie del LED se muestra como imagen sobre el objeto que se está investigando. Los segmentos 136 de LED individuales son conectados y desconectados de una manera que proporciona un patrón variable en el tiempo sobre el objeto. La electrónica de control 137 del patrón variable en el tiempo está conectada a la fuente de luz segmentada a través de cables eléctricos 138. El patrón se integra de este modo en la fuente de luz y no es necesaria una fuente de luz separada.

La figura 3c ilustra un patrón estático tal como el aplicado en una realización de la correlación espacial de esta invención. El patrón en damero mostrado se prefiere porque los cálculos para este patrón regular son más sencillos.

Correlación temporal

La figura 1 es también una ilustración de ejemplo de la correlación temporal en la que se forma en la cámara una imagen del patrón sobre y/o en el objeto. Cada elemento sensor de luz individual en la cámara ve una variación en el nivel de la señal correspondiente a la variación del patrón de iluminación sobre el objeto. La variación es periódica en la ilustración de ejemplo. La variación de luz para cada elemento sensor de luz individual tendrá un desfase constante con respecto a la posición del patrón.

La medida de la correlación se puede obtener grabando n imágenes en la cámara durante al menos un periodo de oscilación. n es un número entero mayor que uno. El registro de la posición del patrón para cada imagen individual combinado con los valores de desfase para cada elemento sensor y las imágenes grabadas permiten una extracción eficiente de la medida de la correlación en cada elemento sensor individual en la cámara utilizando la siguiente fórmula,

$$A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

Aquí, A_j es la medida de la correlación estimada del elemento sensor j , $I_{1,j}, \dots, I_{n,j}$ son las n señales grabadas del elemento sensor j , $f_{1,j}, \dots, f_{n,j}$ son los n valores de la señal de referencia obtenidos a partir del conocimiento de la configuración del patrón para cada grabación de imagen. f tiene dos índices i, j . La variación de f con el primer índice se obtiene a partir del conocimiento de la posición del patrón durante cada grabación de imagen. La variación de f con el segundo índice se obtiene a partir del conocimiento de la geometría del patrón, que se puede determinar antes del escaneo 3D.

La posición de enfoque correspondiente al patrón que está enfocado sobre el objeto para un solo sensor en la cámara vendrá dada por un extremo en la medida de la correlación grabada de ese sensor cuando la posición de enfoque se varía sobre un rango de valores, preferiblemente en etapas iguales de un extremo al otro de la región de escaneo.

Correlación espacial

En un ejemplo del esquema de la correlación espacial, una imagen del objeto con patrón en damero proyectada se graba con una resolución tan alta como lo permita el sensor de imagen. El esquema en la correlación espacial es entonces analizar los grupos de píxeles en la imagen grabada y extraer la medida de la correlación en el patrón. Un extremo en las medidas de la correlación obtenidas indica la posición de enfoque. Por sencillez, se puede utilizar un patrón en damero con un periodo correspondiente a $n = N \times N$ píxeles sobre el sensor y, a continuación, analizar la medida de la correlación en un periodo del patrón (en el caso general, el patrón no necesita ser cuadrático $N \times N$). En el caso mejor, será posible alinear el patrón de tal manera que los bordes del damero coincidan con los bordes del pixel, pero el principio de escaneo no se basa en esto. La figura 16 muestra esto para el caso $n = 4 \times 4 = 16$. Para un sensor con $W \times H = 1024 \times 512$ píxeles, esto correspondería a obtener 256×128 puntos de medida de la correlación de una imagen. La extracción de la medida de la correlación A_j dentro de un grupo de píxeles $N \times N$ con subíndice j viene dada por

$$A_j = \sum_{i=1}^n f_{i,j} I_{i,j}$$

donde $f_j = (f_{1,j}, \dots, f_{n,j})$ es el vector de la señal de referencia obtenido a partir del conocimiento de la configuración del patrón, y $I_j = (I_{1,j}, \dots, I_{n,j})$ es el vector de la señal de entrada.

Para suprimir cualquier parte de CC en la luz, se prefiere para todo j que

$$0 = \sum_{i=1}^n f_{i,j}$$

Para la situación representada en la figura 16, por ejemplo, $f_{ij} = -1$ para los píxeles correspondientes a las partes oscuras del patrón, y $f_{ij} = +1$ para el resto. Si el borde del patrón no estuviese alineado con los bordes de los píxeles, o si el sistema óptico no fuese perfecto (y por tanto en todas las aplicaciones prácticas), entonces f_{ij} asumiría valores entre -1 y $+1$, para alguna i . A continuación, se proporciona una descripción detallada de cómo determinar la función de referencia.

Correlación óptica

Un ejemplo de correlación óptica se muestra en la figura 2. En esta realización, se forma una imagen en la cámara 180 que es una superposición del patrón 130 con el objeto sondeado 200. En esta realización, el patrón es de una naturaleza transmisora, en el que la luz se transmite a través del patrón y la imagen del patrón se proyecta sobre el objeto y de nuevo hacia atrás. En particular, esto implica la retransmisión de la luz a través del patrón en la dirección opuesta. Entonces, se forma una imagen del patrón sobre la cámara con la ayuda de un divisor de haz 140. El resultado de esta disposición es que se forma una imagen en la cámara que es una superposición del propio patrón y el objeto que se está sondeando. Una manera diferente de expresar esto es que la imagen en la cámara sea substancialmente una multiplicación de una imagen del patrón proyectada sobre el objeto con el propio patrón.

La variación es periódica en la ilustración de ejemplo. La medida de la correlación entre la variación de la luz sobre el objeto y el patrón para una distancia de enfoque dada se puede obtener integrando en el tiempo la señal de la cámara sobre un gran número de periodos de oscilación, de tal manera que la sincronización exacta del tiempo de oscilación del patrón y el tiempo de integración de la cámara no es importante. Estando la posición de enfoque correspondiente al patrón enfocada sobre el objeto para un solo sensor en la cámara, vendrá dada por el valor máximo de la señal grabada de ese sensor cuando la posición de enfoque se varía en un rango de valores, preferiblemente en etapas iguales de un extremo al otro de la región de escaneo.

Encontrar la función de referencia predeterminada

A continuación, se describe el proceso para el cálculo de la señal de referencia f para una realización de la correlación espacial de esta invención, y se representa estilizada en la figura 17.

5 El proceso se inicia grabando una serie de imágenes del patrón en damero como proyectadas, por ejemplo, sobre una superficie plana, preferiblemente orientada ortogonalmente al eje óptico del escáner. Las imágenes se toman en diferentes posiciones del elemento de enfoque, cubriendo, en efecto, todo el rango de desplazamiento del citado elemento de enfoque. Preferiblemente, las imágenes se toman en ubicaciones equidistantes.

10 Dado que el plano de enfoque generalmente no es un plano geométrico, diferentes regiones de la superficie plana estarán enfocadas en diferentes imágenes. Ejemplos de tres de tales imágenes se muestran en las figuras 17a – 17c, en las que 1700 es una región enfocada. Se debe observar que, en esta figura estilizada, las transiciones entre regiones enfocadas y desenfocadas, respectivamente, están exageradas con el fin de demostrar el principio con mayor claridad. Asimismo, en general existirán muchas más imágenes que solo las tres utilizadas en este ejemplo simple.

15 Las regiones enfocadas dentro de una imagen son las de mayor varianza de intensidad (indicando máximo contraste) sobre todas las citadas series de imágenes. La región para calcular la varianza no necesita ser la misma que la dimensión del grupo de píxeles utilizado en la correlación espacial, pero debe ser lo suficientemente grande para contener las regiones tanto oscuras como claras del patrón, y debe ser la misma para todas las imágenes de la serie.

20 Finalmente, una “imagen mezclada” (figura 17d) se genera combinando todas las regiones enfocadas de la serie (17a – 17c). Se debe observar que, en las aplicaciones reales, la imagen mezclada generalmente no es un damero perfecto de blanco y negro, sino que más bien incluye valores de gris intermedios provocados por un sistema óptico imperfecto, y un damero no está perfectamente alineado con los sensores de la cámara. Un ejemplo de parte de una imagen mezclada real se muestra en la figura 17e.

25 Las intensidades de los píxeles dentro de esta imagen se pueden interpretar como una “imagen ponderada” con las mismas dimensiones que la imagen original del patrón. En otras palabras, los valores de pixel se pueden interpretar como la señal de referencia, y el conjunto I de vectores de referencia de valores ponderados $f_j = (f_{1,j} \dots f_{n,j})$ para los n píxeles en el grupo de píxeles con índice j se puede encontrar a partir de los valores de pixel.

30 Por conveniencia en la implementación de los cálculos, especialmente cuando se lleva a cabo en una FPGA, la imagen mezclada puede ser subdividida en grupos de píxeles. La parte de CC de la señal se puede entonces eliminar restando el medio de intensidad dentro del grupo para cada valor de intensidad de pixel. Además, se puede entonces normalizar dividiendo por la desviación estándar dentro del grupo. Los valores de ponderación así procesados son una descripción alternativa de la señal de referencia.

35 Dado que la naturaleza periódica de la “imagen mezclada” y, por consiguiente, la “imagen ponderada,” esta última se puede comprimir de manera eficiente, minimizando con ello las necesidades de memoria en la electrónica que puede implementar el algoritmo descrito aquí. Por ejemplo, el algoritmo PNG se puede utilizar para compresión.

La “imagen de correlación”

Una imagen de “correlación” se genera sobre la base de la “imagen mezclada” y el conjunto de imágenes grabadas con la cámara durante el escaneo. Para la correlación espacial basada en un patrón en damero de $N \times N$, se debe recordar que la medida de la correlación dentro del grupo es

40
$$A_j = \sum_{i=1}^{N \times N} f_{i,j} I_{i,j},$$

45 donde $f_j = (f_{1,j} \dots f_{n,j})$ son valores de la imagen mezclada, e $I_j = (I_{1,j} \dots I_{n,j})$ son valores de una imagen grabada en la cámara. Los agrupamientos de píxeles utilizados en cualquier eliminación de CC y posiblemente normalización que condujeron a la imagen mezclada son los mismos que en el cálculo anterior. Para cada imagen grabada por el escáner durante un barrido del elemento de enfoque existirá, por consiguiente, una matriz de $(H/N) \times (W/N)$ valores de A . Esta matriz se puede visualizar como imagen.

50 La figura 18 (sección superior) muestra una imagen de medida de la correlación de ejemplo, aquí de parte de un diente humano y su borde. Un grupo de píxeles de 6×6 píxeles se marca mediante un cuadro 1801. Para este grupo de píxeles de ejemplo, la serie de medidas de la correlación A sobre todas las imágenes dentro de un barrido del elemento de enfoque se muestra en el cuadro en la sección inferior de la figura 18 (pelos cruzados). El eje x del cuadro está en la posición del elemento de enfoque, mientras que el eje y muestra la magnitud de A . Ejecutar un filtro Gaussiano simple sobre la serie sin procesar, resulta en una serie continua (línea continua). En la figura, el elemento de enfoque está en la posición que proporciona un enfoque óptimo para el grupo de píxeles de ejemplo. Este hecho es visible subjetivamente en la imagen, pero también se determina cuantitativamente como el máximo de

la serie de A. La línea vertical 1802 en la sección inferior de la figura 18 indica la ubicación del extremo global y, de este modo, de la posición de enfoque. Se debe observar que, en este ejemplo, la ubicación de los máximos en las series diferenciables y las sin procesar, respectivamente, son visualmente indistinguibles. En principio, no obstante, es posible y también ventajoso encontrar la ubicación del máximo de la serie suavizada, dado que aquél puede encontrarse entre dos posiciones de lentes, y proporcionar de este modo una mayor precisión.

La matriz de valores de A se puede calcular para cada imagen grabada en un barrido del elemento de enfoque. Combinando los extremos globales (sobre todas las imágenes) de A en todos los grupos de la misma manera que se combinó la imagen mezclada, se puede obtener una pseudo-imagen de dimensión $(H/N) \times (W/N)$. Esto se puede denominar "imagen de correlación mezclada". Un ejemplo de una imagen de correlación mezclada de algunos dientes y encía se muestra en la figura 19. Tal como se puede ver, resulta útil con fines de visualización.

Aumentar el campo de visión

Para que la cabeza de escaneo se introduzca en un espacio pequeño tal como la cavidad oral de un paciente, es necesario que la punta de la cabeza del escáner sea suficientemente pequeña. Al mismo tiempo, la luz fuera de la cabeza de escaneo debe salir de la cabeza del escáner en una dirección diferente del eje óptico, por ejemplo, en una dirección perpendicular al eje óptico. En una realización de la invención, se utiliza un espejo situado a 45 grados, dado que la óptica de desvío 170 dirige la trayectoria de la luz sobre el objeto. En esta realización, la altura de la punta del escáner debe ser al menos tan grande como la longitud del escáner.

En la figura 4 se muestra otro ejemplo. Este ejemplo permite una punta de escáner con una altura menor (denotada por b en la figura) que la longitud del escáner (denotada por s en la figura). La luz de dos fuentes 110 y 111 que emiten luz de diferentes colores / longitudes de onda se mezcla utilizando una placa adecuadamente revestida (por ejemplo, un filtro dicróico) 112 que transmite la luz desde 110 y refleja la luz desde 111. En la punta de escáner, una placa revestida adecuadamente (por ejemplo, un filtro dicróico) 171 refleja la luz de una fuente sobre el objeto y transmite la luz de la otra fuente a un espejo al final de la punta del escáner 172. Durante el escaneo, la posición de enfoque se mueve de tal manera que la luz de 110 se utiliza para proyectar una imagen del patrón a una posición inferior 171, mientras que 111 se desconecta. La superficie 3D del objeto en la región inferior 171 se graba. A continuación, 110 se desconecta y 111 se conecta, y la posición de enfoque se mueve de tal manera que la luz de 111 se utiliza para proyectar una imagen del patrón a una posición inferior 172. La superficie 3D del objeto en la región inferior 172 se graba. Las regiones cubiertas con la luz procedente de 110 y 111 respectivamente pueden estar parcialmente superpuestas.

Otro ejemplo que permite una punta de escáner con una altura menor (denotada por b en la figura) que la longitud del escáner (denotada por a en la figura) se muestra en la figura 6. En este ejemplo, la óptica de desvío 170 comprende un espejo de desvío curvo 173 que puede estar suplementado con uno o dos elementos de lente 175 y 176 con superficies que pueden ser específicas para proporcionar una correcta toma de la imagen óptica.

Otro ejemplo que permite una punta de escáner con una altura menor (denotada por b en la figura) que la longitud del escáner (denotada por a en la figura), se muestra en la figura 7. En este ejemplo, la óptica de desvío 170 comprende una malla 177 que proporciona aumento anamórfico de tal manera que la imagen del patrón sobre el objeto que se está escaneando se estira. La malla puede ser marcada. La fuente de luz 110 debe ser monocromática o semi-monocromática en esta realización.

Conseguir un alto contraste espacial del patrón proyectado sobre objetos difíciles

Es necesario un alto contraste espacial en la imagen del patrón enfocada sobre el objeto para obtener una alta medida de la correlación sobre la base de las imágenes de la cámara. Esto, a su vez, es necesario para obtener una buena estimación de la posición de enfoque correspondiente a la posición en un extremo de la medida de la correlación. Esta condición necesaria para un correcto escaneo se consigue fácilmente en objetos con una superficie difusa y penetración de luz despreciable. Para algunos objetos, sin embargo, es difícil conseguir un alto contraste espacial, o más generalmente, una variación.

Una clase difícil de objeto, por ejemplo, es un objeto que muestra múltiple dispersión con una longitud de difusión de luz grande en comparación con el menor tamaño de la característica del patrón espacial mostrado como imagen sobre el objeto. Un diente humano es un ejemplo de tal objeto. El oído humano y el canal auditivo son otros ejemplos. Una mejor variación espacial en tales objetos se puede conseguir mostrando como imagen preferencialmente el reflejo sobre la superficie especular del objeto sobre la cámara. Una realización de la invención aplica la ingeniería de polarización mostrada en la figura 1. En esta realización el divisor de haz 140 es un divisor de haz polarizador que transmite respectivamente reflejos de dos estados de polarización ortogonales, por ejemplo, estados de polarización -S y -P. La luz transmitida a través del sistema de lentes 150 es, de este modo, de un estado de polarización específico. Antes de salir del dispositivo, el estado de polarización se cambia con una placa de retardo 160. Un tipo preferido de placa de retardo es una placa de retardo de cuarto de onda. Una onda luminosa polarizada linealmente se transforma en una onda luminosa polarizada circularmente tras el paso de una placa de cuarto de onda con una orientación de 45 grados con respecto a su eje rápido a la dirección de polarización lineal. Una reflexión especular desde el objeto tiene la propiedad de que invierte el giro de la hélice de una onda luminosa

polarizada circularmente. Tras el paso de la placa de retardo de cuarto de vuelta por parte de la luz reflejada especularmente, el estado de polarización se convierte en ortogonal al estado incidente sobre el objeto. Por ejemplo, un estado de polarización-S que se propaga en dirección descendente hacia el objeto será devuelto al estado de polarización-P. Esto implica que la onda luminosa reflejada especularmente se dirigirá hacia el sensor de imagen 181 en el divisor de haz 140. La luz entra en el objeto y es reflejada por uno o más eventos de dispersión se convierte en polarizada y la mitad de esta luz se dirigirá hacia el sensor de imagen 181 mediante el divisor de haz 140.

Otra clase de objeto difícil es un objeto con una superficie brillante o de aspecto metálico. Esto es particularmente cierto para un objeto pulido o un objeto con una superficie muy lisa. Una pieza de joyería es un ejemplo de tal objeto. Incluso objetos muy lisos y brillantes, no obstante, muestran una cantidad de reflexión difusa. Se puede conseguir un mejor contraste espacial en tales objetos mostrando como imagen preferencialmente el reflejo de la superficie difusa del objeto en la cámara. En esta realización, el divisor de haz 140 es un divisor de haz de polarización que transmite respectivamente reflejos de dos estados de polarización ortogonal, por ejemplo, estados de polarización -S y -P. La luz transmitida a través del sistema de lentes 150 es de este modo de un estado de polarización específico. Una reflexión difusa desde el objeto tiene la propiedad de que pierde su polarización. Esto implica que la mitad de la onda de luz reflejada difusamente se dirigirá hacia el sensor de imagen 181 en el divisor de haz 140. La luz que entra en el objeto y es reflejada por la polarización especular preserva su estado de polarización y, de este modo, nada de ella será dirigida hacia el sensor de imagen 181 por el divisor de haz 140.

Reducir el temblor provocado por el elemento de enfoque

Durante el escaneo, la posición de enfoque se cambia sobre un rango de valores, preferiblemente proporcionados por un elemento de enfoque 151 en el sistema óptico 150. La figura 8 ilustra un ejemplo de cómo reducir el temblor provocado por el elemento de enfoque oscilante. El elemento de enfoque es un elemento de lente 152 que está montado en una etapa de traslación 153 y trasladado atrás y adelante a lo largo del eje óptico del citado sistema óptico con un dispositivo mecánico 154 que incluye un motor 155. Durante el escaneo, el centro de gravedad del dispositivo manual se desvía debido al movimiento físico del elemento de lente y al brazo. Esto resulta en un temblor no deseado del dispositivo manual durante el escaneo. La situación se agrava si el escaneo es rápido, por ejemplo, un tiempo de escaneo de menos de un segundo. En una implementación de la invención, el desvío del centro de gravedad se elimina moviendo un contrapeso 156 en una dirección opuesta al elemento de lente, de tal manera que el centro de gravedad del dispositivo manual permanece fijo. En la implementación preferida, la lente de enfoque y el contrapeso están conectados mecánicamente y su movimiento opuesto es accionado por el mismo motor.

Medida del color

En la figura 9, se muestra un ejemplo de un escáner 3D en color. Tres fuentes de luz 110, 111 y 113 emiten luz roja, verde y azul. Las fuentes de luz son quizás LED o láseres. La luz se mezcla para superponerse o esencialmente superponerse. Esto se puede conseguir por medio de dos placas revestidas apropiadamente 112 y 114. La placa 112 transmite la luz de 110 y refleja la luz de 111. La placa 114 transmite la luz de 110 y 111 y refleja la luz de 113. La medida de color se realiza como sigue: Para una posición de enfoque dada, la amplitud del patrón variable en el tiempo proyectada sobre el objeto sondeado se determina para cada elemento sensor en el sensor 181 mediante uno de los métodos mencionados anteriormente para cada una de las fuentes de luz de manera individual. En la realización preferida, solo se conecta una fuente de luz cada vez, y las fuentes de luz se conectan tras su turno. En este ejemplo, el sistema óptico 150 puede ser acromático. Tras determinar la amplitud para cada fuente de luz, la posición de enfoque se desvía a la siguiente posición y el proceso se repite. El color expresado como, por ejemplo, una coordenada de color RGB de cada elemento superficial se puede reconstruir mediante una ponderación apropiada de la señal de amplitud para cada color correspondiente a la amplitud máxima.

Un ejemplo específico registra la amplitud para todos los colores en el intervalo de P posiciones de enfoque; mientras que se selecciona un color para la determinación de la amplitud en todas las posiciones de enfoque. P es un número que podría ser por ejemplo 3, 5 o 10. Esto resulta en una resolución de color que es menor que la resolución de la topología de la superficie. El color de cada elemento superficial del objeto sondeado se determina mediante interpolación entre las posiciones de enfoque en las que se obtiene una información completa del color. Esto está en analogía con el esquema de color Bayer utilizado en muchas cámaras digitales de color. En este esquema, la resolución del color es asimismo menor que la resolución espacial y la información de color que es necesario interpolar.

Un ejemplo más simple del escáner de color 3D no registra una información completa del color, y emplea solo dos fuentes de luz con diferentes colores. Un ejemplo de esto es un escáner dental que utiliza luz roja y azul para distinguir tejido duro (diente) de tejido blando (encía).

Realización de escáner de oído

Las figuras 12 – 15 ilustran esquemáticamente una realización de un escáner basado en la iluminación con luz estructurada variable en el tiempo para dirigir el escaneo de oídos humanos, escaneando tanto la parte exterior (exterior) como la interior (interior) de un oído humano mediante la utilización de un brazo exterior de escáner común

y una sonda separable. Esta realización resulta ventajosa puesto que permite un escáner no intrusivo utilizando una sonda diseñada para ser insertada en cavidades pequeñas, tales como un oído humano. Esto se realiza situando las partes voluminosas y esenciales del escáner, tales como la cámara del escáner, la fuente de luz, la electrónica y la óptica de enfoque fuera de la parte estrechamente confinada del canal auditivo.

5 La capacidad de escanear la parte exterior e interior de los oídos humanos y de realizar un modelo virtual o real del oído es esencial en el diseño de una ayuda a la audición adaptada al usuario moderna (por ejemplo, una concha o molde de audición). Hoy en día, el escaneo de los oídos se realiza en un proceso de dos etapas, en el que primero se toma la impresión con silicona del oído y, a continuación, la impresión se escanea utilizando un escáner externo en una segunda etapa. El proceso de realizar la impresión adolece de varios inconvenientes que se describirán enseguida en lo que sigue. Un inconveniente importante procede de las frecuentes impresiones de baja calidad tomadas por profesionales clínicos cualificados debido a la separación y técnicas necesarias. Pueden aparecer imprecisiones dado que se sabe que el material de la impresión se expande durante el endurecimiento y que la deformación y creación de fracturas en la impresión a menudo se crean cuando se quita la impresión del oído. Otro inconveniente se refiere a los riesgos para la salud implicados cuando se realiza la impresión, debido a irritación y a respuestas alérgicas, daño en la membrana del tímpano e infecciones. Finalmente, el proceso de impresión es una experiencia desagradable para muchos pacientes, especialmente para los niños pequeños, que a menudo necesitan impresiones tomadas a intervalos regulares (por ejemplo, cada cuatro meses) para adaptar las dimensiones variables al canal del oído. En resumen, estos inconvenientes se pueden superar si es posible escanear el oído externo y el interno de una manera no intrusiva, y obtener un registro entre las superficies interior y exterior del oído.

20 Lo que sigue no está restringido, sino que se puede utilizar para escanear cualquier cavidad pequeña del cuerpo. La figura 12 es un esquema de una realización de tal escáner. El escáner consiste en dos partes principales – un exterior de escáner 1001 y una sonda de escáner 1002. El exterior del escáner se puede utilizar sin la sonda para obtener un campo de visión mayor, necesario, por ejemplo, para escanear la parte exterior del oído 1102, o la primera parte del canal auditivo hasta la primera curva. El gran campo de visión del exterior del escáner es importante para obtener un buen registro entre sub-escaneos individuales y una alta precisión global. Uniendo una sonda de escáner 1202 con el exterior del escáner 1201, el escáner combinado permite el escaneo de superficies de cavidad pequeñas y curvas, tales como la parte interior de un oído 1203. De esta manera, y utilizando el mismo sistema, el exterior y la sonda combinados pueden ambos escanear áreas externas más grandes junto con áreas internas más pequeñas. En la figura 12, la parte exterior de la realización del escáner 1001 consiste en una fuente de luz divergente 1003 (láser, LED, de tungsteno u otro tipo) que se colima utilizando óptica de colimación 1004. La luz colimada se utiliza para iluminar un objeto transparente 1005 (por ejemplo, vidrio) con un patrón opaco, por ejemplo, franjas del mismo. El patrón se muestra a continuación como imagen sobre el objeto que se va a escanear utilizando un sistema óptico adecuado. El patrón se observa utilizando un sistema óptico similar y una cámara 1006, en el que esta última se sitúa fuera de la cavidad. La información 3D se obtiene a partir de imágenes 2D, observando la oscilación luminosa creada por el movimiento del patrón a través del objeto escaneado, contenida en la amplitud del pixel individual.

Para facilitar el movimiento del patrón, el patrón de franjas 1005 está girando en una realización. En otra realización, el patrón de franjas está situado en una placa de traslación que se mueve en un plano perpendicular al eje óptico con una cierta frecuencia de oscilación. La luz hacia y desde el objeto en escaneo se proyecta a través de una disposición de divisor de haz 1007, que consiste en un cubo prismático en un ejemplo, y en otro ejemplo consiste en una placa o membrana inclinada. El divisor de haz sirve para transmitir la luz de la fuente hacia abajo del sistema, mientras que al mismo tiempo guía la luz reflejada desde el objeto en escaneo de nuevo hacia la cámara, que está situada en un eje perpendicular al eje de la fuente de luz y el divisor de haz.

45 Para mover el plano de enfoque, el exterior del escáner incluye óptica de enfoque, que en una realización consiste en una única lente movable 1008. El propósito de la óptica de enfoque es facilitar el movimiento del plano de enfoque para todo el sistema de toma de imágenes en el rango de escaneo necesario y a lo largo del eje óptico. En una realización, la óptica de enfoque del exterior del escáner 1101 incluye un objetivo que puede enfocar la luz directamente, sin utilizar ninguna óptica adicional, tal como se muestra en la figura 13a. En otro ejemplo, el exterior del escáner se proporciona con un objetivo de ángulo ancho diseñado con un gran campo de visión, por ejemplo, suficientemente grande para escanear la parte exterior de un oído humano 1102.

55 La parte óptica de la sonda del escáner consiste en un sistema de repetición óptica endoscópica 1009 seguido por un objetivo de sonda 1010, teniendo los dos un diámetro suficientemente pequeño para caber en el canal de un oído humano. Estos sistemas ópticos pueden consistir tanto una pluralidad de fibras ópticas como de lentes, y sirven para transportar y enfocar la luz desde el exterior del escáner sobre el objeto en escaneo 1014 (por ejemplo, la superficie interior de un oído), así como para colimar y transportar la luz reflejada del objeto escaneado de nuevo al exterior del escáner. En una realización, el objetivo de la sonda proporciona proyección telecéntrica del patrón de franjas sobre el objeto en escaneo. La proyección telecéntrica puede facilitar significativamente el mapeo de los datos de imágenes 2D obtenidas a imágenes 3D. En otro ejemplo, los rayos directores (rayo central de cada haz de rayos) del objetivo de la sonda son divergentes (no telecéntricos) para proporcionar a la cámara un ángulo de visión mayor que cero, tal como se muestra en la figura 13a.

La posición del plano de enfoque se controla mediante la óptica de enfoque 1008 y se puede mover en un rango lo suficientemente grande para coincidir al menos con la superficie en escaneo 1014. Un único sub-escaneo se obtiene recogiendo varias imágenes 2D en diferentes posiciones del plano de enfoque y en diferentes posiciones del patrón de franjas, tal como se ha descrito previamente. Dado que el plano de enfoque coincide con la superficie en escaneo en una sola posición de pixel, el patrón de franjas se proyectará sobre el punto de la superficie enfocada y con mayor contraste, dando lugar por ello a una gran variación, o amplitud, del valor del pixel en el tiempo. Para cada pixel es, de este modo, posible, identificar los ajustes individuales de la óptica de enfoque para los cuales cada pixel estará enfocado. Utilizando el conocimiento del sistema óptico, es posible transformar la información de contraste en función de la posición del plano de enfoque en la información de la superficie 3D, para cada pixel individual.

En un ejemplo, una disposición de espejos 1011, que consiste en un solo espejo o prisma reflectante, o en una disposición de espejos, están situados tras el objetivo de la sonda 1010. Esta disposición sirve para reflejar los rayos hacia una dirección de visualización diferente de la del eje de la sonda. Diferentes disposiciones de espejos de ejemplo se encuentran en las figuras 15a – 15d. En una realización particular el ángulo entre la normal del espejo y el eje óptico es de aproximadamente 45 grados, proporcionando de este modo una visión de 90 grados con respecto al eje de la sonda – una disposición ideal para mirar esquinas redondas. Se posiciona una ventana transparente 1012 adyacente al espejo y como parte de la carcasa / concha de la sonda, para permitir que la luz pase entre la sonda y el objeto en escaneo, aun manteniendo la óptica limpia de partículas de suciedad exteriores.

Para reducir el movimiento de la sonda requerido por un operador de escáner, la disposición de espejos puede girar utilizando un motor 1013. En un ejemplo, la disposición de espejos gira con velocidad constante. Mediante la rotación completa de un solo espejo, es así posible realizar un escaneo con una cobertura de 360 grados alrededor del eje de la sonda sin mover físicamente la sonda. En este caso, la ventana 1012 de la sonda necesita rodear / moverse todo alrededor de la sonda para permitir la visualización desde todos los ángulos. En otro ejemplo, el espejo gira con una cierta frecuencia de oscilación de rotación. En otro ejemplo más, la inclinación de la disposición de espejos con respecto al eje de la sonda varía con una cierta frecuencia de oscilación.

Un ejemplo particular utiliza un espejo doble en lugar de un solo espejo (figuras 15b y 15d). En un caso especial, las normales de los dos espejos forman entre sí un ángulo de aproximadamente 90 grados. La utilización de un espejo doble ayuda al registro de los sub-escaneos individuales, dado que la información de dos superficies opuestas de esta manera se obtiene al mismo tiempo. Otro beneficio de utilizar un espejo doble es que solo es necesaria una rotación del espejo de 180 grados para escanear 360 grados completos. Una solución de escáner que emplea espejos dobles puede, por lo tanto, proporcionar una cobertura de 360 grados en menos tiempo que las configuraciones de un solo espejo.

Brazo “de tipo pistola”

La figura 20 muestra un ejemplo de un escáner con un brazo de tipo pistola 2001. Esta forma es particularmente ergonómica. El escáner de la figura 20 está diseñado para escaneo de dientes intra-oral. La punta 2002 se puede separar del cuerpo principal del escáner y se puede introducir en un autoclave. Además, la punta puede tener dos posiciones con respecto al cuerpo principal del escáner, a saber, mirando hacia abajo (como en la figura 20) y mirando hacia arriba. Por lo tanto, escanear la boca superior y la inferior de un paciente es igual de cómodo para el operador. Se debe observar que el escáner mostrado en la figura 20 es un primer prototipo con varios cables conectados solo con fines de pruebas.

Aunque algunas realizaciones se han descrito y mostrado en detalle, la invención no está restringida a las mismas, sino que se puede realizar asimismo de otras maneras dentro del alcance del tema central definido en las reivindicaciones siguientes. En particular, se debe entender que se pueden utilizar otras realizaciones y se pueden realizar modificaciones estructurales y funcionales sin separarse del alcance de la presente invención, tal como se define en las reivindicaciones. En las reivindicaciones del dispositivo que enumeran varios medios, varios de estos medios se pueden realizar mediante un mismo elemento de hardware. El mero hecho de que ciertas medidas están citadas en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí o descritas en diferentes realizaciones no indica que no se pueda utilizar ventajosamente una combinación de estas medidas.

Cabe subrayar que el término “que comprende / que comprenden”, cuando se utiliza en esta memoria, se toma para especificar la presencia de características, enteros, etapas o componentes establecidos, pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, enteros, etapas, componentes o grupos distintos de los mismos.

Las características del método descrito anteriormente y en lo que sigue se pueden implementar en software y llevar a cabo en un sistema de procesamiento de datos u otros medios de procesamiento provocados por la ejecución de instrucciones ejecutables mediante un ordenador. Las instrucciones pueden ser un medio de código de programa cargado en una memoria, tal como una RAM, desde un medio de almacenamiento o desde otro ordenador, a través de una red informática. De manera alternativa, las características descritas se pueden implementar mediante circuitos de hardware en lugar de software o en combinación con software.

REIVINDICACIONES

1. Un escáner para la obtención y/o la medida de la geometría 3D de al menos una parte de la superficie de un objeto, comprendiendo el citado escáner:
- al menos una cámara (180) que contiene una matriz de elementos sensores,
 - 5 - un medio para generar (110, 120, 130) una luz de sondeo que incorpora un patrón espacial,
 - un medio para transmitir (140, 150, 170) la luz de sondeo hacia el objeto, iluminando por ello al menos una parte del objeto con el citado patrón en una o más configuraciones,
 - un medio para transmitir (140, 150, 170) al menos una parte de la luz devuelta desde el objeto a la cámara (180),
 - 10 - un medio para variar (151) la posición del plano de enfoque del patrón sobre el objeto aun manteniendo una relación espacial fija entre el escáner y el objeto,
 - un medio para obtener al menos una imagen de la citada matriz de elementos sensores,
 - un medio para evaluar una medida de la correlación en cada posición del plano de enfoque entre al menos un pixel de imagen y una función de ponderación, en el que la función de ponderación se determina sobre la base de la información de la configuración del patrón espacial; y
 - 15 - un medio de procesamiento de datos para:
 - a) determinar mediante análisis de la medida de la correlación la posición o posiciones de enfoque de:
 - cada uno de la pluralidad de píxeles de imagen para un rango de posiciones de enfoque, o
 - 20 - cada uno de la pluralidad de grupos de píxeles de imagen para un rango de posiciones del plano de enfoque, y
 - b) transformar los datos enfocados en coordenadas mundo real 3D.
2. Escáner de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el medio para evaluar una medida de la correlación es un medio de procesamiento de datos.
- 25 3. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la posición de enfoque para el citado pixel o grupo de píxeles se determina como al menos una posición del extremo local de una serie diferenciable opcionalmente de medidas de la correlación calculada para una pluralidad de las citadas posiciones del plano de enfoque.
- 30 4. Escáner de acuerdo con la reivindicación anterior, en el que la medida de la correlación para una posición del plano de enfoque se calcula como un producto escalar, y cada producto escalar se calcula a partir de un vector de señal, representando más de un elemento las señales de sensores y un vector de ponderación de la misma longitud que el citado vector de señal de ponderaciones.
5. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón es estático.
- 35 6. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el citado patrón posee periodicidad en traslación y/o rotacional.
7. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la luz de una fuente de luz (110) se transmite a través de un medio de generación de patrón (130), generando con ello el patrón.
8. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el plano de enfoque de la cámara (180) está adaptado para moverse síncronamente con el plano de enfoque del patrón.
- 40 9. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el objeto es un objeto anatómico, tal como un canal auditivo, o un objeto dental, tal como un diente.
10. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un divisor de haz (140) situado en la trayectoria óptica, tal como un divisor de haz de polarización.
- 45 11. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la señal de sensor es una intensidad de luz integrada substancialmente reflejada desde la superficie del objeto.

12. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la posición del plano de enfoque se varía periódicamente con una frecuencia predefinida.
- 5 13. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además al menos un elemento de enfoque (151) en forma de una sola lente, que forma parte del sistema de lentes, y el escáner comprende además un medio (153, 154, 155) para ajustar y controlar el elemento de enfoque (151).
14. Escáner de acuerdo con la reivindicación 13, que comprende además un medio para fijar y/o mantener el centro de gravedad del sistema de ajuste del elemento de enfoque.
15. Escáner de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el medio para fijar y/o mantener comprende un contrapeso (156) para contra equilibrar substancialmente el movimiento del elemento de enfoque (151).
- 10 16. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón es un patrón lineal estático o un patrón en damero estático.
17. Escáner de acuerdo con la reivindicación anterior, que comprende además un medio para la determinación del valor máximo de la señal de cada uno de una pluralidad de elementos sensores sobre un rango de posiciones del plano de enfoque.
- 15 18. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la matriz de elementos sensores está dividida en grupos de elementos sensores, preferiblemente grupos rectangulares, tal como grupos cuadrados de elementos sensores, preferiblemente elementos sensores contiguos.
19. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un periodo espacial del patrón corresponde a un grupo de elementos sensores.
- 20 20. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un medio para la polarización de la luz de sondeo, tal como un elemento de polarización.
21. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además una placa de retardo (160) y un elemento de polarización lineal, situado en la trayectoria óptica, una placa de retardo tal como una placa de retardo de cuarto de onda.
- 25 22. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el escáner está adaptado para ser manual, y en el que el escáner comprende uno o más sensores del movimiento incorporados, que proporcionan datos para combinar al menos dos escaneos parciales a un modelo 3D de la superficie de un objeto, en el que los datos del sensor de movimiento potencialmente se utilizan como una primera idea para una combinación óptima encontrada mediante software.
- 30 23. Escáner de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el escáner está adaptado para ser manual y en el que el escáner comprende uno o más sensores incorporados que proporcionan datos para interactuar con la interfaz de usuario de algún software relacionado con el proceso de escaneo.
24. Método para la obtención y/o la medida de la geometría 3D de al menos una parte de la superficie de un objeto, comprendiendo el citado método las etapas de:
- 35 - generar una luz de sondeo que incorpora un patrón espacial,
- transmitir la luz de sondeo hacia el objeto a lo largo del eje óptico de un sistema óptico (150) iluminando por ello al menos una parte del objeto con el citado patrón,
- transmitir al menos una parte de la luz devuelta desde el objeto a la cámara (180),
- 40 - variar la posición del plano de enfoque del patrón sobre el objeto mientras se mantiene una relación espacial fija del escáner y el objeto,
- obtener al menos una imagen a partir de la citada matriz de elementos sensores,
- evaluar una medida de la correlación en cada posición del plano de enfoque entre al menos un pixel de imagen y una función de ponderación, en el que la función de ponderación se determina sobre la base de la información de la configuración del patrón espacial;
- 45 - determinar mediante análisis de la medida de la correlación la posición o posiciones de enfoque de:
- cada uno de la pluralidad de píxeles de imagen en la cámara para el citado rango de posiciones del plano de enfoque, o

ES 2 607 052 T3

-cada uno de la pluralidad de grupos de píxeles de imagen en la cámara para el citado rango de planos de enfoque, y

- transformar los datos de enfoque en coordenadas mundo reales 3D.

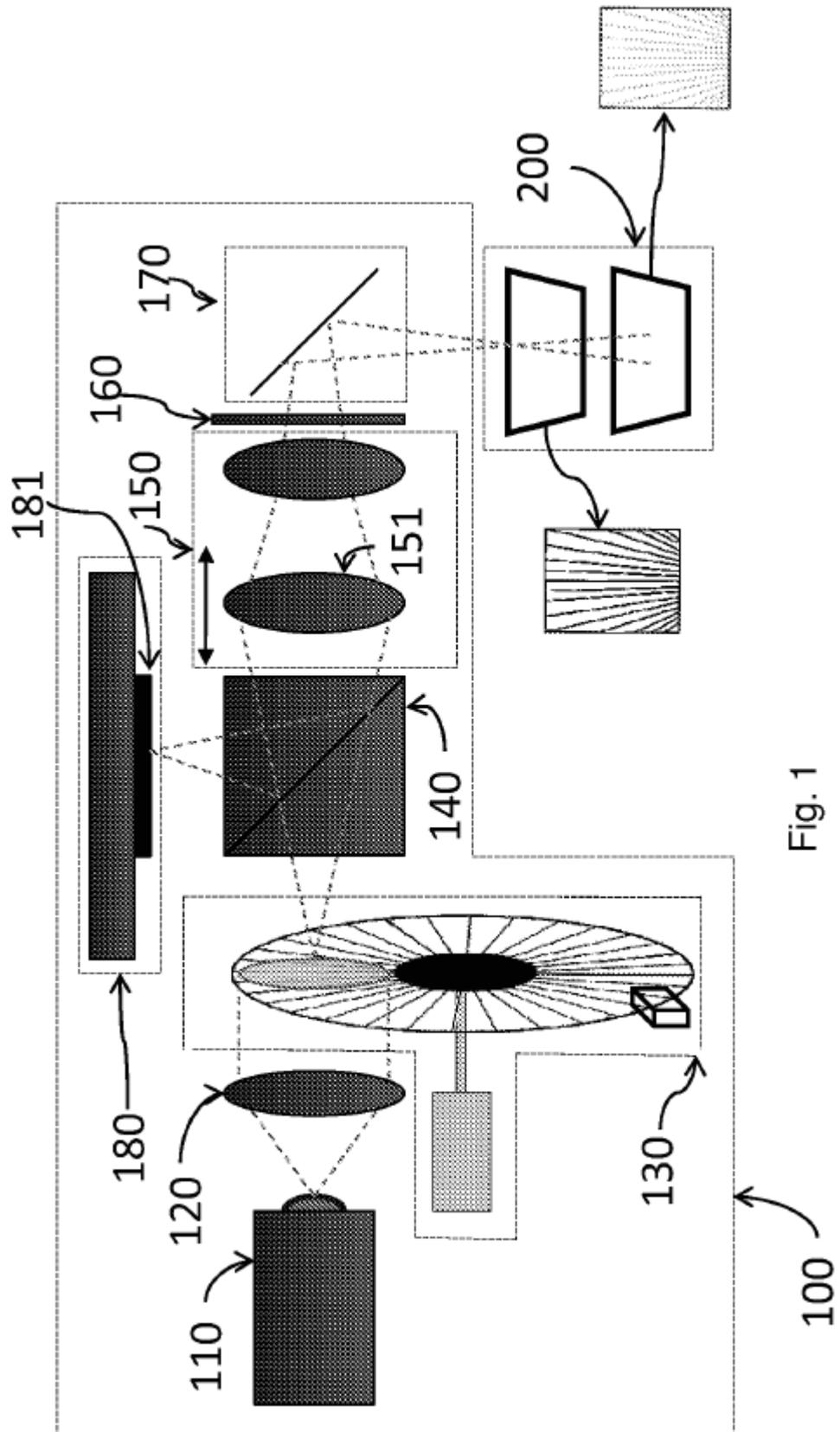


Fig. 1

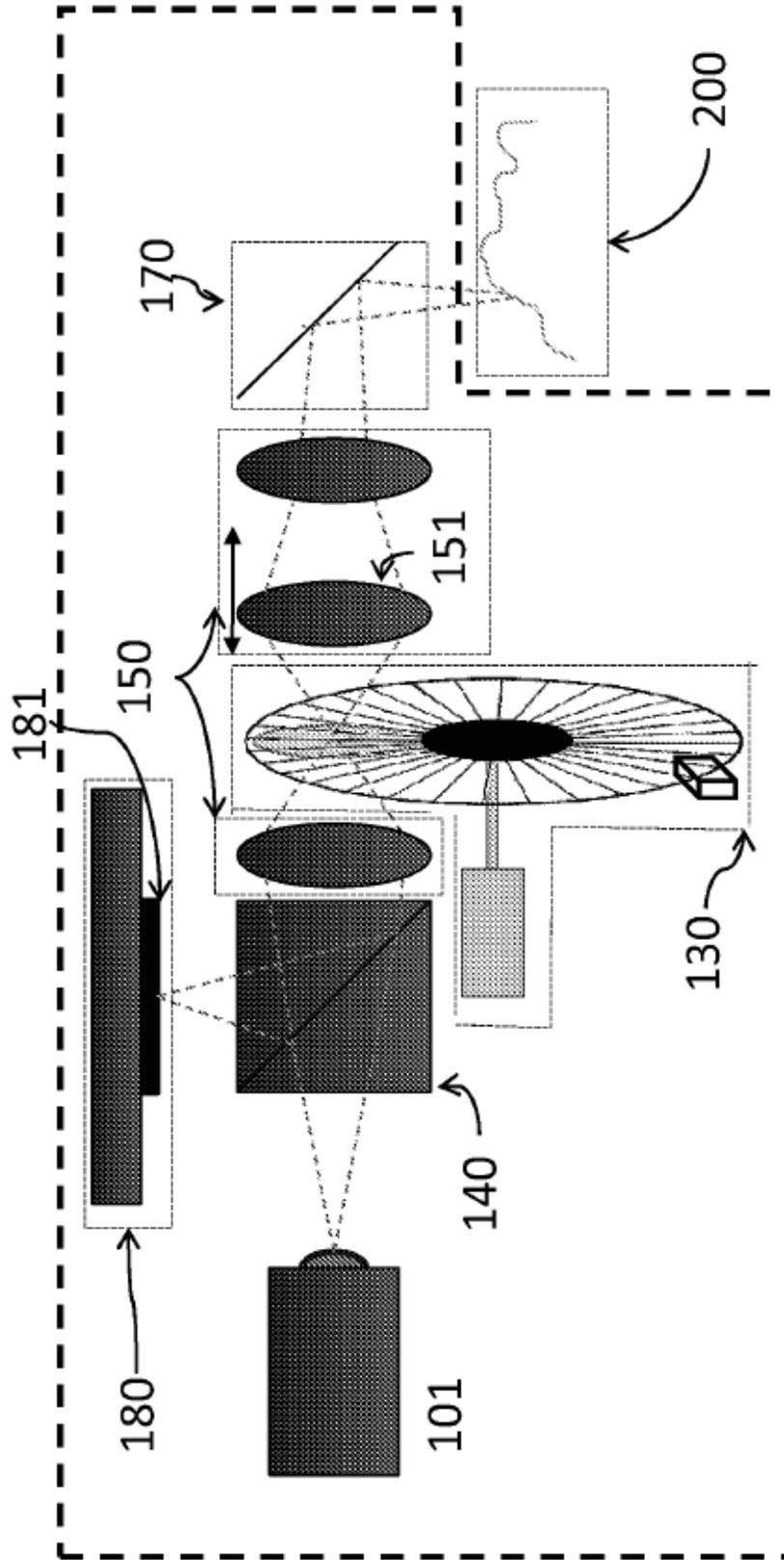


Fig. 2

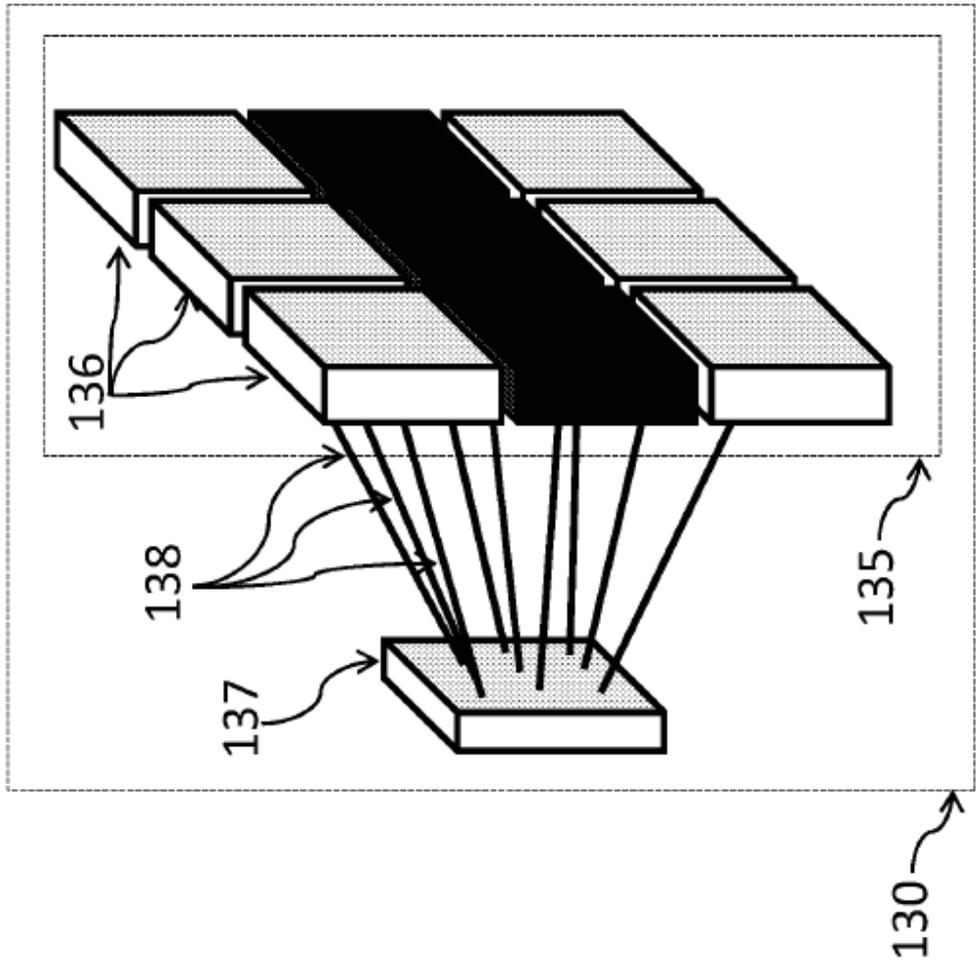


Fig. 3a

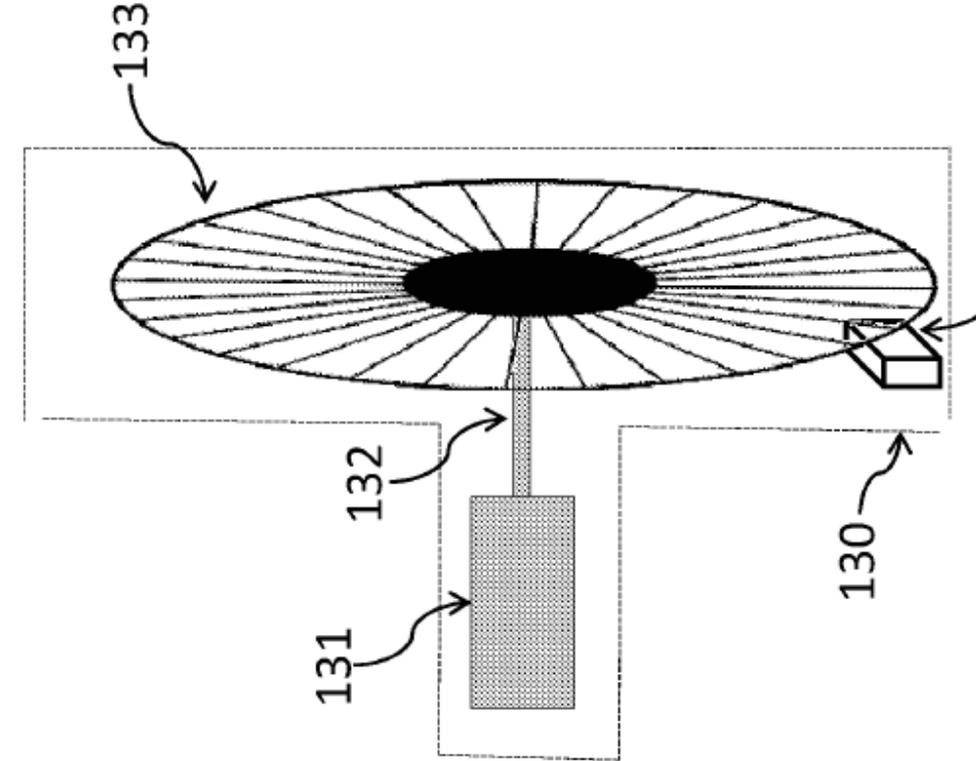


Fig. 3b

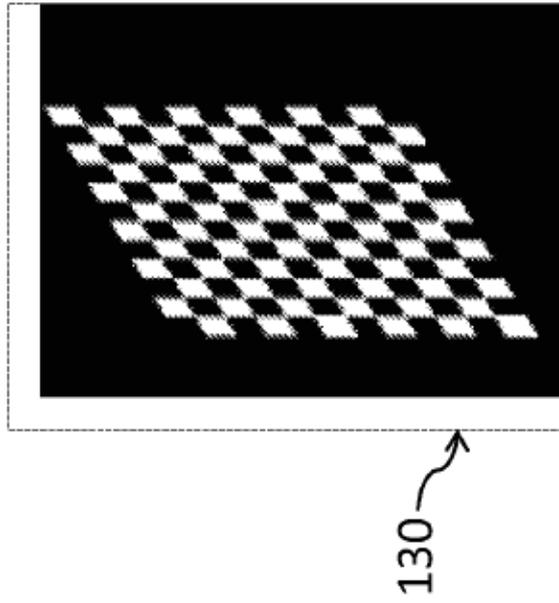


Fig. 3c

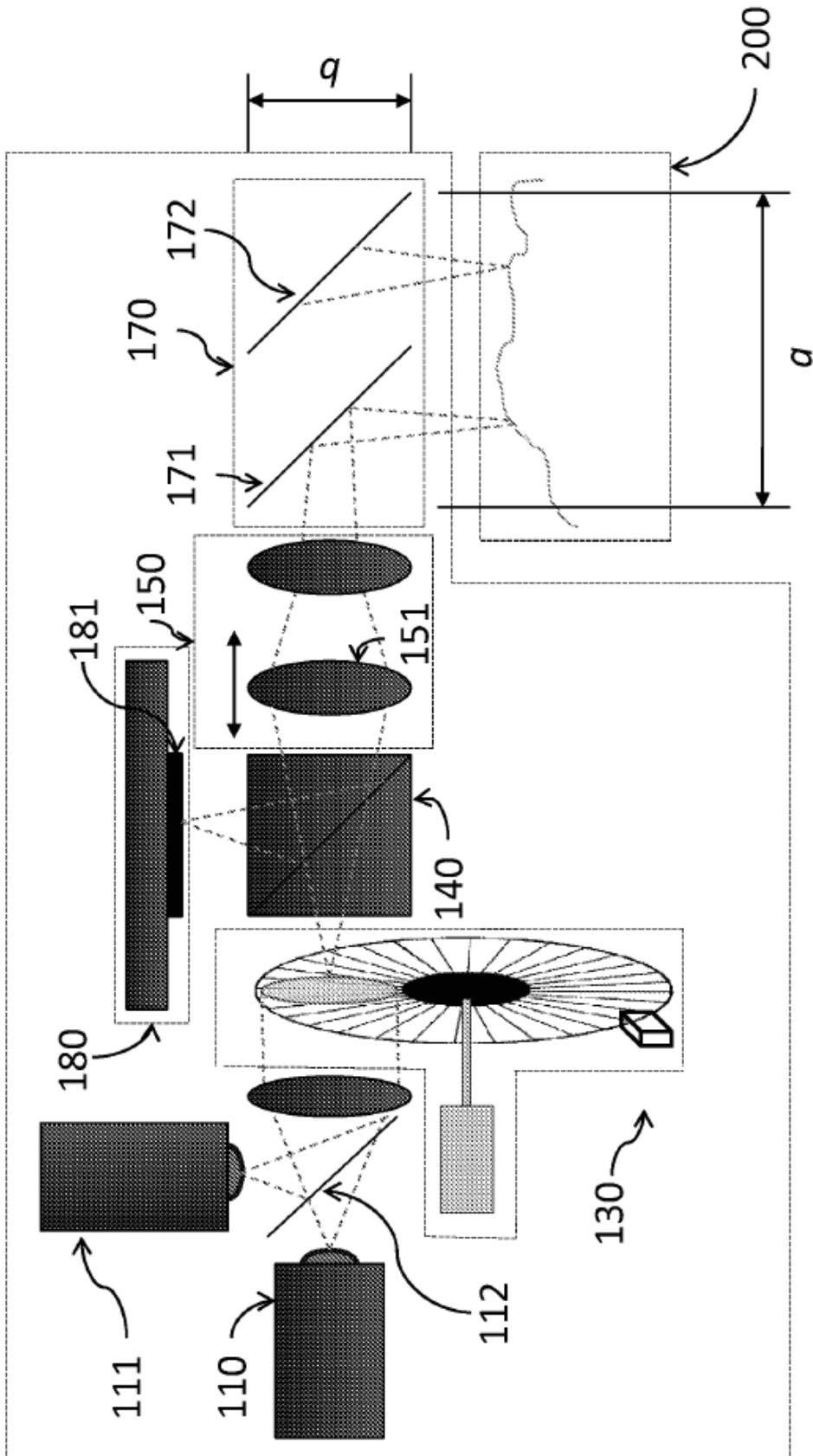


Fig. 4

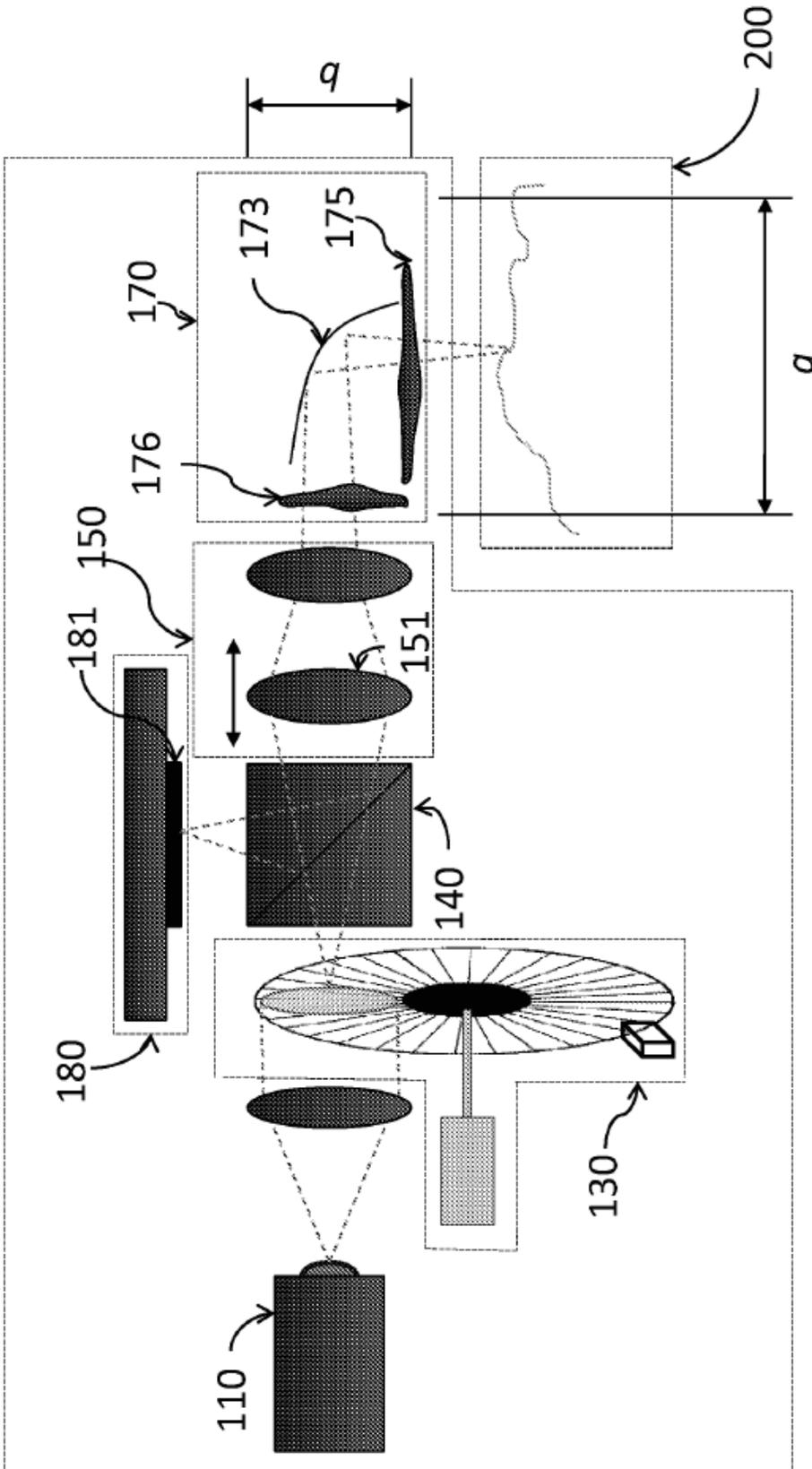


Fig. 6

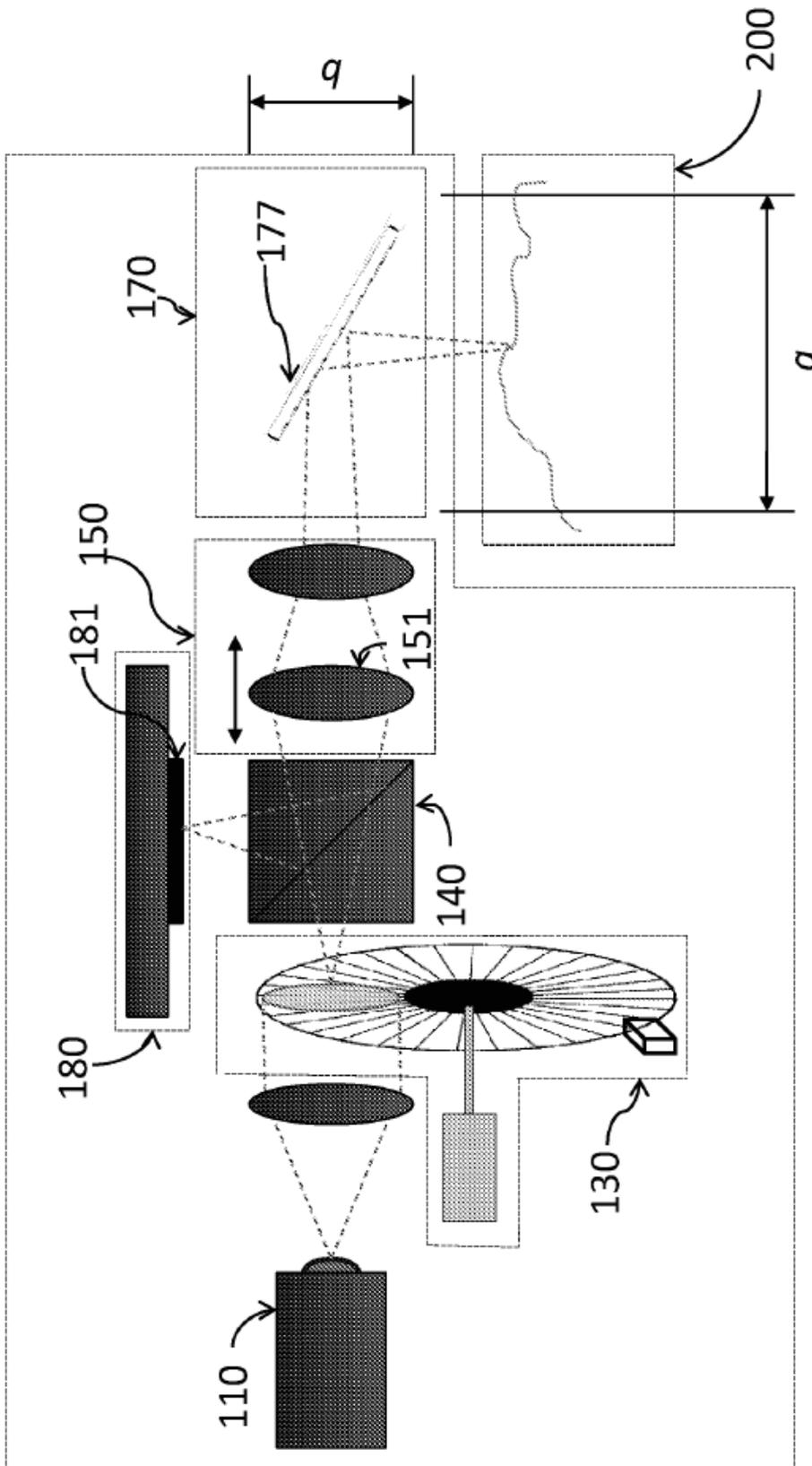


Fig. 7

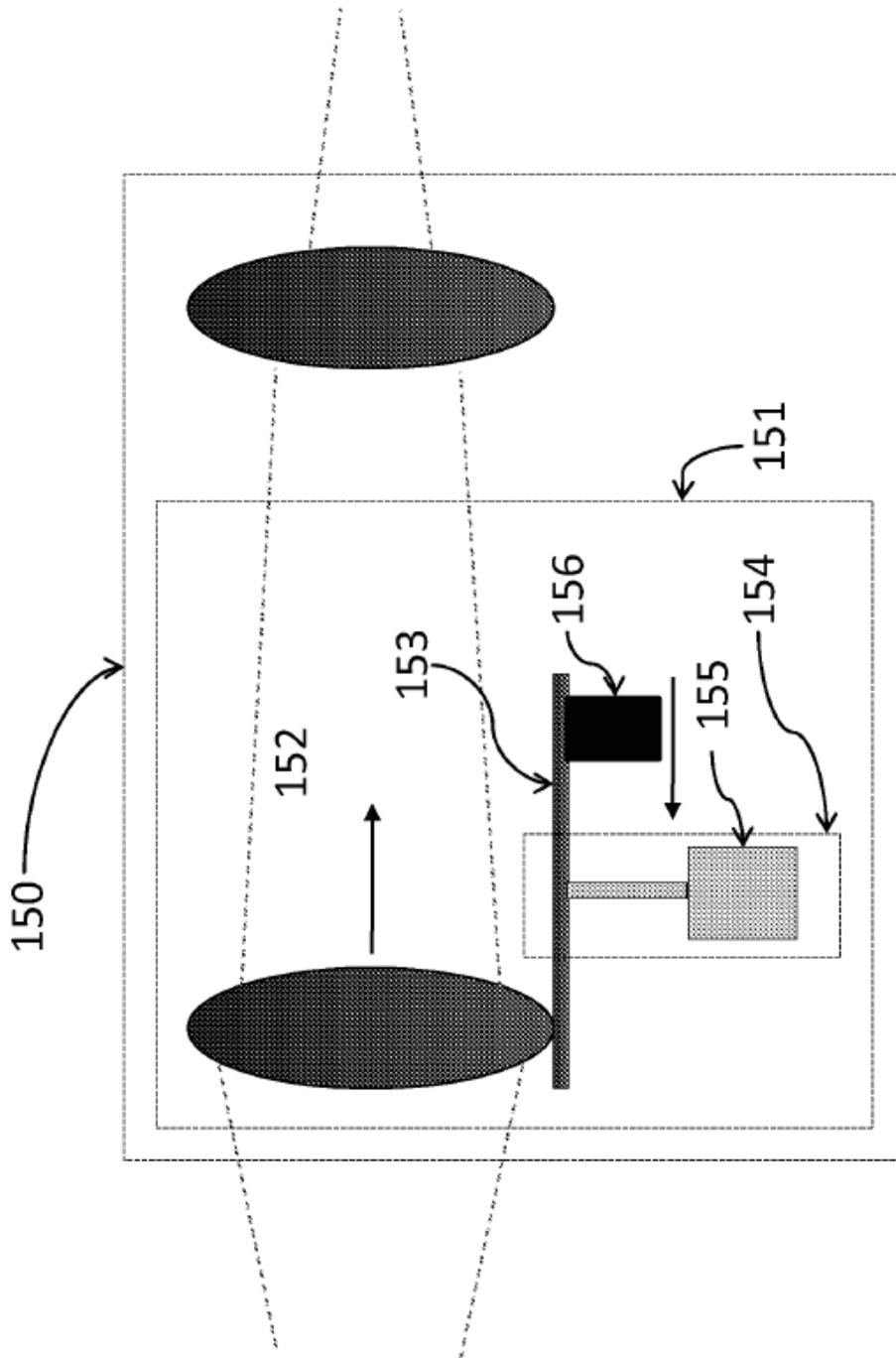


Fig. 8

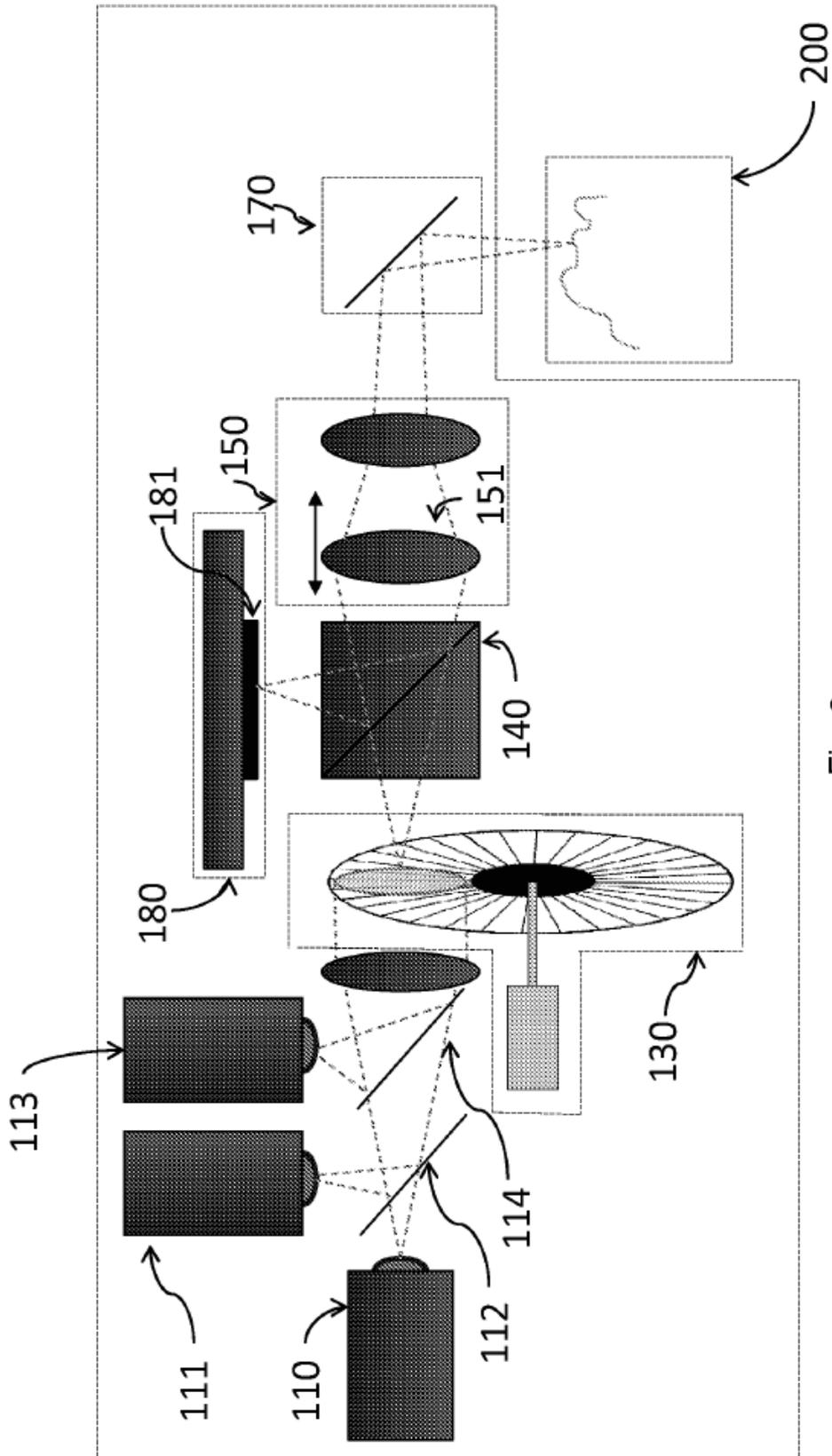


Fig. 9

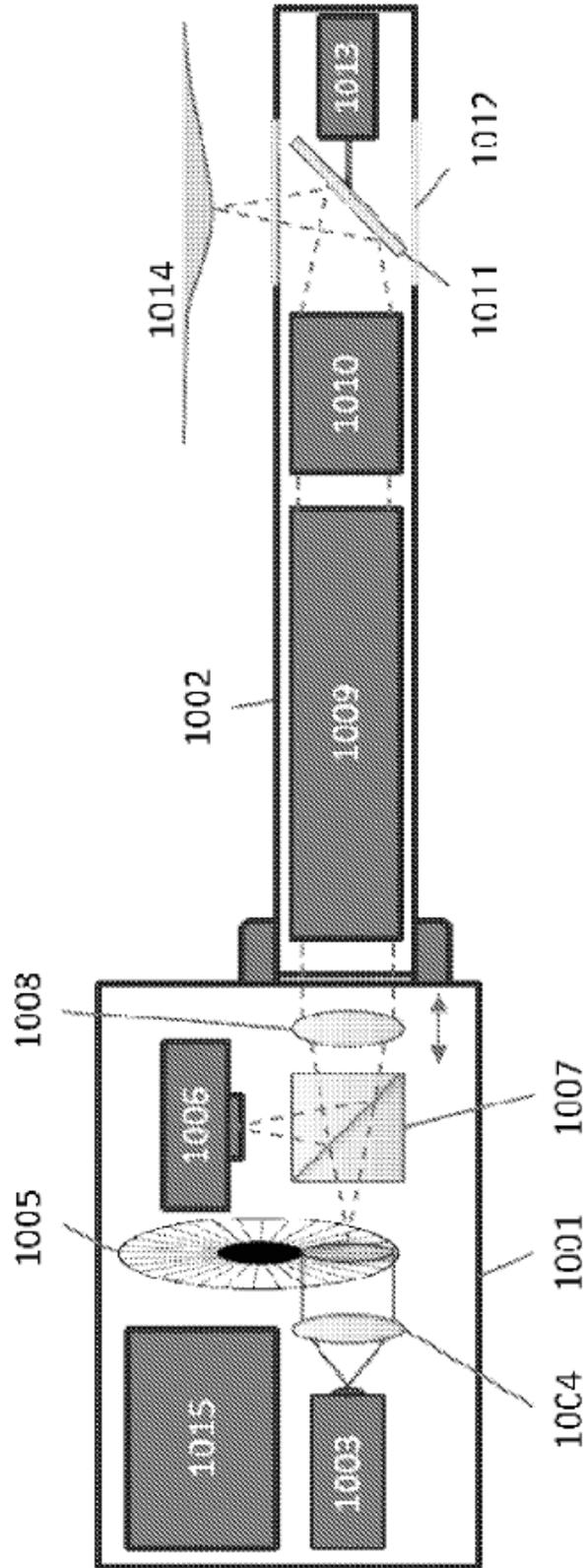


Fig. 12

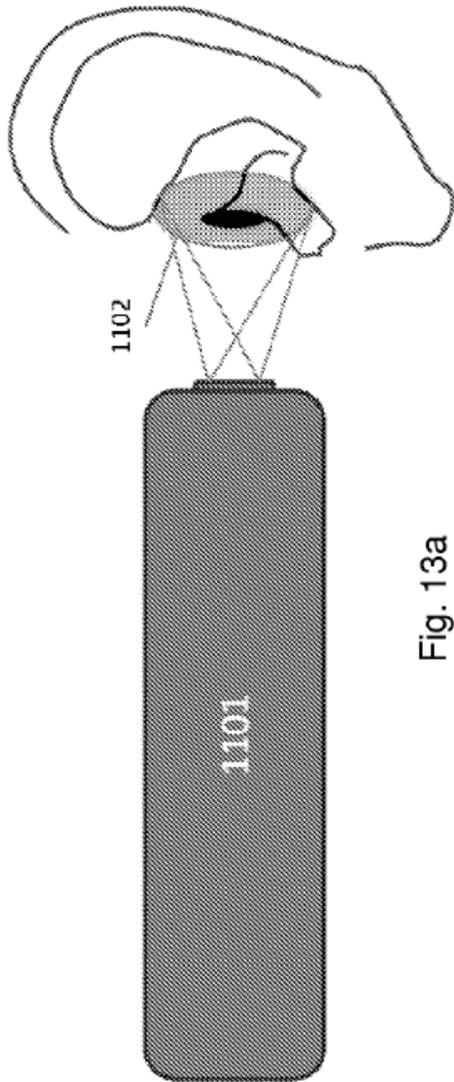


Fig. 13a

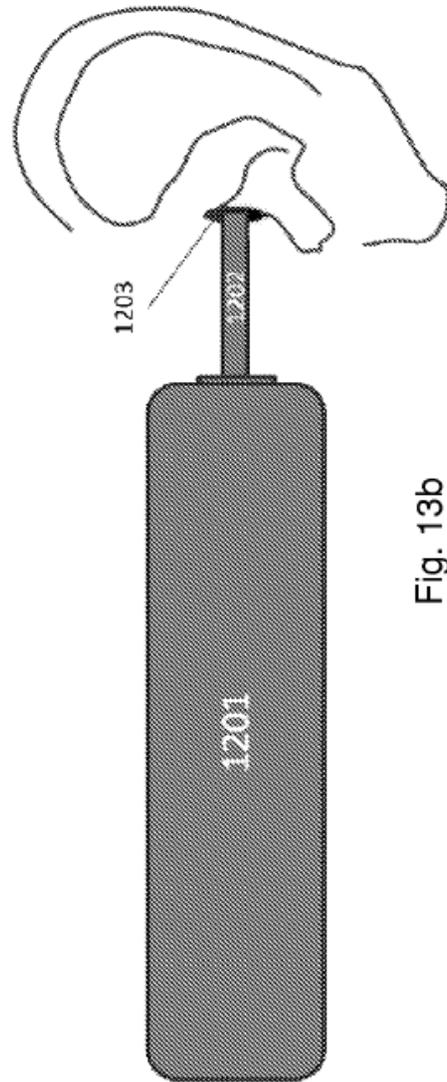


Fig. 13b

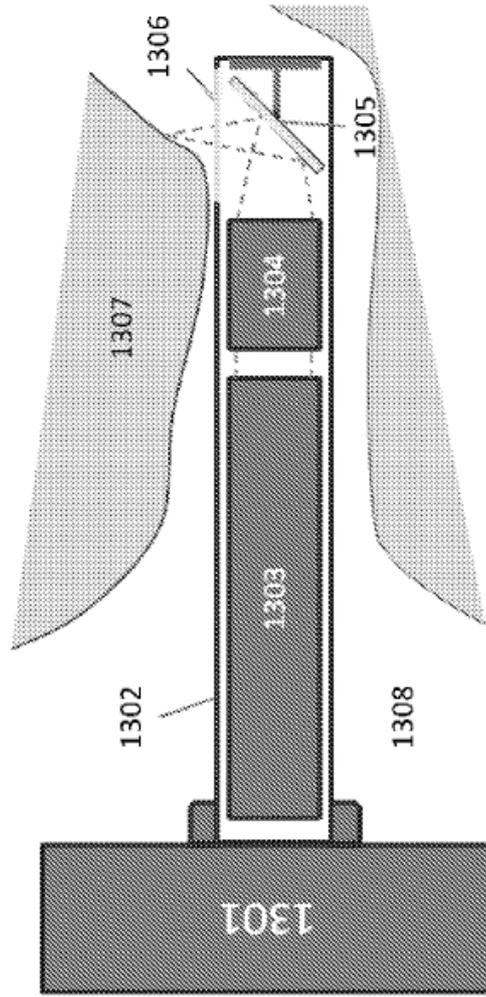


Fig. 14

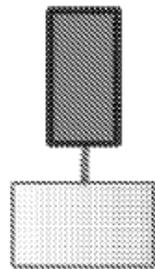


Fig. 15d

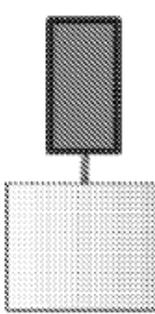
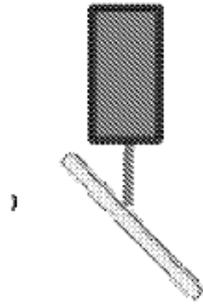


Fig. 15c

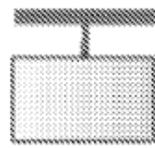
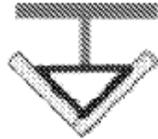


Fig. 15b

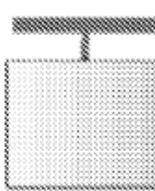
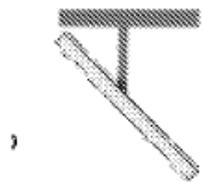


Fig. 15a

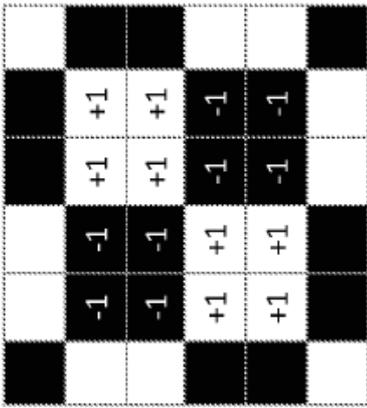


Fig. 16

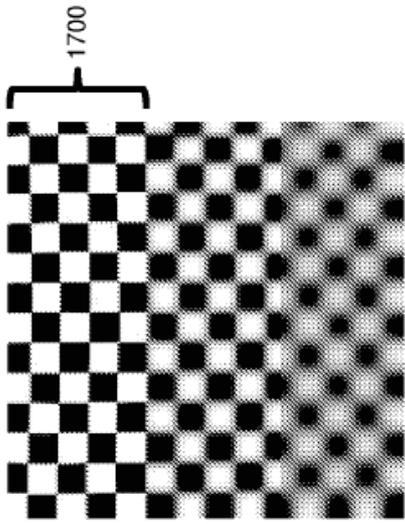


Fig. 17c

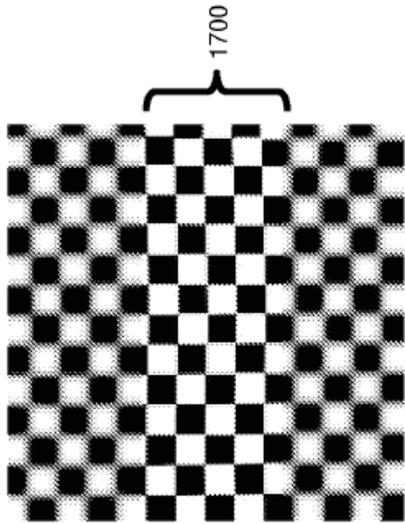


Fig. 17b

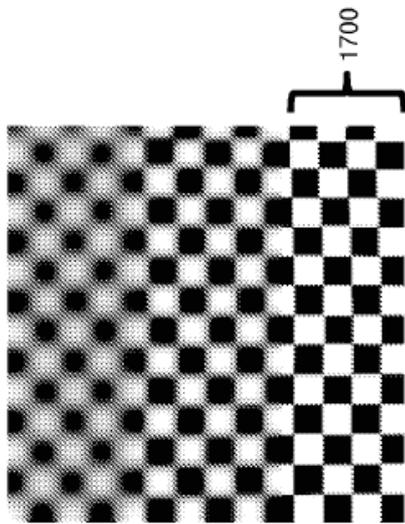


Fig. 17a

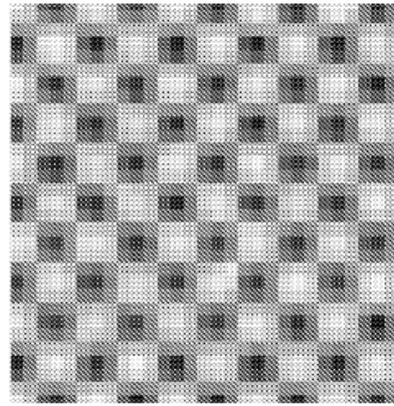


Fig. 17e

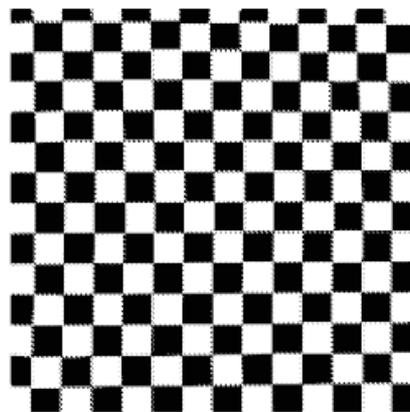
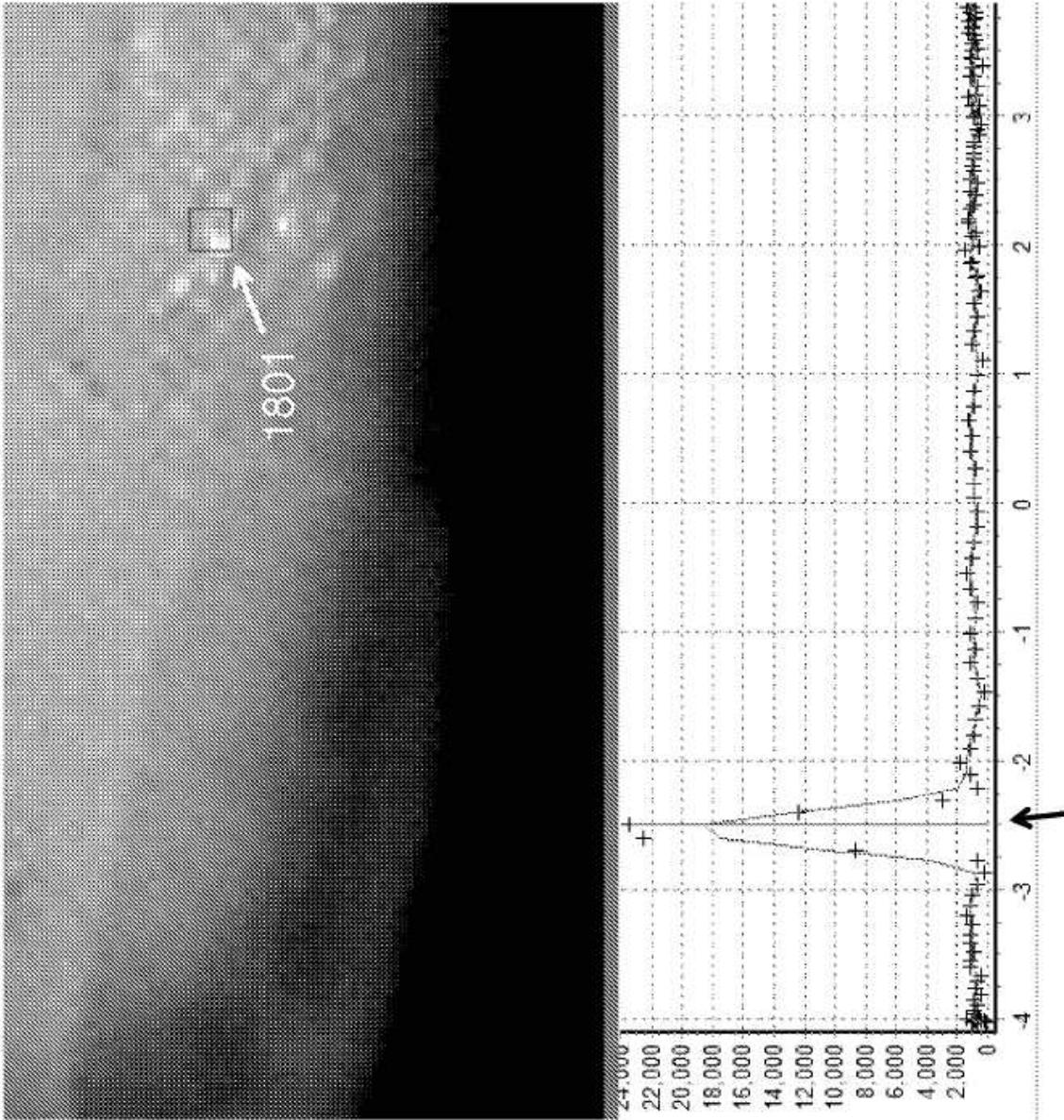


Fig. 17d



1802 Fig. 18



Fig. 19

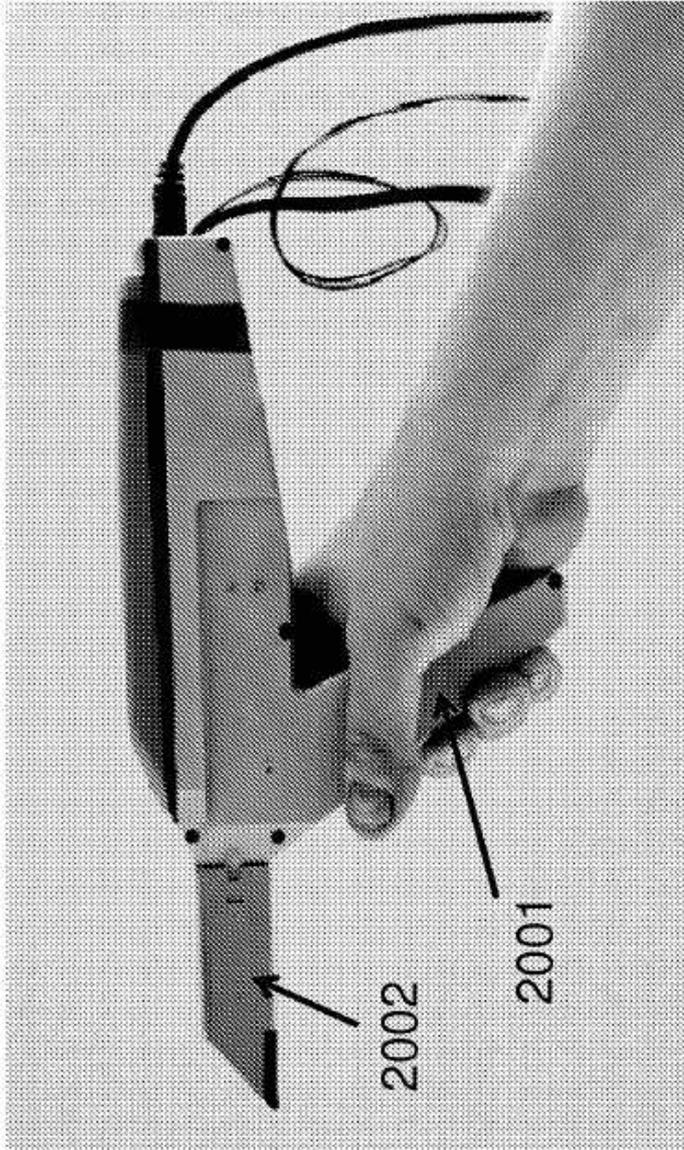


Fig. 20