



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 327 212**

51 Int. Cl.:
G01B 11/24 (2006.01)
A61B 1/05 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01960205 .1**
96 Fecha de presentación : **24.08.2001**
97 Número de publicación de la solicitud: **1314000**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.05.2003**

54 Título: **Procedimiento y aparato para un escaneado óptico tridimensional de superficies interiores.**

30 Prioridad: **25.08.2000 DK 2000 01258**
31.10.2000 US 244561 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.10.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.10.2009

73 Titular/es: **3Shape A/S**
Holmens Kanal 7,4.sal
1060 Copenhagen, DK

72 Inventor/es: **Fisker, Rune;**
Clausen, Tais;
Deichmann, Nikolaj y
Vasiljev Barthe, Christophe

74 Agente: **Arias Sanz, Juan**

ES 2 327 212 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

Procedimiento y aparato para un escaneado óptico tridimensional de superficies interiores.

5 1. Campo técnico

La invención se refiere a la creación de réplicas tridimensionales de alta precisión de objetos reales. La invención se refiere específicamente al escaneado tridimensional de cavidades o superficies interiores de dimensiones limitadas o de accesibilidad restringida. Además, la invención se refiere a una realización específica para escanear el oído humano y el conducto auditivo.

10 2. Técnica anterior

Los sistemas de escaneado óptico tridimensional son ampliamente conocidos en la técnica anterior. Normalmente comprenden una o más fuentes de luz que proyectan un patrón de luz estructurada sobre el objeto que va a escanearse, una o más cámaras y un equipo de procesamiento de datos para convertir las coordenadas de la imagen grabada en coordenadas tridimensionales usando software de última generación. Normalmente, sólo se escanea una parte del objeto en un único escaneado. Para crear un escaneado total, el objeto, la cámara y la fuente de luz necesitan moverse entre sí.

La precisión es de vital importancia en muchas aplicaciones, por ejemplo cuando los datos de escaneado se utilizan para modelar un objeto que debe encajarse de manera precisa en otra parte. Tales aplicaciones son, por ejemplo, dispositivos para el conducto auditivo tales como audífonos, implantes dentales y otras prótesis para el cuerpo. Para las carcasas de los audífonos se requiere una precisión submilimétrica ya que de lo contrario la carcasa provocará irritación, realimentación acústica y posiblemente una infección en la epidermis del conducto auditivo. Para los implantes dentales, el requisito de precisión es incluso mayor ya que una persona puede detectar diferencias inferiores a una décima de milímetro cuando muerde. Por lo tanto, los errores aleatorios o sistemáticos en la calibración y/o en el funcionamiento de los escáneres para estos usos pueden ser fatales. Hasta la fecha, esto ha limitado el uso del escaneado en la modelización de tales implantes y carcasas.

El documento WO 96/10204 (Fright y col.) desvela un escáner 3D manual que utiliza un sensor de posición para determinar la posición relativa del escáner con respecto al objeto que va a escanearse. El escáner desvelado no está adaptado para escanear superficies interiores debido a su tamaño y debido al hecho de que las fuentes de luz apuntan hacia el centro en el cual debe colocarse el objeto que va a escanearse. Por lo tanto, este escáner experimenta los mismos efectos de oclusión que los escáneres no portátiles. La solicitud de patente es la base del escáner manual Polhemus FastTrack.

El documento US 6.263.234 (*Leica Microsystems Heidelberg GmbH*) desvela un dispositivo de medición de superficies confocal que está adaptado para emitir un rayo de luz y mover parcialmente este rayo con relación al eje del dispositivo para realizar un escaneado de una zona por debajo del dispositivo. La invención no desvela cómo la luz reflejada desde el objeto se dirige hacia el detector, lo cual cuestiona si la construcción puede funcionar en la práctica. Sin embargo, el escáner sólo hace girar a los medios de deflexión de luz y no a la construcción relacionada con el detector, lo cual solo permite escanear una parte muy limitada de la circunferencia.

El documento US 5.895.927 (secretario de la fuerza aérea de los estados unidos) desvela un perfilador de secciones transversales interiores sin contacto para medir las dimensiones internas de tuberías, tubos, etc. El perfilador genera un disco de luz usando un espejo con forma de cono que se refleja desde la superficie interior de las tuberías, tubos, etc. hacia una cámara. Sin embargo, se cuestiona si el perfilador puede medir las dimensiones de manera precisa ya que pequeños errores en la orientación del perfilador a lo largo del eje de la tubería o del tubo provocarán que el disco se distorsione. El perfilador solo está destinado para medir las dimensiones internas y no para generar coordenadas universales 3D.

El documento US 5.784.098 (*Olympus Optical Co., Ltd.*) desvela un endoscopio que puede realizar un escaneado 3D de zonas pequeñas del interior del cuerpo humano. El escáner funciona proyectando un patrón formado por varios haces de luz desde la punta del endoscopio sobre la superficie por delante de la punta. Una cámara conectada a través de guías de luz a la punta del endoscopio captura imágenes 2D. Debido a esta construcción, el ángulo en el que la luz se refleja desde la superficie hacia la cámara es muy pequeño y no es óptimo para un escaneado preciso. Además, el escáner sólo está adaptado para mapear zonas pequeñas. Adicionalmente, el diseño es muy propenso a generar imágenes muy distorsionadas, lo cual hace inviable un escaneado de alta precisión.

El documento WO 01/22030 (*Mycrona Gesellschaft für Innovative Messtechnik GmbH*) desvela un dispositivo para medir huecos poco accesibles tal como el interior de un diámetro. El dispositivo puede medir el diámetro interno del hueco. Sin embargo, el escáner sólo puede realizar escaneados de un máximo de 180° de la circunferencia ya que sólo aplica uno o dos espejos coplanares estáticos.

El documento US 5.056.204 (*Ascom Audiosys AG*) desvela un procedimiento para fresar audífonos mediante el cual los contornos internos del conducto auditivo quedan supuestamente grabados mediante un aparato láser situado fuera del oído del paciente. La descripción no muestra ningún medio para dirigir la luz láser hacia el interior del conducto

auditivo. Debido a los efectos de oclusión, sólo puede escanearse parte del conducto auditivo según el procedimiento desvelado. Además, la descripción no tiene en cuenta el hecho de que la persona puede moverse mientras se graban las imágenes.

5 El documento WO 00/34739 (Fagan y col.) se refiere a un procedimiento para fabricar carcasas de audífonos que implica el uso de un cabezal de escáner ultrasónico especialmente adaptado para medir de manera segura los contornos del conducto auditivo sin contacto con la superficie que está midiéndose. La grabación de los datos del conducto auditivo es posible llenado el conducto con un líquido e introduciendo el escáner ultrasónico. Los datos de escaneado se procesan mediante un ordenador y los datos se utilizan con un sistema de prototipado rápido tal como la estereolitografía, la sinterización láser selectiva, la modelización de objetos laminados, la modelización por chorro de tinta, la modelización por deposición fundida, 3DP o cualquier otro sistema que genere modelos reales a partir de modelos matemáticos informáticos para fabricar la carcasa de los audífonos. Una desventaja del sistema es la necesidad de llenar completamente el oído del paciente con agua. Esto puede ser extremadamente molesto para los pacientes y éstos pueden experimentar síntomas de náuseas durante y después de este tratamiento. Además, se cuestiona si realmente es posible determinar las coordenadas tridimensionales de la superficie del conducto auditivo con la precisión requerida utilizando un escáner ultrasónico. Una señal de sonido ultrasónica emitida no se propaga solamente en una dirección en el líquido dentro del conducto auditivo. Puesto que las ondas ultrasónicas se reflejan por la superficie del conducto auditivo, éstas se propagan en muchas direcciones diferentes. Por lo tanto, los transductores del escáner ultrasónico detectarán una pluralidad de señales de tamaño variable con diferentes retardos después de la emisión de una señal de sonido. Debe ser extremadamente difícil para el software subyacente determinar qué señales utilizar para determinar las coordenadas. La descripción no proporciona información sobre cómo realizar esta operación.

25 El documento EP 0 516 808 (*Tøpholm & Westermann Aps*) desvela un procedimiento para la fabricación asistida por ordenador de artículos otoplásticos que se adaptan de manera individual a los contornos del conducto auditivo. Según el procedimiento descrito, se utiliza una representación digital de los contornos internos del conducto auditivo para el fresado o la impresión 3D de una carcasa de audífono. Se utiliza un ordenador para optimizar la ubicación de los componentes del audífono y el grosor de las paredes de la carcasa. La descripción no sugiere la solución de escanear los contornos internos del conducto auditivo usando un escáner óptico.

30

3. Resumen de la invención

Según un primer aspecto, la invención se refiere a un escáner para un escaneado tridimensional de superficies interiores, que comprende

35

al menos una fuente de luz adaptada para crear y proyectar luz estructurada generando un patrón sobre la superficie interior de un objeto,

40

al menos una cámara adaptada para grabar imágenes 2D del patrón,

medios de procesamiento de datos adaptados para convertir información de imágenes 2D en coordenadas universales 3D,

45

al menos un sensor de posición adaptado para proporcionar la posición y la orientación relativas del escáner durante escaneados sucesivos,

estando situados tanto el punto de emisión de luz como el punto de acumulación de luz reflejada para la cámara en una sonda que presenta un eje,

50

estando adaptadas la al menos una fuente de luz y la al menos una cámara para realizar un escaneado de 360° alrededor del eje, y

estando adaptada la sonda para introducirse en una cavidad.

55

La sonda del escáner puede ser rígida o flexible.

En comparación con los escáneres de la técnica anterior, este escáner tiene la ventaja de que puede cubrir toda la circunferencia sin mover el escáner pudiendo escanear de este modo toda la superficie interior de un objeto. Con esta disposición es posible escanear superficies interiores tales como el conducto auditivo, tubos, tuberías y diámetros interiores con un escaneado sin contacto y obtener datos de escaneado de alta precisión de toda la superficie interior del objeto.

60

Además, las dimensiones del escáner pueden ser muy pequeñas permitiendo de este modo un escaneado y un mapeado 3D de superficies interiores de pequeña sección transversal, las cuales son inaccesibles para los escáneres de la técnica anterior.

65

Según una realización especialmente preferida, el escáner está equipado con un sensor de posición que permite determinar la posición y la orientación relativas del escáner y del objeto para escaneados sucesivos. Esto facilita en

ES 2 327 212 T3

gran medida la combinación de datos de escaneados sucesivos y posibilita la combinación de los mismos con una precisión mucho mayor independientemente de la posición y la orientación del escáner durante el escaneado.

El diseño compacto del escáner permite un escaneado sencillo de las superficies interiores de los objetos de tamaño extremadamente pequeño. La facilidad de funcionamiento de los escáneres según la invención significa que los profesionales sin experiencia en el escaneado pueden realizar fácilmente operaciones de escaneado, lo cual se requiere especialmente en el caso del escaneado de cavidades corporales y del escaneado para fines arqueológicos.

Según un aspecto adicional, la invención se refiere a un procedimiento para escanear superficies interiores que comprende las etapas de

- i) introducir en una cavidad un escáner con forma de sonda que presenta un eje,
- ii) crear y proyectar luz estructurada desde un primer punto sobre la sonda generando un patrón sobre una superficie interior de un objeto, y en un segundo punto de la sonda, grabando imágenes 2D del patrón reflejado desde la superficie interior, realizando de ese modo un escaneado de 360° alrededor del eje de la sonda,
- iii) determinar las coordenadas 2D de las imágenes del patrón,
- iv) determinar la posición y la orientación relativas del escáner durante escaneados sucesivos con al menos un sensor de posición,
- v) combinar una serie de imágenes para obtener coordenadas universales 3D de la superficie interior.

El procedimiento permite un escaneado sencillo de las superficies de objetos que no pueden escanearse con una alta precisión usando los procedimientos de escaneado de la técnica anterior.

Preferentemente, el procedimiento se lleva a cabo con un escáner según la invención.

Según una realización preferida, el procedimiento de escaneado comprende además la calibración del escáner mediante las etapas de:

- i) escanear un objeto de calibración tridimensional que presenta al menos un plano de simetría y por el cual al menos parte de al menos una curva de característica de objeto 3D de cada parte simétrica es una curva continua,
- ii) determinar coordenadas de características de imagen que son representaciones de al menos un par de curvas de características de objeto 3D para cada uno de un número discreto de valores de un ángulo de rotación y/o de traslación, un par formado por una curva de característica de objeto 3D en cada parte simétrica del objeto de calibración,
- iii) cambiar los parámetros de calibración para adaptarse al objeto de calibración.

Según todavía un aspecto adicional, la invención se refiere a un procedimiento para la producción y la modelización 3D que comprende obtener coordenadas universales 3D de una superficie interior de una cavidad prevista usando el procedimiento según la invención, y crear una pieza adaptada para encajar en la cavidad.

Por lo tanto, las etapas para fabricar la pieza se reducen al mínimo absoluto y puede obtenerse un ajuste de la pieza especialmente perfecto. La superficie interior puede escanearse varias veces, tal como bajo diferentes condiciones que afectan a la geometría de la superficie interior. Por lo tanto, pueden grabarse las variaciones en las dimensiones de la superficie interior. Esto es muy engorroso usando las técnicas de la técnica anterior.

Una vez que se hayan grabado los datos, la pieza puede fabricarse usando cualquier técnica de fabricación automática tal como el fresado. Más preferentemente, la técnica de modelización comprende impresión tridimensional, estereolitografía, sinterización láser selectiva, modelización de objetos laminados, modelización por chorro de tinta, modelización por deposición fundida, nanoimpresión. Una característica común de estas técnicas es que solo se utiliza la cantidad de material requerida y que es más fácil producir modelos complejos tales como dispositivos para el oído y/o el conducto auditivo y/o implantes dentales.

Los dispositivos para el oído pueden comprender un audífono, un teléfono móvil, un altavoz, un micrófono, dispositivos de comunicación, un enmascarador de acúfenos o un dispositivo de enmascaramiento de acúfenos tales como los descritos en los documentos US 5.325.872 y WO 91/17638. La figura 13 muestra un escaneado de la superficie interior de un oído y de un conducto auditivo 1301.

ES 2 327 212 T3

4. Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra una realización del escáner de superficies interiores según la invención.

5 La figura 2 muestra una sección transversal de una realización del escáner de superficies interiores según la invención.

La figura 3 ilustra otra realización del escáner de superficies interiores con un espejo delante de la cámara.

10 La figura 4 muestra una sección transversal de otra realización del escáner de superficies interiores con un espejo delante de la cámara.

La figura 5 muestra cómo se proyecta un patrón de luz estructurada sobre la superficie interior. En este caso, el patrón es un único cono. Después, este patrón se refleja desde la superficie hacia la cámara.

15 La figura 6 ilustra un ejemplo del uso de espejos y/o de prismas. Un patrón de luz estructurada se refleja en un espejo antes de proyectarse sobre la superficie interior. En este caso, el patrón es un único cono. Después, este patrón se refleja desde la superficie hacia un espejo que refleja el patrón hacia la cámara.

20 La figura 7 muestra una sección transversal de un modelo del escáner de superficies interiores según la invención. Obsérvese que la cámara ha salido de la sonda y que se usa un sistema de lentes para guiar la imagen hacia la cámara.

La figura 8 muestra una sección transversal de un modelo del escáner de superficies interiores según la invención. Obsérvese que la cámara ha salido de la sonda y que se usan fibras ópticas para guiar la imagen hacia la cámara.

25 La figura 9 ilustra diferentes sensores de posición que pueden aplicarse en la invención.

La figura 10 muestra una realización de un objeto de calibración hueco usado para calibrar la cámara y las fuentes de luz. Obsérvese las curvas de características de objeto 3D simétricas sobre el objeto, las cuales se utilizan en la calibración.

La figura 11 muestra una representación esquemática de un escáner según la invención adaptado para escanear el oído y el conducto auditivo.

35 La figura 12 muestra una representación esquemática de otra realización del escáner para el oído y para el conducto auditivo.

La figura 13 muestra un escaneado de un oído y de un conducto auditivo vistos desde dos vistas diferentes.

40 La figura 14 ilustra una realización del escáner que puede escanear la superficie situada por detrás del extremo de la sonda.

5. Descripción detallada de la invención

45 Las figuras 1 a 4 ilustran dos realizaciones preferidas de la invención. La primera parte 101 del escáner es la sonda, la cual se introduce en la cavidad. La segunda parte 102 es un asidero. El escáner de la figura 1 y de la figura 2 comprende un recubrimiento 103, un botón de escaneado 104, un recubrimiento desechable 105, guías de luz 201, una fuente de luz 202, un sensor de posición 103, dispositivos ópticos y espejos y/o prismas 204, una cámara 205 y un protector/detector de colisiones 206. También se añaden un espejo y/o un prisma giratorios con un micromotor 301 a la lista de componentes de la realización mostrada en la figura 3 y en la figura 4. Tal y como se ilustra en la figura 5, el escáner funciona proyectando un patrón de luz estructurada 501 sobre la superficie interior del objeto 502. La cámara 503 adquiere imágenes de la reflexión 504 del patrón de luz desde la superficie. Localizando el patrón de luz en las imágenes pueden reconstruirse las posiciones de superficie 3D correspondientes aplicando geometría proyectiva ampliamente conocida. El escáner sólo escanea partes limitadas de la superficie en cada posición y normalmente tiene que moverse manual o automáticamente para escanear toda la superficie interior.

5.1 Generación del patrón de luz

60 La luz se genera mediante una o más fuentes de luz tales como láseres, láser con potencia de salida variable, diodos de emisión de luz (LED, *light emitting diodes*), focos halógenos u otros proyectores de luz, y se desplaza a través de guías de luz tales como fibras ópticas. En algunas aplicaciones puede ser conveniente usar luz monocromática, coherente o polarizada. En el extremo de las guías de luz, los dispositivos ópticos y los espejos y/o los prismas pueden crear el patrón deseado. Ejemplos de dispositivos ópticos son filtros, lentes o prismas. Una alternativa al uso de guías de luz es colocar la fuente de luz cerca de la punta del escáner. Obsérvese que la proyección de luz, incluso de láseres, sobre la superficie no daña la superficie.

ES 2 327 212 T3

Para algunas aplicaciones, las fuentes de luz son preferentemente tan pequeñas como sea posible para minimizar las dimensiones del escáner. Por lo tanto, se contempla que la fuente de luz pueda presentar una sección transversal perpendicular a la dirección de la luz emitida inferior a 5 mm, preferentemente inferior a 4 mm, por ejemplo inferior a 3 mm, tal como inferior a 2 mm, por ejemplo inferior a 1 mm, tal como inferior a 0,5 mm, por ejemplo inferior a 0,25 mm.

El escáner puede funcionar solamente con una fuente de luz, pero para muchas finalidades es ventajoso que presente varias, tal como al menos 2 fuentes de luz, tal como al menos 3 fuentes de luz, por ejemplo al menos 4 fuentes de luz, tal como al menos 5 fuentes de luz, tal como al menos 6 fuentes de luz, por ejemplo al menos 7 fuentes de luz, tal como al menos 8 fuentes de luz, por ejemplo al menos 10 fuentes de luz, tal como al menos 12 fuentes de luz, por ejemplo al menos 16 fuentes de luz, tal como al menos 20 fuentes de luz.

Dependiendo del patrón deseado, se requieren uno, dos, tres o más dispositivos ópticos y uno, dos, tres, cuatro o más espejos y/o prismas. El patrón de luz estructurada puede ser una pluralidad de rayos que forman una rejilla de focos sobre la superficie formada por uno, dos, tres, cuatro o más filas de puntos, uno, dos, tres o más conos de luz que forman contornos sobre la superficie, uno, dos, tres o más planos de luz que forman contornos sobre la superficie, uno, dos, tres o más planos de luz gruesos que forman contornos gruesos sobre la superficie, una pluralidad de rayos de forma rectangular que forman un patrón de tablero de ajedrez distorsionado sobre la superficie o formas más complejas.

Por lo tanto, cuando se proyecta un patrón de rayos, el patrón puede comprender al menos 10 rayos, tal como al menos 25 rayos, por ejemplo al menos 100 rayos, tal como al menos 1000 rayos, por ejemplo al menos 10.000 rayos, tal como al menos 100.000 rayos, por ejemplo al menos 1.000.000 de rayos.

La figura 5 ilustra cómo un único cono de luz 501 se proyecta sobre la superficie de objeto 502 usando dispositivos ópticos 503. La figura 6 muestra cómo el ángulo de emisión del cono de luz puede aumentar significativamente reflejando la luz emitida 601 hacia un espejo y/o un prisma cónicos 602 después de los dispositivos ópticos 603. Puede usarse cualquier tipo de espejos tales como espejos coplanares y espejos cónicos para reflejar la luz. Aplicando espejos y/o prismas es posible modificar la dirección de emisión independientemente de la orientación de las guías de luz. El patrón de luz también puede moverse sobre la superficie sin mover el escáner real haciendo girar y/o inclinando los espejos y/o los prismas. La rotación y/o la inclinación de los espejos y/o de los prismas pueden llevarse a cabo mediante un motor.

Preferentemente, la ubicación del punto de emisión de luz y del punto de grabación de luz reflejada así como del ángulo de emisión y de grabación con respecto al eje de la sonda se elige para proporcionar un ángulo de 20° a 30° aproximadamente entre la luz que incide sobre el objeto y la luz reflejada desde el objeto. Un ejemplo de esta realización se ilustra en la figura 6.

Los efectos de oclusión representan un problema para algunos tipos de escaneado de superficies interiores. Algunos de estos efectos pueden solucionarse seleccionando una dirección de emisión y de grabación de luz con respecto al eje del escáner que garantice que la luz se proyecte sobre y se grabe desde todas las partes de las superficies interiores. Una realización del escáner está diseñada de manera que la ubicación del punto de emisión de luz y del punto de grabación de luz reflejada así como del ángulo de emisión y de grabación con respecto al eje de la sonda se elige para proporcionar un escaneado de la superficie situada por delante del extremo de la sonda. Un ejemplo de un escáner de este tipo se muestra en la figura 5. Como alternativa, la ubicación del punto de emisión de luz y del punto de grabación de luz reflejada así como del ángulo de emisión y de grabación con respecto al eje de la sonda puede elegirse para proporcionar un escaneado de la superficie que está aproximadamente alrededor del extremo de la sonda. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 6. Como alternativa, la ubicación del punto de emisión de luz y del punto de grabación de luz reflejada así como del ángulo de emisión y de grabación con respecto al eje de la sonda puede elegirse para proporcionar un escaneado de la superficie que está por detrás del extremo de la sonda. La figura 14 ilustra un ejemplo de un escáner de este tipo. Estas realizaciones alternativas pueden obtenerse con un escáner inclinando los espejos y/o los prismas.

5.2 Ajuste de la intensidad de las fuentes de luz

Las intensidades de las fuentes de luz varían preferentemente dependiendo de la superficie y del color del objeto que va a escanearse. Preferentemente, la intensidad debe determinarse automáticamente usando una calibración de intensidad de fuente de luz automática.

La calibración de intensidad puede realizarse introduciendo el escáner dentro del objeto y calculando una pluralidad de histogramas a partir de las imágenes adquiridas. Un primer histograma se calcula con la fuente de luz apagada. Un segundo histograma se calcula cuando la fuente de luz está encendida con una intensidad arbitraria. Después, el primer histograma se sustrae del segundo para eliminar la intensidad de fondo. Después, la intensidad se ajusta hasta que el cuantil requerido se corresponda con una intensidad predefinida. El fondo también puede eliminarse sustrayendo la imagen correspondiente a la fuente de luz apagada de la imagen con luz. El histograma utilizado para determinar la intensidad puede calcularse entonces a partir de esta imagen de diferencia.

ES 2 327 212 T3

5.3 Adquisición de imágenes

Las imágenes se adquieren mediante la una o más cámaras. Preferentemente, las cámaras comprenden una lente y un conjunto de sensores tales como un chip CCD o CMOS. Normalmente, la cámara también comprende un filtro colocado delante del conjunto de sensores. El efecto del filtro es que solamente la luz con aproximadamente la longitud de onda deseada atraviesa el filtro. Esto hace factible separar diferentes fuentes de luz en el escáner y eliminar la mayor parte de la luz de fondo. Como alternativa, la cámara puede ser sensible a los colores.

El escáner puede comprender solamente una cámara o comprender varias, tal como al menos 2 cámaras, tal como al menos 3 cámaras, por ejemplo al menos 4 cámaras, tal como al menos 6 cámaras, por ejemplo al menos 7 cámaras, tal como al menos 8 cámaras, por ejemplo al menos 10 cámaras, tal como al menos 12 cámaras, por ejemplo al menos 16 cámaras, tal como al menos 20 cámaras.

Preferentemente, las cámaras están dispuestas de manera que la luz reflejada queda grabada desde diferentes direcciones que cubren los 360° alrededor de la sonda (figuras 11 y 12, lado derecho).

Preferentemente, la parte de cámaras del escáner es tan pequeña como sea posible. El tamaño de las cámaras se reduce prácticamente cada año y se estima que todavía no se ha alcanzado el límite inferior para el tamaño de las cámaras y el tamaño de los píxeles. Independientemente del futuro desarrollo dentro de este campo, cualquier cámara que sea más pequeña que las cámaras disponibles actualmente será adecuada para usarse en la presente invención. Por lo tanto, el componente de detección de luz de la cámara puede presentar una sección transversal en una dirección perpendicular a la dirección de luz incidente inferior a 10 mm, tal como inferior a 9 mm, por ejemplo inferior a 8 mm, tal como inferior a 7 mm, por ejemplo inferior a 6 mm, tal como inferior a 5 mm, por ejemplo inferior a 4 mm, tal como inferior a 3 mm, por ejemplo inferior a 1 mm, tal como inferior a 0,5 mm, por ejemplo inferior a 0,25 mm, tal como inferior a 0,1 mm, por ejemplo inferior a 0,01 mm.

El número de píxeles de la cámara es una cuestión del tamaño de la cámara (que depende del tamaño de los píxeles), la potencia de cálculo utilizada para procesar los resultados de los escaneados y el coste de la cámara. No puede fijarse un límite superior para el número de píxeles ya que la precisión aumenta siempre que aumente el número de píxeles. Por consiguiente, la cámara puede comprender una disposición de al menos 125*125 píxeles, más preferentemente de al menos 250*250 píxeles, más preferentemente de más de 500*500 píxeles, más preferentemente de más de 1000*1000 píxeles, tal como de más de 2000*2000 píxeles, por ejemplo de más de 4000*4000 píxeles, tal como de más de 8000*8000 píxeles, por ejemplo de más de 10.000*10.000 píxeles, tal como de más de 25.000*25.000 píxeles, por ejemplo de más de 50.000*50.000 píxeles, tal como de más de 100.000*100.000 píxeles, por ejemplo de más de 250.000*250.000 píxeles, tal como de más de 500.000*500.000 píxeles, por ejemplo de más de 1.000.000*1.000.000 de píxeles. De manera similar, el tamaño de los píxeles puede ser el más pequeño disponible en el mercado, por ejemplo en el que una sección transversal de un píxel sea inferior a 100 μm, tal como inferior a 50 μm, por ejemplo inferior a 25 μm, tal como inferior a 20 μm, por ejemplo inferior a 15 μm, tal como inferior a 10 μm, por ejemplo inferior a 7,5 μm, tal como inferior a 5 μm, por ejemplo inferior a 2,5 μm, tal como inferior a 2 μm, por ejemplo inferior a 1,5 μm, tal como inferior a 1 μm, por ejemplo inferior a 0,5 μm, tal como inferior a 0,25 μm, por ejemplo inferior a 0,1 μm, tal como inferior a 0,01 μm.

El patrón de luz puede reflejarse desde la superficie directamente hacia la cámara o hacia uno o más medios de reflexión de luz tales como espejos o prismas antes de llegar a la cámara. En la realización del escáner de la figura 1 no se aplica ningún espejo ya que el escáner sólo necesita “mirar” hacia delante con respecto a la cámara, es decir, la dirección de visión es siempre paralela al eje óptico de la cámara. La figura 5 ilustra la emisión simple del patrón de luz 501 y sus reflexiones 504 desde la superficie de objeto 502 hacia la cámara 505 sin utilizar espejos. La figura 5 es una ilustración simplificada del principio utilizado en el escáner de la figura 1.

Aplicando uno o más espejos y/o prismas para reflejar la luz hacia la cámara, se obtiene una libertad total para seleccionar la dirección de la vista independientemente de la orientación de la cámara. La figura 6 ilustra cómo el patrón de luz emitido 601 se refleja usando un espejo y/o un prisma cónicos 602 antes de que incida sobre la superficie de objeto 605. Asimismo, la luz reflejada 604 se refleja hacia un espejo y/o un prisma 606 antes de entrar en la cámara 607. La figura 6 es una ilustración simplificada del principio utilizado en el escáner de la figura 3. Espejos estáticos tales como espejos coplanares o cónicos pueden aplicarse directamente en la invención. Los espejos estáticos tienen la ventaja de ser simples y mecánicamente estables.

En la realización del escáner mostrada en la figura 3, el espejo y/o el prisma situado por delante de la cámara son coplanares, circulares y pueden girar. La ventaja de un espejo y/o de un prisma giratorios en comparación con un espejo y/o un prisma estáticos, tales como un espejo y/o un prisma cónicos, es que la resolución de la imagen y el campo de visión de la cámara aumentan significativamente. De hecho, la resolución y el campo de visión están seriamente limitados debido a las pequeñas dimensiones del escáner, lo cual afecta directamente a la precisión y a la flexibilidad. Inclinando el espejo y/o el prisma se aumenta adicionalmente la precisión y la flexibilidad. En la práctica, el mismo espejo y/o prisma pueden usarse para generar el patrón de luz y reflejar la luz hacia la cámara. Sin embargo, aplicando diferentes espejos y/o prismas para la luz y las cámaras, tal y como se presenta en la figura 3, se aumenta la flexibilidad del escáner especialmente con respecto a la dirección de visión, la profundidad del campo y la calidad de reconstrucción de los puntos.

En caso de dimensiones muy pequeñas de la cavidad y/o de altos requisitos de precisión, no es factible colocar la cámara por delante del escáner. El problema se soluciona sacando las cámaras de la sonda. La imagen/luz se dirige entonces hacia las cámaras usando guías de luz tales como un sistema de lentes o fibras ópticas. Una realización de la invención en la que se utiliza un sistema de lentes 701 y fibras ópticas 801 se ilustra en la figura 7 y en la figura 8, respectivamente. El sistema de lentes puede ser similar a los sistemas de lentes utilizados en los periscopios y endoscopios. En la actualidad, el sistema de lentes es superior a las fibras ópticas en lo que respecta a unas dimensiones más reducidas y a la calidad de la imagen. La desventaja del sistema de lentes es que requiere que la sonda sea rígida, mientras que las fibras ópticas son totalmente flexibles, es decir, la sonda puede ser flexible.

10 5.4 Detección de la posición

El objetivo del sensor de posición es determinar la posición y la orientación relativas del cabezal de sonda con respecto al objeto que va a escanearse. Sabiendo esta posición, es extremadamente ventajoso combinar los escaneados individuales cuando el escáner o el objeto se mueven. Los errores en las medidas de la posición afectarán directamente a la calidad del escaneado. En caso de que se escaneen objetos no fijos tales como el conducto auditivo de las personas, es extremadamente ventajoso medir la posición con respecto al objeto, por ejemplo el conducto auditivo, y no con respecto a un sistema de coordenadas fijo, ya que el objeto puede moverse durante el escaneado.

Recuérdese que el sensor de posición se requiere solamente para combinar los escaneados individuales. El sensor de posición puede resultar superfluo mediante un registro de los escaneados individuales. La salida del registro es la posición relativa de los escaneados. El conocer las posiciones relativas de los escaneados hace sencillo combinar los escaneados. Para que el registro sea satisfactorio, la superficie interior necesita contener un número apropiado de características diferenciadas, lo que no es siempre el caso.

Preferentemente, el sensor de posición debe ser un sensor magnético tal y como se muestra en la figura 9, donde el receptor 902 está normalmente en el escáner y el transmisor 903 está fijado al objeto 901, por ejemplo la cabeza de una persona. Los sensores magnéticos tienen la ventaja de no experimentar problemas de oclusión. Sensores alternativos pueden ser sensores ópticos o sónicos. La figura 9 ilustra un sensor óptico en el que marcadores 904 están colocados sobre el objeto y un sensor 905 en el escáner. Asimismo, la figura 9 ilustra un sensor sónico, donde un emisor 906 está colocado sobre el objeto y un detector 907 está colocado en el escáner. Tanto los sensores ópticos como los sónicos experimentan problemas de oclusión, pero su coste es a menudo inferior y la precisión es superior a la de los sensores magnéticos. En caso de un objeto fijo o de un objeto que puede ser fijo, el sensor de posición mecánico se vuelve atractivo. Tal y como se ilustra en la figura 9, estos sensores consisten normalmente en una pluralidad de articulaciones 908 conectadas mediante codificadores. Muchos sensores mecánicos son altamente precisos pero tienden a ser voluminosos o a tener un manejo engorroso.

En general, la posición necesita determinarse con respecto al cabezal del escáner. De manera más precisa, la posición del punto focal de la cámara tiene que determinarse cuando la cámara está colocada en el cabezal de la sonda. En caso de que se utilicen guías de luz delante de la cámara, la posición debe corresponderse con la punta de las guías. Con un diseño rígido del recubrimiento del escáner, como en las figuras 1 a 4, el sensor de posición puede colocarse en cualquier parte del escáner ya que la distancia relativa entre el cabezal de escaneado y el sensor de posición es constante. Con un diseño flexible de la sonda, el sensor de posición necesita colocarse en el cabezal de escaneado, por ejemplo, delante del escáner, como en la figura 11 y en la figura 12.

45 5.5 Recubrimiento

En el diseño del escáner mostrado en la figura 1 y en la figura 3 se supone que solamente la sonda 101 se mueve hacia el interior de la cavidad. El objetivo principal del diseño ha sido minimizar el ancho de esta parte ya que determina el tamaño mínimo de la cavidad que puede escanearse. En general, el ancho de la sonda puede reducirse libremente hasta 0,1 mm aproximadamente, por ejemplo el ancho puede ser de 30, 20, 15, 10, 8, 6, 5, 4, 3, 2, 1 ó 0,1 mm. Sin embargo, el diseño final es un equilibrio entre el tamaño, la precisión y la estabilidad mecánica. En general, la aplicación determina el diseño deseable.

En caso de escanear el conducto auditivo humano, se requiere que el ancho de la parte sea inferior a 4 mm. La figura 3 muestra un escáner diseñado para escanear conductos auditivos, donde el ancho de la sonda es de 3,5 mm. La longitud de la sonda también puede reducirse libremente hasta 5 mm aproximadamente, por ejemplo la longitud puede ser de 20, 35, 50, 100, 200, 300 ó 500 mm. La longitud de la sonda mostrada en la figura 1 y en la figura 3 es de 55 mm.

El resto del recubrimiento del escáner es básicamente un asidero. Para un manejo óptimo, esta parte debe tener preferentemente un ancho de 10 a 30 mm y un largo de 100 a 150 mm. Sin embargo, las dimensiones pueden variar libremente. Como en la figura 1 y en la figura 3, el ancho del asidero puede extenderse para hacer sitio a los componentes, por ejemplo al sensor de posición. Sin embargo, las dimensiones de esta extensión deben minimizarse si el objetivo es crear el escáner más pequeño y más ligero. El ancho y el largo de la extensión mostrada en la figura 1 y en la figura 3 son de 40 mm y 30 mm, respectivamente. Obsérvese que fuentes de luz más grandes talos como focos halógenos pueden llevarse a la extensión.

ES 2 327 212 T3

En otra realización del escáner, es posible hacer girar la sonda 360 grados alrededor de su eje. La ventaja de este diseño en comparación con solamente hacer girar los espejos y/o los prismas, tal como en la figura 3, es que el motor puede colocarse en el asidero. Asimismo, otra realización comprende un accionamiento lineal que puede trasladar la sonda a lo largo de su eje. El escáner también puede montarse en un robot, en un sistema de posición magnético o en otro dispositivo que pueda colocar al escáner en cualquier orientación y posición dentro de su espacio de trabajo.

La elección del material del recubrimiento depende de la aplicación real, especialmente si la sonda necesita ser rígida o flexible. Preferentemente, el recubrimiento debe fabricarse en acero inoxidable o a partir de un material seleccionado de un grupo formado por aleaciones, aluminio, un polímero plástico, kevlar®, cerámica o carbono.

En algunas aplicaciones puede ser necesario proteger los componentes tales como las cámaras, espejos y/o prismas y lentes contra el polvo y otra suciedad. En la práctica, esto se lleva a cabo introduciendo una ventana de material transparente tal como vidrio o un polímero plástico en los orificios por delante de los componentes relevantes.

5.6 Otras características

Otras características de la realización preferida son un protector/detector de colisiones, un botón de escaneado y un recubrimiento de escáner desechable. El protector consiste en material blando tal como caucho, silicona o un polímero plástico y garantiza que la punta de la sonda y la superficie no queden dañadas en caso de colisión. En caso de escanear un conducto auditivo, es vital que el escáner no dañe el tímpano. En caso de superficies muy frágiles, se añade al protector un detector de colisiones adaptado para medir la distancia desde la punta del escáner hasta la parte inferior de la superficie interior. Cuando el escáner está sujeto a requisitos higiénicos cuando escanea las superficies, es deseable un recubrimiento desechable para minimizar la necesidad de limpieza. El recubrimiento desechable sólo cubrirá normalmente la sonda o partes de la misma, pero puede ajustarse a requisitos específicos. El botón de escaneado se utiliza para iniciar y detener la operación de escaneado.

5.7 Procesamiento

Las imágenes adquiridas se analizan en tiempo real en un procesador/microprocesador de señales digitales que está situado en el asidero del escáner o en un módulo de procesamiento aparte. La primera etapa en el análisis de una imagen es detectar el patrón de luz en la imagen utilizando un algoritmo de seguimiento estándar. Cuando se obtiene el patrón de luz con una precisión de subpíxel, pueden reconstruirse las coordenadas 3D correspondientes usando una geometría proyectiva ampliamente conocida. Una reconstrucción precisa de las coordenadas 3D requiere una calidad muy alta de la cámara y de la calibración de la luz. La siguiente etapa es combinar las coordenadas 3D de diferentes imágenes adquiridas en la misma o en diferentes posiciones. La fusión se realiza simplemente combinando los conjuntos de puntos individuales situados con respecto a su posición relativa. Finalmente, los puntos se triangulan usando un algoritmo de triangulación estándar para formar la superficie final del modelo 3D. Después, el modelo 3D puede transferirse a través de una red hacia el destino para un uso adicional.

5.8 Usos del escáner

El escáner según la invención está adaptado especialmente para escanear superficies interiores tales como las cavidades corporales y otras superficies interiores con estrechas aberturas dentro de las cuales no puede entrar la luz de un escáner externo debido a los efectos de oclusión.

Por lo tanto, se prevé que el escáner es ventajoso para escanear cavidades corporales tales como las superficies internas del oído, la nariz, boca, dientes, estómago, pulmones, alvéolos, garganta, recto, vagina, venas, vasos sanguíneos y vías urinarias. El escaneado de los dientes puede utilizarse con relación a la corrección de los dientes y a la fabricación de implantes dentales. El escaneado de los vasos sanguíneos puede ser útil con relación a la cirugía. El escaneado de la vagina puede utilizarse con relación al embarazo y al parto y también para medir y modelar un diafragma adaptado de manera individual. La figura 13 muestra un escaneado de la superficie interior de un oído y de un conducto auditivo 1301.

El escáner también puede utilizarse para fines industriales tales como para escanear las superficies internas de los motores, conductos de combustible, diámetros interiores, pasos internos, tuberías, tubos y contenedores. De esta manera, pueden medirse las dimensiones exactas (volumen y/o sección transversal y/o ubicación de características) de los dispositivos. Cuando se utiliza un escáner con un sensor de posición, esto puede llevarse a cabo de manera más precisa que con cualquiera de los escáneres conocidos. Además, los escáneres actuales no son sensibles a pequeñas desviaciones en la orientación del eje del escáner con respecto al eje del objeto que está escaneándose.

Otro uso es para fines arqueológicos, tales como para escanear las superficies internas de vasijas, cráneos y de otros artículos arqueológicos.

Además, los escáneres son muy útiles en el diseño industrial específicamente con relación a la modelización 3D asistida por ordenador.

5.9 Escaneado del oído

Una posibilidad según la invención es escanear directamente el conducto auditivo. Esto puede realizarse construyendo los componentes del escáner en un aparato que pueda introducirse dentro del oído del paciente. Realizaciones de este escáner se muestran en la figura 11. Preferentemente, la fuente de luz, por ejemplo el láser, y la cámara se sitúan fuera del oído. La luz láser puede propagarse dentro del escáner mediante guías de luz 201 y, de manera similar, las señales reflejadas pueden propagarse hacia una cámara mediante otra guía de luz 801. El escáner también consiste en un sensor de posición 203 que mide la posición relativa del escáner con respecto al objeto. Durante el escaneado, el escáner se apoya preferentemente sobre el borde del conducto auditivo, más preferentemente en aquellos lugares en los que los huesos están más cerca de la superficie de la piel. Esto es para obtener la mayor estabilidad y es muy importante, ya que el propio escáner funciona con una precisión inferior a 0,05 mm. La longitud del conducto auditivo puede escanearse introduciendo y sacando el escáner y grabando una serie de imágenes solapadas del conducto auditivo. El escáner puede comprender solamente una fuente de láser y una cámara, tal y como se muestra en la parte izquierda de la figura 11. En ese caso, el escáner tiene que girar cuando la cámara graba imágenes. Preferentemente, el escáner comprende múltiples fuentes de láser tales como cuatro según se muestra en el escáner de la parte derecha de la figura 11. La presencia de múltiples fuentes de láser y cámaras elimina la necesidad de rotación del escáner en el conducto auditivo. En el escáner láser desvelado en la figura 11, la fuente o fuentes de láser proyectan un rayo de luz láser sobre la superficie del conducto auditivo.

Otro tipo de escáner láser para el conducto auditivo se muestra en la figura 12. En este caso, la luz láser se proyecta como haces de láser que generan un contorno láser sobre la superficie del conducto auditivo. Por lo tanto, puede realizarse un escaneado más rápido en comparación con el escáner láser anterior. En el escáner mostrado en la parte derecha de la figura 12 están presentes cuatro haces de láser y cuatro cámaras. Por lo tanto, los haces de láser cubren toda la circunferencia y no se requiere la rotación del escáner.

Pueden usarse los mismos tipos de variación del escáner para el conducto auditivo como en los otros casos de escáneres tridimensionales según esta invención. Por lo tanto, el escáner comprende preferentemente al menos dos cámaras, más preferentemente 4 cámaras tal como por ejemplo 6 cámaras. Asimismo, pueden haber varias fuentes de láser tal como por ejemplo 2 láseres que crean haces con un desfase de 180°, preferentemente 3 haces de láser con un desfase de 120° ó 4 haces de láser con un desfase de 90°.

Antes del escaneado, el oído del paciente debe limpiarse para eliminar el cerumen. En algunos casos, puede ser ventajoso tratar la superficie del conducto auditivo si la apariencia es demasiado brillante.

Un escaneado puede realizarse en menos de 1 minuto y por tanto es posible grabar una pluralidad de escaneados de un oído y pedir al paciente que varíe intencionadamente el tamaño del conducto auditivo tragando, bostezando, masti-cando y bebiendo. De esta manera puede grabarse una serie de escaneados del conducto auditivo y puede detectarse la magnitud de la variación del conducto auditivo del paciente. Finalmente, es posible superponer estos escaneados entre sí para crear un modelo que se ajuste al oído del paciente en todas las condiciones. Un modelo de este tipo se realiza de manera natural como un compromiso entre los diferentes tamaños del conducto auditivo.

El ajuste mejorado de las carcasas de los audífonos según la presente invención en comparación con las carcasas de los audífonos de la técnica anterior significa que se minimiza el problema frecuente de la realimentación acústica. El escaneado directo del oído reduce significativamente los costes de producción de los audífonos ya que las impresiones utilizadas en la actualidad se consideran superfluas. La eliminación de la impresión elimina el coste de manipulación y de envío y reduce el tiempo de producción y mejora la flexibilidad.

5.10 Modelo del oído

Los audífonos actuales se fabrican en un molde de silicona construido a partir de una impresión del oído.

Es posible escanear y crear copias muy detalladas y precisas de impresiones de oído con el sistema desarrollado y descrito en el documento PCT/DK01/ (“*Object and method for calibration of a three-dimensional lighth scanner*”, presentado por 3-Shape el 24 de agosto de 2001) en tramitación junto con la presente.

Además de audífonos, otros dispositivos también pueden introducirse en una carcasa fabricada para ajustarse al conducto auditivo de una persona. Tales dispositivos que pueden incorporarse de manera ventajosa dentro de una carcasa fabricada según el procedimiento descrito incluyen teléfonos móviles, dispositivos de comunicación, altavoces, dispositivos de enmascaramiento de acúfenos o dispositivos que registran vibraciones en el cráneo y que transforman las mismas en una señal de audio.

Los dispositivos que pueden incorporarse dentro de una carcasa en el oído también comprenden dispositivos relacionados con productos de interfaz hombre-máquina (MMI, *Man Machine Interface*), tales como auriculares/receptores hechos a medida que permiten una comunicación fiable y clara incluso en los entornos más ruidosos, o con productos relacionados con aplicaciones de internet inalámbricas.

El habla no solo crea ondas de sonido sino que también genera vibraciones dentro del cráneo del hablante. Estas vibraciones pueden capturarse en el oído (también pueden capturarse en otras partes, pero el procedimiento más

ES 2 327 212 T3

conveniente es hacerlo dentro del oído). En una pieza, un dispositivo puede comprender por tanto un micrófono para capturar el habla de la persona que lo lleva y un altavoz para transmitir el habla de la persona comunicante. Es importante que tales dispositivos estén fabricados para ajustarse al oído.

- 5 Los dispositivos basados en la detección de vibraciones en lugar de sonidos pueden utilizarse en los entornos más ruidosos ya que sólo capturarán el habla del portador y permitirán una comunicación tranquila ya que el hablante puede hablar en voz baja cuando sea necesario. Los dispositivos permiten una comunicación completa sin utilizar las manos.
- 10 Naturalmente, un dispositivo de este tipo también está desprovisto de cualquier tipo de realimentación acústica si se fabrica utilizando la presente invención.

5.11 Calibración

- 15 La precisión de las fuentes de luz y de las cámaras es muy alta en la actualidad y también lo es la del software desarrollado para detectar la intersección del haz de luz con el objeto y convertir los datos bidimensionales en coordenadas tridimensionales. De ese modo, las diferencias de precisión y por tanto la mejora de la precisión reside principalmente en la calibración de los sistemas. Recuérdese que la precisión es de vital importancia en muchas aplicaciones.
- 20 Para obtener la precisión más alta, tanto el patrón de luz como la cámara necesitan estar calibrados. Preferentemente, la calibración debe realizarse utilizando un objeto de calibración con curvas de características de objeto 3D simétricas y los correspondientes procedimientos como los descritos posteriormente y en el documento PCT/DK01/ (“*Object and method for calibration of a three-dimensional lighth scanner*”, presentado por 3-Shape el 24 de agosto de 2001) en tramitación junto con la presente. La ventaja principal de este tipo de objetos de calibración es que el patrón
- 25 de luz puede calibrarse independientemente de la calibración de la cámara. Una realización del objeto de calibración hueco utilizado para la calibración del escáner se muestra en la figura 10. Obsérvense las curvas de características de objeto 3D simétricas 1001 sobre el objeto de calibración, las cuales se utilizan en la calibración.

- 30 Preferentemente, un patrón de luz se proyecta sobre el objeto de calibración para generar curvas de características de imagen 2D en las imágenes adquiridas.

Cuando se prefiera, las curvas de características de imagen pueden determinarse usando la transformada de Hough, búsqueda por filtros, la intensidad máxima, umbrales, el centro de gravedad, derivadas u otros procedimientos.

- 35 Las coordenadas de características de imagen se obtienen como la intersección entre curvas de características de imagen. Estas intersecciones pueden observarse en las imágenes como esquinas o como bordes afilados de las curvas de características de imagen. Las coordenadas de características de imagen pueden obtenerse como la intersección entre las curvas de características de imagen tal como la intersección entre dos curvas de orden n ésimo, como la intersección entre dos curvas de primer orden, como la intersección entre dos curvas de segundo orden, como la
- 40 intersección entre dos curvas de tercer orden, como la intersección entre una curva de primer orden y una curva de segundo orden, como la intersección entre una curva de primer orden y una curva de tercer orden, o como la intersección entre una curva de segundo orden y una curva de tercer orden o como la intersección entre cualquier otra posible combinación de curvas.

- 45 Preferentemente, el procedimiento de calibración comprende además representar gráficamente una combinación matemática de puntos de características de imagen o características obtenidas a partir de estos puntos frente al ángulo de rotación o de traslación del objeto de calibración. Representando gráficamente esta función y estimando opcionalmente una función matemática que describa la relación entre la función de una coordenada de imagen y el ángulo de rotación o de traslación, la estimación de los parámetros de luz y del ángulo de rotación y/o de traslación se vuelve especialmente precisa. El procedimiento puede comprender además la determinación del plano medio de simetría en la representación gráfica.
- 50

- El plano medio de simetría puede determinarse calculando el ángulo medio de rotación/traslación media para pares de puntos de características de imagen que presenten el mismo valor en la combinación matemática. Esto genera
- 55 múltiples estimaciones para el desfase del codificador y para el desplazamiento del patrón de luz, permitiendo estimar también el ángulo del haz de láser.

- La calibración del patrón de luz también puede comprender seleccionar puntos simétricos, representar gráficamente el ángulo de rotación y/o de traslación para el primer punto frente a la diferencia en el ángulo de rotación y/o de
- 60 traslación entre los dos puntos simétricos, derivar fórmulas matemáticas para las líneas representadas gráficamente y estimar los parámetros del patrón de luz.

- Como alternativa, las fórmulas matemáticas pueden derivarse para las curvas que aparecen en algunas de las representaciones gráficas de la combinación matemática como una función del ángulo de rotación o de traslación. Dadas estas curvas y las correspondientes fórmulas pueden estimarse el desfase del codificador, el desplazamiento del patrón
- 65 de luz y el ángulo del patrón de luz.

ES 2 327 212 T3

Preferentemente, las coordenadas del patrón de luz de las curvas de características de objeto 3D se estiman en correspondencia con un número discreto de valores del ángulo de rotación y/o de traslación. Estos valores deben cubrir preferentemente toda la circunferencia y/o la longitud del objeto de calibración.

5 Las coordenadas 2D de las curvas de características de objeto 3D correspondientes a un número discreto de valores del ángulo de rotación y/o de traslación pueden calcularse a partir de funciones matemáticas que determinan las curvas de características de objeto 3D. Con el fin de determinar los parámetros de calibración tales como la posición de la cámara, la orientación de la cámara y los parámetros ópticos de la cámara, pares de coordenadas de patrón de luz 2D se comparan con coordenadas 2D calculadas para un número discreto de valores del ángulo de rotación y/o de traslación.
10 Preferentemente, esta comparación comprende utilizar el algoritmo de Tsai o el de Heikkilä. La ventaja del algoritmo de Tsai y el de Heikkilä en este contexto es que proporciona una estimación rápida y precisa de los parámetros de calibración tales como la distorsión radial de las lentes.

15 Procedimientos alternativos de calibración comprenden una transformación lineal directa y una transformación matricial no lineal directa opcionalmente en combinación con un procedimiento de optimización tal como el método de mínimos cuadrados para minimizar el error. En estos casos, los parámetros de calibración iniciales pueden estimarse para facilitar la convergencia de los parámetros durante la optimización.

20 Para mejorar la precisión de la calibración pueden excluirse de la calibración los valores atípicos. Los valores atípicos pueden identificarse, por ejemplo, en la representación gráfica de la combinación matemática de coordenadas de características de imagen frente al ángulo de rotación/de traslación o mediante la retroproyección de coordenadas después de una calibración inicial.

25 El 2% de los puntos de características que se desvían en su mayor parte de las curvas de características de imagen 2D retroproyectadas puede excluirse de la calibración o al menos el 3%, tal como al menos el 5%, por ejemplo al menos el 10%, por ejemplo al menos el 12%, tal como al menos el 15%, por ejemplo al menos el 20%, preferentemente al menos el 25%, por ejemplo al menos el 30%, más preferentemente al menos el 33% puede excluirse para mejorar la precisión de calibración.

30 Con el fin de cubrir toda la circunferencia del objeto de calibración, el número discreto de valores para el ángulo de rotación/traslación puede ser al menos 100, preferentemente al menos 240, por ejemplo al menos 500, tal como al menos 750, por ejemplo al menos 1000, tal como al menos 1200, por ejemplo al menos 1500, tal como al menos 1800, por ejemplo al menos 2000, tal como al menos 2400, por ejemplo al menos 3000, por ejemplo al menos 3600, tal como al menos 4200. Cuanto mayor sea el número discreto de valores del ángulo de rotación/traslación, mayor será la precisión de la calibración.
35

La mayor precisión de calibración se obtiene cuando sea usada una configuración rígida, la cual comprende montar el objeto de calibración sobre medios de montaje.

40 6. Referencias

[1] **TSai, R. Y.**, "A versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, páginas 323 a 344, Vol. RA-3, nº 4, agosto de 1987.

45 [2] **Heikkilä, J.**, "Geometric Camera Calibration Using Circular Control Points", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, nº 10, páginas 1066 a 1077, octubre de 2000.

50

55

60

65

ES 2 327 212 T3

REIVINDICACIONES

1. Un escáner para el escaneado tridimensional de superficies interiores, que comprende
5 al menos una fuente de luz adaptada para crear y proyectar luz estructurada generando un patrón sobre la superficie interior de un objeto,
al menos una cámara, adaptada para grabar imágenes 2D del patrón,
10 medios de procesamiento de datos adaptados para convertir información de imágenes 2D en coordenadas universales 3D,
al menos un sensor de posición adaptado para proporcionar la posición y la orientación relativas del escáner durante
15 escaneados sucesivos,
estando situados tanto el punto de emisión de luz como el punto de acumulación de luz reflejada para la cámara en una sonda que presenta un eje,
20 estando adaptadas la al menos una fuente de luz y la al menos una cámara para realizar un escaneado de 360° alrededor del eje, y
estando adaptada la sonda para introducirse en una cavidad.
2. El escáner según la reivindicación 1, en el que la sonda es rígida.
3. El escáner según la reivindicación 1, en el que la sonda es flexible.
4. El escáner según la reivindicación 1, en el que la sonda presenta un diámetro o una sección transversal inferior
30 a 30 mm.
5. El escáner según la reivindicación 1, en el que la sonda presenta un diámetro o una sección transversal inferior a 20 mm, preferentemente inferior a 15 mm, más preferentemente inferior a 10 mm, tal como inferior a 10 mm, por ejemplo inferior a 8 mm, tal como inferior a 6 mm, por ejemplo inferior a 5 mm, tal como inferior a 4 mm, por ejemplo inferior a 3 mm, tal como inferior a 2 mm, tal como inferior a 1 mm, por ejemplo inferior a 0,1 mm.
6. El escáner según la reivindicación 1, en el que la sonda presenta una longitud de hasta 500 mm, tal como hasta 300 mm, por ejemplo hasta 200 mm, tal como hasta 100 mm, preferentemente hasta 50 mm, más preferentemente hasta 35 mm, tal como hasta 20 mm, por ejemplo hasta 10 mm, tal como hasta 5 mm.
7. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la sonda está hecha a partir de un material seleccionado del grupo consistente en una aleación, aluminio, kevlar, un polímero, cerámica y carbono.
8. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la sonda está hecha a partir de un
45 material seleccionado del grupo consistente en polímeros, tales como polímeros plásticos, caucho y silicona.
9. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de luz estructurada comprende al menos un rayo de luz que forma al menos un punto sobre la superficie.
10. El escáner según la reivindicación 9, en el que el patrón comprende al menos 10 rayos, tal como al menos 25 rayos, por ejemplo al menos 100 rayos, tal como al menos 1000 rayos, por ejemplo al menos 10.000 rayos, tal como al menos 100.000 rayos, por ejemplo al menos 1.000.000 de rayos.
11. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de luz está adaptada para crear y proyectar rayos de forma rectangular que forman un patrón de tablero de ajedrez distorsionado sobre la superficie interior.
12. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de luz estructurada comprende al menos un plano de luz que forma al menos un contorno sobre la superficie.
- 60 13. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el patrón de luz estructurada comprende al menos un cono de luz.
14. El escáner según la reivindicación 1, en el que la al menos una fuente de luz comprende un láser, un láser con potencia de salida variable, un diodo de emisión de luz (LED), un foco halógeno u otro proyector de luz, estando adaptada preferentemente para producir luz monocromática y/o coherente y/o polarizada.
- 65

ES 2 327 212 T3

15. El escáner según la reivindicación 1, en el que la fuente de luz presenta una sección transversal perpendicular a la dirección de luz emitida inferior a 5 mm, preferentemente inferior a 4 mm, por ejemplo inferior a 3 mm, tal como inferior a 2 mm, por ejemplo inferior a 1 mm, tal como inferior a 0,5 mm, por ejemplo inferior a 0,25 mm.
- 5 16. El escáner según la reivindicación 1, que comprende además dispositivos ópticos tales como filtros, lentes o prismas para crear y/o enfocar el patrón de luz sobre la superficie del objeto.
17. El escáner según la reivindicación 1, que comprende al menos 2 fuentes de luz, tal como al menos 3 fuentes de luz, por ejemplo al menos 4 fuentes de luz.
- 10 18. El escáner según la reivindicación 17, que comprende al menos 5 fuentes de luz, tal como al menos 6 fuentes de luz, por ejemplo al menos 7 fuentes de luz, tal como al menos 8 fuentes de luz, por ejemplo al menos 10 fuentes de luz, tal como al menos 12 fuentes de luz, por ejemplo al menos 16 fuentes de luz, tal como al menos 20 fuentes de luz.
- 15 19. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, mediante el cual la intensidad de las fuentes de luz varía dependiendo de la superficie y/o del color del objeto que va a escanearse.
20. El escáner según la reivindicación 19, mediante el cual la intensidad de las fuentes de luz se determina automáticamente utilizando una calibración de intensidad de fuente de luz automática.
- 20 21. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una fuente de luz está dispuesta de manera que la luz estructurada se emite en diferentes direcciones que cubren 360° alrededor de la sonda.
- 25 22. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una cámara comprende un conjunto de sensores.
23. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una cámara comprende un CCD.
- 30 24. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una cámara comprende un CMOS.
25. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente de detección de luz de la cámara presenta una sección transversal en una dirección perpendicular a la dirección de luz incidente inferior a 10 mm, tal como inferior a 9 mm, por ejemplo inferior a 8 mm, tal como inferior a 7 mm, por ejemplo inferior a 6 mm, tal como inferior a 5 mm, por ejemplo inferior a 4 mm, tal como inferior a 3 mm, por ejemplo inferior a 1 mm, tal como inferior a 0,5 mm, por ejemplo inferior a 0,25 mm, tal como inferior a 0,1 mm, por ejemplo inferior a 0,01 mm.
- 35 26. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la cámara comprende una disposición de al menos 125*125 píxeles, más preferentemente de al menos 250*250 píxeles, más preferentemente de más de 500*500 píxeles, más preferentemente de más de 1000*1000 píxeles, tal como de más de 2000*2000 píxeles, por ejemplo de más de 4000*4000 píxeles, tal como de más de 8000*8000 píxeles, por ejemplo de más de 10.000*10.000 píxeles, tal como de más de 25.000*25.000 píxeles, por ejemplo de más de 50.000*50.000 píxeles, tal como de más de 100.000*100.000 píxeles, por ejemplo de más de 250.000*250.000 píxeles, tal como de más de 500.000*500.000 píxeles, por ejemplo de más de 1.000.000*1.000.000 de píxeles.
- 45 27. El escáner según la reivindicación 26, en el que el tamaño de píxel es el más pequeño disponible en el mercado, por ejemplo en el que una sección transversal de un píxel es inferior a 100 μm , tal como inferior a 50 μm , por ejemplo inferior a 25 μm , tal como inferior a 20 μm , por ejemplo inferior a 15 μm , tal como inferior a 10 μm , por ejemplo inferior a 7,5 μm , tal como inferior a 5 μm , por ejemplo inferior a 2,5 μm , tal como inferior a 2 μm , por ejemplo inferior a 1,5 μm , tal como inferior a 1 μm , por ejemplo inferior a 0,5 μm , tal como inferior a 0,25 μm , por ejemplo inferior a 0,1 μm , tal como inferior a 0,01 μm .
- 50 28. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la al menos una cámara es sensible a los colores.
- 55 29. El escáner según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un filtro en la trayectoria de luz entre la superficie del objeto y la cámara que está adaptado para filtrar la luz de otras fuentes de luz distintas a las fuentes de luz individuales del escáner.
- 60 30. El escáner según la reivindicación 1, que comprende al menos 2 cámaras, tal como al menos 3 cámaras, por ejemplo al menos 4 cámaras.
- 65 31. Un procedimiento para escanear superficies interiores, que comprende las etapas de
- i) introducir en una cavidad un escáner con forma de sonda que presenta un eje,

ES 2 327 212 T3

ii) crear y proyectar luz estructurada desde un primer punto sobre la sonda generando un patrón sobre una superficie interior de un objeto, y en un segundo punto de la sonda, grabando imágenes 2D del patrón reflejado desde la superficie interior, realizando de ese modo un escaneado de 360° alrededor del eje de la sonda,

5

iii) determinar las coordenadas 2D de las imágenes del patrón,

iv) determinar la posición y la orientación relativas del escáner durante escaneados sucesivos con al menos un sensor de posición,

10

v) combinar una serie de imágenes para obtener coordenadas universales 3D de la superficie interior.

32. El procedimiento según la reivindicación 31, en el que el escáner es como el definido en la reivindicación 1.

15

33. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 31 a 32, que comprende además calibrar el escáner mediante las etapas de:

i) escanear un objeto de calibración tridimensional que presenta al menos un plano de simetría y por el cual al menos parte de al menos una curva de característica de objeto 3D de cada parte simétrica es una curva continua,

20

ii) determinar coordenadas de características de imagen que son representaciones de al menos un par de curvas de características de objeto 3D para cada uno de un número discreto de valores de un ángulo de rotación y/o de traslación, un par formado por una curva de característica de objeto 3D en cada parte simétrica del objeto de calibración,

25

iii) cambiar los parámetros de calibración para adaptarse al objeto de calibración.

30

34. El procedimiento según la reivindicación 33, mediante el cual un patrón de luz se proyecta sobre el objeto de calibración generando curvas de características de imagen 2D.

35. El procedimiento según la reivindicación 34, mediante el cual las curvas de características de imagen 2D se determinan usando la transformada de Hough.

35

36. El procedimiento según la reivindicación 33, mediante el cual las coordenadas de características de imagen 2D se obtienen como la intersección entre las curvas de características de imagen, tal como la intersección entre dos curvas de orden n ésimo, como la intersección entre dos curvas de primer orden, como la intersección entre dos curvas de segundo orden, como la intersección entre dos curvas de tercer orden, como la intersección entre una curva de primer orden y una curva de segundo orden, como la intersección entre una curva de primer orden y una curva de tercer orden, o como la intersección entre una curva de segundo orden y una curva de tercer orden.

40

37. Un procedimiento para la modelización y producción 3D, que comprende

obtener coordenadas universales 3D de una superficie interior de una cavidad prevista usando el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 31 a 33, y

45

crear una pieza adaptada para encajar en la cavidad.

38. El procedimiento según la reivindicación 37, en el que la producción comprende fresado, impresión tridimensional, estereolitografía, sinterización láser selectiva, modelización de objetos laminados, modelización por chorro de tinta, modelización por deposición fundida, nanoimpresión.

50

39. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 37 a 38, en el que la modelización 3D comprende una modelización asistida por ordenador de los datos de escaneado antes de la producción.

55

40. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 37 a 39, que comprende escanear la superficie interior de un conducto auditivo y producir una carcasa de audífono adaptada para alojar un dispositivo.

60

65

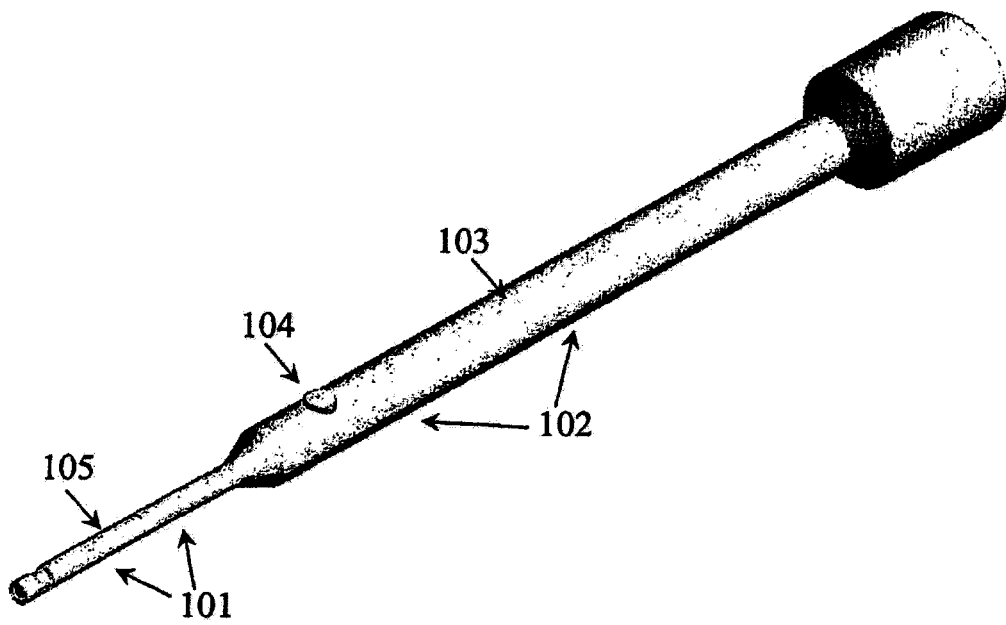


Figura 1

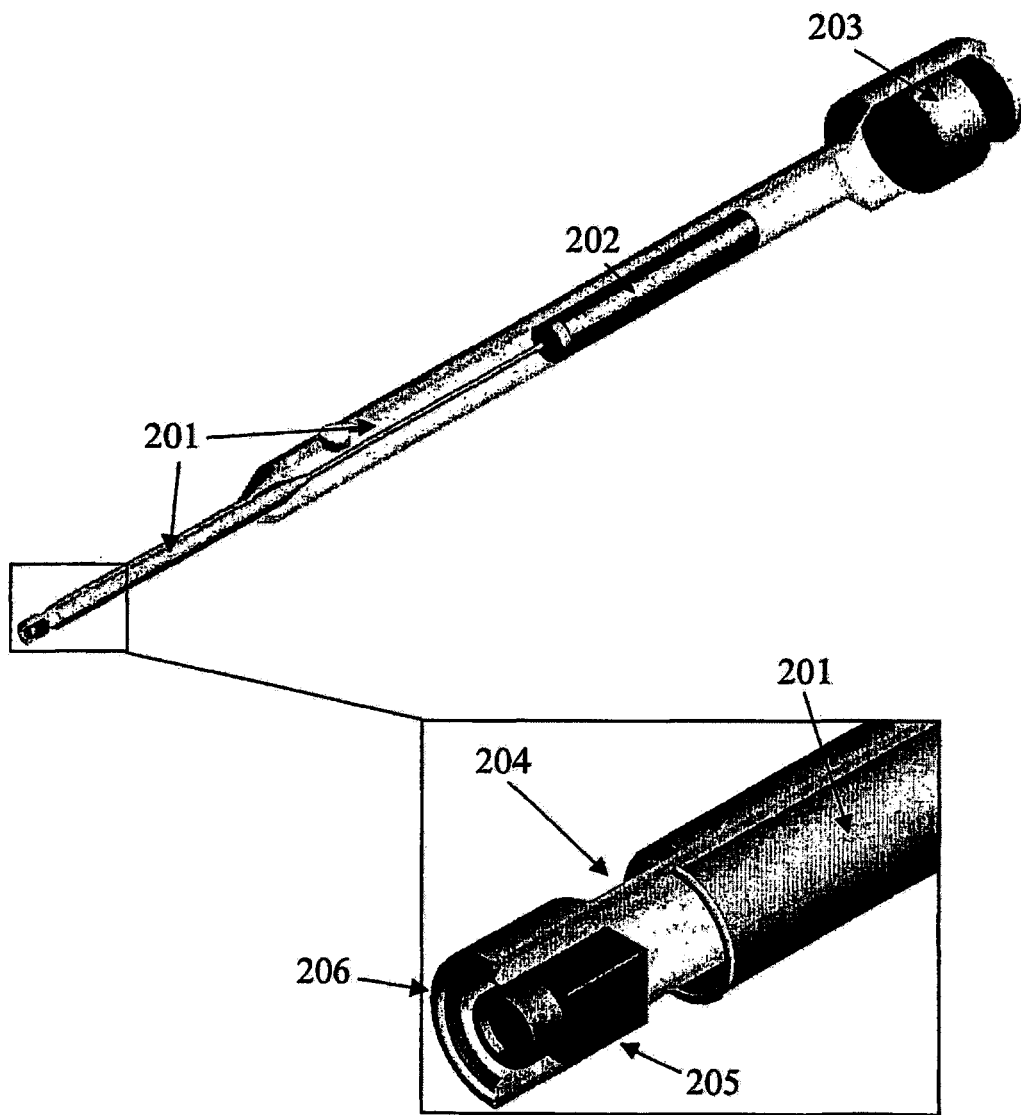


Figura 2

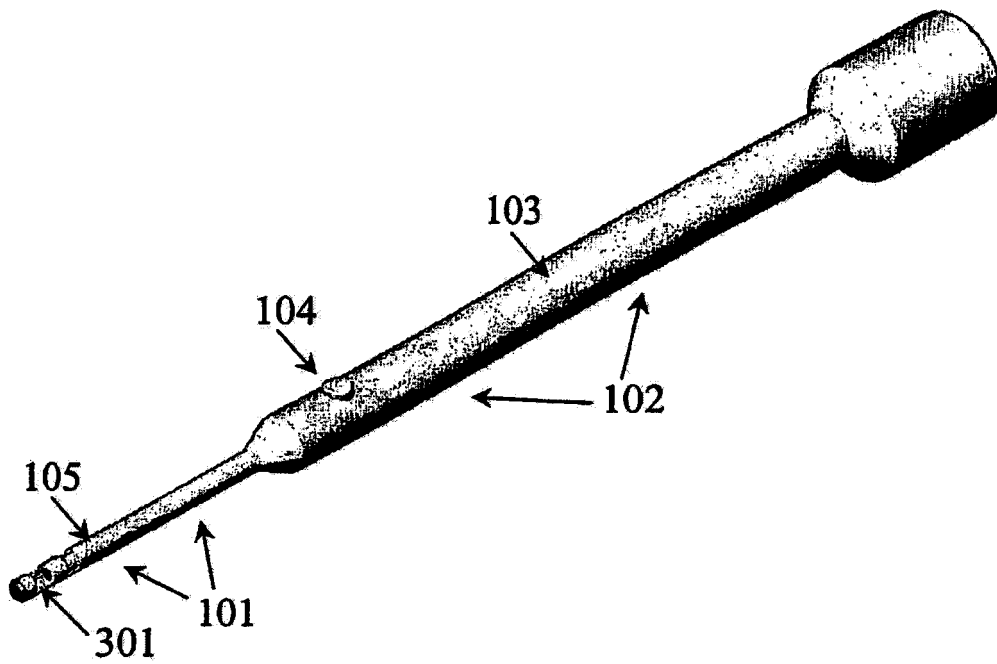


Figura 3

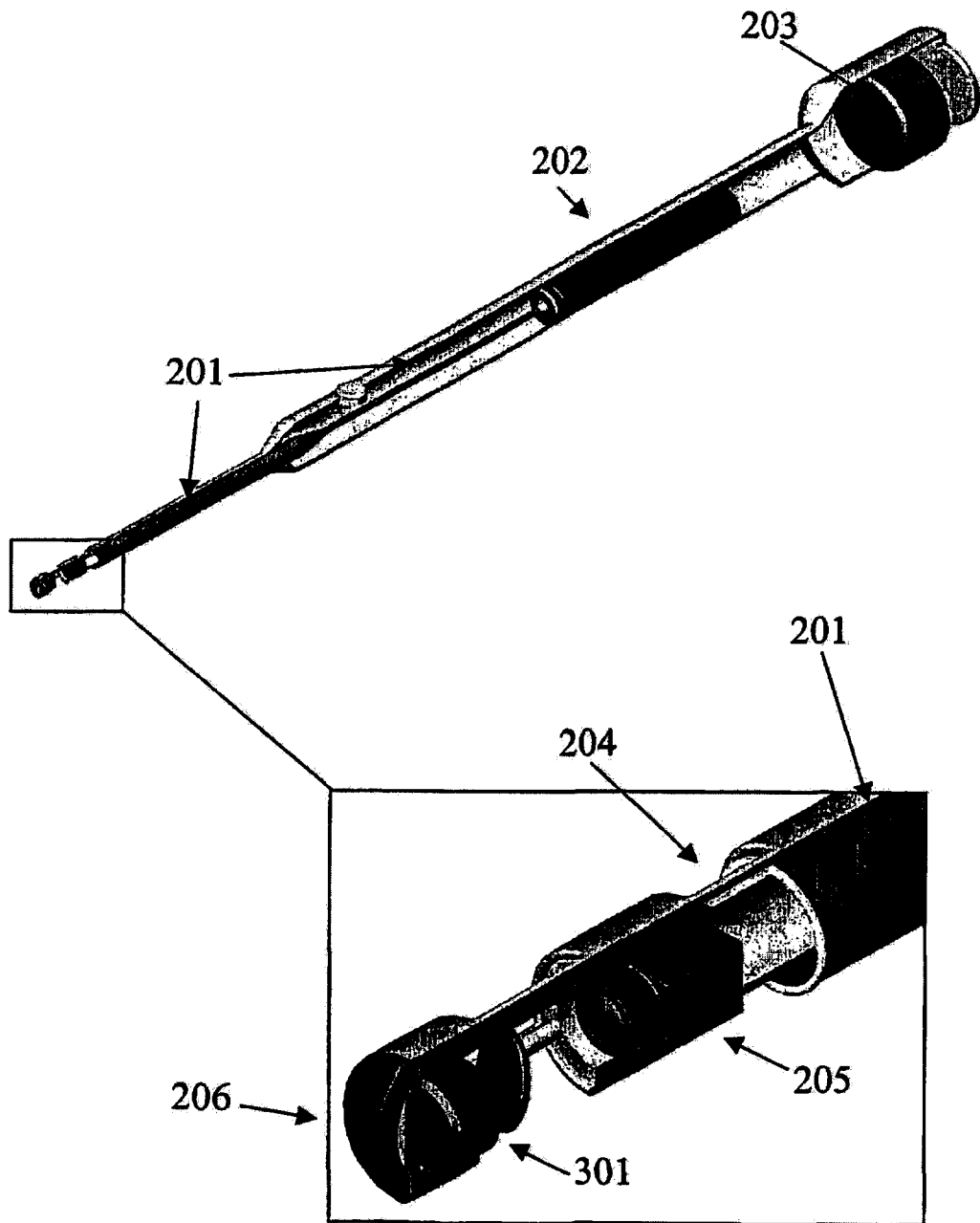


Figura 4

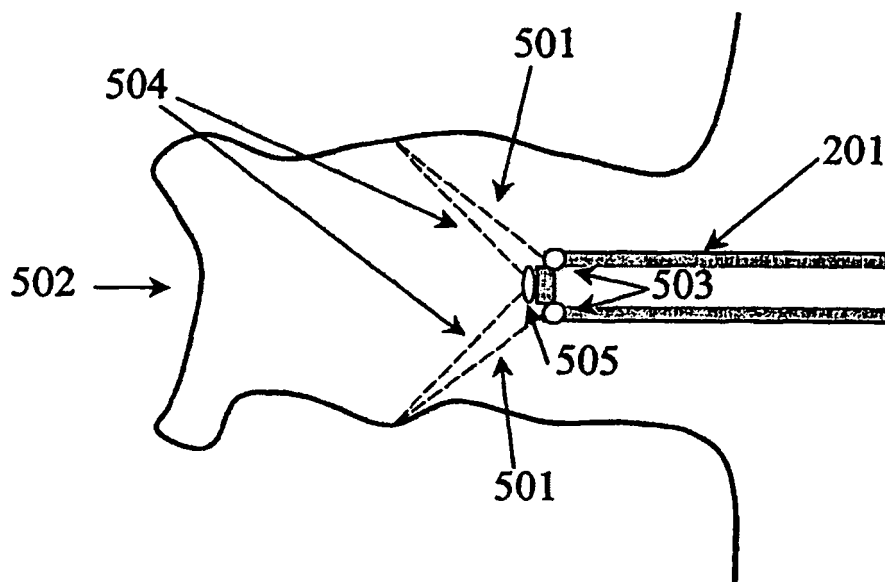


Figura 5

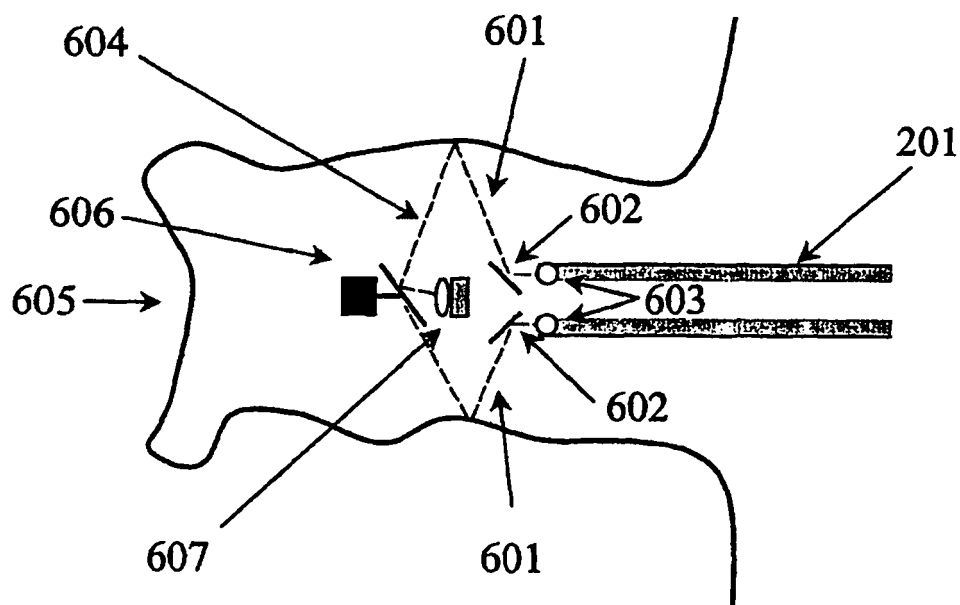


Figura 6

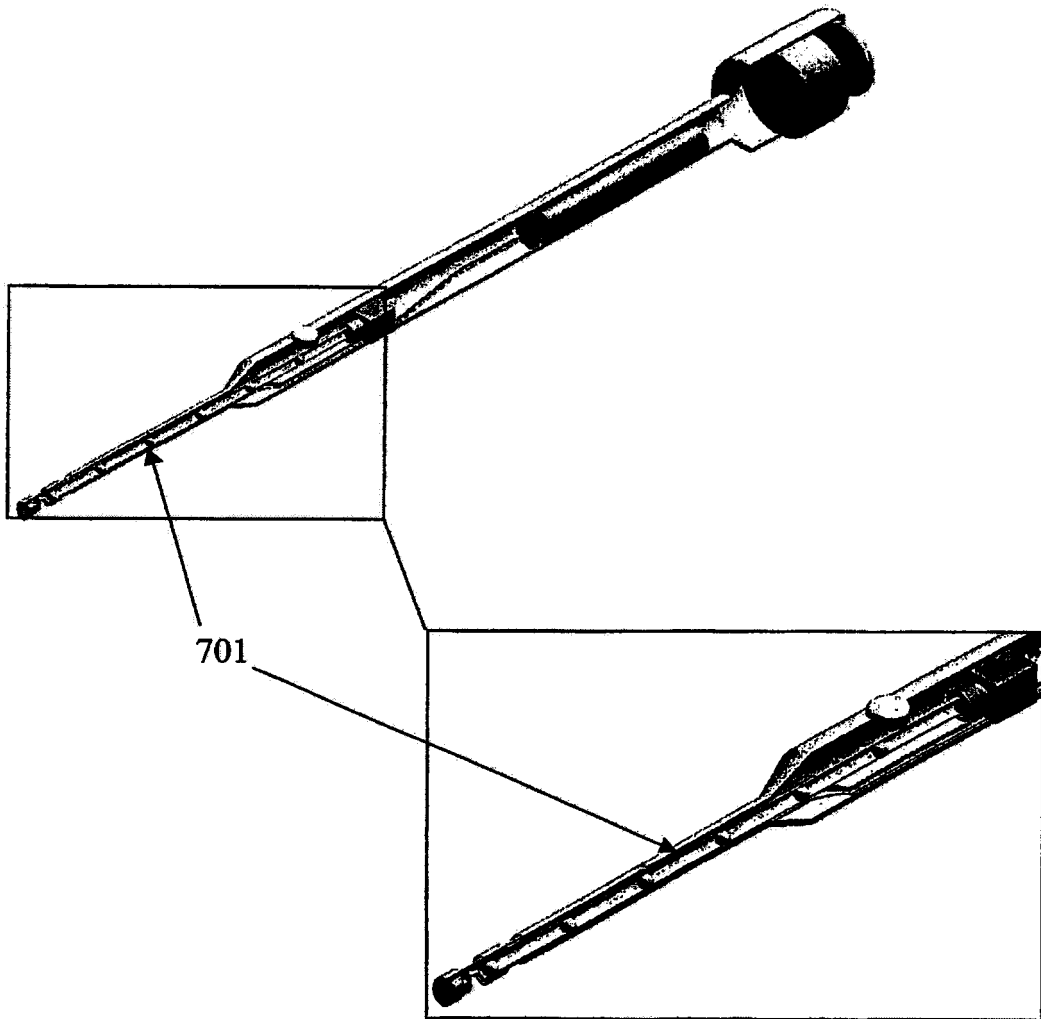


Figura 7

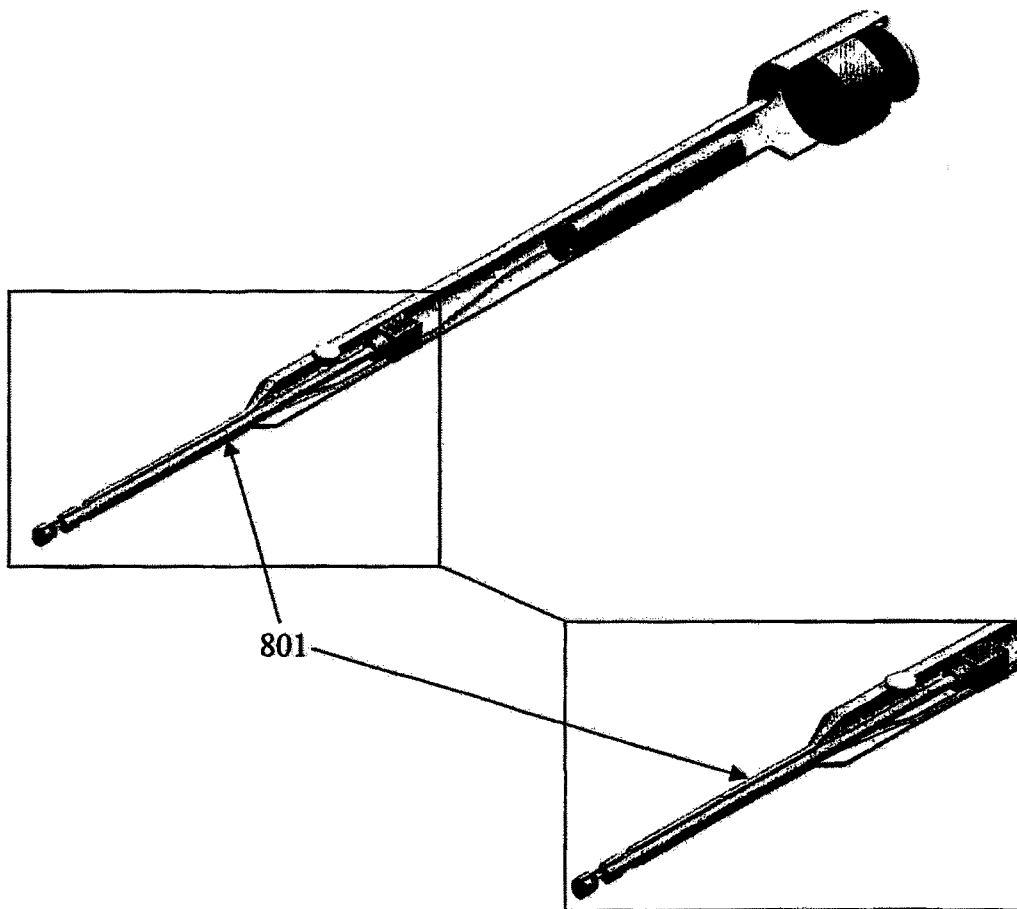


Figura 8

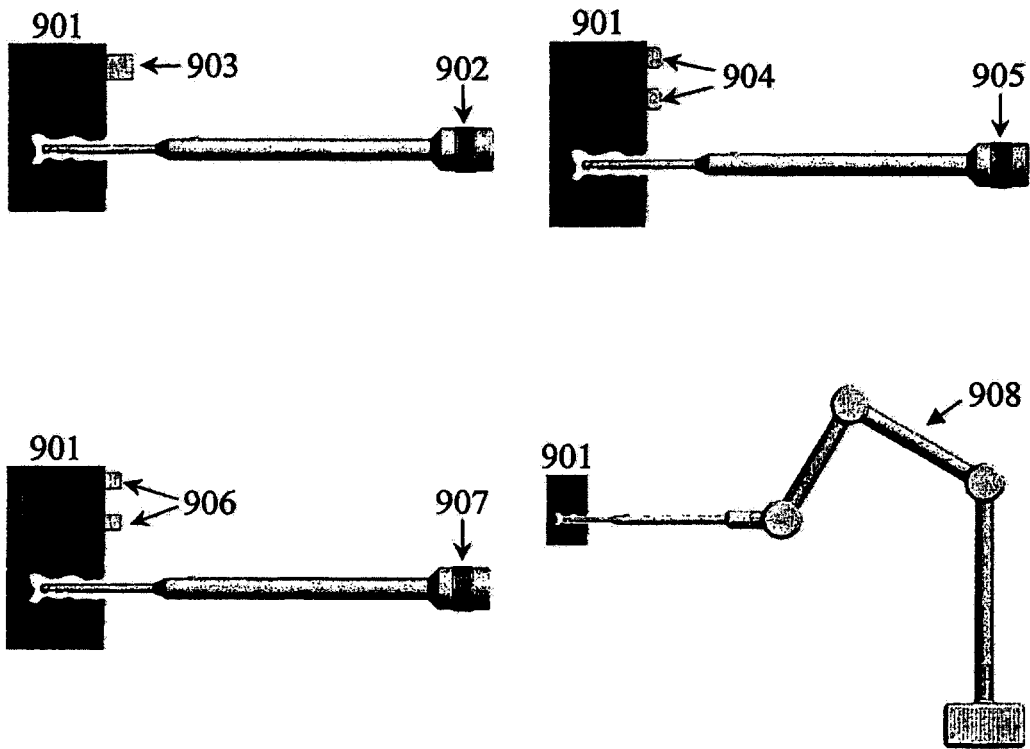


Figura 9

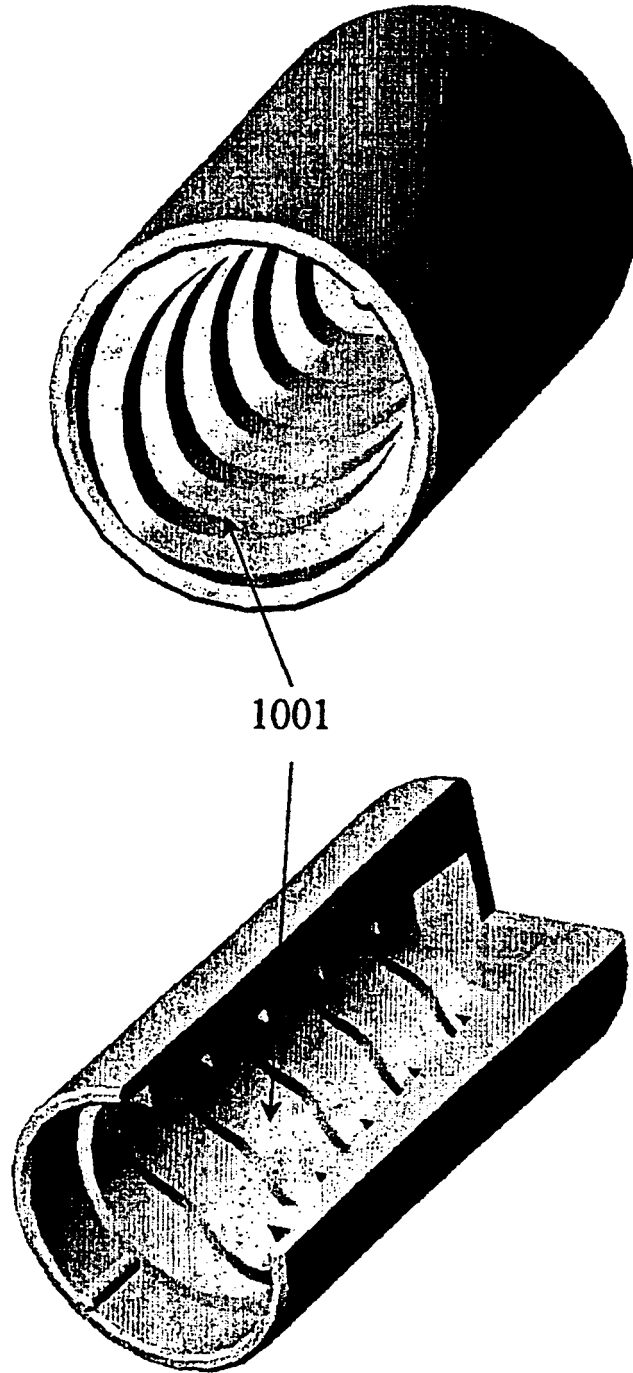


Figura 10

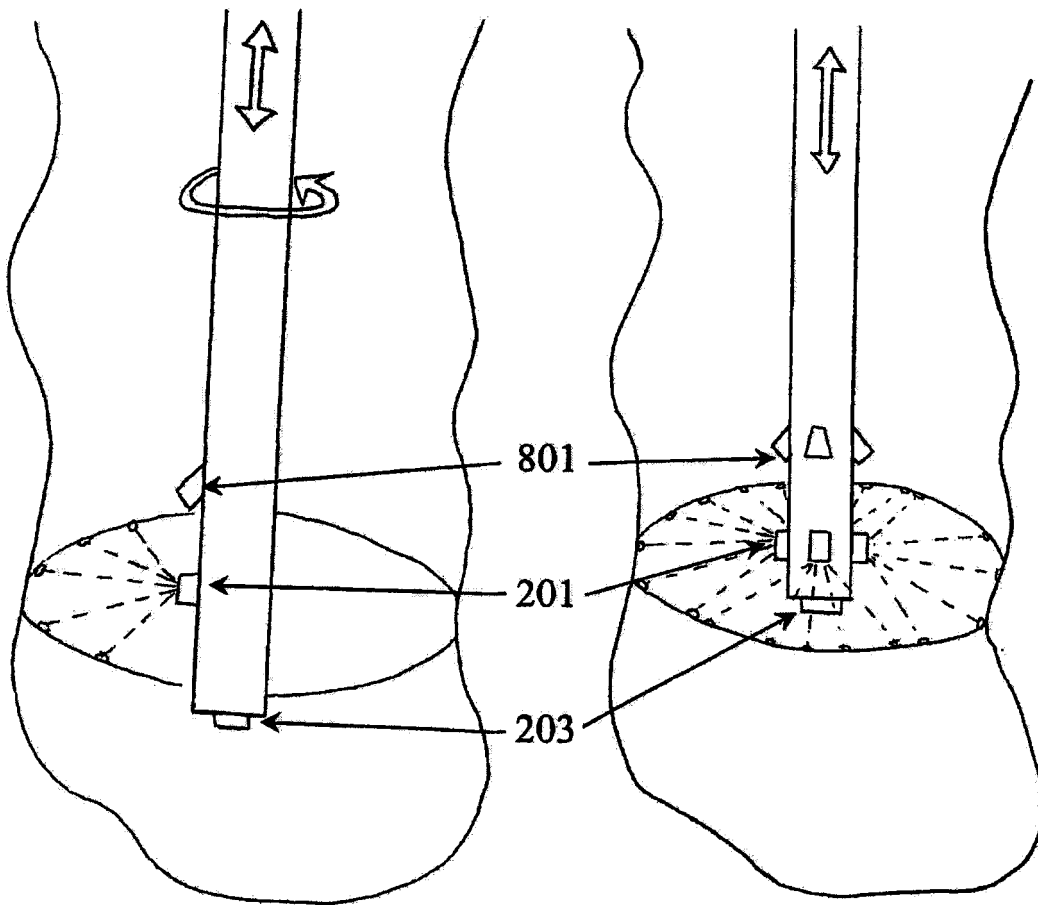


Figura 11

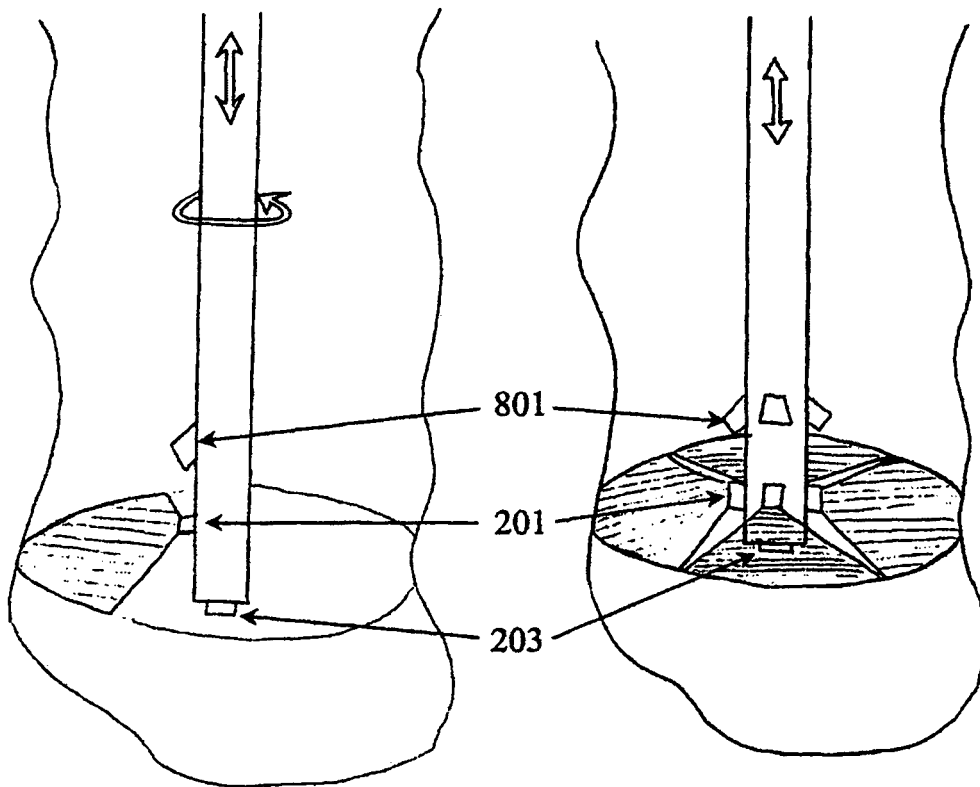


Figura 12

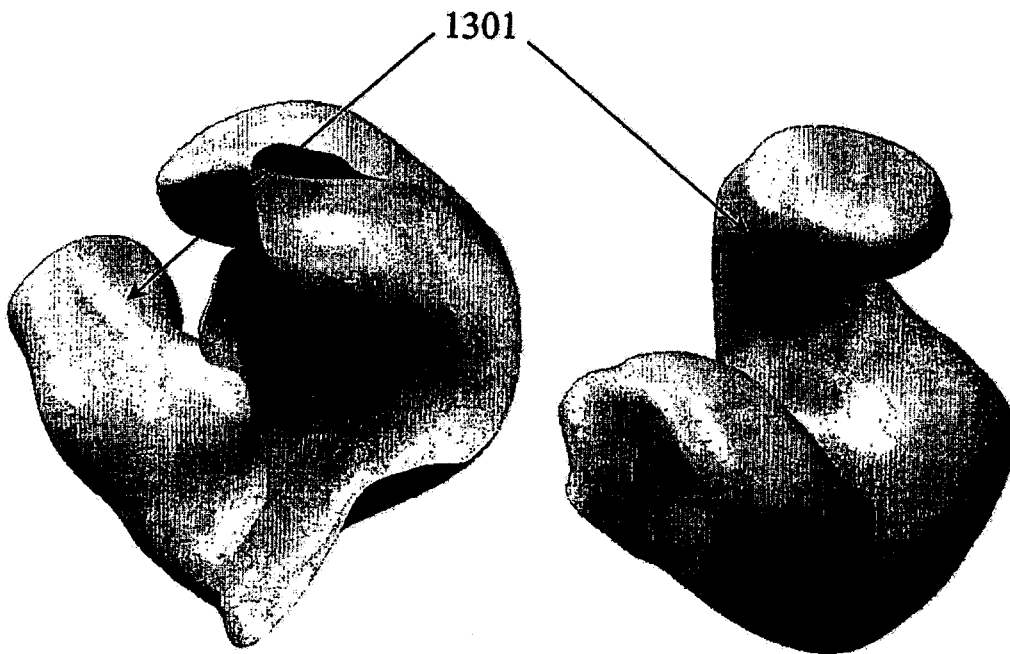


Figura 13

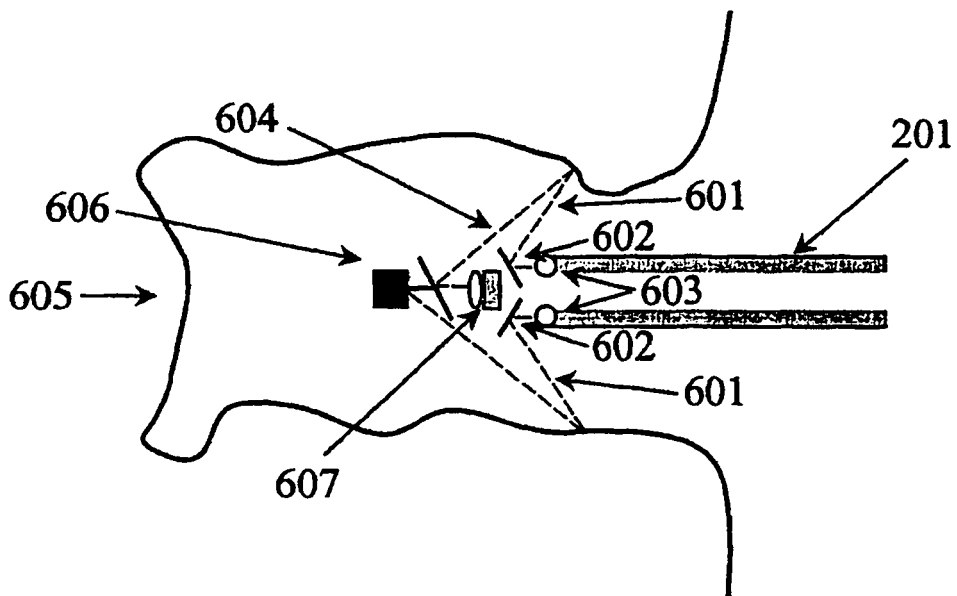


Figura 14