



①9



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

①1 Número de publicación: **2 324 658**

⑤1 Int. Cl.:
G01B 11/24 (2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑨6 Número de solicitud europea: **03800393 .5**

⑨6 Fecha de presentación : **30.12.2003**

⑨7 Número de publicación de la solicitud: **1579171**

⑨7 Fecha de publicación de la solicitud: **28.09.2005**

⑤4 Título: **Sistema digitalizador por láser para aplicaciones dentales.**

③0 Prioridad: **31.12.2002 US 437373 P**

④5 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.08.2009

④5 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.08.2009

⑦3 Titular/es: **D4D Technologies L.L.C.**
630 International Parkway, Suite 150
Richardson, Texas 75081, US

⑦2 Inventor/es: **Quadling, Henley;**
Quadling, Mark y
Blair, Alan

⑦4 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 324 658 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

Sistema digitalizador por láser para aplicaciones dentales.

5 Antecedentes de la invención**Campo relacionado**

La presente invención se refiere a la formación de imágenes tridimensionales de objetos físicos. En particular la invención se refiere a la formación de imágenes por láser de piezas dentales incluyendo moldes, fundiciones, dentaduras, dentaduras preparadas y similares.

Descripción de la técnica relacionada

Se han desarrollado técnicas para generar imágenes visuales tridimensionales ("3D") de objetos físicos. La imagen 3D puede generarse por un ordenador que procesa los datos que representan las superficies y contornos de un objeto físico. El ordenador representa la imagen 3D sobre una pantalla o un monitor de ordenador. Los datos pueden generarse explorando de forma óptica el objeto físico y detectando o capturando la luz reflejada desde el objeto. En base a las técnicas de procesamiento tales como la de Moiré, interferometría, y triangulación por láser pueden moldearse por ordenador la forma, las superficies y/o los contornos del objeto.

La técnica de Moiré usa una luz blanca estructurada para proyectar una imagen 2D sobre el objeto a representar de forma óptica. La técnica de Moiré usa un patrón que tiene un patrón de intensidad sinusoidal. El patrón de intensidad de la imagen proyectada observada desde una posición distinta que el ángulo de proyección no aparece como sinusoidal. Por lo tanto, el ángulo de fase deducido punto a punto entre la imagen observada y la proyectada puede correlacionarse con los datos de altura Z en cada uno de los puntos de imagen observados. A continuación los métodos de interferometría pueden usar un rayo de referencia y el rayo de exploración para deducir la información de 3D en base a la interferencia óptica entre los dos rayos.

Los métodos de triangulación láser proyectan un punto o un rayo de láser sobre un objeto desde una dirección conocida. El rayo láser se explora a través de la superficie del objeto siguiendo un arco. El rayo láser se representa de forma óptica por un sistema de formación de imágenes desde una dirección conocida diferente. La línea base y el ángulo conocidos entre el proyector y el sistema de formación de imágenes proporciona suficiente información para deducir la localización 3D del punto reflejado desde la superficie del objeto que se está explorando, utilizando las técnicas de triangulación conocidas. Tal exploración puede también dar como resultado una lectura imprecisa de la profundidad de campo y de la uniformidad de un ancho de línea debido al arco de exploración. Los sistemas se han desarrollado usando ópticas especiales que aumentan la medición de profundidad y la resolución. Sin embargo, algunas ópticas especiales afectan adversamente y distorsionan la imagen óptica y limitan la velocidad a la que el sistema puede adquirir datos suficientes para generar una imagen de 3D.

Los métodos de triangulación por láser también pueden escanear una o más líneas láser a través de un objeto. Las líneas láser pueden generarse a través de lentes de difracción. Sin embargo, la intensidad de la línea láser puede variar a lo largo de la longitud de la línea proyectada, dando como resultado unas mediciones y una formación de imágenes del objeto imprecisas. Los sistemas de línea láser también son susceptibles de motear el láser, el cual puede aparecer como un patrón moteado de "gotas de luz" distribuidas de forma aleatoria. El moteado del láser puede producirse por una interferencia en la imagen plana de la luz coherente reflejada por una superficie áspera. El patrón moteado puede introducir ruido e incertidumbre en la medición, debido a la dificultad de distinguir entre los datos de intensidad útil y los datos de intensidad del moteado.

Los sistemas láser actuales usados en las aplicaciones dentales pueden ser rudimentarios y limitados por la proyección de una línea láser única. Tales sistemas no son ajustables para un patrón de línea deseado y carecen de cualquier corrección o minimización de un campo de exploración no plano o no lineal o de corrección por el moteado del láser. También, tales sistemas pueden tener un mecanismo de fijación y retención que limita el intervalo de los moldes o fundiciones para los que puede usarse el digitalizador.

La patente de los Estados Unidos número 6.115.114 describe un sensor de escáner láser para la medición de propiedades espaciales de objetos en una escena cuando, por ejemplo, se mide la ponderación dimensional de paquetes que se están transportando por una carretilla elevadora en movimiento. Un sistema de sensores de exploración óptica escanea el campo de medición que atraviesa la carretilla elevadora en movimiento. La carretilla elevadora tiene al menos tres retro reflectores fijados que actúan como objetivos de calibración dentro del campo de visión. El sistema de escáner modula en intensidad el rayo láser y recibe la luz modulada en intensidad reflejada y la suministra a un sistema de procesamiento óptico que incluye una apertura que transmite un primer porcentaje de la luz reflejada desde una distancia máxima del objeto y un segundo porcentaje más pequeño de luz reflejada desde los objetos más próximos que la distancia máxima del objeto. Un fotodetector recibe la luz procesada y convierte la energía en una señal de intervalo modulada en amplitud. Los valores del intervalo se determinan aproximadamente cada 2,54 mm a lo largo de la línea de exploración. Varias líneas de exploración se juntan en el ordenador y se representan sobre una pantalla como una imagen 3D.

El documento EP-A-0.600.800 describe un método de adquisición de una imagen tridimensional de un objeto pequeño por un rayo de luz de rastreo en el que el objeto se escanea con un lápiz coherente a lo largo de un primer eje mientras que el objeto se mueve a lo largo de un segundo acceso perpendicular al primero. El lápiz reflejado por el objeto se analiza usando una cámara del tipo de CCD lineal. Las coordenadas del objeto a lo largo del tercer eje se obtienen por triangulación láser con un barrido punto a punto. El método tiene una aplicación particular para la mecanización automática de prótesis dentales cerámicas.

La solicitud de patente de los Estados Unidos número 2002/0143506 describe un dispositivo para grabación en tres dimensiones de una escena que comprende un emisor láser, elementos para la exploración a lo largo de dos ejes de rotación para escanear la escena usando un rayo láser emitido por el emisor de láser, un receptor sensible a la luz para recibir una imagen del foco luminoso creada por el rayo láser sobre la escena, un elemento para enfocar el rayo láser devuelto hacia atrás por la escena hacia el receptor sensible a la luz, un primer elemento de medición para medir la orientación del rayo que deja el elemento en exploración, y un segundo elemento de medición para medir la distancia entre el dispositivo y el foco luminoso por telemetría láser.

La patente de los Estados Unidos número 4.816.920 describe un sistema de exploración de una superficie que define una trayectoria óptica para escanear una superficie plana en la cual un escáner en movimiento angular refleja una porción de la trayectoria.

Breve resumen de la invención

La presente invención proporciona un digitalizador láser de acuerdo con la reivindicación 1 y un método que genera una imagen tridimensional de un objeto físico de acuerdo con la reivindicación 13.

Las realizaciones proporcionan un sistema de formación de imágenes por láser que genera una imagen tridimensional de un objeto físico explorado tal como una pieza dental. Una realización incluye sistemas de formación de imágenes por láser, métodos, aparatos y técnicas que proporcionan la digitalización por láser de objetos físicos para obtener una imagen visual del objeto. La imagen visual puede representarse sobre un monitor de ordenador, una pantalla, un visualizador o similares.

Un digitalizador láser puede incluir una fuente de luz, un escáner, una lente de campo plano, un instrumento de captura de imágenes, y un procesador configurado para realizar las instrucciones en base a un código y procesar los datos digitales. El digitalizador láser puede incluir también un sistema de posicionamiento de objetos para posicionar un objeto dentro del campo de visión del escáner y el instrumento de captura de imágenes.

La fuente de luz puede incluir un LED láser y ópticas de colimación configuradas para producir un rayo de luz colimado. El rayo de luz colimado se proyecta al escáner. El escáner redirige o escanea el rayo de luz colimado de forma que el rayo se escanea a través de al menos dos ejes. El rayo de exploración se proyecta hacia la lente, que enfoca el rayo como un punto sobre la superficie del objeto. A medida que el escáner escanea el rayo en un patrón deseado, la lente enfoca el punto, sobre el objeto de modo que el punto atraviesa un segmento curvilíneo a través del objeto. El instrumento de captura de imágenes detecta la luz reflejada desde el objeto y genera los datos que representan una imagen capturada del rayo de exploración. El sistema de captura de imágenes puede configurarse para capturar imágenes de uno o más segmentos curvilíneos explorados durante un periodo de exposición. El ordenador procesa los datos para generar la imagen visual tridimensional del objeto sobre un monitor de ordenador, una pantalla, u otro visualizador. Pueden grabarse y procesarse múltiples imágenes del objeto por el ordenador para producir un mapa tridimensional del objeto. Las imágenes múltiples pueden capturarse desde múltiples posiciones y orientaciones del objeto. Las imágenes individuales se componen para crear un mapa tridimensional ("3D") global del objeto.

Otros sistemas, métodos, características y ventajas de la invención serán, o resultarán evidentes para una especialista en la técnica una vez examinadas las siguientes figuras y la descripción detallada. Se pretende que cada uno de tales sistemas adicionales, métodos, características y ventajas que se incluyen dentro de esta descripción, están dentro del alcance de la invención y están protegidos por las siguientes reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La invención puede entenderse mejor con referencia a los siguientes dibujos y descripción. Los componentes en las figuras no están necesariamente a escala, más bien se pone el énfasis en la ilustración de los principios de la invención. Además, en las figuras, referencias numéricas iguales designan las partes correspondientes a través de las diferentes vistas.

La Figura 1 ilustra un ejemplo de un sistema de línea láser de la técnica anterior.

La Figura 2a ilustra una vista superior de un sistema digitalizador por láser para aplicaciones dentales.

La Figura 2b ilustra una vista frontal de un sistema digitalizador por láser para aplicaciones dentales.

La Figura 3 ilustra una imagen de un patrón de luz de un digitalizador láser de las Figuras 2a y 2b como se ve sobre una superficie plana.

La Figura 4 ilustra el patrón de luz de la Figura 3 como se proyecta sobre un objeto a representar de forma óptica.

La Figura 5 ilustra una reflexión del patrón de luz de la Figura 3 como se detecta por el instrumento de captura de imágenes.

La Figura 6 ilustra una realización de elemento de posicionamiento de objetos del sistema digitalizador por láser de las Figuras 2a y 2b.

Descripción de las realizaciones de la invención

La Figura 1 ilustra un ejemplo de un sistema de formación de imágenes de línea láser de la técnica anterior 100. El sistema de formación de imágenes de línea láser de la técnica anterior 100 tiene un transmisor 102 y un receptor 108. El transmisor 102 incluye una fuente de luz láser 104 y la óptica de transmisión 106. El transmisor 102 proyecta una luz láser plana sobre un objeto 120 dentro del campo de visión del transmisor 102. La luz láser plana incidente sobre el objeto forma una línea recta sobre el objeto 120. La línea láser proyectada se produce, bien por una lente cilíndrica o un elemento de difracción óptica 106.

La luz reflejada desde el objeto 120 se detecta por la cámara 108. La cámara 108 tiene un eje óptico en un ángulo conocido con el transmisor 102. La luz se recoge por una lente óptica 112 que enfoca la luz reflejada sobre una matriz de fotodetectores 110. El contorno del objeto 120 que tiene diferencias en la elevación puede representarse de forma óptica en base a la imagen proyectada sobre la matriz de fotodetectores 110.

Las Figuras 2a y 2b ilustran un ejemplo de un sistema digitalizador por láser 200 configurado para generar una imagen 3D de una pieza dental. El sistema digitalizador por láser 200 incluye una fuente de luz láser 202, un escáner óptico 222, una lente de campo plano 228, que pueden conocerse como una lente F-Theta, un instrumento de captura de imágenes 230, y un procesador 236. El sistema digitalizador por láser 200 puede incluir también un elemento de posicionamiento (no mostrado) para asegurar y posicionar el objeto a representar de forma óptica. El sistema digitalizador por láser 200 puede incluir también un extensor variable del rayo 242 posicionado de forma óptica entre la fuente del láser y el escáner 222.

La fuente de luz láser 202 genera un rayo láser que se proyecta y se escanea a través del objeto a representar de forma óptica por el escáner 222 y la lente F-Theta 228. La luz de exploración se refleja desde el objeto 220 y se detecta por el instrumento de captura de imágenes 230, que genera una señal representativa de la luz detectada.

La fuente de luz láser 202 puede incluir una óptica de colimación (no mostrada) que produce un rayo de luz colimado 238 que tiene rayos paralelos de luz láser. El rayo de luz colimado 238 se proyecta hacia un escáner óptico de dos ejes 222.

La fuente de luz láser 202 puede incluir un diodo o LED láser configurado para generar un rayo de luz láser que puede tener un rayo con forma elíptica. La óptica de colimación puede configurarse para hacer circular el rayo elíptico y generar un foco de luz circular. El foco de luz circular puede usarse para escanear una línea uniforme a través de la superficie del objeto 220. El diodo láser puede ser cualquier diodo láser disponible comercialmente configurado para emitir un rayo de luz láser, tal como un diodo láser de 10 mW de Blue Sky Research que tiene un tamaño de rayo de 4 mm con una longitud de onda de 635 nm (elemento número MINI-0635-101C40W).

La fuente de luz láser 202 también puede configurarse para modular la luz láser. La fuente de luz láser 202 también puede estar acoplada a un modulador que ajusta o interrumpe el flujo de luz desde la fuente con una modulación elevada o una tasa de conmutación tal como de 20 MHz. Conmutando la fuente de la luz láser 202, la coherencia de la luz láser emitida desde la fuente de luz láser 202 puede reducirse, reduciendo por lo tanto el moteado.

El escáner 222 redirige o escanea el rayo de luz colimado 238 para formar un rayo de luz de exploración 240 que tiene una posición que puede variar con el tiempo. El rayo de exploración 240 se dirige por el escáner 222 a la lente F-Theta 228. El escáner 222 redirige el rayo de luz colimado a través de los dos ejes donde cada uno de los ejes es sustancialmente perpendicular al eje del rayo de luz colimado 238. El rayo de luz de exploración 240 puede escanearse en, al menos dos o más ejes.

El escáner 222 incluye un primer reflector 224 y un segundo reflector 226. El primero y el segundo reflectores 224 y 226 pueden comprender espejos ópticos o superficies capaces de reflejar luz no difundida para formar una imagen. Cada uno de los reflectores 224 y 226 puede estar acoplado de forma giratoria con un motor respectivo 244, 246. Cada uno de los motores 244, 246 puede comprender un controlador de motor de galvanómetro, o similares, que controla el movimiento giratorio del reflector respectivo 224, 226 para efectuar la exploración del rayo de luz colimado 238.

El primero y el segundo reflectores 224 y 226 pueden tener ejes esencialmente perpendiculares, y pueden ser esencialmente ortogonales entre sí. Los reflectores 224, 226 pueden estar posicionados en un ángulo arbitrario entre sí. También pueden incluirse reflectores adicionales. Los reflectores 224, 226 pueden estar posicionados de forma ortogonal de modo que el rayo láser colimado 238 incidente sobre los reflectores puede escanearse o redirigirse en al menos dos ejes. El primer reflector 224 escanea el rayo a lo largo de un eje, tal como el eje x. El segundo reflector 226 puede posicionarse de modo que el rayo incidente a lo largo del eje x sobre el segundo reflector 226 puede escanearse

ES 2 324 658 T3

a lo largo de una dirección ortogonal al eje x, tal como el eje y. Por ejemplo, el primer y el segundo reflectores 224, 226 pueden posicionarse ortogonales entre sí de modo que el primer reflector escanea el rayo a lo largo del eje x y el segundo reflector 226 escanea el rayo a lo largo de una dirección ortogonal al eje x, tal como el eje y.

- 5 El primer reflector 224 también puede comprender un espejo poligonal giratorio de modo que el segundo reflector giratorio 226 y el reflector poligonal giratorio 224 juntos se configuran también para escanear el rayo láser en los dos ejes. El espejo poligonal giratorio 224 puede escanear el rayo de luz colimado 238 a lo largo de un eje x y el espejo giratorio 226 puede escanear el rayo de luz colimado a lo largo del eje y. Cada uno de los ejes, el eje x y el eje y, pueden ser sustancialmente ortogonales entre sí, generando por lo tanto un rayo de luz de exploración 240 desde el rayo colimado 238 donde el rayo de luz de exploración 240 se escanea a lo largo de dos ejes sustancialmente ortogonales.

- 15 El escáner 222 también puede incluir un controlador de posición programable. El controlador de posición puede ser una componente del escáner 222 o puede estar incorporado con el procesador 236. Incorporando el controlador de posición con el escáner 222, los recursos de cálculo del procesador 236 están disponibles para otras funciones tales como el procesamiento de los datos de imagen o para un procesamiento más avanzado. El controlador de posición puede comprender un controlador disponible comercialmente tal como el Controlador de Movimiento de Escáner GSI Lumonics SC2000 que controla la exploración de los dos reflectores. El controlador puede estar configurado para controlar el movimiento de los reflectores 224, 226 controlando los motores 244, 246. El controlador controla el movimiento de los reflectores 224, 226 de modo que el rayo de luz láser colimado 238 se redirige para proporcionar la secuencia de exploración deseada. El sistema de coordenadas para el escáner 222 denomina como $X'Y'Z'$.

- 20 El rayo de exploración 240 es incidente a la lente F-Theta 228. La lente F-Theta 228 enfoca el rayo de exploración 240 a un punto. El objeto 220 a representar de forma óptica se posiciona dentro del campo de visión de la lente F-Theta y del instrumento de captura de imágenes 230. La lente F-Theta 228 tiene un eje óptico en un ángulo θ con respecto a un eje óptico del instrumento de captura de imágenes 230 de modo que cuando se escanea el punto enfocado a través de la superficie del objeto 220 la luz se refleja hacia el instrumento de captura de imágenes con el ángulo θ . El escáner 222 mueve el rayo de exploración 240 de modo que el punto de enfoque del punto del láser desde la lente F-Theta 228 pasa a través de la superficie del objeto 220 siguiendo el patrón. La lente F-Theta 228 puede ser cualquier lente disponible comercialmente tal como el elemento número 4401-206-000-20 de Linos, que tiene una longitud focal de 160 mm, una longitud de exploración diagonal de 140 mm, un ángulo de exploración de ± 25 grados y una longitud de onda de funcionamiento de 633 nm.

- 35 El instrumento de captura de imágenes 230 puede configurarse y/o posicionarse para tener un campo de visión que incluye el punto del láser enfocado proyectado sobre el objeto 220. El instrumento de captura de imágenes 230 detecta el punto láser según se escanea a través de la superficie del objeto 220. El instrumento de captura de imágenes 230 puede ser sensible a la luz reflejada desde el objeto 220. En base a la luz detectada desde el objeto 220, el instrumento de captura de imágenes genera una señal eléctrica representativa de las características de la superficie (por ejemplo, el contorno, la forma, la disposición, la composición, etc.) del objeto 220.

- 40 El instrumento de captura de imágenes 230 puede incluir una lente de formación de imágenes 232 y un sensor de imágenes 234. La lente de formación de imágenes 232 se configura para enfocar la luz reflejada desde el objeto 220 hacia el sensor de imágenes 234. La lente de formación de imágenes 232 puede ser una lente telecéntrica configurada para minimizar los errores de perspectiva. La lente de formación de imágenes 232 puede tener un punto interno configurado para que la mayor parte de los rayos paralelos de la imagen incidan en la apertura de la lente para reducir o eliminar el efecto de magnificación y corrección de perspectiva. La lente de formación de imágenes 232 puede ser cualquier lente disponible comercialmente configurada para minimizar las distorsiones de perspectiva de modo que una medición lateral sobre la imagen del objeto no dependa de la distancia del objeto desde la lente tal como la combinación de China Daheng Corp. con la lente anterior número GCO-2305 (50 mm de diámetro) y la lente posterior número GCO-2305 (8 mm de diámetro) donde la lente posterior corresponde con el tamaño del sensor del instrumento de captura de formación de imágenes.

- 55 El sensor de imágenes 234 captura una imagen de la superficie escaneada del objeto. El sensor de imágenes 234 puede ser un dispositivo fotosensible o sensible a la luz o un circuito electrónico capaz de generar una señal representativa de la intensidad de luz detectada. El sensor de imágenes 234 puede incluir una matriz de fotodetectores. La matriz de fotodetectores puede ser un dispositivo de carga acoplada ("CCD") o un dispositivo de formación de imágenes CMOS, u otra matriz de sensores sensibles a la luz capaces de generar una señal electrónica representativa de la intensidad de luz detectada. El sensor de imágenes 234 puede comprender una cámara de video de alta resolución de CCD o CMOS disponible comercialmente que tiene una óptica de formación de imágenes, con exposición, control de ganancia y obturador, tal como el modelo SI-3170-CL de Silicon Imaging de Troy, Nueva York. El sensor de imágenes 234 también puede incluir un enlace de ancho de banda elevado para el dispositivo captador de tramas digitales, tal como la tarjeta de ordenador de captura y control PIXCI CL1 de Epix Inc.

- 65 Cada uno de los fotodetectores de la matriz genera una señal eléctrica en base a la intensidad de la luz incidente o detectada por el fotodetector. En particular, cuando la luz es incidente al fotodetector, el fotodetector genera una señal eléctrica correspondiente a la intensidad de la luz. La matriz de fotodetectores incluye múltiples fotodetectores dispuestos de modo que cada uno de los fotodetectores representa un elemento de la imagen, o un punto de la imagen capturada. Cada uno de los puntos de imagen puede tener una posición discreta dentro de la matriz. El instrumento

ES 2 324 658 T3

de captura de imágenes 230 puede tener un sistema de coordenadas local, XY de modo que cada uno de los puntos de imagen del patrón de exploración corresponde con una coordenada única (x, y). La matriz puede estar dispuesta de acuerdo con columnas y filas de puntos de imagen o cualquier otra disposición de conocida. En virtud de la posición del punto de imagen en la matriz puede determinarse una posición en la imagen plana. El instrumento de captura de imágenes 230 convierte por lo tanto la intensidad detectada por cada uno de los puntos de imagen de la imagen plana en señales eléctricas que representan la intensidad de la imagen y la distribución en la imagen plana.

El sensor de imágenes CMOS puede configurarse para que tenga un matriz de puntos de imagen sensibles a la luz. Cada uno de los puntos de imagen minimiza cualquier efecto de floración de modo que la señal recibida por un punto no desborda en los puntos de imagen adyacentes cuando la intensidad de luz es demasiado alta.

El escáner 222 puede configurarse para escanear el rayo láser 240 hacia la superficie del objeto 220 a través de la lente F-Theta 228 en muchos patrones deseados. El patrón puede seleccionarse para que cubra una porción suficiente de la superficie del objeto 220 durante un periodo de exposición único. El patrón puede comprender también una o más curvas o cualquier patrón conocido del cual puedan obtenerse las características, elevaciones y configuraciones de la superficie del objeto 220.

Durante un periodo de exposición, se captura una imagen de una porción de la superficie del objeto. El rayo 240 escanea el objeto 220 a través del escáner 222 y la lente F-Theta 228 en un patrón seleccionado, permitiendo que el sensor de formación de imágenes 230 detecte la luz reflejada desde el objeto 220. El sensor de imágenes 230 genera los datos representativos de la superficie - características, contornos, elevaciones y configuraciones de la porción escaneada o la imagen capturada. La representación de datos puede almacenarse en un dispositivo interno o externo tal como una memoria.

Durante un periodo de exploración posterior, el rayo 240 se escanea en un patrón a través de una porción adyacente del objeto 220 y se captura la imagen de la porción adyacente. El rayo de exploración 240 puede escanear un área diferente de la superficie del objeto 220 durante los periodos de exposición posteriores. Después de varios periodos de exposición en los que el rayo 240 se escanea a través de las diversas porciones del objeto 220 y se capturan las imágenes de esas porciones escaneadas, puede capturarse una porción sustancial del objeto.

El procesador 236 está acoplado al instrumento de captura de imágenes 230 y configurado para recibir las señales generadas por el instrumento de captura de imágenes 236 que representa imágenes del patrón de exploración sobre el objeto 220.

El procesador 236 también puede estar acoplado a la fuente de luz láser y controlar las aplicaciones seleccionadas o programadas de la luz láser. El procesador 236 también puede estar acoplado con el escáner 222 y programarse para controlar la exploración de la luz colimada 238.

La figura 3 ilustra un ejemplo de un patrón de exploración de la luz 348 como se ve desde una superficie sustancialmente plana. El patrón de exploración 348 puede incluir múltiples curvas 350-355 que se generan por el escáner 222. Una porción de las curvas 350-351 pueden ser esencialmente paralelas entre sí. Las curvas 350-355 también pueden representar o incluir una serie de puntos o segmentos curvilíneos conectados en los que el vector tangente n en cualquier punto único o segmento obedece la siguiente norma:

$$|n \cdot R| \neq 0 \quad (1)$$

donde R es un eje de triangulación que es sustancialmente paralelo a Y e Y' y que pasa a través de la intersección de un rayo axial desde el instrumento de captura de imágenes 230 con un rayo axial desde el escáner óptico 222. Por consiguiente, el ángulo entre la tangente n en cualquier punto o segmento de la curva y el eje de triangulación R no es de 90 grados. Cada curva 350-355 también puede tener una intensidad de sección transversal caracterizada por una función que puede tener una variación sinusoidal, un perfil Gausiano, o cualquier otra función conocida para la intensidad de la sección transversal. En una realización, el ángulo mínimo entre un rayo válido entre el escáner 222 con relación a un rayo axial válido del sensor de imágenes 234 es distinto de cero.

El instrumento de captura de imágenes 230 puede estar caracterizado por un sistema de coordenadas local XYZ, donde las coordenadas X e Y pueden definirse por el instrumento de captura de imágenes 230. El valor para la coordenada Z puede basarse en la distancia d_1 y d_2 de modo que $d_1 \leq z \leq d_2$. Un punto desde la curva proyectada incidente a un plano perpendicular a Z parecerá que está desplazado en la dirección X en la cantidad Δx . En base al ángulo de triangulación, puede existir la siguiente condición:

$$\Delta z = \frac{\Delta x}{\tan \theta} \quad (2)$$

Para una curva determinada (por ejemplo, la curva 350) en el patrón de proyección puede haber relaciones únicas $\theta(y)$, $z_{base}(y)$ y $x_{base}(y)$. Las relaciones $\theta(y)$, $z_{base}(y)$ y $x_{base}(y)$ pueden determinarse mediante calibración. La calibración

puede realizarse por ejemplo observando la curva 350 como se proyecta sobre una superficie plana. La superficie plana puede ser perpendicular al instrumento de captura de imágenes 230 en dos o más distancias d a lo largo del eje Z desde el instrumento de captura de imágenes 230. Para cada uno de los valores de y a lo largo de la curva 350, usando al menos dos de tales curvas con valores de z conocidos, z_1 y z_2 , donde $z_1 < z_2$, Δz puede calcularse como $\Delta z = z_2 - z_1$.

5 Puede observarse un valor de Δx usando el instrumento de captura de imágenes 230. Usando la ecuación (2), puede calcularse $\theta(y)$. El valor correspondiente $z_{base}(y)$ puede fijarse igual a z_1 . El valor correspondiente de $x_{base}(y)$ puede ser igual al valor de x en el punto y sobre la curva correspondiente a z_1 . Pueden usarse curvas adicionales para mejorar la precisión mediante el promediado o la interpolación.

10 La Figura 4 ilustra el patrón de exploración de la luz 448 incidente sobre el objeto 420 a representar de forma óptica. La Figura 5 ilustra el patrón de luz reflejada desde el objeto 420 según incide en el sensor de imágenes 534. Para las curvas proyectadas observadas 550-555 sobre el objeto, cada una de las curvas corresponde a una de las curvas 450-455 mostradas en la Figura 4 y la correspondiente de las curvas 350-355 mostradas en la Figura 3. Por consiguiente, para cada una de las curvas 550-555, las relaciones correspondientes $\theta(y)$, $z_{base}(y)$ y $x_{base}(y)$ pueden seleccionarse las
15 que se calcularon anteriormente durante la calibración. Para cada uno de los puntos $(x_{observada}, y_{observada})$ sobre cada una de las curvas 550-555,

$$\Delta x = x_{observada} - x_{base}(y_{observada}) \quad (3)$$

20 La ecuación (2) puede usarse para determinar Δz usando $\theta(y_{observada})$, y consecuentemente

$$z_{observada} = \Delta z + z_{base}(y_{observada}) \quad (4)$$

25 La colección de puntos $(x_{observada}, y_{observada}, z_{observada})$ obtenidos, forman una imagen 3D del objeto 420.

El máximo desplazamiento para una curva puede determinarse por:

$$30 \quad \Delta x = (d_1 - d_2) \tan \theta \quad (4)$$

El máximo número n_{max} de curvas distinguibles simultáneamente 350 puede determinarse de acuerdo con $n_{max} = x_{max}/\Delta x$ o de forma equivalente

$$35 \quad n_{max} = \frac{X_{max}}{(d_1 - d_2) \tan \theta_{max}} \quad (4)$$

40 El número n_{max} aumenta con la disminución de la profundidad de campo $d_1 - d_2$ y aumenta con un θ_{max} más pequeño. La precisión de la determinación también puede disminuir con valores más pequeños de θ_{max} .

45 La Figura 6 ilustra un ejemplo de un elemento de posicionamiento de objetos 660. El elemento de posicionamiento de objetos 660 está configurado para asegurar la posición de un objeto 620 a representar de forma óptica en el campo de visión del rayo de láser de exploración 240 y el instrumento de captura de imágenes 230. El elemento de posicionamiento 660 puede incluir dos o más ejes de rotación para proporcionar rotación al objeto 620. El objeto 620 se puede rotar con respecto al sistema de coordenadas XYZ del instrumento de captura de imágenes 230. El elemento de
50 posicionamiento 660 también puede incluir un eje lineal para ajustar linealmente el objeto 620 a un punto de enfoque para el sistema de exploración y el sistema de la unidad de captura de imágenes 230.

El elemento de posicionamiento 660 también puede incluir una plataforma 664 y una fijación con un resorte cargado 662. La fijación con resorte cargado 662 puede configurarse para retener de forma segura un molde dental o
55 una fundición dental 620. La fijación 662 también puede tener imanes (no mostrados) de modo que pueda asegurarse rígidamente mediante atracción magnética a la plataforma de posicionamiento 664. Este objeto 620 puede posicionarse rápidamente con el sistema de representación de imágenes por láser asegurándolo dentro de la fijación 662 y colocando la fijación sobre la plataforma 664. El objeto 620 puede moverse o ajustarse con respecto a la plataforma 664 a una posición deseada apropiada para digitalizar la región de interés.

60 Aunque las realizaciones de la invención se han descrito con detalle, debería entenderse que pueden realizarse diversos cambios, sustituciones y alteraciones de las mismas sin apartarse del alcance de la invención como se describe en las reivindicaciones adjuntas.

65 El ejemplo del sistema de formación de imágenes por láser descrito anteriormente puede incluir un sistema de formación de imágenes tridimensionales que tiene una fuente de luz y ópticas de conversión circular. La luz o el láser transmitidos desde la fuente puede modularse en alta frecuencia con el propósito de reducir la coherencia de la fuente láser y de este modo reducir la cantidad de moteado recibido por el sistema de formación de imágenes. El sistema

ES 2 324 658 T3

puede incluir también un extensor de rayo variable, un sistema de escáner multi-eje y una lente de exploración de campo plano. Puede enfocarse un instrumento de captura de imágenes sobre el área en el cual puede posicionarse un objeto por un elemento de posicionamiento ajustable. El sistema de captura de imágenes puede incluir una lente de formación de imágenes telecéntrica y un sensor de formación de imágenes CMOS. El elemento de posicionamiento ajustable puede asegurar las piezas dentales tales como un molde dental, impresiones o fundiciones. La pieza dental puede fijarse usando un dispositivo tal como un tornillo de banco tensionado por muelles que tiene imanes para asegurar el tornillo de banco a una plataforma. El tornillo de banco puede moverse libremente sobre y alrededor de la plataforma mientras que mantiene la pieza dental firmemente en la posición deseada.

Aunque se han descrito diversas realizaciones de la invención, resultará evidente para los especialistas en la técnica que son posibles muchas más realizaciones e implementaciones dentro del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un digitalizador por láser (200) que comprende:

una fuente de luz (202) que tiene ópticas de colimación configuradas para generar un rayo de luz colimado (238, 240);

un escáner (222) acoplado de forma óptica a la fuente de luz y configurado para escanear el rayo colimado (238, 240) hacia el objeto (220) a representar de forma óptica en un patrón predeterminado (348);

un instrumento de captura de imágenes (230) que tiene un eje óptico en un ángulo θ con respecto al escáner (222) y configurado para detectar una reflexión (534) del patrón (348) desde el objeto (220) y generar los datos representativos de la superficie del objeto (220) en base a la reflexión del patrón (348); y

un procesador (236) acoplado al escáner (222) y el sistema de captura de imágenes (230) configurado para generar una imagen tridimensional del objeto en base a los datos;

caracterizado porque el escáner (222) está configurado para escanear el rayo colimado (238, 240) a lo largo de al menos dos ejes en el patrón predeterminado (348), comprendiendo el patrón un conjunto de segmentos curvilíneos (350 - 355).

2. El digitalizador láser de la reivindicación 1 en el que la fuente de luz (202) comprende un LED láser.

3. El digitalizador láser de la reivindicación 1 que comprende además una lente de exploración de campo plano (228) que tiene un eje óptico y está configurada para enfocar el rayo de luz de exploración (240) a un punto del objeto (220) a representar de forma óptica.

4. El digitalizador láser de la reivindicación 3 en el que el instrumento de captura de imágenes (230) comprende:

un sensor de imágenes (234) configurado para detectar una imagen de triangulación del objeto (220), basada la imagen de triangulación en el patrón (348), en el que el patrón comprende una pluralidad de curvas (350-355) generadas por la exploración del rayo de luz (238, 240) sobre el objeto (220) durante un periodo de exposición; y

una lente telecéntrica (232) configurada para enfocar la pluralidad de curvas (350-355) sobre el sensor de imágenes.

5. El digitalizador láser de la reivindicación 4 que comprende además un sistema de posicionamiento del objeto (660) configurado para posicionar el objeto (220) dentro del campo de proyección del escáner (222).

6. El digitalizador láser de la reivindicación 5 en el que el sistema de posicionamiento del objeto (660) está configurado para mover el objeto (220) a diversas posiciones y ángulos con respecto al campo de visión del instrumento de captura de imágenes (230) y el escáner (222).

7. El digitalizador láser de la reivindicación 6 en el que el procesador (236) está programado para combinar imágenes múltiples del objeto (220) para crear un mapa tridimensional del objeto (220).

8. El digitalizador láser de la reivindicación 1 en el que el objeto (220) comprende cualquiera de, un modelo dental, un molde dental, o una fundición dental.

9. El digitalizador láser de la reivindicación 1 en el que el escáner (222) comprende un primer espejo (224) y un segundo espejo (226), en el que el primer y segundo espejos están posicionados sustancialmente de forma ortogonal entre sí.

10. El digitalizador láser de la reivindicación 1 en el que el escáner (222) comprende además un espejo que se puede girar (226) y un espejo poligonal giratorio (224).

11. El digitalizador láser de la reivindicación 1 en el que el escáner (222) comprende además un controlador de posición programable configurado para controlar la exploración del rayo láser colimado (238, 240) en la secuencia de exploración programada.

12. El digitalizador láser de la reivindicación 1 en el que cada uno de los conjuntos de segmentos curvilíneos (350 - 355) son sustancialmente paralelos entre sí.

13. Un método que genera imágenes tridimensionales de un objeto físico (220) que comprende:

generar un rayo de luz colimado (238, 240);

posicionar el objeto físico (220) en una primera posición;

ES 2 324 658 T3

explorar el rayo de luz colimado (238, 240) con un patrón predeterminado (348);

enfocar el rayo de luz colimado de exploración (240) sobre el objeto físico (220);

5 capturar una reflexión (534) del patrón (348) desde el objeto (220) durante un periodo de exposición y generar los datos representativos de una superficie del objeto (220) en base a la reflexión (534); y

generar una imagen tridimensional del objeto (220) en base a los datos;

10 **caracterizado** porque el rayo de luz colimado se explora a lo largo de al menos dos ejes con el patrón predeterminado (348), comprendiendo el patrón un conjunto de segmentos curvilíneos (350, 355).

14. El método de la reivindicación 13 en el que el acto exploración comprende explorar el rayo de luz (238, 240) en una dirección sustancialmente perpendicular al eje óptico de la lente (228).

15 15. El método de la reivindicación 13 que comprende además los actos de: re-posicionar el objeto (220) en una segunda orientación; capturar una imagen del rayo enfocado (240) sobre el objeto posicionado en la segunda posición; y combinar una imagen del rayo enfocado (240) sobre el objeto (220) posicionado en la primera posición con la imagen del rayo enfocado (240) sobre el objeto (220) en la segunda posición para crear un mapa tridimensional del objeto (220).

25

30

35

40

45

50

55

60

65

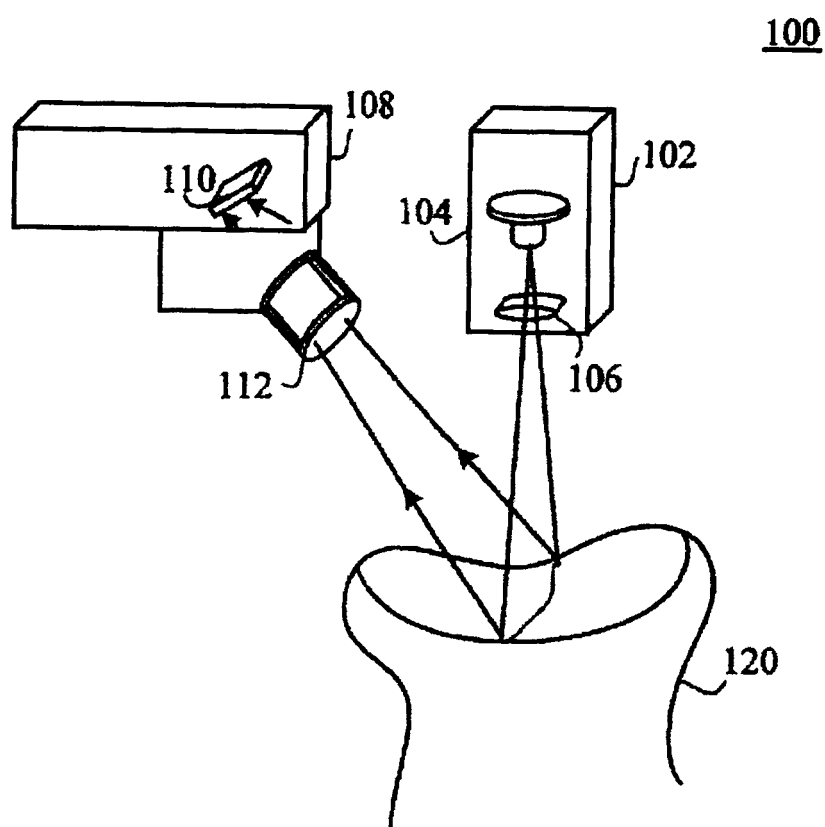


FIGURA 1
Técnica Anterior

Figura 2a
Vista Superior

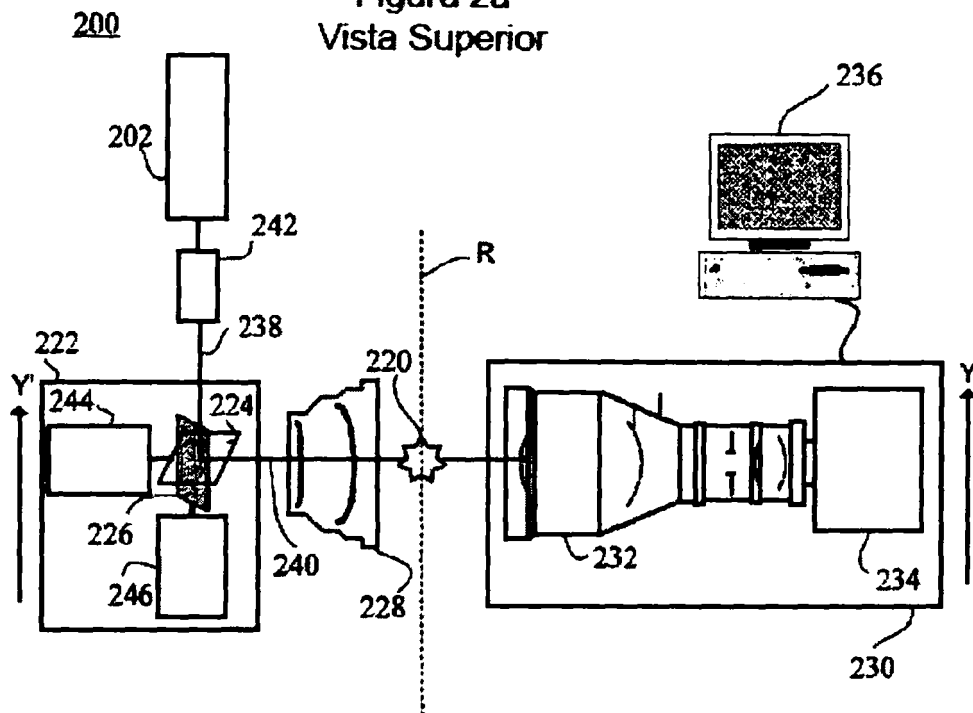
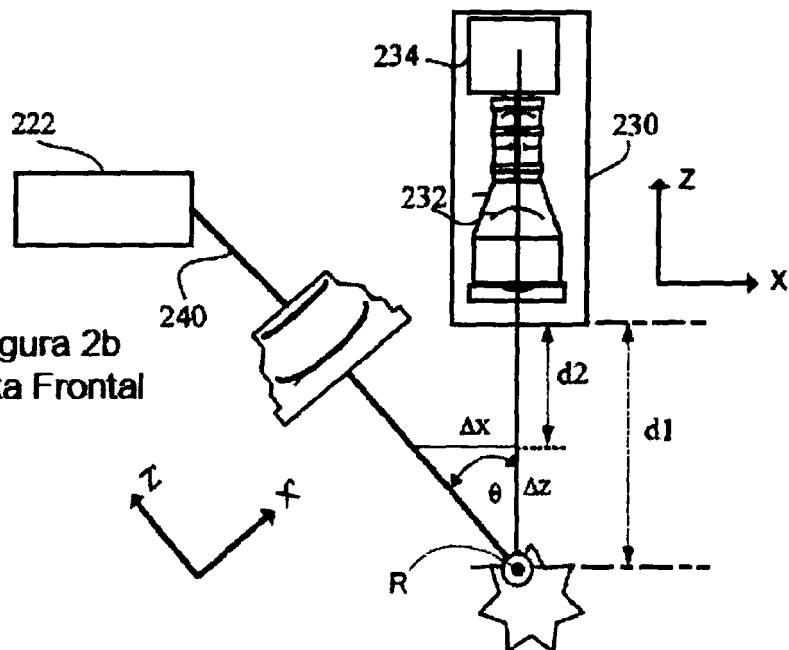


Figura 2b
Vista Frontal



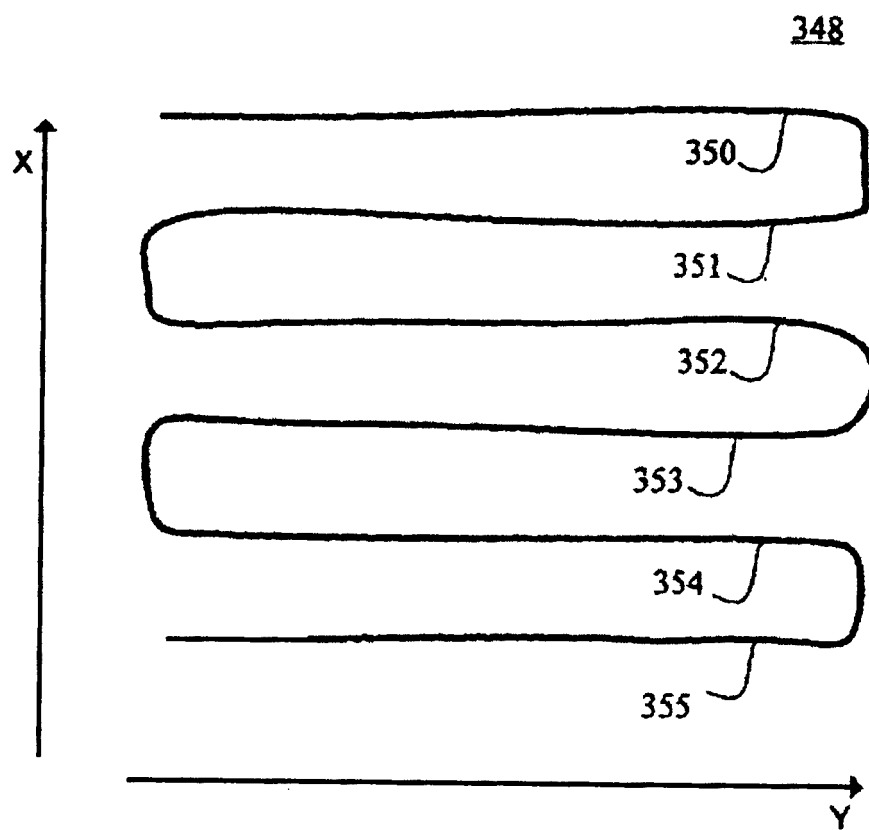


FIGURA 3

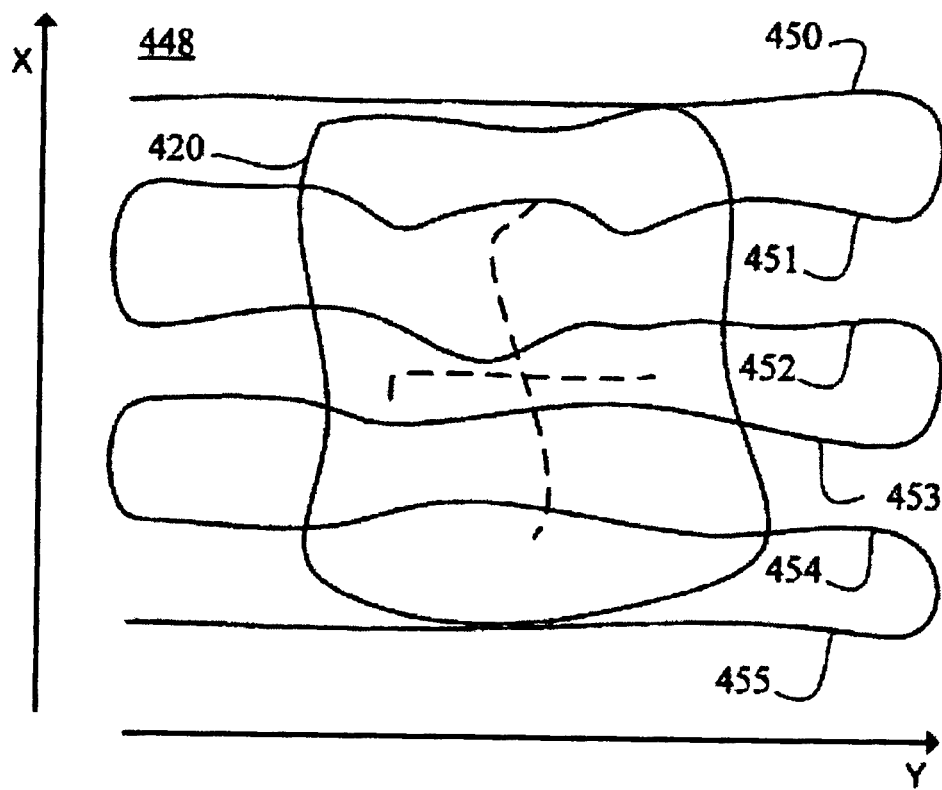


FIGURA 4

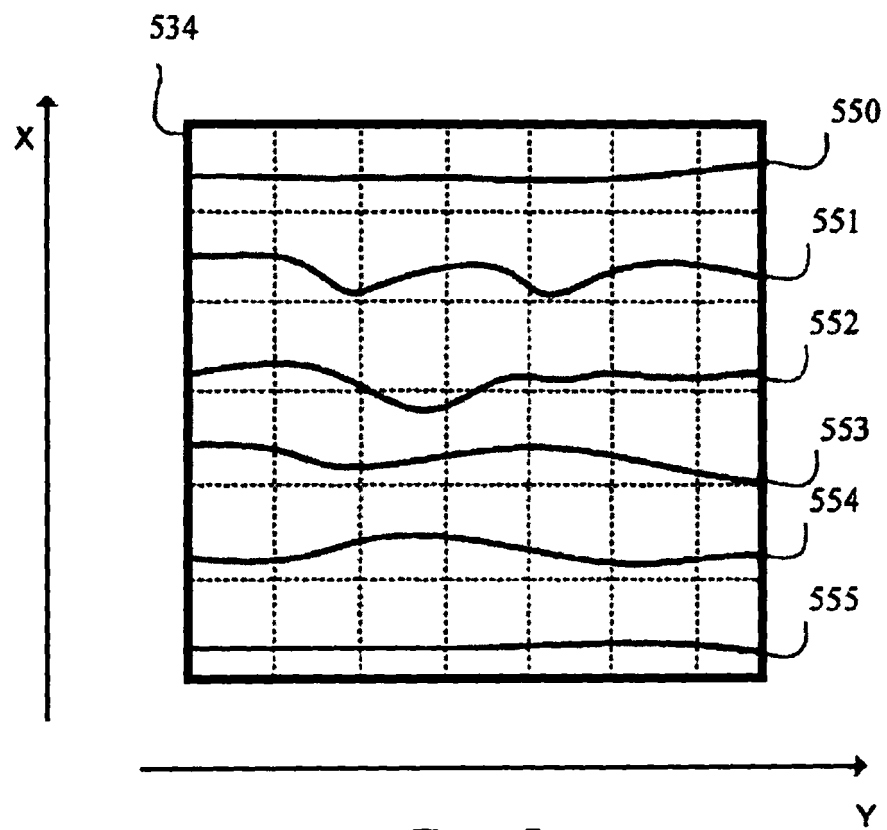


Figura 5

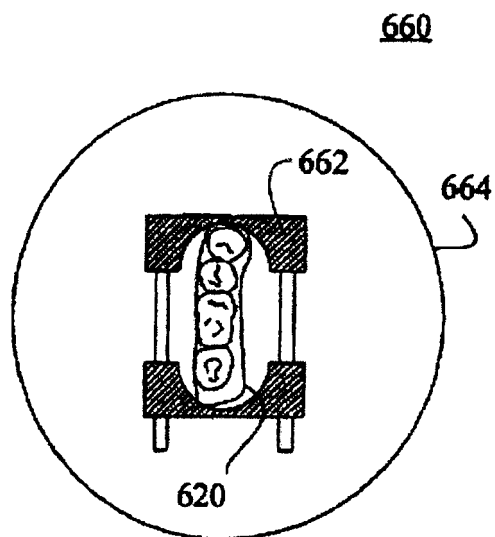


Figura 6