

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 547**

51 Int. Cl.:

G06T 17/00

(2006.01)

A61C 13/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06800094 .2**

96 Fecha de presentación: **18.07.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1904978**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **02.04.2008**

54 Título: **Registro de imágenes en 3-D de objetos tridimensionales**

30 Prioridad:
18.07.2005 US 184396

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2012

73 Titular/es:
**ASTRA TECH INC.
25 FIRST STREET
CAMBRIDGE MA 02141, US**

72 Inventor/es:
**SCHARLACK, Ronald, S.;
GRANT, Bethany y
YARMARKOVICH, Alexander**

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

ES 2 380 547 T3

DESCRIPCIÓN

Registro de imágenes en 3-D de objetos tridimensionales.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

La invención se refiere a un método para determinar la posición relativa de objetos y características de una pluralidad de imágenes escaneadas, particularmente en aplicaciones médicas y dentales incluyendo aquellas que requieren el diseño y fabricación de dispositivos quirúrgicos y protésicos con unas dimensiones precisas dictadas por la anatomía de los pacientes individuales. Aún más particularmente, está dirigido al problema de registrar, de la forma más precisa posible, escaneos en 3D digitalizados de la mandíbula inferior y el maxilar de un paciente o, equivalentemente, moldes o impresiones de los mismos.

Muchos procedimientos quirúrgicos están relacionados con la inserción temporal o permanente en el tejido blando u óseo de un paciente de dispositivos protésicos u otros dispositivos artificiales que deben encajar en la anatomía del paciente con un elevado grado de precisión. Una de tales aplicaciones se refiere a los implantes en odontología, en el curso de los cuales se colocan quirúrgicamente uno o más anclajes mecánicos (normalmente metálicos) dentro de la mandíbula del paciente, para recibir y soportar componentes protésicos designados para simular y reemplazar uno o más dientes naturales que el paciente ha perdido. Es bien conocido que, para que sean completamente exitosos, los procedimientos de implante deben cumplir con unos requisitos de posicionamiento, orientación y tamaño muy estrictos que están determinados por la estructura ósea y la dentadura existente, de modo que los componentes protésicos que se van a colocar en los anclajes implantados quirúrgicamente deben preferiblemente diseñarse, conformarse y dimensionarse de manera específica para acomodarse a la geometría anatómica precisa del paciente. Incluyendo la ubicación, forma y tamaño de los dientes adyacentes, y deben proporcionar una transición a la orientación precisa del eje principal del anclaje mecánico de soporte con un elevado grado de precisión.

Además, el desarrollo de muchos productos y servicios proporcionados en los campos de la ortodoncia y la odontología restauradora implica el uso de diseño asistido por ordenador (CAD) y fabricación asistida por ordenador (CAM). Por ejemplo, se utilizan frecuentemente moldes de plástico o piedra hechos a partir de impresiones de la boca del paciente para proporcionar los productos o servicios requeridos, y se utiliza el escaneo tridimensional (3D) bien de la dentadura del paciente o bien de los moldes representativos de la dentadura del paciente para dar al sistema dental CAD datos que representen la geometría en cuestión. Para tales aplicaciones, sin embargo, es necesaria una alineación muy precisa de las imágenes del maxilar (o la parte superior de la réplica del molde) y de la mandíbula inferior (o de la parte inferior de la réplica del molde) para el modelado dental CAD.

Los métodos convencionales para cumplir estos rigurosos requisitos requieren la creación de un modelo de la mandíbula y la dentadura del paciente, comprendiendo la fabricación de dicho modelo tomar la llamada "impresión" de la dentadura del paciente por medio de una sustancia maleable que se coloca sobre y alrededor de los dientes en la boca del paciente abarcando completamente el arco dental. En los casos en los que es necesario colocar implantes y componentes restauradores, la impresión típicamente se toma después de la inserción quirúrgica de los implantes de anclaje. Típicamente, se fijan unos componentes de referencia denominados puntos de impresión a la extremidad externa de los anclajes de implante insertados, que sirven para indicar la ubicación y orientación angular de los anclajes. Posteriormente, un modelo fabricado a partir de un molde basado en dicha impresión incorporará los denominados anclajes "analógicos" para proporcionar un modelo de los anclajes en la mandíbula del paciente, y se diseñarán y fabricarán los dispositivos protésicos para esos anclajes basándose en la geometría del modelo creado según se ha descrito.

En la práctica real, el procedimiento convencional descrito anteriormente está plagado de numerosas dificultades e inconvenientes. Se ha demostrado imposible para los protésicos dentales la fabricación de impresiones dentales, y por tanto de modelos, que estén de manera consistente libres de errores dimensionales y posicionales; los requisitos geométricos implicados son tan estrictos en tales aplicaciones que incluso un error de dimensiones menor que un milímetro, o un error de orientación de 1 ó 2 grados darán como resultado implantes protésicos con tensiones y condiciones inaceptables.

En los últimos años se han realizado esfuerzos para utilizar técnicas de modelado basadas en imagen para resolver estos problemas conocidos de los procedimientos convencionales relativos a implantes en odontología. En estos esfuerzos, se toman imágenes de la boca del paciente, y se recrea un modelo tridimensional de las regiones pertinentes utilizando las denominadas técnicas y software de imagen tridimensional. El campo de la fotogrametría, que tiene sus orígenes en la década que sigue a la invención de la fotografía en los años 1830, es "el arte, ciencia y tecnología de obtener información fiable acerca de objetos físicos y su entorno a través de procesos de grabación, medida e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.", (Manual de fotogrametría, Sociedad Americana de Fotogrametría y Detección a Distancia, 4ª Ed. 1980). Particularmente con la llegada de los ordenadores que tienen elevadas velocidades de procesamiento y

grandes memorias, y la llegada de las cámaras digitales de bajo coste y otros dispositivos de captura de imágenes, ha comenzado a estar disponible software de procesamiento de imágenes tridimensionales comerciales aplicables a una amplia variedad de aplicaciones de modelado virtual. Utilizando dicho software, ha sido posible reconstruir modelos tridimensionales razonablemente precisos de un campo objeto utilizando productos comerciales disponibles. Sin embargo, la demanda particular de una gran precisión, y las estructuras físicas de formación de imágenes del cuerpo humano, han resultado hasta ahora en una ausencia de técnicas de formación de imágenes tridimensionales aceptables en el campo de la odontología. Un problema particular es la necesidad, para una reconstrucción precisa en forma de un modelo virtual, de una escena formada. Típicamente, la imagen de un objeto se forma a partir de imágenes desde más de una posición, lo que proporciona un modelo tridimensional más completo.

La patente de Carlsson et al. número US 5,851,115 presentada el 22 de diciembre de 1998 describe un método y sistema fotogramétrico para formar las imágenes de la boca, con el objeto de crear un modelo virtual de la boca del paciente a partir del cual se puedan diseñar y fabricar partes dentales. En el sistema de acuerdo con Carlsson et al, se utiliza una cámara especial que comprende un conjunto de espejos que permiten que una única exposición comprenda imágenes estereográficas desde dos ángulos diferentes. El sistema de Carlsson requiere además que se conozca de manera precisa la geometría relativa de la "lente" virtual creada por el sistema de espejos. Para ayudar al software a localizar y orientar las características de las imágenes obtenidas, Carlsson propone utilizar marcadores de referencia, como círculos, aplicados a superficies planas dentro del campo de las imágenes.

La patente de Nifteric et al US 5,857,853 presentada el 12 de enero de 1999 también describe un método fotogramétrico para capturar los datos de orientación y dimensiones requeridos para la fabricación de partes protésicas dentales utilizadas para implantes en odontología. Para obtener las al menos dos vistas que requiere el método de triangulación del software fotogramétrico, el método de van Nifteric et al utiliza bien una pluralidad de cámaras que tienen posiciones relativas conocidas con precisión, o bien una única cámara montada sobre un carro giratorio que es móvil entre posiciones diferentes pero definidas con precisión. Van Nifteric et al proponen además el uso de objetos y puntos reconocibles que sirvan como puntos de referencia por el software fotogramétrico para posicionar características de la escena obtenida dentro de un marco de coordenadas. Van Nifteric et al describen por tanto el uso de una barra que comprende marcas de escala para medida, y dos esferas montadas sobre un pasador, como objetos reconocibles.

Aunque los métodos descritos en las patentes de Carlsson et al y de Van Nifteric et al constituyen avances significativos, estos métodos aún presentan múltiples desventajas e inconvenientes importantes que las convierten en impracticables para la mayoría de protésicos de implantes en odontología. Ambos métodos requieren el uso de cámaras muy especializadas, y por tanto muy caras, y ambos requieren que dicha cámara esté alineada de forma precisa para capturar una pluralidad de imágenes desde unas posiciones relativas de lente conocidas con precisión. Funcionalmente, ambos métodos son inadecuados para conseguir imágenes adecuadamente de un campo de visión amplio, particularmente un campo de visión amplio que comprenda áreas caracterizadas por una definición de características muy baja, una condición típica de la mandíbula edéntula (sin dientes o desdentada) y por tanto muy común en la práctica de los implantes en odontología. La presente invención resuelve estos inconvenientes de la técnica anterior y proporciona un método de modelado virtual basado en tres dimensiones específicamente dirigido a aplicaciones médicas y dentales, que es realmente económico y que proporciona una gran mejora en la precisión de la reconstrucción particularmente en aplicaciones que requieren el uso de imágenes tridimensionales combinadas.

Específicamente con relación al problema de proporcionar a los sistemas dentales CAD la posición relativa del maxilar y la mandíbula inferior, los métodos de la técnica anterior han dependido de dos métodos que comparten una característica común: el primer método se basa en la captura de la imagen 3D de la superficie facial tanto del maxilar como de la mandíbula inferior en una única imagen. Por separado, los escaneos individuales del maxilar y de la mandíbula inferior se ajustan a la plantilla común proporcionada por la imagen de la superficie facial del maxilar y la mandíbula inferior. El segundo método de la técnica anterior se basa en capturar el "registro de mordisco" o impresión, de las superficies mordidas tanto de los dientes superiores como inferiores. Después de que se haya capturado la geometría de la mandíbula inferior, se dispone el registro del mordisco sobre la superficie de la mandíbula inferior y también se escanea. el escaneado del maxilar se ajusta entonces con la imagen de la superficie del registro de mordisco.

Ambos métodos según la técnica anterior descritos en el párrafo anterior presentan dos problemas fundamentales. Un problema es la complejidad computacional, y la necesidad de minimizar una complejidad computacional aún mayor por medio de una buena suposición inicial por un operador humano con relación a la posición relativa de las imágenes que se están ajustando. Una segunda dificultad, aún mayor, surge cuando al paciente le faltan todos o algunos dientes, y falta la información 3D necesaria para ajustar los escaneos del maxilar y la mandíbula inferior. También, es difícil obtener la geometría de los dientes anteriores a partir de un registro de mordisco.

En algunos documentos de la técnica anterior, el objeto se escanea utilizando cualquier medio de escaneado disponible capaz de capturar una nube de puntos que representan las características en tres dimensiones del campo escaneado. Dicho escaneado típicamente requiere tomar una pluralidad de fotografías superpuestas que expanden

colectivamente el campo de la imagen para cubrir lo necesario. Varios métodos se utilizan típicamente para recrear todo el modelo tridimensional a partir de esos escaneos separados. Uno de tales métodos según la técnica anterior utiliza información precisa acerca de la ubicación del modelo con relación a la cámara para posicionar y orientar las múltiples imágenes. Además, algunos productos de software de procesamiento de imágenes tridimensional comercialmente disponibles también proporcionan herramientas para combinar escaneos discretos con un único modelo ajustando las regiones donde se superponen las imágenes. Ejemplos bien conocidos de software de procesamiento de imágenes adecuado incluyen el software Studio comercializado por Raindrop Geomagic, Inc.

El documento US 6152731 describe un método para alinear imágenes de arcos dentales superior e inferior. Sin embargo, este método implica una fabricación de alta precisión de los planos y líneas del molde del arco dental, haciendo que el método sea caro. La solicitud de patente US 2002/081554 describe un método similar, que está sujeto a inconvenientes similares.

SUMARIO DE LA INVENCION

En el presente documento se describe un método de modelado tridimensional diseñado para aplicaciones relativas a la odontología y la medicina, así como a otras aplicaciones no médicas adecuadas. Un aspecto del método prescinde de la necesidad de una cámara específica y en su lugar permite el uso de cualquier medio de captura de datos que produzca una nube de puntos que represente la superficie dimensional. Dichos medios de captura de datos pueden ser, por ejemplo, un escáner láser tridimensional manual o fijo, o una cámara digital, o cualquier otro medio de formación de imágenes que sea en la práctica adecuado para aplicaciones médicas.

Otro aspecto de la descripción es el uso de objetos reconocibles tridimensionales para permitir que el software de procesamiento de imágenes tridimensional ubique automáticamente, y determine de manera precisa la posición y orientación de los objetos dentro del campo de la imagen.

Otro aspecto más de la descripción es el posicionamiento de objetos reconocibles que tengan una topografía bien definida dentro de esas área del campo de la imagen que tienen una baja definición de imagen, y particularmente en las áreas que aparecen en porciones que se solapan de al menos dos imágenes, para proporcionar al software de procesamiento de imágenes tridimensional una información de posición, ángulo y orientación suficiente para permitir una combinación (o "cosido") muy precisa de imágenes adyacentes o que se solapan.

Aún otros aspectos de la descripción incluyen métodos para capturar de forma precisa la relación espacial del maxilar y la mandíbula inferior, no siendo dichos métodos dependientes de la presencia de dentadura y por tanto siendo completamente utilizables para obtener datos de modelado CAD precisos incluso de pacientes a los que faltan parte o todos los dientes. En los métodos descritos, se añaden objetos reconocibles no fisiológicos al maxilar y la mandíbula inferior, o a los moldes representativos del maxilar y la mandíbula inferior del paciente, para proporcionar unas referencias geométricas precisas.

Según otro aspecto de la invención, un método alternativo para capturar la posición relativa de los componentes superiores e inferiores de un modelo dental hace uso de una geometría 3D plana no dental de estos componentes del modelo. En este método alternativo, el software registra unas características geométricas que determinan la posición del modelo a partir de los datos del escaneo 3D, y utiliza las características comunes de dichas características geométricas para ubicar de manera precisa todas las características topográficas asociadas a los modelos, incluyendo todas las características anatómicas y dentales. Dichas características geométricas para determinar la posición pueden ser un mínimo de tres planos que se cortan en cada componente del modelo; dichas características pueden, en cambio, comprender combinaciones de planos, y/o características como discos dispuestos o pintados sobre planos, esferas, u otros objeto no dentales tales que proporcionen datos de posición de manera no ambigua (6 grados de libertad para cada objeto).

En estos métodos, los objetos reconocibles que tienen una geometría conocida que comprende características bien definidas dispuestas en posiciones relativas conocidas o determinables con precisión, están situados de manera fija dentro del campo de la imagen, y particularmente en áreas dentro del campo de la imagen que tienen una baja definición. Ejemplos de objetos reconocibles incluyen una o más esferas de radios conocidos, así como uno o más objetos planos de geometría y dimensiones conocidos, como por ejemplo pirámides. El campo de la imagen se escanea entonces, "recorriendo" dicho escaneado de manera efectiva el campo de imagen para cubrir dicho campo de imagen para proporcionar la geometría requerida. El software de procesamiento de imágenes tridimensional, que preferiblemente comprende algoritmos descritos en esta solicitud, se utiliza entonces para combinar los datos de imágenes tridimensionales adquiridos por el medio de escaneado y para determinar un modelo virtual tridimensional que reconstruye, con un elevado grado de precisión, la geometría del campo de la imagen escaneado.

Al utilizar características físicas conocidas y físicamente conectadas como objetos reconocibles en imágenes individuales, que se superponen o no, que cubren colectivamente todo el campo de visión de interés, se puede determinar la posición y orientación de estas imágenes. Este aspecto de la invención sirve para eliminar fuentes de imprecisión que resultan de los métodos de "cosido" conocidos que resultan en desplazamientos, deformaciones y/o

otras distorsiones cuando los escaneos se alinean.

Un aspecto más de la invención es un método para construir un modelo 3D que incorpora y alinea datos de imágenes escaneadas 3D de un arco dental maxilar y de un arco dental mandibular inferior opuesto. Dicho método comprende: disponer varias características reconocibles junto a las superficies de los arcos dentales maxilar y mandibular inferior suficientes como para permitir la determinación de las posiciones y orientaciones respectivas de dichos arcos; escanear en 3D individualmente dichos arcos para obtener datos de imágenes 3D que abarcan y representan las características topográficas de dichos arcos dentales y para capturar las características reconocibles asociadas a cada uno de esos arcos dentales; disponer dicho arco dental maxilar y dicho arco dental mandibular inferior en una relación de oclusión y escanear en 3D dichos arcos dentales para obtener datos de imágenes 3D que abarquen, para cada uno de dichos arcos, las características reconocibles también capturadas en esos escaneos individuales; y procesar dichos datos de imágenes 3D y construir un modelo 3D donde una representación del arco dental maxilar correspondiente esté alineada con precisión con una representación de un arco dental mandibular inferior correspondiente. Los arcos dentales pueden estar formados por impresiones o moldes de los arcos maxilar y mandibular inferior del paciente. Al menos una de las características reconocibles puede colocarse exteriormente de al menos uno de dichos arcos. También, al menos una característica de reconocimiento se dispone interiormente a al menos uno de dichos arcos. Disponer varias características reconocibles junto a las superficies de los arcos maxilar y mandibular inferior suficiente para permitir la determinación de las posiciones y orientaciones respectivas de dichos arcos dentales puede incluir disponer un número de características reconocibles suficiente cuando se toman en conjunto con una o más características dentales de dichos arcos permite dicha determinación de posición y orientación de al menos un arco. Al menos uno de dichos arcos dentales puede ser edéntulo (desdentado) o bien ninguno de los arcos puede ser edéntulo (desdentado) o bien al menos uno de dichos arcos puede tener una región edéntula o desdentada.

Otro aspecto es un método para construir un modelo de imagen 3D que incorpora y alinea datos de imágenes de escaneo 3D de un componente de modelo dental superior y un componente de modelo dental inferior. Dicho método comprende utilizar un escáner 3D, escanear tridimensionalmente cada uno de los componentes de modelos dentales superior e inferior, donde al menos uno de esos componentes tiene una característica plana y durante dicho escaneo, provocar que dicha característica plana se apoye sobre una superficie plana de dicho escáner 3D, teniendo dicho componente también características de reconocimiento adicionales suficientes cuando se combinan con la característica inferior plana para determinar la posición y orientación de cada componente; situar dicho componente de modelo dental superior y dicho componente de modelo dental inferior contra un escáner según una relación de oclusión; escanear en 3D dichos componentes de modelo dental superior e inferior para obtener datos de imagen 3D que abarquen un número suficiente de características reconocibles de componente del modelo dental superior y del componente del modelo dental inferior escaneados en la parte (a) para permitir la alineación de las imágenes de dichos componentes; y procesar dichos datos de imagen 3D y reconstruir a partir de ellos un modelo de imagen 3D donde una representación de dicho componente de modelo dental superior está alineado con precisión con una representación de dicho componente del modelo dental inferior. Al menos una de dichas características reconocibles puede ser una característica plana y durante el escaneado, se puede provocar que dicha característica se apoye sobre una marca de registro de dicho escáner. En algunos casos, la marca de registro es perpendicular a una superficie de dicho escáner. Al menos uno de dichos arcos dentales puede ser edéntulo (desdentado), o bien ningún arco puede ser edéntulo (desdentado), o bien al menos uno de dichos arcos puede tener una región edéntula o desdentada.

Breve descripción de las figuras

La FIGURA 1 es una vista en perspectiva de un primer objeto reconocible que se puede utilizar de acuerdo con los métodos y el sistema descritos.

La FIGURA 2 es una vista en perspectiva de un segundo objeto reconocible que se puede utilizar de acuerdo con los métodos y el sistema descritos.

La FIGURA 3 es una vista en perspectiva de un tercer objeto reconocible que se puede utilizar de acuerdo con los métodos y el sistema descritos.

La FIGURA 4 es una vista en perspectiva de un arco dental que comprende un tercer objeto reconocible.

La FIGURA 5 es una vista en perspectiva de un arco dental que comprende un cuarto objeto reconocible.

La FIGURA 6 es una vista en perspectiva de objetos reconocibles ubicados externamente a moldes que representan el maxilar y mandíbula inferior de un paciente.

La FIGURA 7 es una vista de un molde de mandíbula inferior que comprende tres objetos reconocibles ubicados en su interior.

La FIGURA 8 es una vista de un molde de un maxilar que muestra impresiones realizadas por los tres objetos reconocibles del molde de la FIGURA 7.

La FIGURA 9 es una vista del molde mostrado en la FIGURA 8, que ahora comprende esferas situadas en impresiones visibles en la FIGURA 8.

La FIGURA 10 es una vista en perspectiva de un modelo dental montado, que presenta superficies planas características.

La FIGURA 11 es una vista en perspectiva del componente inferior del modelo dental de la FIGURA 10.

La FIGURA 12 es una vista en perspectiva del componente superior de la FIGURA 10

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 5 A continuación se presentarán diferentes aspectos de los métodos y sistemas referidos anteriormente. Para presentar estos aspectos, se utilizarán realizaciones particulares para ilustrar características de dichos métodos y sistemas. Se debe entender que estas realizaciones se muestran a modo de ejemplo únicamente, y no se pretende que sean limitantes de ningún modo. La invención definida por las reivindicaciones adjuntas puede estar incorporada en estas y en muchas otras formas. Aunque estas realizaciones ilustran varias combinaciones de elementos y acciones, se debe apreciar que algunos o todos estos elementos o actos pueden combinarse o llevarse a cabo de otros modos, con o sin otros elementos o acciones, al llevar a cabo la invención según definen las reivindicaciones adjuntas.
- 10 En el presente documento, se entiende que ciertos términos o expresiones tienen los siguientes significados, a menos que su uso en el contexto indique claramente lo contrario: "Adyacente" a la superficie de un arco incluye una ubicación directamente sobre el arco o separada ligeramente del mismo. "Interioridad" y "exterioridad" se refieren a características hacia el interior o exterior, respectivamente, de una boca; interiormente o exteriormente con relación a un arco se refiere a la región dentro de la forma de U de un arco o a lo largo de un arco con forma de U, respectivamente. Un arco edéntulo o desdentado es uno que no tiene dientes. Un arco que tiene una región edéntula o desdentada tiene uno o más dientes y una porción en la que faltan uno o más dientes.
- 15 Un aspecto de la presente invención es un método para crear modelos virtuales tridimensionales de un campo de visión escaneado, utilizando de objetos no fisiológicos como puntos de referencia en el "cosido" de imágenes capturadas que se solapan y, adicionalmente, situando dichos objetos reconocibles en áreas del campo de visión que se caracterizan por una baja definición de las formas para mejorar la precisión del modelado tridimensional de tales áreas.
- 20 Otro aspecto de la invención es un método para obtener datos 3D, que se pueden utilizar en aplicaciones CAD y CAM, relativos a la posición relativa de componentes individuales como la mandíbula inferior y el maxilar de un paciente dental, especialmente cuando los datos 3D de cada componente se deben escanear por separado.
- 25 Los sistemas y métodos descritos son particularmente adecuados y están pensados para aplicaciones médicas y dentales, y son particularmente adecuados para su uso en el campo de los implantes en odontología y en aplicaciones relacionadas. Los implantes dentales se utilizan para soportar la restauración de dientes caídos. Los implantes se implantan quirúrgicamente por un dentista. Estos implantes dentales típicamente serán "restaurados" por medio de pilares y coronas; es decir, después de la implantación con éxito de los implantes en la mandíbula del paciente, se fijarán componentes complementarios que incluyen pilares y coronas a los implantes para restaurar el aspecto natural de los dientes del paciente.
- 30 En un aspecto, un método de acuerdo con algunas realizaciones de la presente invención permite a un fabricante de componentes de restauración dental medir con precisión la posición y orientación de los implantes con relación al entorno oral circundante, y así diseñar y mecanizar unos componentes de restauración que están, con un elevado grado de precisión, personalizados según la anatomía del paciente y de la dentadura existente del paciente.
- 35 En aplicaciones dirigidas a la odontología, y aplicaciones médicas relacionadas, dichos métodos y sistemas prescinden de la necesidad de utilizar una(s) cámara(s) y un(os) montaje(s) de cámara especializado(s). En lugar de ello, permiten el uso de cualquier medio de captura de datos que produzca una nube de puntos representativa de la superficie en tres dimensiones. Dichos medios de captura de datos pueden, por ejemplo, ser un escáner láser tridimensional manual o fijo, una cámara digital ordinaria, o cualquier otro medio de formación de imágenes que esté en la práctica adaptado para la aplicación médica particular. Hay medios de captura de datos de imagen adecuados para la invención fácilmente disponibles de fuentes comerciales, incluyendo por ejemplo escáneres láser tridimensional, como el escáner modelo VIVID900 comercializado por la Corporación Minolta.
- 40 Otro aspecto de la invención es el uso de objetos reconocibles 12-16, como los ilustrados en las FIGS 1-7, para ayudar al software de procesamiento de imágenes tridimensional a localizar automáticamente, y para determinar de forma precisa la posición y orientación de objetos dentro del campo de la imagen.
- 45 Otro aspecto más de la invención es el posicionamiento de los objetos reconocibles que tienen una topografía bien definida en aquellas áreas del campo de la imagen que tienen una baja definición de imagen, y particularmente en aquellas de dichas áreas que aparecen en porciones superpuestas de al menos dos imágenes, para proporcionar al software de formación de imágenes información de posición y orientación suficiente para permitir una combinación (o "cosido") muy precisa de imágenes adyacentes y que se solapan. La presencia de dichas áreas con una baja definición de imagen es típica de las regiones edéntulas o desdentadas, y por tanto representa un problema crónico en la formación de imágenes de mandíbulas edéntulas o desdentadas, que la presente invención resuelve con éxito por primera vez.
- 50
- 55
- 60
- 65

Al llevar a cabo el nuevo método descrito en el presente documento, los objetos reconocibles que tienen una geometría conocida que comprende formas bien definidas dispuestas en posiciones relativas conocidas o determinables con precisión, son incorporados de manera fija dentro del campo de la imagen, y particularmente en áreas dentro del campo de imagen que tienen una baja definición de características. Algunas realizaciones de los objetos reconocibles utilizados con esta técnica incluyen un objeto, como el objeto 12 ilustrado en la FIGURA 1, que comprende tres esferas enlazadas 12-A, 12-B, 12-C que tienen radios conocidos con precisión, y que están fijadas en posiciones conocidas con precisión en los postes inclinados 12-A, 13-B y 13-C, respectivamente. Otra forma útil de objeto reconocible es el uso de múltiples planos como muestran los planos 16-A y 16-B del objeto 16 de la FIGURA 3, que muestra un ejemplo de un polígono piramidal de dimensiones conocidas. Todavía otras formas útiles de objetos reconocibles son una barra con objetos sólidos rectangulares en los extremos, como en 18 en la FIGURA 4, un alambre arqueado con precisión con características separadas identificativas, como en 22 en la FIGURA 5, y una simple esfera de radio conocido, como se ilustra por ejemplo en las Figuras 5 (donde las características son esferas)-7 y 9. La FIGURA 8 muestra una impresión hecha después de fijar objetos esféricos a un maxilar y una tomar una impresión. Las FIGURAS 4 y 5 muestran los objetos reconocibles desplazados junto a un molde 40 de un arco maxilar o mandibular inferior. En la FIGURA 6, los objetos reconocibles son esferas situadas en el exterior de impresiones de un maxilar 42 y una mandíbula inferior 44.

En la práctica del método descrito en el presente documento, los objetos reconocibles como los mostrados en las FIGURAS 1-7, 9 se incorporan dentro del campo de la imagen. En el caso de implantes dentales, se pueden fijar uno o más objetos reconocibles a implantes dentales que han sido implantados quirúrgicamente en la mandíbula del paciente. Preferiblemente, dichos objetos reconocibles comprenden cada uno un elemento de fijación que es complementario con las características de interfaz del implante dental. Los objetos reconocibles se pueden fijar con un fijador que tiene un eje roscado insertable en un orificio del objeto reconocible que puede estar orientado a lo largo del eje principal del implante. Cuando el campo de visión comprende moldes articulados del maxilar y de la mandíbula inferior de un paciente, los objetos reconocibles pueden fijarse a postes roscados o fijados a los moldes.

De acuerdo con otro aspecto, la invención comprende un método para desarrollar un modelo virtual tridimensional de un campo de restauración dental. En un aspecto, la invención proporciona medios para determinar la posición relativa de los objetos reconocibles, y de características de los objetos reconocibles, en una pluralidad de imágenes escaneadas obtenidas a través de medios de escaneado tridimensional, y para detectar la posición y la orientación de una característica conocida en el objeto tridimensional escaneado.

En otro aspecto, la invención comprende un método para capturar de modo preciso la relación espacial entre dos cuerpos separados, como el maxilar y la mandíbula inferior de un paciente dental, utilizando los objetos reconocibles situados sobre o fijados a los cuerpos (es decir, al maxilar y a la mandíbula inferior o a moldes o impresiones representativos del maxilar y de la mandíbula).

El objeto reconocible puede ser una característica intrínseca, pero no anatómica, de un objeto original (o conjunto de objetos) así como ser un artefacto que se añade al campo del objeto original. En cualquier caso, el objeto reconocible tiene una geometría conocida. Al utilizar información acerca de la geometría conocida del objeto reconocible, el software permite identificar la posición y orientación precisas del objeto reconocible con relación a los datos escaneados. Además, se pueden "registrar" múltiples escaneos de un campo de visión dado y su posición y/o orientación relativos se puede alinear de forma precisa, sin intervención humana. De modo similar, la posición y orientación relativas de dos o más objetos, incluyendo campos de visión que consisten en dos componentes escaneados por separado, como el maxilar y la mandíbula inferior, o sus moldes representativos, puede ser alineada con precisión y un elevado grado de exactitud dimensional, utilizando múltiples escaneos de cada campo de visión y al menos un escaneo que abarca objetos reconocibles de cada uno de dichos campos de visión.

Un campo de visión a escanear por tanto debe comprender al menos un objeto que tiene uno o más características reconocibles de geometría y dimensiones conocidas, siendo dichas características suficientes para definir completamente su posición y/o orientación. Ejemplos no limitantes de tales tipos de objetos se muestran en las Figuras 1-7. El objeto (ubicación) reconocible se escanea utilizando un escáner tridimensional, y los datos escaneados se recogen frecuentemente en formato texto ASCII desordenado; sin embargo, es aplicable cualquier tipo de recogida de datos tridimensionales.

A partir de los datos escaneados, el(los) objeto(s) reconocible(s) es(son) detectado(s) por el software de formación de imágenes, y la determinación de la posición y/o orientación de cada uno (utilizando su geometría conocida) permite también la determinación de la posición y orientación de todos los otros objetos y características capturados en los datos escaneados.

Este proceso se puede ejecutar rápidamente en un proceso completamente automático utilizando un código de ordenador eficiente. Por ejemplo, en el ejemplo de las tres esferas utilizado para definir la posición y orientación (ver FIGURA 1), los centros de las tres esferas (de diámetro conocido y distancia de una a otra conocida) son detectados por el software. Se calcula entonces un origen utilizando la relación geométrica, y se obtiene la posición del origen

típicamente como un dato triple (x, y, z) . el software puede también calcular la orientación del objeto reconocible como dos vectores unitarios, también expresados como datos triples. Se utiliza métodos similares para determinar la posición y orientación definida por otros objetos de geometría conocida dentro del campo en cuestión, como las formas esférica, plana, poligonal, cilíndrica y otras mostradas en las Figuras 1-7. De este modo, se obtiene un conjunto de datos que define completamente la posición y orientación de cada objeto reconocible.

Detectar un objeto de geometría conocida en un escaneo tridimensional tiene múltiples aplicaciones potenciales. Las aplicaciones médicas y dentales a las que la presente invención está dirigida principalmente implican una combinación de superficies orgánicas y objetos fabricados y, en estas aplicaciones, la capacidad para detectar, con un alto grado de precisión, la posición y orientación de un objeto de geometría conocida que está situado dentro de un campo anatómico de visión da origen a la capacidad para diseñar componentes adaptados a la topografía de este campo de visión anatómico.

Específicamente en el caso de implantes dentales, por ejemplo, al montar uno de los objetos reconocibles mostrados en las FIGURAS 1-3 en las piezas fabricadas existentes (es decir, el propio implante), se puede determinar la posición y orientación exactas de esta pieza dentro del arco dental del paciente con relación a otros objetos reconocibles. A su vez, esta determinación permite realizar un montaje virtual que combina la imagen escaneada y la sustitución propuesta y la pieza suplementaria (es decir, un diente postizo), para seleccionar, y luego fabricar, las piezas de sustitución y suplementaria que complementan exactamente los requisitos geométricos de las condiciones anatómicas del paciente. Además, la colocación de objetos reconocibles en una región edéntula o desdentada, u otra región sin características anatómicas significativas, permite un registro preciso de los escaneos que contienen el objeto reconocible.

Cuando se toman múltiples imágenes tridimensionales de un objeto (por ejemplo, debido al tamaño o a vistas oscuras), es necesario definir la posición y orientación relativas de cada una de las imágenes para re-alinear los datos de imagen capturados en una representación completa y precisa del campo de visión original. Para hacer esto, debe capturarse, en cada imagen del conjunto de imágenes, un objeto reconocible de geometría conocida (como los mostrados en las FIGURAS 1-7), que también aparezca en una segunda imagen del conjunto. La posición y/o orientación del objeto conocida de cada imagen puede utilizarse entonces para situar las imágenes unas respecto a otras para recrear el campo de visión original.

Este método también se puede emplear conjuntamente con y a métodos suplementarios de "cosido" o "registro" utilizados actualmente. Estos métodos alinean múltiples escaneos sin el uso de una geometría conocida, pero son insuficientemente precisos para muchas aplicaciones. La adición al campo de visión de uno o más objetos reconocibles de acuerdo con la invención, como se ilustra por ejemplo en la FIGURA 1-6, mejora enormemente la precisión del cosido de imágenes adyacentes. Además, la colocación de dichos objetos reconocibles en áreas del campo de visión que se caracterizan por una baja definición mejorarán enormemente el modelado tridimensional de tales áreas, además de servir como puntos de referencia relativa entre imágenes adyacentes que comprenden un objeto reconocible dado.

En particular, la metodología descrita permite la correlación y registro precisos de escaneos digitalizados separados del maxilar y la mandíbula inferior de un paciente dental (o de escaneos de moldes que representan, respectivamente, el maxilar y la mandíbula inferior de un paciente). Modelos tridimensionales desarrollados a partir de estos métodos permiten una definición precisa de las posiciones y orientaciones del maxilar y la mandíbula inferior, incluyendo una determinación precisa de aspectos topográficos que determinan características de cierre. Dichos modelos 3D pueden utilizarse entonces para desarrollar restauraciones dentales que tienen en cuenta apropiadamente la posición/orientación óptimas de los contactos y superficies de cierre.

Un primer método para llevar a cabo un registro preciso de la posición relativa del maxilar y la mandíbula emplea los componentes reconocibles ilustrados en la FIGURA 6. Como se muestra en la FIGURA 6, un conjunto de tres esferas de 24 radios conocidos se fija externamente a, respectivamente, un molde del maxilar del paciente y un molde de la mandíbula inferior del paciente. Después de llevar a cabo escaneos digitalizados por separado del maxilar y la mandíbula inferior, se puede utilizar un escaneo o conjunto de escaneos que captura todas las esferas así situadas en el maxilar y la mandíbula inferior según se muestra en la FIGURA 6 para construir un modelo tridimensional que representa con precisión las posiciones, orientaciones, y dimensiones respectivas de la mandíbula inferior y el maxilar y sus características respectivas.

En un segundo método de acuerdo con la invención para desarrollar un modelo 3D de la relación articulada entre el maxilar y la mandíbula inferior de un paciente, se utiliza sólo un único conjunto de (preferiblemente) tres esferas. Como se muestra en la FIGURA 7, el conjunto de esferas 26 se sitúa dentro del arco 44 maxilar o mandibular inferior de un paciente, co, como en la FIGURA 7, de un molde que representa dicho arco, y se toma una "impresión" del impacto de ese conjunto de objetos sobre un material maleable situado dentro del elemento de mandíbula opuesta. Se toman entonces escaneos de las mandíbulas respectivas, bien con la superficie "impactada" tal como es (como se muestra en la FIGURA 8) para formar la imagen de las indentaciones 46 creadas por los objetos reconocibles, o bien, para conseguir una mejor iluminación, después de situar esferas 48 reflectantes adicionales de idéntico tamaño

dentro de las indentaciones, como en la FIGURA 9.

Al utilizar elementos físicamente conectados con características geométricas conocidas como objetos reconocibles en imágenes individuales, solapadas o no solapadas que colectivamente cubren el campo de visión de interés, la posición y orientación relativas de estas imágenes se puede determinar. Este aspecto de la invención sirve para eliminar fuentes de inexactitud que resultan de los métodos de "cosido" conocidos, y que ocasionan desplazamientos, deformaciones y/o otras distorsiones cuando los escaneos se alinean. La FIGURA 4 muestra un ejemplo de esta solución: en este caso, se debe escanear un arco dental. La geometría conocida introducida en el escaneo en forma de dos polígonos de dimensiones conocidas, enlazadas por una barra que también tiene una dimensión conocida, permite la detección de escaneos de posicionamiento y/o orientación de porciones de los dientes. El escaneo intra-oral requiere el uso de escáneres pequeños, de modo que cada escaneo permite la captura de sólo una porción del arco.

Se puede obtener información espacial directamente utilizando escaneo intra-oral y llevando luego a cabo el procesamiento descrito anteriormente. Como se ha descrito anteriormente, sin embargo, la presente invención se puede utilizar en conjunto con los métodos convencionales donde se obtienen impresiones de la dentadura del paciente, y dicha dentadura se replica en forma de un molde maestro realizado a partir de dichas impresiones. En el caso de un implante, el molde maestro contendrá implantes análogos a los implantes dentales. La precisión con la que se pueden determinar las posiciones y orientaciones de estos implantes análogos, para el diseño de los componentes de restauración que deberán soportar los implantes, se mejora utilizando un objeto reconocible de acuerdo con la presente invención.

En otro aspecto de la invención, un método alternativo para capturar la posición relativa de los componentes superior e inferior de un modelo dental, y por tanto para "alinearse" dichos componentes modelo, utiliza la geometría 3D plana no dental de estos componentes modelo. En un método alternativo, el software registra la posición, determinando características geométricas del modelo, a partir de los datos escaneados, y utiliza información conocida de dichas características geométricas para ubicar de forma precisa y exacta todas las características topográficas asociadas a los modelos, incluyendo todas las características anatómicas y dentales. Dichas características geométricas de determinación de posición pueden ser un mínimo de tres planos que se intersectan en cada componente modelo; dichas características pueden componer en lugar de eso combinaciones de planos, y/o características como discos situados o pintados en planos del componente modelo, esferas, o cualquier otro objeto no-dental para proporcionar datos de posición no ambiguos (6 grados de libertad para cada objeto).

Haciendo referencia a las Figuras 10, 11 y 12, se ilustra un modelo dental típico, que comprende un componente 52 inferior (que se muestra por separado en la FIGURA 11) y un componente superior 62 (que se muestra por separado en la FIGURA 12). Como se muestra en las Figuras 10-12, los modelos dentales generalmente tienen múltiples superficies planas como resultado de su preparación (o bien dichos planos se pueden añadir fácilmente), y estos planos proporcionan una rica fuente de datos para determinar la posición, que se pueden extraer de escaneos del modelo para servir como la base para localizar las posiciones de todas las características topográficas asociadas al modelo.

Haciendo referencia a la FIGURA 11, se ilustra el componente 52 inferior del modelo 50. El componente 52 inferior comprende una pluralidad de superficies planas, como artefactos de la preparación del modelo, o creados posteriormente a la preparación del modelo y específicamente para servir como características de referencia para la determinación de la posición. Dichas superficies planas incluyen un plano 54 inferior (no visible en la Figura 11, pero opuesta al arco 55 dental inferior), un plano 56 posterior, un primer (por ejemplo, derecho) plano 58 lateral y un segundo (por ejemplo, izquierdo) plano lateral (no mostrado). Similarmente, el componente 62 de modelo superior, que se muestra por separado en la FIGURA 12, comprende un plano 64 inferior (no visible en la Figura 12, pero opuesto al arco 65 dental superior), un plano 66 posterior, un primer plano 68A lateral, y un segundo plano 68B lateral. En particular, la superficie plana que forma la "parte inferior" de cada componente modelo puede utilizarse como característica de referencia (siendo la "parte inferior" de un componente modelo la superficie plana opuesta a la superficie del arco dental del componente). En el siguiente ejemplo, el plano 54 inferior del componente 52 modelo inferior (que se muestra por separado en la FIGURA 11) se utiliza como plano de referencia; sin embargo, se puede utilizar otra superficie plana de cualquier componente modelo en su lugar como referencia. Similarmente, se eligieron tres planos para este ejemplo, pero también se podrían hacer elegido tres o más planos o una combinación de planos y otras características no-dentales. (En algunos casos, incluso se puede utilizar una o más características dentales como características reconocibles, complementadas por características planas y/o otras características no dentales).

La alineación del componente modelo inferior con el componente modelo superior se implementa en este ejemplo mediante el uso de tres planos de cada componente modelo. Se debe remarcar que, en las imágenes particulares de estos componentes modelos respectivos utilizados para efectuar la alineación, los planos seleccionados de los modelos superior e inferior no tiene que estar alineados de ningún modo particular, para desarrollar una alineación precisa de los componentes modelo superior e inferior. (Si existen características no planas en o cerca de los planos de interés, éstas pueden, y generalmente deben, quitarse por medio de técnicas de procesamiento adecuadas

conocidas en la técnica).

El modelo montado (Figura 10) proporciona la posición relativa de los planos requerida para el montaje de las imágenes 3D individuales respectivamente del componente modelo inferior (Figura 11) y del componente modelo superior (Figura 12). Se seleccionan tres planos de cada modelo. Como el modelo montado se ilustra en la Figura 10, y como el componente 52 modelo inferior se ilustra en la Figura 11, el plano 54 inferior del modelo 52 inferior no es visible; Similarmente, en las Figuras 12, el plano 64 inferior del componente 62 modelo superior no es visible. Sin embargo, el plano inferior de cada componente modelo se apoya sobre el plano de referencia del escáner 3D en el momento del escaneo, preferiblemente alineado con una o más marcas de referencia, y por tanto la orientación geométrica de estos planos inferiores en los escaneados es conocida.

Como el plano inferior en cada una de las tres imágenes (montada, inferior y superior) es conocido, entonces, para cada uno de entre los componentes superior e inferior, sólo dos planos adicionales, cada uno de los cuales es visible tanto en la imagen separada del componente como en la imagen del montaje, deben ser determinados por el software para determinar con precisión la geometría de dicho componente. Similarmente, para determinar la geometría, y por tanto la alineación de los componentes superior e inferior, del modo completamente montado, se debe determinar, a partir de su imagen según se muestra en la Figura 10, los dos planos seleccionados de cada uno de los componentes modelo más sólo el anteriormente invisible, pero "conocido", plano 64 inferior del componente 62 modelo superior.

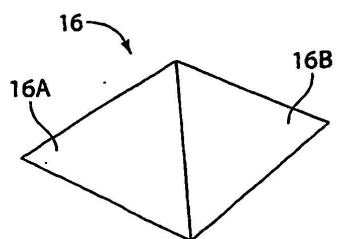
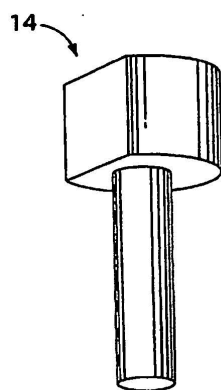
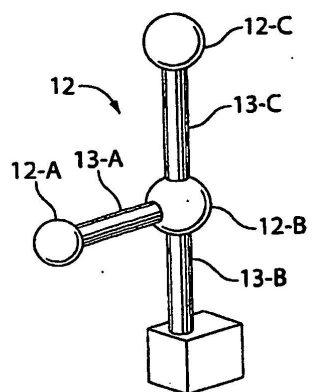
Por ejemplo, la geometría del componente 52 del modelo inferior puede determinarse a partir del conocimiento del plano de su parte inferior 54 (invisible en la Figura 11) y la determinación del plano 56 posterior del componente inferior y del plano 58 lateral del componente inferior. De manera similar, la geometría del componente 62 del modelo superior puede determinarse a partir del conocimiento del plano de su parte inferior 64 (invisible en la Figura 12) y la determinación del plano 66 posterior del componente superior y el plano 68A o 68B lateral del componente superior. Dadas las posiciones de los planos anteriores, las imágenes anteriores se pueden ensamblar para que coincidan las posiciones de los planos en el montaje.

Por tanto, para implementar la alineación de los componentes del modelo superior e inferior del modelo 50, a partir de la imagen del modelo montado de la Figura 10, es necesario sólo determinar la orientación, en esta imagen, de los cuatro planos (dos de cada componente del modelo) descritos anteriormente (es decir, plano 56 posterior y plano lateral del componente superior, y plano lateral 68 y posterior 66 del componente inferior), y adicionalmente, determinar la orientación, como se muestra en la Figura 10, del plano 64 inferior del componente superior.

También se pueden utilizar más de tres planos, así como otros objetos que sobre-restringen la solución de la posición de los componentes del modelo (aunque esté sobre-restringido, típicamente es preferida una solución de mínimos cuadrados o similar). Opcionalmente, se pueden fijar características de referencia adicionales a las superficies planas de las superficies de los componentes modelo, también para que sirvan como características de referencia para determinar la posición. Por ejemplo, se pueden pintar o adherir a cualquier superficie pequeños discos circulares de un color que contraste con el de las superficies modelo, También se pueden disponer dos o más de tales discos sobre alguna superficie plana en posiciones separadas medidas con precisión, proporcionando así una medida escalar.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para construir una imagen 3D modelo que incorpora y alinea unos datos de imagen de escaneo 3D de un componente (62) de un modelo dental superior y un componente (52) de un modelo dental inferior, comprendiendo dicho método:
 - 10 (a) utilizar un escáner 3D, escaneando tridimensionalmente cada uno de los componentes modelo dental superior e inferior, donde cada uno de dichos componentes tiene una característica (54, 56, 58, 64, 66, 68A, 68B) inferior plana y durante dicho escaneo, provocar que dicha característica inferior plana del componente se apoye sobre una superficie plana de dicho escáner 3D, teniendo también dichos componentes unas características reconocibles adicionales suficientes cuando se combinan con la superficie inferior plana para determinar la posición y orientación de cada componente;
 - 15 (b) colocar dicho componente (62) del modelo dental superior y dicho componente (52) del modelo dental superior contra dicho escáner según una relación oclusiva;
 - 20 (c) escanear tridimensionalmente dichos componentes del modelo dental superior e inferior según se establece en la parte (b) para obtener datos de imagen 3D que abarcan un número suficiente de dichas características del componente del modelo dental superior y del componente del modelo dental inferior escaneados en la parte (a) para permitir el alineamiento de las imágenes de dichos componentes; y
 - (d) procesar dichos datos de imágenes 3D y construir a partir de los mismos un modelo de imagen 3D donde una representación de dicho componente (62) del modelo dental superior está alineado con precisión con una representación de dicho componente (52) del modelo dental inferior.
- 25 2. El método de la reivindicación 1, donde al menos una de dichas características reconocibles adicionales es una característica plana y en el paso (a) se hace que dicha característica se apoye sobre una marca de registro de dicho escáner.
- 30 3. El método de la reivindicación 2, donde dicha marca de registro es perpendicular a un área de superficie plana de dicho escáner.
4. El método de dicha reivindicación 1 o reivindicación 2, donde al menos un arco dental es edéntulo (desdentado).
5. El método de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde ninguno de los arcos es edéntulo (desdentado).
- 35 6. El método de la reivindicación 5, donde al menos uno de dichos arcos tiene una región edéntula (desdentada).



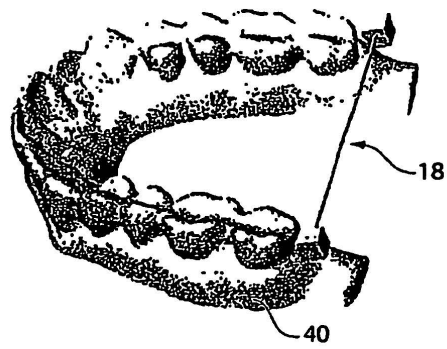


Fig. 4

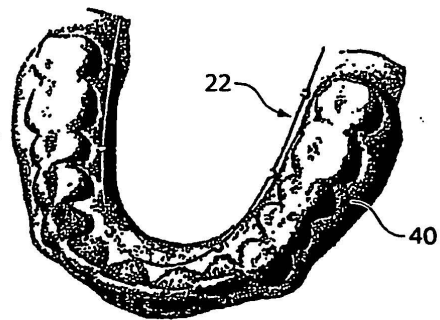


Fig. 5

IMAGEN DE OBJETOS ESFÉRICOS EXTERNO
DEL MAXILAR Y LA MANDÍBULA INFERIOR



Fig. 6

IMAGEN DE OBJETOS ESFÉRICOS
INTERNOS DE MANDÍBULA INFERIOR



Fig. 7

IMAGEN DE IMPRESIÓN DE OBJETOS
ESFÉRICOS INTERNOS DE MAXILAR



Fig. 8

IMAGEN DE OBJETOS ESFÉRICOS INTERNOS
COLOCADOS EN IMPRESIÓN DE MAXILAR



Fig. 9

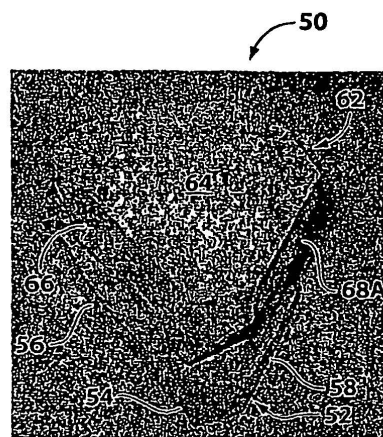


Fig. 10

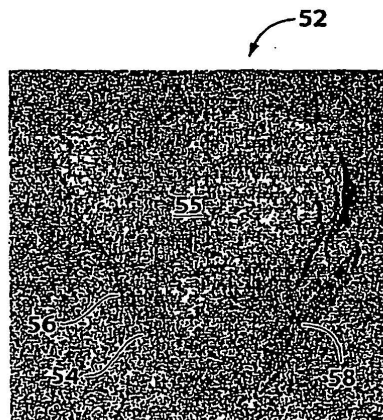


Fig. 11

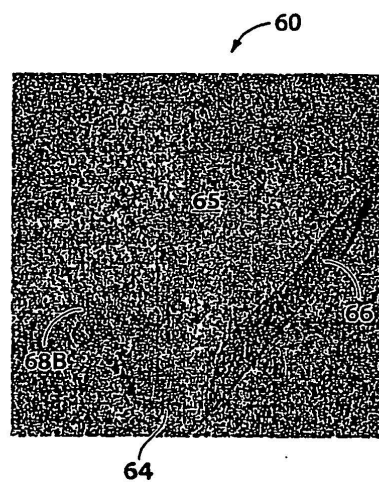


Fig. 12