

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 967 306**

51 Int. Cl.:

A61C 7/00 (2006.01)

A61C 7/12 (2006.01)

A61C 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.11.2016 PCT/US2016/064102**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2018 WO18101923**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.11.2016 E 16813182 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023 EP 3547949**

54 Título: **Método y sistema para la eliminación de aparatos fijos de la malla de dentición**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.04.2024

73 Titular/es:
DENTAL IMAGING TECHNOLOGIES CORPORATION (100.0%)
450 Commerce Drive
Quakertown PA 18951, US

72 Inventor/es:
CHEN, SHOUPU;
YE, WEI;
RIPOCHE, XAVIER y
REYNARD, DELPHINE

74 Agente/Representante:
PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 967 306 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

Método y sistema para la eliminación de aparatos fijos de la malla de dentición

5 Campo técnico

La divulgación se refiere en general a la manipulación de elementos que se representan por una malla tridimensional y más particularmente a métodos y aparatos para la caracterización de superficie de corona dental en una imagen de contorno de superficie que se ha obtenido usando formación de imágenes por reflectancia.

Antecedentes

15 La formación de imágenes tridimensionales (3D) y el procesamiento de imágenes en 3D son de creciente interés para los profesionales dentales/ortodónticos para el diagnóstico asistido por ordenador, para el diseño y fabricación de prótesis, y para la atención global mejorada del paciente. Para la medición y análisis cefalométricos, la formación de imágenes en 3D y el procesamiento de imágenes en 3D ofrecen ventajas significativas en términos de flexibilidad, precisión y repetibilidad. El análisis cefalométrico 3D supera algunas de las deficiencias asociadas con los métodos convencionales de análisis cefalométrico bidimensional (2D), 20 tales como errores geométricos 2D de proyección en perspectiva, ampliación y posicionamiento de la cabeza en proyección, por ejemplo. Se ha demostrado que la cefalometría 3D proporciona datos objetivos que son más precisos, ya que se basa en el cálculo en lugar de depender en gran medida de mediciones discretas, como es el caso de la cefalometría 2D.

25 La investigación temprana que usa métodos cefalométricos 3D empleaba formación de imágenes 3D y análisis paramétrico de estructuras anatómicas maxilofaciales usando tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) de la cabeza de un paciente. Usando métodos de CBCT, un papel significativo del análisis cefalométrico 3D fue definir modelos matemáticos de arcos maxilares y mandibulares para los que se calculaban los ejes de inercia para cada diente o grupo de dientes. Esto, a su vez, requería la segmentación de dientes individuales 30 del volumen de cabeza de CBCT adquirido de un paciente.

Convencionalmente, durante un procedimiento de tratamiento ortodóntico, se usan múltiples adquisiciones de cefalogramas de rayos X 2D para evaluar el progreso del tratamiento. Para este fin también se puede usar el análisis cefalométrico 3D convencional, que requiere múltiples escaneos de CBCT. Sin embargo, tanto los 35 métodos de formación de imágenes radiográficas 2D como 3D exponen al paciente a radiación ionizante. Es deseable reducir la exposición global del paciente a la radiación, particularmente en pacientes más jóvenes.

Las escaneos intraorales ópticos, en general, producen contornos de objetos de dentición y han sido útiles para mejorar la visualización de dientes, encías y otras estructuras intraorales. La caracterización de contorno de superficie usando luz visible o casi visible puede ser particularmente útil para la evaluación de la condición 40 dental y tiene un valor reconocido para diversos tipos de procedimientos dentales, tales como para odontología restauradora. Esto puede proporcionar una herramienta valiosa para ayudar al profesional dental a identificar diversos problemas y a validar otras mediciones y observaciones relacionadas con los dientes del paciente y las estructuras de soporte. La información de contorno de superficie también se puede usar para generar modelos 3D de componentes de dentición tales como dientes individuales; la información de posición y 45 orientación relacionada con dientes individuales se puede usar entonces para evaluar el progreso del tratamiento de ortodoncia. Con el uso apropiado de la formación de imágenes de contorno de superficie, se puede evitar la necesidad de múltiples adquisiciones de rayos X 2D o 3D de la dentición de un paciente.

50 Se han desarrollado una serie de técnicas para obtener información de contorno de superficie de diversos tipos de objetos en aplicaciones médicas, industriales y otras. Los métodos de medición ópticos tridimensionales (3D) proporcionan información de forma y espacial usando luz dirigida sobre una superficie de diversas maneras. Entre los tipos de métodos de formación de imágenes utilizados para la formación de imágenes de contorno se encuentran dispositivos de proyección de luz marginal o estructurada. La proyección de imagen 55 de luz estructurada usa luz modelada o estructurada y triangulación de cámara/sensor para obtener información de contorno de superficie para estructuras de diversos tipos. Una vez que se procesan las imágenes de proyección de luz estructurada, se puede generar una nube de puntos. Entonces se puede formar una malla a partir de la nube de puntos o una pluralidad de nubes de puntos, con el fin de reconstruir al menos una aproximación plana a la superficie.

60 La representación de malla puede ser particularmente útil para mostrar la estructura de superficie de dientes y encías y puede obtenerse utilizando una cámara manual y sin requerir niveles de radiación dañinos. Sin embargo, cuando se usan planteamientos de procesamiento de imágenes convencionales, se ha encontrado que la representación de malla carece de algo de la versatilidad y utilidad inherentes que están disponibles 65 utilizando tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) u otras técnicas que exponen al paciente a radiación. Un área en la que la representación de malla ha dado solo resultados decepcionantes se refiere a

la segmentación. La segmentación permite al médico identificar y aislar la corona y otras partes visibles del diente de las encías y la estructura de soporte relacionada. Los métodos convencionales para la segmentación de imágenes de malla a menudo pueden ser inexactos y pueden no distinguir la estructura del diente de los tejidos de soporte.

5

Se han propuesto diversos planteamientos para abordar el problema de segmentación para imágenes de malla, tales como los siguientes:

10 (i) Un método descrito en el artículo "Snake-Based Segmentation of Teeth from Virtual Dental Casts" de Thomas Kronfeld et al. (en *Computer-Aided Design & Applications*, 7(a), 2010) emplea un método de segmentación de contorno activo que intenta separar cada superficie de diente y encía en una única iteración de procesamiento. El planteamiento que se describe, sin embargo, no es un método independiente de la topología y puede fallar, particularmente cuando faltan dientes en la malla de la mandíbula.

15 (ii) Un artículo titulado " Perception-based 3D Triangle Mesh Segmentation using Fast Marching Watershed" de Page, D. L. y col. (en *Proc. CVPI vol II 2003*) describe el uso de un método de Cuenca de Agua de Marcha Rápida para la segmentación de malla. El método de Cuenca de Agua de Marcha Rápida que se describe requiere que el usuario introduzca manualmente puntos de siembra. Los puntos de siembra deben colocarse en ambos lados de los contornos de las regiones bajo segmentación. El método entonces intenta segmentar todas las regiones en una etapa, usando información de semilla. Para la segmentación de malla de mandíbula, este tipo de método segmenta cada diente así como la encía al mismo tiempo. Esto hace que el método sea menos deseable, porque la segmentación de dientes de la región de encía requiere típicamente parámetros y procesamiento que difieren de los necesarios para la tarea de segmentar dientes entre sí. El uso de diferentes estrategias de segmentación para diferentes tipos de componentes de dentición con requisitos de segmentación alternativos proporcionaría un mejor rendimiento.

20

25

(iii) Para apoyar su tesis, "Evaluation of software development for Automated Segmentation of Digital Dental Models", J. M. Moon utilizó una herramienta de software que descompuso el proceso de segmentación en dos etapas: separación de dientes de la estructura gingival y segmentación de la estructura de arco completa en objetos dentales individuales. La herramienta de software usada en la tesis de Moon encuentra la curvatura máxima en la malla y requiere que el usuario elija manualmente un umbral de curvatura para obtener vértices de margen que se usan para segmentar el diente. El software también requiere que el usuario edite manualmente los márgenes con el fin de eliminar los resultados de segmentación erróneos. Dirigida al análisis de características de forma y posición, esta herramienta de software no emplea información de color en la separación de regiones de dientes de las regiones de encía.

30

35

(iv) El documento US 2003/039 389 A1 titulado "Manipulating a digital dentition model to form models of individual dentition components" de Jones, T. N. *et al.* divulga un método para separar partes del modelo de dentición que representan los dientes adyacentes.

40

Aunque los métodos convencionales para la segmentación dental muestran cierto nivel de éxito en un conjunto limitado de casos de prueba, ninguno de estos métodos parece ser robusto y comercialmente viable. Además, los métodos convencionales no parecen ser capaces de segmentar apropiadamente los brackets y aparatos fijos ortodóncicos que aparecen frecuentemente en modelos de malla de dentición escaneados.

45

A diferentes intervalos durante el proceso de tratamiento de ortodoncia, es deseable eliminar los aparatos fijos de brackets físicos de los dientes antes de realizar un escaneo intraoral con el fin de obtener una vista 3D clara del modelo de malla dental para la evaluación del progreso. Sin embargo, debido a factores tales como la desunión, la tinción y la acumulación de placa en las superficies rugosas del diente, el esmalte puede dañarse eliminando los aparatos fijos. Se ha estimado que el grosor del esmalte perdido durante la eliminación de brackets es de aproximadamente 150 micrómetros. Para evitar el daño y la pérdida de esmalte, habría ventajas en la renuncia a la eliminación de las características de aparato fijo si es posible. Una solución es escanear la dentadura/arco dental sin eliminar los aparatos fijos físicos de los dientes, y limpiar la malla del arco dental por manipulación de malla.

50

55

El documento US 8 738 165 B2 de Cinader Jr. et al., titulado "Methods of prepare a virtual dentition model and fabricating a dental retainer from theiss", divulga un modelo virtual de la dentición de un paciente dental proporcionado mediante la obtención de un archivo de datos digitales de los dientes del paciente y aparatos de ortodoncia conectados a los dientes, y combinados con datos del archivo de datos con otros datos que representan las superficies de los dientes subyacentes a los aparatos. En el documento US 8 738 165 B2, el modelo virtual se usa en la preparación de un modelo físico de la dentición actual del paciente que se puede usar para hacer un retenedor dental. El documento US 8 738 165 B2 también indica herramientas de edición usadas en software de manipulación de imágenes para eliminar los datos que representan los aparatos de ortodoncia. El software de manipulación de imágenes descrito en el documento US 8 738 165 B2 es "Geomagic Studio" (de Geomagic, Inc. de Research Triangle Park, N. C.), en el que partes de una imagen son identificadas y eliminadas por un técnico utilizando un ratón de ordenador u otro dispositivo de entrada. El documento US 8

60

65

738 165 B2 menciona además un software conocido como "ZBrush" (de Pixologic, Inc. de Los Angeles, CA) utilizado para afinar y esculpir digitalmente/manualmente los datos combinados. Estos métodos pueden requerir considerable habilidad del operador y los resultados pueden ser altamente subjetivos.

- 5 Existe, entonces, una necesidad de métodos y/o aparatos mejorados, preferiblemente con poca o ninguna intervención humana, para la segmentación de representaciones de malla de estructuras de dientes y encías que incluyen la eliminación de brackets para la reconstrucción de superficie de dientes/corona.

10 El documento US 2014 / 0 067 334 A1 se refiere a un método y un sistema para crear un aparato dental posterior, en donde se recibe un modelo dental digital actual que incluye una representación del conjunto de dientes físicos de un paciente con un aparato dental actual unido a los dientes físicos o la cavidad oral. Los dientes físicos están en una posición en tratamiento cuando todo o una parte del aparato dental actual se va a eliminar de uno o más del conjunto de dientes físicos y se va a usar un aparato posterior. El modelo dental digital actual se crea con base en un nuevo modelo dental digital que incluye la representación del conjunto de dientes físicos sin incluir el aparato dental actual.

15 El documento US 2006/093992 A1 se refiere a un método para producir un modelo de arco dental físico basado en un modelo de arco dental digital tridimensional.

20 Compendio

Un aspecto de esta solicitud es avanzar en la técnica de la segmentación y/o manipulación dental en relación con la formación de imágenes de volumen y la visualización utilizada en aplicaciones médicas y dentales.

- 25 Otro aspecto de esta solicitud es abordar, en su totalidad o en parte, al menos las deficiencias anteriores y otras deficiencias en la técnica relacionada. Otro aspecto de esta solicitud es proporcionar, en su totalidad o en parte, al menos las ventajas descritas en esta memoria.

30 La presente invención se define por la reivindicación independiente adjunta. Las reivindicaciones dependientes se dirigen a características opcionales y realizaciones preferidas.

35 En aspectos de la presente invención, se proporciona un método para generar un modelo digital de la dentición de un paciente y un aparato configurado para llevar a cabo dicho método según las reivindicaciones independientes.

Las realizaciones preferidas se establecen en las reivindicaciones dependientes y en la parte restante de la descripción.

40 Ciertas realizaciones de método y/o aparato ejemplares según la presente divulgación pueden abordar necesidades particulares para visualización y evaluación mejoradas de modelos de dentición 3D, donde las representaciones de aparatos fijos se han eliminado o reducido y las superficies dentales se han agregado o restaurado para mayor claridad. Se pueden usar modelos de dentición 3D restaurados con estructuras internas obtenidas usando CBCT y otros métodos de formación de imágenes de volumen radiográfico o se pueden correlacionar con datos de imagen de reflectancia obtenidos del paciente.

45 Estos objetos se proporcionan únicamente a modo de ejemplo ilustrativo, y dichos objetos pueden ser un ejemplo de una o más realizaciones de la solicitud. Otros objetivos y ventajas deseables inherentemente logrados por realizaciones de métodos y/o aparatos ejemplares pueden tener lugar o resultar evidentes para los expertos en la técnica. La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

50 Según un aspecto de la divulgación, se proporciona un método para generar un modelo digital de dentición reconstruida que puede incluir obtener un modelo de malla digital 3D de la dentición del paciente que incluye aparatos fijos, dientes y encías, modificar el modelo de dentición de malla digital 3D al eliminar partes de alambre de los aparatos fijos de los mismos, modificar el modelo de dentición de malla digital 3D al eliminar partes de bráquet de los aparatos fijos de los mismos, aproximar las superficies de dientes del modelo de dentición de malla digital 3D modificado previamente cubierto por las partes de alambre y las de los aparatos fijos, y mostrar, almacenar o transmitir a través de una red a otro ordenador, modelo de dentición de malla digital 3D.

60 Según otro aspecto de la divulgación, se proporciona un método para generar un modelo digital de la dentición de un paciente, el método ejecutado al menos en parte por un ordenador que puede incluir adquirir una malla digital 3D que es representativa de la dentición del paciente a lo largo de un arco dental, en donde la malla digital incluye aparatos fijos, dientes y tejido gingival; modificar la malla digital 3D para generar un modelo de dentición de malla digital mediante: (i) procesar la malla digital y detectar automáticamente una o más posiciones de soporte iniciales de la malla adquirida; (ii) procesar las posiciones de soporte iniciales para identificar áreas de aparatos fijos que se encuentran contra superficies dentales; (iii) uno o más alambres de

aparato fijo se extienden entre brackets; (iv) eliminar uno o más brackets y uno o más alambres del modelo de dentición; (v) formar una superficie dental reconstruida dentro del modelo de dentición de malla digital donde se han eliminado uno o más brackets; y mostrar, almacenar o transmitir a través de una red a otro ordenador, el modelo de dentición de malla digital 3D modificado.

5

Breve descripción de los dibujos

Los objetos, características y ventajas anteriores y otros de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción más particular de las realizaciones de la invención, como se ilustra en los dibujos adjuntos. Los elementos en los dibujos no están necesariamente a escala uno con respecto al otro.

10

La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra componentes de un aparato de formación de imágenes para la formación de imágenes de contorno de superficie de los dientes de un paciente y estructuras relacionadas.

15

La Figura 2 muestra esquemáticamente cómo se usa la luz con patrón para obtener información de contorno de superficie usando una cámara de mano u otro dispositivo de formación de imágenes portátil.

20

La Figura 3 muestra un ejemplo de formación de imágenes de superficies usando un patrón con múltiples líneas de luz.

La Figura 4 muestra una nube de puntos generada a partir de formación de imágenes de luz estructurada, tal como la mostrada en la Figura 3.

25

La Figura 5 muestra una malla de polígono en forma simple de una malla triangular.

La Figura 6A es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia híbrida para segmentación de malla según una realización de la presente divulgación.

30

La Figura 6B es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia de flujo de trabajo para segmentación híbrida del diente según una realización de la presente divulgación.

La Figura 7A muestra un ejemplo de un diente pobremente segmentado.

35

La Figura 7B muestra un ejemplo de una segmentación mejorada.

La Figura 8A muestra un ejemplo de un patrón de traza de línea de siembra.

40

La Figura 8B muestra un ejemplo de un patrón de traza de línea de bloque.

Las Figuras 9A, 9B y 9C muestran pantallas de interfaz de operador para la revisión e introducción de instrucciones de marcado para refinar el procesamiento de segmentación de malla dental según ciertas realizaciones de la presente divulgación.

45

La Figura 10 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la eliminación de bráquet de la superficie de malla dental según una realización ejemplar de la aplicación.

La Figura 11 muestra un ejemplo de una malla de dentición que contiene dientes, brackets y tejido gingival.

50

La Figura 12 es un diagrama que muestra dientes separados resultantes ejemplares de una malla de dentición 3D según una realización a modo de ejemplo de la solicitud.

Las Figuras 13A-13C muestran un ejemplo de eliminación de un bráquet de una superficie dental de una malla de dentición 3D y reconstrucción posterior de la superficie dental.

55

Las Figuras 13D y 13E son diagramas que muestran un orificio en la superficie de malla dental donde se elimina un bráquet y un parche inicial aproximado para llenar el orificio.

60

La Figura 13F es un diagrama que muestra una disposición inicial de triángulos en un parche de malla de superficie de diente y una disposición modificada de triángulos para un parche de malla de superficie de diente.

La Figura 13G muestra una malla de dentición 3D corregida ejemplar.

65

La Figura 14 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia ejemplar para la detección y eliminación automáticas de aparatos fijos y brackets por lógica de procesamiento según una realización de la presente divulgación.

- La Figura 15 es un diagrama de flujo lógico que muestra un proceso para la detección de área de bráket.
- 5 La Figura 16 muestra imágenes para una secuencia que sigue las etapas dadas en la Figura 15.
- La Figura 17 muestra los brackets bastos ejemplares obtenidos usando la secuencia descrita.
- La Figura 18 muestra la detección de alambres de aparato fijo.
- 10 La Figura 19 muestra una disposición de vértices para la generación de máscaras.
- La Figura 20 muestra la operación de recorte para máscaras que pueden extenderse inexactamente al lado opuesto en representación esquemática.
- 15 La Figura 21 muestra una secuencia de posprocesamiento.
- La Figura 22 muestra un proceso de Marcha Rápida ejemplar.
- La Figura 23 muestra un ejemplo de cálculo de Marcha Rápida para el tiempo de llegada desde diferentes puntos de siembra a lo largo de las fronteras de máscara.
- 20 La Figura 24 muestra los resultados del uso de una secuencia de diferentes planteamientos para el refinamiento de las regiones de bráket según una realización de la presente divulgación.
- 25 La Figura 25 muestra las etapas de un refinamiento opcional de las regiones de bráket utilizando un cálculo de casco convexo.
- La Figura 26 muestra regiones de bráket ajustadas finamente obtenidas usando la secuencia descrita.
- 30 La Figura 27 muestra la superficie de diente recuperada después de la eliminada del bráket.
- La Figura 28 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la eliminada de bráket de la superficie de malla dental según otra realización ejemplar de la solicitud.
- 35 La Figura 29 muestra una realización de pantalla de interfaz de operador para revisión e introducción de instrucciones de delineación para separar brackets de malla dental según una realización ejemplar de la solicitud. La Figura 29 también muestra un ejemplo de un contorno cerrado o serpiente que rodea un bráket.
- La Figura 30 muestra un ejemplo de vértices de malla realizados dentro de un contorno cerrado.
- 40 La Figura 31 muestra un ejemplo de una superficie dental reconstruida después de que se elimina el bráket.
- Las Figuras 32-34 son diagramas que muestran respectivamente, un ejemplo de modelo de dentición con brackets, el mismo modelo de dentición con brackets identificados, y dientes reconstruidos después de que los brackets se eliminan según una realización ejemplar de la solicitud.
- 45 La Figura 35A es un diagrama que muestra un ejemplo de una malla de dentición que contiene dientes, brackets puenteados y tejido gingival.
- 50 La Figura 35B es un diagrama que muestra una malla de dentición ejemplar con puentes (por ejemplo, alambres) entre brackets rotos según realizaciones ejemplares de la solicitud.
- La Figura 35C es un diagrama que muestra un ejemplo de malla de dentición que ilustra la detección de puentes (por ejemplo, alambres).
- 55 La Figura 36 muestra resultados ejemplares de la eliminación de bráket y la reconstrucción de superficie después de romper los alambres de puente según realizaciones ejemplares de la solicitud.
- La Figura 37 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la eliminación de brackets puenteados de la superficie de malla dental según una realización de la presente divulgación.
- 60 La Figura 38 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la eliminación de brackets puenteados de la superficie de malla dental según otra realización de la presente divulgación.
- 65 Descripción detallada de las realizaciones ejemplares

Lo que sigue es una descripción detallada de las realizaciones ejemplares, haciendo referencia a los dibujos en los que los mismos números de referencia identifican los mismos elementos de estructura en cada una de las varias figuras.

5 Cuando se usan, los términos "primero", "segundo", y así sucesivamente, no necesariamente denotan ninguna relación ordinal o de prioridad, pero se pueden usar para distinguir más claramente un elemento o intervalo de tiempo de otro.

10 El término, "ejemplar" indica que la descripción se utiliza como ejemplo, en lugar de implicar que es ideal o preferida.

15 El término "en comunicación de señales" como se utiliza en la solicitud significa que dos o más dispositivos y/o componentes son capaces de comunicarse entre sí a través de señales que viajan a través de algún tipo de ruta de señal. La comunicación de señales puede ser cableada o inalámbrica. Las señales pueden ser señales de comunicación, energía, datos o energía que pueden comunicar información, potencia y/o energía desde un primer dispositivo y/o componente a un segundo dispositivo y/o componente a lo largo de una ruta de señal entre el primer dispositivo y/o componente y el segundo dispositivo y/o componente. Las rutas de señal pueden incluir conexiones físicas, eléctricas, magnéticas, electromagnéticas, ópticas, cableadas y/o inalámbricas entre el primer dispositivo y/o componente y el segundo dispositivo y/o componente. Las rutas de señal también pueden incluir dispositivos y/o componentes adicionales entre el primer dispositivo y/o componente y el segundo dispositivo y/o componente.

25 En el contexto de la presente divulgación, los términos "píxel" y "vóxel" pueden usarse indistintamente para describir un elemento de datos de imagen digital individual, es decir, un valor único que representa una intensidad de señal de imagen medida. Convencionalmente, un elemento de datos de imagen digital individual se denomina vóxel para imágenes tridimensionales o de volumen y un píxel para imágenes bidimensionales (2D). Para los fines de la descripción en esta memoria, los términos vóxel y píxel pueden considerarse generalmente equivalentes, que describen un dato elemental de imagen que es capaz de tener un intervalo de valores numéricos. Los vóxeles y píxeles tienen atributos de ubicación espacial y valor de código de datos de imagen.

30 "Luz modelada" se usa para indicar luz que tiene un patrón espacial predeterminado, de manera que la luz tiene una o más características tales como una o más líneas paralelas discernibles, curvas, un patrón de cuadrícula o tablero de cuadros, u otras características que tienen áreas de luz separadas por áreas sin iluminación. En el contexto de la presente divulgación, las frases "luz con patrón" y "luz estructurada" se consideran equivalentes, ambas usadas para identificar la luz que se proyecta sobre la cabeza del paciente con el fin de derivar datos de imagen de contorno.

35 En el contexto de la presente divulgación, los términos "visualizador", "operador" y "usuario" se consideran equivalentes y se refieren al profesional, técnico u otra persona visualizadora que ve y manipula una imagen de contorno que se forma de una combinación de múltiples imágenes de luz estructurada en un monitor de exposición.

40 Una "instrucción de visualizador", "instrucción de operador", u "orden de operador" se puede obtener a partir de órdenes explícitas introducidas por el visualizador o se puede obtener o derivar implícitamente basándose en alguna otra acción del usuario, tal como hacer una configuración del equipo, por ejemplo. Con respecto a las entradas introducidas en una interfaz de operador, tal como una interfaz que utiliza un monitor de exposición y un teclado, por ejemplo, los términos "orden" e "instrucción" se pueden usar indistintamente para referirse a una entrada de operador.

45 En el contexto de la presente divulgación, una única línea de luz proyectada se considera un patrón "unidimensional", ya que la línea tiene un ancho casi insignificante, tal como cuando se proyecta desde un láser de línea, y tiene una longitud que es su dimensión predominante. Dos o más de tales líneas proyectadas lado a lado, ya sea simultáneamente o en una disposición escaneada, proporcionan un patrón bidimensional. En realizaciones ejemplares, las líneas de luz pueden ser lineales, curvas o tridimensionales.

50 Los términos "modelo 3D", "nube de puntos", "superficie 3D" y "malla" se pueden usar como sinónimos en el contexto de la presente divulgación. La densa nube de puntos se forma usando técnicas familiares para los expertos en la técnica de formación de imágenes de volumen para formar una nube de puntos y se refiere generalmente a métodos que identifican, desde la nube de puntos, puntos de vértice que corresponden a características de superficie. La nube de puntos densa se genera así usando los datos de contorno reconstruidos de una o más imágenes de reflectancia. La información de nubes de puntos densos sirve como base para un modelo de polígono a alta densidad para los dientes y la superficie de encía.

60 Según la presente divulgación, la frase "primitiva geométrica" se refiere a formas geométricas 2D básicas que pueden ser introducidas por el operador con el fin de indicar áreas de una imagen. A modo de ejemplo, y sin

limitación, las primitivas geométricas pueden incluir líneas, curvas, puntos y otras formas abiertas, así como formas cerradas que pueden ser formadas por el operador, tales como círculos, curvas cerradas, rectángulos y cuadrados, polígonos y similares.

- 5 Las realizaciones de la presente divulgación proporcionan métodos y/o aparatos ejemplares que pueden ayudar a eliminar la necesidad de múltiples escaneos de CBCT para la visualización de estructuras dentales y mandibulares. Se pueden usar métodos y/o realizaciones de aparato ejemplares para combinar un solo volumen de CBCT con escaneos intraorales ópticos que tienen la capacidad de rastrear la posición de la raíz en varias fases de tratamiento ortodóntico, por ejemplo. Para lograr esto, los escaneos intraorales se
10 segmentan de manera que las partes expuestas, tales como coronas de dientes individuales, del escaneo intraoral se pueden alinear con la estructura de diente y raíz individual segmentada del volumen de CBCT.

La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un aparato de formación de imágenes 70 para proyectar y formar imágenes usando patrones de luz estructurados 46. El aparato de formación de imágenes 70 utiliza una cámara de mano 24 para la adquisición de imágenes según una realización de la presente divulgación. Un procesador lógico de control 80, u otro tipo de ordenador que puede ser parte de la cámara 24, controla el funcionamiento de una distribución de iluminación 10 que genera la luz estructurada y controla el funcionamiento de una distribución de sensores de formación de imágenes 30. Los datos de imagen de la superficie 20, tales como de un diente 22, se obtienen de la distribución de sensores de imagen 30 y se
20 almacenan en una memoria 72. El procesador lógico de control 80, en comunicación de señal con los componentes de la cámara 24 que adquieren la imagen, procesa los datos de imagen recibidos y almacena la correlación en la memoria 72. La imagen resultante de la memoria 72 se representa entonces opcionalmente y se muestra en una pantalla 74. La memoria 72 también puede incluir una memoria intermedia de pantalla para almacenar temporalmente el contenido de imagen de exposición 74.

25 En la formación de imágenes de proyección de luz estructurada de una superficie, se proyecta un patrón de líneas desde la distribución de iluminación 10 hacia la superficie de un objeto desde un ángulo dado. Luego, el patrón proyectado desde la superficie se ve desde otro ángulo como una imagen de contorno, aprovechando la triangulación para analizar la información de la superficie en función de la apariencia de las líneas de
30 contorno. El cambio de fase, en el que el patrón proyectado se desplaza espacialmente de forma incremental para obtener mediciones adicionales en las nuevas ubicaciones, se aplica normalmente como parte de la formación de imágenes de proyección de luz estructurada y se usa para completar la correlación de contorno de la superficie y aumentar la resolución general en la imagen de contorno.

35 El diagrama esquemático de la Figura 2 muestra, con el ejemplo de una sola línea de luz L, cómo se usa la luz con patrón para obtener información de contorno de superficie usando una cámara de mano u otro dispositivo portátil de formación de imágenes. Se obtiene un mapeo a medida que una distribución de iluminación 10 dirige un patrón de luz sobre una superficie 20 y se forma una imagen correspondiente de una línea L' en una distribución de sensores de formación de imágenes 30. Cada píxel 32 en la disposición de sensores de
40 formación de imágenes 30 se correlaciona a un píxel correspondiente 12 en la disposición de iluminación 10 según la modulación por la superficie 20. Los cambios en la posición de píxel, como se representa en la Figura 2, proporcionan información útil sobre el contorno de la superficie 20. Se puede apreciar que el patrón básico mostrado en la Figura 2 se puede implementar de varias maneras, usando una variedad de fuentes y secuencias de iluminación y usando uno o más tipos diferentes de distribuciones de sensores 30. La
45 distribución de iluminación 10 puede utilizar cualquiera de un número de tipos de distribuciones utilizadas para la modulación de luz, tales como una distribución de cristal líquido o una distribución de microespejos digitales, tales como los proporcionados utilizando el Procesador de Luz Digital o dispositivo DLP de Texas Instruments, Dallas, TX. Este tipo de modulador de luz espacial se utiliza en la ruta de iluminación para cambiar el patrón de luz según sea necesario para la secuencia de mapeo.

50 Al proyectar y capturar imágenes que muestran patrones de luz estructurados que duplican la disposición mostrada en las Figuras 1 y 2 múltiples veces, la imagen de la línea de contorno en la cámara localiza simultáneamente un número de puntos de superficie del objeto del que se ha formado la imagen. Esto puede acelerar el proceso de recogida de muchos puntos de muestra, mientras que el plano de luz (y normalmente también la cámara receptora) se mueve lateralmente con el fin de "pintar" parte o toda la superficie exterior del objeto con el plano de luz.

La Figura 3 muestra la formación de imágenes de superficies usando un patrón con múltiples líneas de luz. El cambio incremental del patrón de líneas y otras técnicas ayudan a compensar las imprecisiones y la confusión que pueden resultar de transiciones abruptas a lo largo de la superficie, por lo que puede resultar difícil
60 identificar positivamente los segmentos que corresponden a cada línea proyectada. En la Figura 3, por ejemplo, puede ser difícil determinar si el segmento de línea 16 proviene de la misma línea de iluminación que el segmento de línea 18 o el segmento de línea adyacente 19.

65 Conociendo la posición instantánea de la cámara y la posición instantánea de la línea de luz dentro de un sistema de coordenadas relativas al objeto cuando se adquirió la imagen, un ordenador y software pueden usar

métodos de triangulación para calcular la coordenadas de numerosos puntos de superficie iluminados. A medida que el plano se mueve para intersecar finalmente con parte o toda la superficie del objeto, se acumulan las coordenadas de un número creciente de puntos. Como resultado de esta adquisición de imágenes, se puede identificar una nube de puntos de puntos de vértices o vértices y usarla para representar la extensión de una superficie dentro de un volumen. A modo de ejemplo, la Figura 4 muestra una nube de puntos densa 50 generada a partir de un aparato de formación de imágenes de luz estructurada, cámara CS 3500 3D fabricada por Carestream Heath, Inc., Rochester NY, EE. UU., utilizando resultados de iluminación con patrón tal como el mostrado en la Figura 3. La nube de puntos 50 modela la ubicación física de los puntos muestreados en las superficies dentales y otras superficies intraorales o, más generalmente, de las superficies de un objeto del mundo real. Se puede obtener una resolución variable. El ejemplo de la Fig. 4 muestra una resolución ejemplar de 100 micrómetros. Los puntos en la nube de puntos representan puntos reales medidos en la superficie tridimensional de un objeto.

La estructura de superficie puede aproximarse a partir de la representación de la nube de puntos formando una malla de polígono, en la que los vértices adyacentes se conectan por segmentos de línea. Para un vértice, sus vértices adyacentes son los vértices más cercanos al vértice en términos de distancia euclidiana.

A modo de ejemplo, la Figura 5 muestra un modelo de malla de polígono 3D 60 en la forma simple de una malla triangular. Una malla triangular forma una estructura de malla básica que puede generarse a partir de una nube de puntos y usarse como modelo digital para representar un objeto 3D por su forma de superficie aproximada, en forma de segmentos de plano triangular que comparten fronteras adyacentes. Los métodos y aparatos para formar un modelo de malla de polígono, tal como una malla triangular o una estructura de malla más compleja, son bien conocidos por los expertos en las técnicas de formación de imágenes de contorno. La unidad de polígono del modelo de malla, y las relaciones entre los polígonos vecinos, se pueden usar en realizaciones de la presente divulgación para extraer características (por ejemplo, curvaturas, curvaturas mínimas, bordes, relaciones espaciales, etc.) en las fronteras de dientes.

En la formación de imágenes intraorales, la segmentación de los componentes individuales del contenido de imagen a partir de un modelo digital puede ser de valor para el profesional dental en diversos procedimientos, incluyendo el tratamiento ortodóntico y la preparación de coronas, implantes y otros dispositivos protésicos, por ejemplo. Se han propuesto y demostrado diversos métodos para la segmentación basada en malla de dientes de encías y de dientes entre sí. Sin embargo, los inconvenientes de las soluciones de segmentación convencionales incluyen requisitos para un nivel significativo de habilidad del operador y un alto grado de complejidad computacional. Los planteamientos convencionales para el problema de la segmentación de los componentes dentales y otras características de la dentición han dado resultados decepcionantes en muchos casos. Las realizaciones de método y aparato ejemplares según la presente divulgación abordan tales problemas con la segmentación que puede utilizar los datos de malla poligonal como un tipo de modelo digital fuente y puede operar en más de una fase: por ejemplo, primero, realizar una segmentación automatizada que puede proporcionar al menos una aproximación cercana o aproximada de la segmentación necesaria del modelo digital; y segundo, permitir que las interacciones del operador mejoren, corrijan o limpien los errores e inconsistencias observados en los resultados automatizados, que pueden producir resultados altamente precisos que son difíciles de lograr de una manera puramente automatizada sin requisitos significativos en tiempo o nivel de habilidad del operador o en recursos informáticos necesarios. Este planteamiento híbrido en realizaciones de método y aparato ejemplares puede ayudar a combinar la potencia de procesamiento de cómputo y de imagen con la percepción del operador para verificar, corregir y refinar los resultados del procesamiento automatizado.

El diagrama de flujo lógico de la Figura 6A muestra una secuencia híbrida para la segmentación de malla dental y la generación de un modelo digital para identificar características individuales o componentes intraorales tales como dientes desde dentro de la boca según una realización ejemplar de la presente divulgación. En una etapa de adquisición de imágenes S100, se capturan una pluralidad de imágenes de luz estructurada de la dentición del paciente, proporcionando un conjunto de imágenes de contorno para procesamiento. Una etapa S 110 de generación de nubes de puntos genera entonces una nube de puntos de la dentición del paciente usando el conjunto de imágenes de contorno. Una etapa S120 de generación de malla de polígono forma una malla de polígono conectando puntos adyacentes a partir de resultados de nubes de puntos. Una malla triangular proporciona un tipo de malla de polígono que puede generarse fácilmente para aproximarse a un contorno de superficie; pueden usarse alternativamente configuraciones de malla de polígono más complejas.

Continuando con la secuencia de la Figura 6A, dada la malla de polígono, se puede ejecutar una etapa de segmentación S130. Para una imagen de contorno dental, por ejemplo, la etapa de segmentación S130 puede distinguir dientes de tejido de encía, así como distinguir un diente de otro. Los resultados de la segmentación pueden exponerse, mostrando los resultados de este proceso de segmentación automatizado, inicial. La etapa de segmentación automatizada S130 puede proporcionar una imagen intermedia. De este modo, la etapa S130 automatizada puede realizar la mayor parte del procesamiento de segmentación, pero puede beneficiarse además de la revisión por parte del operador y de los refinamientos de los resultados. Para su procesamiento automático, la etapa de segmentación S130 puede usar cualquiera de una serie de técnicas de segmentación

conocidas, tales como algoritmos de cuenca de marcha rápida, la llamada segmentación basada en serpientes, y otros métodos conocidos por los expertos en las técnicas de formación de imágenes, como se ha indicado anteriormente.

5 La Figura 6A también muestra un bucle de repetición opcional que puede permitir la interacción del visualizador con la imagen intermedia para refinar los resultados del procesamiento de segmentación automatizado, por ejemplo, usando el aparato básico mostrado en la Figura 1. Se puede ejecutar una etapa S140 de aceptar instrucciones del operador, durante la que el visualizador indica, en los resultados mostrados, puntos de siembra, líneas de siembra, líneas de bloque, características de frontera, u otras marcas que identifican una o
 10 más características distintas de los resultados de segmentación para permitir un refinamiento y procesamiento de segmentación adicional. Las instrucciones de marcado de visor provocan que la etapa de segmentación S130 se ejecute al menos una segunda vez, esta segunda vez usando marcado(s) de entrada de las instrucciones del visor introducidas. Se puede apreciar que se pueden aplicar diferentes algoritmos de segmentación en diversas fases de procesamiento automatizado o manual. Los resultados finales del
 15 procesamiento de segmentación pueden exponerse, almacenarse y transmitirse entre ordenadores, tal como a través de una red cableada o inalámbrica, por ejemplo.

El proceso mostrado en la Figura 6A puede permitir de este modo la segmentación automatizada para realizar la segmentación basta (por ejemplo, primera segmentación) que se puede realizar más fácilmente, tal como la
 20 segmentación de dientes de tejido de encía, por ejemplo. De este modo, por ejemplo, se puede automatizar la división de dientes y encías. En una realización, el particionamiento de dientes y encías puede usar un método basado en curvatura automatizada que calcula la curvatura de los vértices en la malla, y luego usa un algoritmo de umbral para identificar los vértices de margen que tienen curvatura negativa grande. Alternativamente, la segmentación basada en color se puede utilizar para la segmentación de dientes de las encías. Este tipo de
 25 método puede obtener valores de tono promedio de regiones de la imagen y calcular valores umbral que dividen el contenido de la imagen.

Una realización ejemplar del flujo de trabajo para el sistema de segmentación dental híbrido se representa en el diagrama de flujo lógico de la Figura 6B. Al recibir una malla de dentición tal como la descrita en la Etapa S120 y mostrada en las Figs. 4 y 5, el procesador lógico de control 80 (Figura 1) inicia una Etapa de segmentación automatizada S202 en la que se evoca una herramienta de segmentación de dientes completamente automática para delinear los dientes y las regiones de encía y delinear las regiones de dientes individuales. La herramienta de segmentación dental completamente automática emplea algoritmos ejemplares
 30 tales como modelos de contorno activo publicados en la bibliografía o bien conocidos de otro modo por los expertos en las técnicas de procesamiento de imágenes. La delineación de dientes produce efectivamente dientes individualmente segmentados; sin embargo, estos dientes generados pueden contener componentes intraorales pobremente segmentados. Una primera etapa de comprobación S204 comprueba entonces si hay componentes intraorales pobremente segmentados. La comprobación de la segmentación incorrecta o incompleta en la etapa S204 puede realizarse ya sea computacionalmente, tal como aplicando algoritmos de
 35 inteligencia artificial entrenados a los resultados de la segmentación, o mediante la interacción del visualizador, tal como siguiendo la inspección visual por el visualizador. A modo de ejemplo, la Figura 7A muestra un diente 302 de ejemplo pobremente segmentado o mal segmentado. Como se muestra en la Figura 7A, una frontera de diente segmentado 306 no se alinea con una frontera de diente real 308.

45 Aun haciendo referencia al proceso de flujo de trabajo en la Figura 6B, si la Etapa de comprobación S204 identifica uno o más dientes pobremente segmentados, ya sea computacional o visualmente, se ejecuta una Etapa de segmentación primaria asistida S206, activando un procedimiento de segmentación que también está automatizado, pero permite cierto nivel de ajuste del operador. La etapa S206 de segmentación asistida primaria aplica un algoritmo para la segmentación que permite al operador el ajuste de uno o más parámetros
 50 en una etapa de ajuste de parámetros S210. Se ejecuta otra etapa de comprobación S208 para determinar si se necesita un procesamiento de segmentación adicional. El parámetro ajustable se puede alterar de forma computacional o explícita mediante una instrucción de operador en la etapa S210. Las figuras posteriores muestran una interfaz de operador ejemplar para ajuste de parámetro.

55 Un algoritmo ejemplar empleado en la Etapa de segmentación primaria S206 asistida puede ser una técnica bien conocida, tal como el método de segmentación basado en curvatura mínima de malla. El parámetro ajustable puede ser el valor umbral de la curvatura. Con la ayuda del ajuste de parámetros en la etapa S210, se puede hacer una corrección del diente pobremente segmentado. La Figura 7B muestra una imagen del diente 312 que, por comparación con la Figura 7A, muestra una frontera de diente segmentado 316 ahora bien
 60 alineada con la frontera real.

Sin embargo, como se desprende claramente de la realización de flujo de trabajo a modo de ejemplo mostrada en la Figura 6B, la delineación de los dientes realizada en la Etapa S206 puede producir todavía componentes o características intraorales pobremente segmentadas, de modo que un proceso de segmentación repetido es
 65 útil. La comprobación de una segmentación deficiente en la etapa S208 se puede llevar a cabo ya sea computacionalmente, tal como aplicando algoritmos de inteligencia artificial a los resultados de la

segmentación, o más directamente, mediante inspección visual realizada por el usuario. Además del parámetro ajustable ajustado en la Etapa S210, el sistema de segmentación de dientes híbrido permite opcionalmente al usuario añadir primitivos geométricos ejemplares tales como líneas de siembra en la región del diente y añadir líneas de bloqueo entre los dientes o entre los dientes y la encía para ayudar al proceso de segmentación de
 5 dientes. La Figura 8A muestra una línea de siembra ejemplar 406 para marcar un diente, añadida a una imagen de malla 62. La Figura 8B muestra una línea de bloque ejemplar 408 para indicar el espacio entre dos dientes, añadida a una imagen de malla 62.

Las tres Etapas básicas, Etapa S206, Etapa S208 y Etapa S210 en la secuencia de la Figura 6B constituyen
 10 un bucle de segmentación primario ejemplar 54 que sigue la segmentación completamente automática de la Etapa S202 y la Etapa de comprobación S204. Este bucle de segmentación primario ejemplar 54 está destinado a corregir errores de segmentación de la segmentación completamente automatizada de la etapa de segmentación automatizada S202, como se identifica en la etapa S204. El bucle de segmentación primario ejemplar 54 se puede ejecutar una o más veces, según sea necesario. Cuando el bucle de segmentación
 15 primario ejemplar 54 es satisfactorio, la segmentación puede ser completa.

En algunos casos, sin embargo, se necesita un procesamiento de segmentación adicional más allá de lo proporcionado por el bucle de segmentación primario 54. El procesamiento de segmentación puede complicarse por diversos factores, tales como el apilamiento dental, las formas dentales irregulares, los artefactos del escaneo, los contornos dentales indistintos y los intersticios no distinguibles entre otros. Cuando se necesita segmentación adicional, se puede usar un bucle de segmentación secundario ejemplar 56 para proporcionar planteamientos de segmentación más interactivos. El bucle de segmentación secundario 56 puede incluir una etapa de segmentación interactiva S212, otra etapa de comprobación S214 y una etapa de marcado de operador S216. La etapa de segmentación interactiva S212 puede activar un proceso de
 20 segmentación que trabaja con el operador para indicar áreas de la imagen que se van a segmentar de otras áreas. La etapa de segmentación interactiva S212 puede tener una secuencia automatizada, implementada por un algoritmo ejemplar tal como un método de "marcha rápida" conocido por los expertos en las artes de segmentación de imágenes. La Etapa S212 puede requerir la población de las imágenes de región dental por semillas o líneas de siembra introducidas por el operador u otros tipos de primitivos geométricos antes de la activación o durante el procesamiento. En ciertas realizaciones ejemplares, pueden generarse automáticamente líneas de siembra u otras características en la Etapa S100, S110 y S120 cuando la malla de dentición se introduce en el sistema para el ajuste opcional del operador (por ejemplo, operaciones posteriores tales como el bucle de segmentación secundario 56 o la Etapa 212). Además, el usuario puede añadir las características, semillas o líneas de siembra al proceso de segmentación en la Etapa S216 de marcado del
 25 operador. Los resultados de la Etapa S212 están sujetos a inspección por el usuario en la Etapa S216. Los resultados del procesamiento de segmentación híbrido automatizado/interactivo pueden entonces exponerse en una etapa de exposición S220, así como almacenarse y transmitirse a otro ordenador.

30 Siguiendo la secuencia de la Figura 6B, algunos métodos y aparatos ejemplares de la presente divulgación proporcionan una segmentación de diente híbrida que proporciona los beneficios de la segmentación interactiva con sinergia humano-máquina.

Las Figuras 9A-9C muestran pantallas de interfaz de operador 52 para partes de una secuencia para revisión e introducción de instrucciones de marcado para refinar el procesamiento de segmentación de malla según
 45 ciertas realizaciones ejemplares de la presente divulgación. Los resultados de segmentación de malla intermedia se muestran en un área de exposición 86 en la pantalla 52. Hay disponible número de controles 90 para el ajuste del proceso de segmentación, tal como un control de ajuste 84 para establecer un nivel para la agresividad global u otro parámetro o característica del algoritmo de procesamiento de segmentación. Unos controles de selección opcionales 88 permiten al visualizador especificar uno o más algoritmos de segmentación que se van a aplicar. Esto da al operador la oportunidad de evaluar si un tipo particular de algoritmo de segmentación u otro parecen tener más éxito en la realización de la tarea de segmentación para el modelo digital de malla dado. El operador puede comparar resultados contra los parámetros originales y ajustar para ver resultados de intentos de segmentación sucesivos, con y sin marcado del operador.

50 La Figura 9A también muestra un patrón de trazas 96 que se introduce como una instrucción de línea de siembra de operador para corregir o refinar el procesamiento de segmentación, como se ha mostrado previamente con respecto a la Figura 8A. Según una realización de la presente divulgación, se puede usar una marca de operador en forma de patrón de trazas 96 u otra marca/geometría arbitraria para proporcionar puntos de siembra que indiquen una característica específica para la segmentación, tal como una característica molar
 55 u otra característica dental que puede ser difícil de procesar para rutinas de segmentación convencionales. Entonces se pueden usar marcas de siembra como entrada a un algoritmo de marcado rápido u otro tipo de algoritmo, como se ha descrito anteriormente. En algunos casos, por ejemplo, los dientes adyacentes pueden no segmentarse con precisión entre sí; el marcado del operador puede proporcionar una guía útil para el procesamiento de segmentación cuando la lógica de segmentación estándar no funciona bien. Como muestra la Figura 9A, el operador puede tener controles 90 disponibles que permiten que la marca introducida sea borrada o proporcionada al procesador de segmentación. Como muestra la Figura 9B, se puede usar color o
 60 65

sombreado para diferenciar diversos dientes u otras estructuras identificadas por segmentación. También se pueden usar controles adicionales 90 para mostrar elementos segmentados individuales, tales como dientes individuales, por ejemplo. Como destaca la Figura 9C, en algunas realizaciones ejemplares, pueden usarse controles individuales 90 individualmente o en combinación.

5

En una realización, la segmentación de dientes individuales entre sí puede utilizar umbrales de curvatura para calcular el margen y los vértices de borde, a continuación, utilizar diversas técnicas de crecimiento para definir los límites de cada diente en relación con la detección de margen.

10

En algunas realizaciones ejemplares, los controles 90 pueden incluir, pero sin limitación a esto, introducir/ajustar geometrías de semillas o fronteras, introducir/ajustar procedimientos de segmentación seleccionados, introducir/ajustar número de objetos para segmentar, subdividir objeto seleccionado, modificar la exposición de objeto segmentado, etc.

15

Eliminación de brakets y alambres con reconstrucción

20

El diagrama de flujo lógico de la Figura 10 muestra una realización ejemplar de un flujo de trabajo para la eliminación de brakets de una malla 3D de dentición según una realización de la presente divulgación. Como se muestra en la Figura 10, se obtiene un modelo de malla de dentición 3D virtual o digital en una etapa de adquisición S1002. Por ejemplo, se puede obtener un modelo digital de malla de dentición 3D usando un escáner intraoral que emplea luz estructurada.

25

La Figura 11 es un diagrama que muestra una malla de dentición 3D ejemplar que puede adquirirse en la etapa S1002 de la Figura 10. Como se muestra en la Figura 11, la malla de dentición 3D 1100 puede incluir brakets 1102, tejido gingival 1104 y dientes 1106. Preferiblemente, un resultado del proceso de flujo de trabajo ejemplar de la Figura 10 será una malla de dentición 3D que incluye los dientes 1106 y el tejido gingival 1104 de la malla de dentición 3D 1100, pero sin los brakets 1102 y las superficies dentales previamente cubiertas por los brakets 1102 y con las superficies dentales reconstruidas con precisión.

30

Como se muestra en la Figura 10, las etapas de separación 1004 y 1006 constituyen un método de segmentación de dientes para una malla 3D de dentición obtenida. Como se describe en esta memoria, en una realización, las etapas S1004 y S1006 pueden implementarse mediante etapas similares de una secuencia híbrida para la segmentación de malla dental representada en la Figura 6A. Alternativamente, en otra realización, las etapas S1004 y S1006 pueden implementarse mediante etapas similares de un método o sistema de segmentación de diente híbrido representado en la Figura 6B. La segmentación distingue cada diente de sus dientes vecinos y del tejido gingival adyacente.

35

Continuando con el flujo de trabajo en la Figura 10 y con referencia a las Figuras 11, 12 y 13A, 13B y 13C, los brakets 1102 se eliminan automáticamente de la malla de dentición 3D 1100 (por ejemplo, superficies dentales) en una etapa de eliminación S1008. En una realización ejemplar, los dientes separados (o segmentados) que resultan de la etapa S1006 pueden experimentar individualmente la eliminación de brakets y la reconstrucción superficial descritas a continuación. La Figura 12 es un diagrama que muestra dientes separados resultantes ejemplares 1202 contenidos dentro de la malla de dentición 3D 1100.

40

En la etapa de eliminación S1008, para eliminar automáticamente los brakets de las superficies de los dientes separados 1202, cada diente (o corona) segmentado individualmente se examina y procesa. Un diente segmentado ejemplar 1202 con el bráket 1302 a eliminar se muestra en la Figura 13A. En una realización ejemplar, un algoritmo de eliminación automática de brakets detecta primero las fronteras del bráket 1302. Se pueden usar diversos planteamientos conocidos por un experto en las técnicas de formación de imágenes para detectar fronteras de brakets en la malla de dentición 3D 1100. En una realización ejemplar, la detección de fronteras de bráket puede utilizar un algoritmo basado en curvatura automatizado que detecta y calcula las curvaturas de los vértices en la malla de las superficies dentales, y luego utiliza un algoritmo de umbral para identificar vértices de margen que tienen grandes valores de curvatura negativos, indicativos de un alto grado de curvatura.

45

Como se muestra en la Figura 13A, estos vértices de margen identificados forman una curva 3D cerrada o frontera de bráket 1303 (o los vértices de frontera del bráket) que rodea el bráket 1302. A continuación, los vértices de malla dentro de la frontera 3D cerrado se eliminan en la malla de dentición 3D 1100. Como muestra la Figura 13B, en la superficie del diente esto da como resultado una holgura u orificio 1304. La Figura 13B es un diagrama que muestra un diente segmentado ejemplar 1202 con el bráket 1302 eliminado. Como se muestra en la Figura 13B, pueden estar presentes pequeños parches blancos en el orificio de bráket 1304; estos parches blancos no pertenecen al bráket 1302 en sí, pero pueden ser otros artefactos detrás del bráket original. Estos artefactos pueden hacerse visibles después de que el bráket 1302 se haya eliminado de la malla de dentición 3D 1100 mediante un algoritmo de eliminación automática del bráket.

50

Haciendo referencia de nuevo al diagrama de flujo de la Figura 10, en una etapa de reconstrucción S1010, las

55

60

65

superficies dentales del diente segmentado 1202 que tiene el bráket eliminado se reconstruyen automáticamente. Se pueden usar diversos planteamientos conocidos por los expertos en las técnicas de formación de imágenes para rellenar orificios en la malla de dentición 3D 1100. Un diente segmentado ejemplar 1202 que tiene una superficie dental reconstruida automáticamente 1306 se muestra en la Figura 13C. En realizaciones ejemplares, los procedimientos de llenado de orificios (por ejemplo, reconstrucción de superficie de diente o corona) pueden incluir una primera etapa para generar un parche inicial para llenar el orificio y una segunda etapa para suavizar la malla reconstruida para obtener polígonos de calidad mejorada (por ejemplo, triángulos) en la misma.

La Figura 13D muestra esquemáticamente una parte de la malla de dentición 3D 1100 que forma una superficie de malla de corona 3D después de que se eliminan las partes de malla que representan un bráket. Un polígono cerrado 1303' representa una frontera del bráket (eliminado). Una región 1308 encerrada por el polígono cerrado 1303' es la holgura u orificio dejado por la eliminación del bráket. En primer lugar, en la etapa S1010, se genera un parche inicial para llenar la superficie dental o el orificio de la región 1308 (por ejemplo, dentro del polígono cerrado 1303'). En una realización, el parche inicial contiene una pluralidad de triángulos 1310 dispuestos en un patrón prescrito a modo de ejemplo tal como uno formado por vértices de conexión en el polígono cerrado 1303' para formar el patrón mostrado en la Figura 13E. A continuación, en la etapa de reconstrucción S1010, los polígonos tales como los triángulos 1310 del parche inicial pueden modificarse u optimizarse adicionalmente. Un procedimiento ejemplar de modificación o disposición óptima de los triángulos 1310 se ilustra en la Figura 13F donde cuatro puntos A, B, C y D forman dos triángulos ABD y CDB en los triángulos 1310, que se reordenan para convertirse en triángulos ABC y CDA en un conjunto mejorado de triángulos 1310'. Una disposición de triángulo mejorada puede reducir o evitar triángulos largos y delgados.

En una segunda parte de la etapa de reconstrucción S1010 de la secuencia de la Figura 10, la malla 3D con el parche inicial se puede alisar para obtener una mejor calidad. En una realización, la segunda parte de la etapa S1010 puede corregir posiciones de puntos creados en el parche inicial utilizando información local globalmente. Por lo tanto, la malla 3D que incluye el parche inicial (por ejemplo, triángulos 1310, 1310' dentro del orificio del polígono 1303') y las regiones circundantes, tales como triángulos 1312 que rodean (o están cerca) del orificio 1308' en la Figura 13D se pueden alisar utilizando un método de alisado de Laplacian que ajusta la ubicación de cada vértice de malla al centro geométrico de sus vértices vecinos.

Por ejemplo, una implementación de suavizado de malla se describe por Wei Zhao et al. en "A robust hole-filling algorithm for triangular mesh" en The Visual Computer (2007) Diciembre de 2007, Volumen 23, Número 12, páginas 987-997, que puede implementar un algoritmo de refinamiento de parche usando la ecuación de Poisson con condiciones de frontera de Dirichlet. La ecuación de Poisson se formula como

$$\Delta f = \text{div}(h) \quad f|_{\partial\Omega} = f^*|_{\partial\Omega}$$

en donde f es una función escalar desconocida;

$$\Delta f = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

es un operador de Laplacian; h es el campo de vector de guía; $\text{div}(h)$ es la divergencia de h ; y f^* es una función escalar conocida que proporciona la condición de frontera. El campo de vector de guiado en una malla de triángulo discreta como se usa en el método de Wei Zhao se define como una función de vector constante en partes cuyo dominio es el conjunto de todos los puntos en la superficie de malla. El vector constante se define para cada triángulo y este vector es coplanar con el triángulo.

En una etapa de exposición S1012 de la Figura 10, puede exponerse el diente segmentado ejemplar 1202 que tiene automáticamente la superficie dental reconstruida 1306 (véase la Figura 13C). Aunque se describe para un diente segmentado ejemplar 1202, las etapas S1008, S1010 y S1012 se pueden realizar repetidamente hasta que todos los brackets se eliminan de la malla de dentición 3D 1100. De esta manera, la malla de dentición 3D corregida resultante 1100 puede exponerse en la etapa S1012 después de que se corrija cada superficie de diente segmentada adicional. Alternativamente, las etapas S1008 y S1010 pueden realizarse para todos los dientes en la malla de dentición 3D 1100, antes de que la malla de dentición 3D corregida resultante 1100 se muestre en la etapa 1012. La Figura 13G muestra una malla de dentición 3D corregida ejemplar 1316.

Detección y eliminación de aparatos fijos y brackets

Ciertas realizaciones de método y/o aparato ejemplares pueden proporcionar detección y eliminación automática de aparatos fijos mediante detección de brackets inicial (por ejemplo, basta), detección de alambre posterior, y refinamiento de brackets iniciales detectados (por ejemplo, separados), que luego se pueden eliminar de la malla 3D inicial y posteriormente llenarse mediante diversas técnicas de reconstrucción de superficie.

El diagrama de flujo lógico de la Figura 14 muestra una secuencia ejemplar para la detección y eliminación automáticas de aparatos fijos y brackets, sin segmentación de dientes como una etapa previa, mediante lógica de procesamiento según una realización de la presente divulgación. Una etapa de detección de brackets bastos S1302 proporciona posiciones estimadas de brackets, usando un planteamiento tal como el descrito posteriormente. Una etapa de detección de alambres de aparato fijo S1304 detecta entonces alambres de conexión que se extienden a través de la región de bráquet. Una etapa de generación de máscaras S1308 genera máscaras para los brackets; estas máscaras estrechan el área de búsqueda para la detección. Una etapa de procesamiento S1310 proporciona el recorte y otras operaciones morfológicas para definir adicionalmente las máscaras. Una etapa de aplicación de Marcha Rápida S1320 ejecuta un algoritmo de marcha rápida según la región de máscara definida. Una etapa de refinamiento S1330 realiza el refinamiento necesario de áreas o regiones de bráquet detectadas usando operadores morfológicos. Una etapa de ajuste fino S1340 genera las regiones de bráquet ajustadas finamente que luego se usan para las etapas de eliminación.

15 Detección de brackets bastos

La detección de brackets bastos en la etapa S1302 puede proceder como se describe en el diagrama de flujo de la Figura 15 y como se muestra visualmente en la secuencia de la Figura 16. En una etapa de cálculo S1306, el sistema calcula una parábola 502 que es un ajuste adecuado para la dentición representada por imágenes. Esto se ejecuta típicamente a partir del contenido de imagen en una imagen de vista superior 500 como se muestra, usando la lógica de detección de curvatura. La parábola 502 puede trazarse a lo largo de los bordes de los dientes en el arco usando el contenido del que se ha formado imagen. Dado este procesamiento, en una etapa de detección lateral S1312, se identifica entonces un lado bucal 504 o, alternativamente, el lado lingual opuesto del arco.

25 Con el lado lingual o bucal 504 del arco y la parábola 502 localizados, una o más áreas o regiones de bráquet 506 dispuestas en ese lado pueden entonces identificarse en una etapa de detección de áreas de bráquet S1324. Según una realización de la presente divulgación, la detección del área de bráquet 506 usa la siguiente secuencia general, repetida para puntos a lo largo de la parábola 502:

- 30 (i) Se extiende una normal hacia fuera hacia el lado de la parábola generada 502;
- (ii) Detectar una longitud máxima de las normales extendidas dentro de una vecindad local, tal como dentro de un número predeterminado de píxeles o medición calculada;
- 35 (iii) Seleccionar puntos cercanos en la malla que se encuentran dentro de una distancia predeterminada del máximo detectado.

40 Estas subetapas identifican zonas o regiones de brackets candidatas 508 como se muestra en el ejemplo de la Figura 16. Estas áreas candidatas 508 pueden procesarse con el fin de identificar con mayor precisión las características de bráquet que se encuentran contra los dientes y para distinguir cada bráquet de la superficie de diente correspondiente.

45 Una vez identificadas las áreas 508, una etapa de decisión S1328 determina si se necesita o no tratamiento posterior con el fin de corregir errores de procesamiento. Si no se requiere postratamiento, se han definido satisfactoriamente áreas de bráquet. Si se requiere tratamiento posterior, se aplica procesamiento adicional en una etapa de corrección de detección falsa S1332 para eliminar falsos positivos y en una etapa de agrupamiento S1344 para efectuar agrupamiento adicional de áreas de bráquet que están en proximidad y que se puede suponer que pertenecen al mismo bráquet 510. La Figura 17 muestra brackets bastos ejemplares 510 obtenidos usando la secuencia de detección de brackets bastos descrita de la Figura 15.

Detección de alambres de aparato fijo

55 La etapa S1304 de detección de alambres de aparato fijo de la secuencia de la Figura 14 puede proceder como se muestra en la Figura 18 y como se describe a continuación.

Los brackets bastos 510 pueden conectarse por alambres de aparato fijo 512. El procesamiento puede detectar alambre que se extiende desde cada región de bráquet. Es útil eliminar estos alambres con el fin de obtener una mejor eliminada del bráquet.

60 Para cada vértice V en la región de bráquet como se muestra en las Figuras 18 y 19, el procesamiento puede realizar una búsqueda de vecino más cercano dentro de un radio adecuado, tal como dentro de un radio de 5 mm ejemplar, dando como resultado un conjunto de vértices vecinos VN. A continuación, el procesamiento comprueba la normal de cada uno de los vértices en VN.

65 Los alambres detectados pueden facilitar la identificación de los brackets individuales. Si se determina que la

normal para al menos un vértice en VN apunta a la dirección opuesta de la normal del vértice V (por ejemplo, si el producto de punto de los dos vectores normales $< -0,9$), entonces V se considera un vértice candidato en el alambre (o puente). Esto se puede medir, por ejemplo, porque hay espacio entre la característica de alambre y el diente. Este procedimiento se puede aplicar a toda la malla, dando como resultado un conjunto que tiene un número de vértices candidatos.

El conjunto de vértices candidatos se usa para calcular una pluralidad de regiones conectadas. Cada una de las regiones conectadas puede analizarse utilizando un algoritmo de detección de forma, tal como PCA de análisis de componentes principales, familiar para los expertos en las técnicas de formación de imágenes y utilizado para la detección de forma, tal como detección de alambre.

La Figura 18 muestra los resultados de la detección de alambre para los alambres 512 que se extienden entre brackets. Estos alambres detectados se pueden usar entonces para identificar algorítmicamente y separar brackets conectados.

15 Generación de máscaras iniciales

Con brackets bastos separados detectados de alguna manera (ya sea detectados originalmente usando la etapa S1302 o usando los resultados de la etapa de detección de alambre S1304), se puede generar una máscara inicial para cada brácket basto individual. Estas máscaras iniciales pueden ser útiles para estrechar el área de búsqueda en la detección de brackets de Marcha Rápida. En la práctica, una máscara inicial apropiada debe ser suficientemente grande para cubrir todos los componentes (base, almohadilla, ranuras, gancho, banda, etc.) que pertenecen a un brácket.

25 La generación y procesamiento de máscaras iniciales a partir de las etapas S1308 y S1310 en la Figura 14 se puede ejecutar como sigue. Con referencia al diagrama esquemático de la Figura 19, este procesamiento puede generar una máscara para cada brácket. La máscara se usa para definir la región de interés (ROI) para la detección de brackets de marcha rápida subsecuente.

30 El procesamiento para la generación de máscara puede usar la siguiente secuencia, con referencia a la Figura 19:

(i) Orientación de la malla de mandíbula. El eje z es ortogonal al plano de mordida.

35 (ii) Clasificación. Los brackets, separados por detección de alambre, en cada arco dental se clasifican y se calculan características centrales, normales y anormales para cada brácket.

(iii) Identificación. Cada tipo de brácket se identifica como lingual o bucal, en molar posterior o en otros dientes. Se establece un radio adecuado para la generación de máscaras para cada brácket.

40 (iv) Búsqueda de radio. Se ejecuta una búsqueda de radio desde el centro de cada brácket inicial con el fin de generar una máscara inicial 520 para cada brácket. La máscara debe ser lo suficientemente grande como para contener el brácket.

45 El centroide de cada máscara 520 se conecta a cada vecino a lo largo del arco, como se representa en forma aplanada en la Figura 19.

Procesamiento de máscaras iniciales

50 El procesamiento de máscaras iniciales en la etapa S1310 de la Figura 14 realiza una operación de recorte que da forma a la máscara correctamente para su brácket correspondiente y elimina las áreas donde la máscara inicial es inexacta y se extiende a lados opuestos del mismo diente o se extiende entre dientes. La Figura 20 muestra la operación de recorte para máscaras que pueden extenderse inexactamente al lado opuesto en representación esquemática en las imágenes 530. Los resultados del recorte se muestran en el ejemplo de la imagen 532. El recorte para máscaras que se extienden inexactamente a través de los dientes, como se muestra en la imagen 540, se muestra en la imagen 542.

60 Partiendo de un extremo del arco dental, el binormal bn se puede definir como el vector desde el propio centro de un brácket hasta el del siguiente brácket en la serie que se forma al clasificar todas los brackets que se encuentran a lo largo del arco dental de un lado a otro. El producto transversal del eje z y binormal se puede usar para generar su normal como se representa en la Figura 19, que muestra el eje z, normal n y binormal bn de cada brácket.

65 Para el recorte en el que las máscaras se extienden al lado opuesto como se muestra en la representación esquemática en la Figura 20 en la imagen 530 con el recorte en la imagen 532, se puede ejecutar el siguiente procesamiento en cada vértice en la máscara:

(i) Calcular D_{normal} , el producto de puntos de la normal y el bráket normal para cada vértice:

$$D_{normal} = \langle N_{v_i}, N_{bracket} \rangle$$

5

en donde N_{v_i} es la normal del vértice v_i , $N_{bracket}$ es el bráket normal. (La notación $\langle a, b \rangle$ indica un producto de punto y puede expresarse alternativamente como $a \cdot b$.)

10

(ii) Eliminar los vértices cuyo valor D_{normal} está por debajo de un valor umbral predeterminado (por ejemplo, por debajo de -0,1). Este valor de producto de punto indica vectores que tienden hacia direcciones opuestas.

Para el recorte en el que las máscaras se extienden a dientes vecinos, como se muestra en la representación esquemática en la imagen 540 en la Figura 20 con el recorte en la imagen 542, se puede ejecutar el siguiente procesamiento en cada vértice en la máscara:

15

(i) Calcular $D_{binormal}$ para cada vértice:

$$D_{binormal} = \langle N_{v_i}, BN_{bracket} \rangle * Sgn(\langle Dir_{v_i}, BN_{bracket} \rangle)$$

20

en donde N_{v_i} es la normal del vértice v_i , $BN_{bracket}$ es la binormal del bráket; Dir_{v_i} es la dirección desde el centro de bráket al vértice v_i ; y $Sgn(x)$ devuelve el sign +/- de (x) .

(ii) Eliminar los vértices cuyo valor $D_{binormal}$ es menor que un valor umbral (por ejemplo, menor que -0,1).

25

Después del recorte, se puede aplicar un procedimiento de posprocesamiento a cada máscara, como se muestra en la secuencia de la Figura 21. Una imagen 550 muestra holguras rodeadas 556 que pueden rellenarse con el fin de completar regiones enmascaradas. Los vértices restantes después del recorte se dilatan para conectar regiones discontinuas y para llenar regiones que pueden haber sido recortadas incorrectamente. La dilatación puede ir seguida de un proceso de erosión para eliminar las regiones de la máscara que se encuentran entre los dientes, como se muestra en las áreas circundadas 552, 554. Una imagen 560 muestra la mejora de las regiones rodeadas de la imagen 550.

30

Puede haber algunas pequeñas regiones residuales, como se muestra rodeadas en un área 572 en una imagen 570, diferente de la región de máscara de bráket principal. Estas pueden ser áreas redundantes, por ejemplo; estas pequeñas regiones pueden detectarse y eliminarse y solo la región conectada más grande retenerse como la máscara inicial resultante. Una imagen 580 muestra la máscara completa después del procesamiento tanto de dilatación como de erosión.

35

Procesamiento de Marcha Rápida

40

Una vez que se han obtenido máscaras bien recortadas, se puede aplicar un algoritmo de Marcha Rápida dentro de cada máscara, con fronteras de máscara utilizadas como vértices de siembra. Dentro del algoritmo de marcha rápida, el tiempo de llegada para los vértices de siembra puede establecerse en 0. El tiempo de llegada para los vértices dentro de la máscara se puede calcular con el proceso de Marcha Rápida común, como se muestra esquemáticamente en la Figura 22.

45

El procesamiento de Marcha Rápida utiliza una función de ponderación o de coste para determinar la ruta más probable entre vértices en cada región enmascarada. La Figura 22 muestra diferentes cálculos que pueden aplicarse para trayectorias entre vértices dados usando métodos de Marcha Rápida. La Figura 23 muestra un ejemplo de cálculo de Marcha Rápida para el tiempo de llegada desde diferentes puntos de siembra a lo largo de las fronteras de máscara usando el método de Marcha Rápida. Se muestran las regiones enmascaradas 590, con tiempos de llegada codificados en escala de grises o en color utilizados para comparación como se muestra en la imagen 595 en la Figura 23.

50

Para el procesamiento Marcha Rápida, se pueden usar los valores de curvatura κ . Debe observarse que los valores κ mínimos (por ejemplo, con valores negativos tales como $\kappa = -10$) indican una curvatura muy alta. La frontera de un bráket se caracteriza por un alto valor absoluto de curvatura.

55

El algoritmo de Marcha Rápida aplica una función de velocidad con el fin de calcular el peso asignado a cada borde en la gráfica. Para la eliminación de brackets, existe la necesidad de reducir los pesos de borde en regiones planas y valores de peso de borde más grandes en regiones altamente curvadas.

60

La función de velocidad para la ejecución de Marcha Rápida se basa en la diferencia normal de dos vértices

vecinos a lo largo de un borde: $D_{normal} = \int_{v_0}^{v_1} \kappa_{normal}(s) \cdot ds$, donde v_0 y v_1 son dos vértices vecinos, la diferencia

normal es igual a la integración de la curvatura normal κ_{normal} en la línea geodésica en la superficie de malla de v_0 a v_1 . El valor D_{normal} es aproximado a la curvatura normal media de v_0 y v_1 , multiplicada por la distancia S desde v_0 y v_1 :

$$D_{normal} \approx \frac{\kappa_{normal}(v_0) + \kappa_{normal}(v_1)}{2} S.$$

Al implementar la función de velocidad, se puede usar la curvatura media. La curvatura media se calcula fácilmente (en comparación con una curvatura normal) y funciona sin preocuparse por posibles diferencias en la estimación para el tope frontal de propagación en regiones que están altamente curvadas. La función de velocidad se define por lo tanto como:

$$W = w_{normal} \left(\frac{\kappa_{mean}(v_0) + \kappa_{mean}(v_1)}{2} \right) S,$$

en donde κ_{media} es la curvatura media y w_{normal} es un valor de peso.

La función de velocidad usada para el procesamiento con Marcha Rápida enmascarada puede definirse como una diferencia normal de dos vértices vecinos a lo largo del borde de un área que se está procesando. Cuando los vértices v_0 y v_1 son dos vértices vecinos (es decir, dentro de la proximidad más cercana entre sí en relación con el medio de exposición), la diferencia normal es igual a la integración de la curvatura normal κ_{normal} en la línea geodésica desde el vértice v_1 a v_2 . La diferencia normal es aproximada a la curvatura normal media de v_0 y v_1 , multiplicada por una distancia S desde v_0 hasta v_1 .

Refinamiento de regiones de brakets detectadas

El procesamiento morfológico se puede usar para el refinamiento final de las regiones de bráket detectadas. La Figura 24 muestra los resultados del uso de una secuencia de diferentes planteamientos para el refinamiento de las regiones de bráket según una realización de la presente divulgación. Una imagen 600 muestra resultados de marcha rápida para una imagen típica que tiene brakets y aparatos fijos. Una imagen 610 muestra los resultados del umbral de imagen, bien conocido por los expertos en las técnicas de la formación de imágenes. Una imagen 620 muestra los resultados de un proceso de dilatación y llenado. Una imagen 630 muestra los resultados después de la erosión de la imagen, usando una región de tamaño máximo.

La Figura 25 muestra las etapas de un refinamiento opcional de las regiones de bráket utilizando un cálculo de casco convexo. La siguiente secuencia puede utilizarse para el procesamiento de cascos convexos:

- (i) calcular la frontera de una región de bráket en la malla, como se muestra en una imagen 700; en el ejemplo mostrado, existe una gran holgura dentro de la región de bráket;
- (ii) proyectar los vértices de frontera al plano PCA 2D de la frontera como se muestra en una imagen 710;
- (iii) calcular el casco convexo en el plano PCA, como se muestra en una imagen 720;
- (iv) detectar y registrar pares de puntos que se conectan, tales como vértices no vecinos como se muestra en una imagen 730;
- (v) conectar vértices emparejados en la frontera 3D original con líneas geodésicas para formar un casco convexo de 2 colectores, como se muestra en una imagen 740.

El casco convexo resultante conecta la holgura que aparece en la imagen 700 y cubre toda el bráket.

La Figura 26 muestra regiones de bráket ajustadas finamente obtenidas usando la secuencia descrita.

La Figura 27 muestra la superficie de diente recuperada después de la definición y eliminación de bráket aplicando, a los resultados en la Figura 26, el proceso de reconstrucción de superficie detallado en los párrafos anteriores y la secuencia descrita con referencia a las Figuras 13A - 14.

La Figura 28 es un diagrama de flujo lógico que muestra un flujo de trabajo de otra realización ejemplar de la presente divulgación para la eliminación de brakets en una malla de dentición 3D. A diferencia del flujo de trabajo mostrado en la Figura 10, el flujo de trabajo mostrado en la Figura 28 no requiere segmentación de diente como una etapa separada. Una malla de dentición 3D se recibe en una etapa de adquisición S1402; la malla recibida contiene dientes, brakets y tejido gingival. A continuación, en una etapa de instrucción S1404, se reciben instrucciones de un operador con respecto a los brakets en la malla de dentición 3D.

La Figura 29 es un diagrama que muestra una interfaz gráfica de usuario (GUI) ejemplar que permite al usuario introducir información para identificar brackets en la malla de dentición 3D. Como se muestra en la Figura 29, una interfaz GUI ejemplar 1500 permite que el usuario coloque nodos para una operación de "serpiente", que rodea automáticamente las fronteras del bráket 1502, basándose en los nodos introducidos. Una frontera de bráket ejemplar 1503 generada por la operación de 'serpiente' automatizada se muestra en la Figura 29. "Serpiente" es un modelo de forma activa que se usa frecuentemente en la segmentación automática de objetos en el procesamiento de imágenes, por ejemplo, delineando un contorno de objeto de una imagen 2D posiblemente ruidosa. El modelo de forma activa de la serpiente es similar al utilizado en aplicaciones como seguimiento de objetos, reconocimiento de forma, segmentación, detección de bordes y adaptación estéreo. Los métodos que usan un modelo de forma activa de serpiente o un modelo de contorno activo son bien conocidos por los expertos en las técnicas de formación de imágenes.

La Figura 30 muestra vértices 1602 rodeados por la frontera 1503 que se resaltan en la malla de dentición 3D después de que el usuario presione el botón de orden "ejecutar" 1504 en la Figura 29. Los vértices identificados 1602 se deben eliminar de la malla de dentición 3D original. En una realización ejemplar, la GUI 1500 puede permitir que el usuario inspeccione los resultados intermedios para los vértices 1602, y si está satisfecho, el usuario presiona el botón "cortar" 1506. Los vértices 1602 cambian su realce (por ejemplo, color, textura, etc.) para indicar que estas características de vértice se van a eliminar de la malla de dentición 3D original. En una realización ejemplar, la pulsación del botón de "corte" 1506 hace que el procesamiento elimine automáticamente los brackets de la superficie dental en una etapa de eliminación S1406 basada en las instrucciones de operador en la etapa S1404.

Después de la eliminación de brackets, las superficies dentales se llenan o reconstruyen en una etapa de reconstrucción S1408. En una realización ejemplar, la Etapa S1408 se realiza cuando el usuario presiona el botón de "llenado" 1506 en la Figura 29 para reconstruir las superficies dentales y eliminar cualquier orificio u holgura causado por la eliminación de bráket. La Etapa S1408 se puede realizar usando algoritmos conocidos tales como los descritos en esta memoria con respecto a la Figura 10. La Figura 31 muestra un ejemplo de una superficie dental reconstruida 1702 después de que se elimina el bráket.

Los procedimientos mostrados en la secuencia de la Figura 28 se pueden realizar diente a diente, en un pequeño grupo de dientes adyacentes, o en todos los dientes simultáneamente con respecto a la malla de dentición 3D.

Las Figuras 32-34 son diagramas que muestran fases secuenciales en el proceso que conducen a una eliminación completa y simultánea de todos los brackets de una malla de mandíbula 3D. La Figura 32 es un diagrama que muestra una malla de dentición 3D 1800 con dientes, brackets y tejido gingival. La Figura 33 es un diagrama que muestra los resultados intermedios de la operación de corte de "serpiente" con los vértices 1802 que se van a eliminar mostrados en forma resaltada. La Figura 34 es un diagrama que muestra cada una de las superficies 1806 de dientes reconstruidos finales después de que se han eliminado todos los brackets y se han completado todas las operaciones de llenado.

Se observa que las acciones del usuario descritas anteriormente, tales como pulsar el botón 'cortar', pulsar el botón 'rellenar' y pulsar el botón 'ejecutar', son ilustrativas. En aplicaciones reales, estas acciones separadas pueden no ser iniciadas necesariamente secuencialmente y pueden lograrse automáticamente mediante software informático.

En algunos casos, los modelos de dentición 3D producidos por un escáner intraoral pueden contener alambres que unen dos brackets vecinas. En esta situación, las realizaciones descritas anteriormente pueden ser insuficientes para la eliminación de los brackets y los alambres. La Figura 35A es un diagrama que muestra otro modelo de dentición ejemplar. Como se muestra en la Figura 35A, el modelo de dentición 2100 incluye brackets 2102, tejido gingival 2104, dientes 2106 y brackets con puente donde un alambre 2108 conecta al menos el bráket 2110 y el bráket 2112. Generalmente, los alambres 2108 conectarán todos los brackets 2102. Como se muestra en la comparación de las Figuras 35A, 35B y 35C, el alambre 2108 puede, una vez identificado, borrarse automática o interactivamente según métodos y aparatos ejemplares de la presente divulgación.

En la Figura 36, se muestra un resultado real 2204 para la eliminación de brackets puenteados. El diente reconstruido en superficie 2210 y el diente 2212 en la Figura 36 corresponden al bráket 2110 y al bráket 2112 en la Figura 21A antes de eliminar los brackets y el alambre 2108.

La Figura 37 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia ejemplar para la eliminación de brackets puenteados de superficies de malla dentales según una realización de la presente divulgación. Como se muestra en la Figura 37, en una etapa de adquisición S2302 se obtiene un modelo de dentición con brackets puenteados, que es seguida inmediatamente por una etapa de corte S2304 que incluye automáticamente "romper el puente". Una realización de detección ejemplar que puede usarse para romper automáticamente el puente (o alambre) se describe como sigue.

En una etapa de eliminación S2306, dado un vértice V en el modelo de malla de dentición, la lógica de procesamiento realiza una búsqueda de vecino más cercano con un radio de 5 mm ejemplar que da como resultado un conjunto de vértices vecinos VN. Como se ha descrito en las secciones anteriores, el sistema comprueba la normal de cada uno de los vértices V en el conjunto VN. Si se encuentra que hay al menos un vértice en VN cuyo punto normal apunta a la dirección opuesta de la normal de V (por ejemplo, si el producto de punto de estos dos vectores normales $< -0,9$), entonces el vértice V está en el alambre (o puente). En la Figura 35C se muestra un resultado de detección de puente (alambre) ejemplar 2118 que resulta de la etapa S2306. Estos vértices de la malla de detención 3D detectados en la etapa S2306 (por ejemplo, asociados con los alambres 2108) se excluyen o se eliminan de la malla de detención 3D en la etapa de eliminación posterior S2306 y la etapa de reconstrucción S2308.

La etapa de eliminación S2306 emplea métodos automáticos o interactivos a modo de ejemplo para eliminar los brackets desconectados. La superficie de diente eliminada de bráket se reconstruye automáticamente en una etapa de reconstrucción S2308 y los resultados se muestran para inspección en una etapa de exposición S2310. Por ejemplo, las etapas S2306 y S2308 pueden realizarse como se ha descrito anteriormente para las Figuras 10 y 28, respectivamente.

La Figura 38 es un diagrama de flujo lógico que muestra otra realización de método ejemplar para la eliminación de brackets puenteados. Como se muestra en la Figura 38, en una etapa de adquisición S2402 se adquiere un modelo de dentición con brackets puenteados, que es seguida inmediatamente por una etapa de interacción S2404 de "romper el puente" de forma interactiva. En una realización ejemplar, la operación interactiva borra efectivamente los alambres delgados con la ayuda de un ser humano al seleccionar y eliminar vértices de malla que pertenecen a los alambres delgados en la etapa S2404. En una realización ejemplar, la etapa S2404 puede usar una GUI con acciones de operador seleccionables para "limpiar", "pintar" (por ejemplo, el operador identifica los píxeles que muestran los alambres), "pintar automáticamente", "aprobar" (por ejemplo, pintar o pintar automáticamente), y "borrar" para romper interactivamente los puentes o eliminar los alambres de la malla de dentición 3D basándose en las instrucciones del operador. A continuación, una etapa de eliminación S2406 emplea un método automático o interactivo para eliminar los brackets desconectados como se ha descrito anteriormente. Las superficies de diente eliminadas de bráket pueden reconstruirse automáticamente en una etapa de reconstrucción S2408 como se ha descrito anteriormente. A continuación, los resultados se muestran para inspección en una etapa de exposición S2410.

Como se describe en esta memoria, las realizaciones de método y/o aparato ejemplares para eliminar brackets puenteados y restaurar superficies de dientes en un modelo de dentición 3D están destinadas a ser ejemplos ilustrativos y la aplicación no está limitada de este modo. Por ejemplo, en una realización ejemplar, los brackets puenteados pueden eliminarse y las superficies de dientes restaurarse identificando automáticamente partes de un bráket y/o un alambre sin intervención humana en un modelo de dentición 3D obtenido haciendo crecer las partes identificadas en una región que cubre los brackets y/o alambres completamente (por ejemplo, y preferiblemente ligeramente más allá de las fronteras de brackets y/o alambres), eliminando la región de la superficie de modelo de dentición 3D, y restituyendo las superficies de región eliminadas usando técnicas de relleno de orificios. En algunas realizaciones ejemplares, el llenado de orificios puede llenar partes de tejido gingival además de las partes de la superficie del diente. Los datos de superficie del paciente que se adquirieron previamente, tales como un modelo de malla de dentición obtenido antes de que se aplicaran los aparatos fijos, pueden utilizarse para generar la superficie dental reconstruida.

Según una realización, la presente divulgación puede utilizar un programa informático con instrucciones almacenadas que controlan las funciones del sistema para la adquisición de imágenes y el procesamiento de datos de imágenes que se almacenan y acceden desde una memoria electrónica. Como pueden apreciar los expertos en las técnicas de procesamiento de imágenes, un programa informático de una realización de la presente invención puede ser utilizado por un sistema informático de propósito general adecuado, como un ordenador personal o una estación de trabajo que actúa como procesador de imágenes, cuando se le proporciona un programa de software adecuado para que el procesador funcione para adquirir, procesar, transmitir, almacenar y mostrar datos como se describe en esta memoria. Se pueden usar muchos otros tipos de arquitecturas de sistemas informáticos para ejecutar el programa informático de la presente invención, incluida una disposición de procesadores en red, por ejemplo.

El programa informático para realizar el método de la presente invención puede almacenarse en un soporte de almacenamiento legible por ordenador. Este soporte puede comprender, por ejemplo; soporte de almacenamiento magnético, tal como un disco magnético, tal como un disco duro o un dispositivo extraíble o una cinta magnética; soporte de almacenamiento óptico tales como discos ópticos, cintas ópticas o codificación óptica legible por máquina; dispositivos de almacenamiento electrónico de estado sólido tales como memoria de acceso aleatorio (RAM) o memoria de solo lectura (ROM); o cualquier otro dispositivo físico o medio empleado para almacenar un programa informático. El programa informático para llevar a cabo el método de la presente invención también se puede almacenar en un soporte de almacenamiento legible por ordenador que se conecta al procesador de imágenes a través de internet u otra red o medio de comunicación. Los expertos en las técnicas de procesamiento de datos de imágenes reconocerán fácilmente que el equivalente

de un producto de programa informático de este tipo también puede construirse en hardware.

5 Cabe señalar que el término "memoria", equivalente a "memoria accesible por ordenador" en el contexto de la presente divulgación, puede referirse a cualquier tipo de espacio de trabajo de almacenamiento de datos temporal o más duradero utilizado para almacenar y trabajar sobre datos de imagen y accesible a un sistema informático, incluyendo una base de datos. La memoria podría ser no volátil, que usa, por ejemplo, un soporte de almacenamiento a largo plazo como almacenamiento magnético u óptico. Alternativamente, la memoria podría ser de naturaleza más volátil, usando un circuito electrónico, como una memoria de acceso aleatorio (RAM) que se usa como memoria intermedia temporal o espacio de trabajo por un microprocesador u otro dispositivo de procesamiento de lógica de control. Los datos de exposición, por ejemplo, típicamente se almacenan en una memoria de almacenamiento temporal que directamente se asocia con un dispositivo de exposición y se actualiza periódicamente según sea necesario para proporcionar los datos expuestos. Esta memoria de almacenamiento temporal también puede considerarse una memoria, tal como se utiliza el término en la presente divulgación. La memoria también se utiliza como espacio de trabajo de datos para ejecutar y almacenar resultados intermedios y finales de cálculos y otros procesos. La memoria accesible por ordenador puede ser volátil, no volátil o una combinación híbrida de tipos volátiles y no volátiles.

20 Se entiende que el producto de programa informático de la presente divulgación puede hacer uso de diversos algoritmos y procesos de manipulación de imágenes que son bien conocidos. Se entenderá además que la realización del producto de programa informático de la presente invención puede incorporar algoritmos y procesos no mostrados o descritos específicamente en esta memoria que son útiles para la implementación. Dichos algoritmos y procesos pueden incluir utilidades convencionales que están dentro de los conocimientos habituales de las técnicas de procesamiento de imágenes. Aspectos adicionales de dichos algoritmos y sistemas, y hardware y/o software para producir y procesar las imágenes o cooperar con el programa informático producto de la presente invención, no se muestran ni describen específicamente en este documento y pueden seleccionarse de tales algoritmos, sistemas, hardware, componentes y elementos conocidos en la técnica.

30 En este documento, los términos "un" o "una" se usan, como es común en los documentos de patente, para incluir uno o más de uno, independientemente de cualquier otro caso o usos de "al menos uno" o "uno o más". En este documento, el término "o" se usa para referirse a un o no exclusivo, de manera que "A o B" incluye "A pero no B", "B pero no A" y "A y B", a menos que se indique lo contrario. En este documento, los términos "que incluye" y "en el que" se usan como los equivalentes en inglés de los términos respectivos "que comprende" y "en donde". También, en las siguientes reivindicaciones, los términos "que incluye" y "que comprende" son de extremo abierto, es decir, un sistema, dispositivo, artículo o proceso que incluye elementos además de los enumerados después de un término de este tipo en una reivindicación todavía se considera que caen dentro del alcance de esa reivindicación.

40 Ciertas realizaciones de método y/o aparato ejemplares pueden proporcionar detección y eliminación automática de aparatos fijos mediante detección de brackets inicial (por ejemplo, basta), detección de alambre posterior, y refinamiento de brackets iniciales detectados (por ejemplo, separados), que luego se pueden eliminar de la malla 3D inicial. Las realizaciones ejemplares según la solicitud pueden incluir diversas características descritas en la presente memoria (individualmente o en combinación).

45 Si bien la invención se ha ilustrado con respecto a una o más implementaciones, pueden realizarse alteraciones y/o modificaciones a los ejemplos ilustrados sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Las realizaciones divulgadas actualmente, por lo tanto, se consideran en todos los sentidos como ilustrativas y no restrictivas. Además, si bien una característica particular de la invención puede haber sido divulgada con respecto a una de varias implementaciones, dicha característica se puede combinar con una o más otras características de las otras implementaciones como puede ser deseado y puede ser ventajoso para cualquier función dada o particular. El término "al menos uno de" se usa con el significado de que puede seleccionarse uno o más de los artículos enumerados. El término "aproximadamente" indica que el valor enumerado puede alterarse en cierta medida, siempre que la alteración no provoque la no conformidad del proceso o la estructura con la realización ilustrada. Otras realizaciones de la invención serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la memoria descriptiva y la puesta en práctica de la invención divulgada en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un método para generar un modelo digital de la dentición de un paciente, el método ejecutado al menos en parte por un ordenador y que comprende:
- 5 adquirir (S100, S110, S120, S130, S140) una malla digital 3D que es representativa de la dentición del paciente a lo largo de un arco dental, en donde la malla digital incluye aparatos fijos, dientes y tejido gingival;
- 10 modificar la malla digital 3D para generar (S1002; S1402) un modelo de dentición de malla digital mediante:
- (i) procesar la malla digital y detectar automáticamente una o más posiciones de bráket iniciales de la malla adquirida;
- (ii) procesar las posiciones iniciales de bráket para identificar áreas de bráket para brakets que se encuentran contra superficies dentales;
- 15 (iii) identificar uno o más alambres de aparato fijo que se extienden entre brakets;
- (iv) eliminar (S1008; S1406) uno o más brakets y uno o más alambres del modelo de dentición;
- 20 (v) formar (S1010; S1408) una superficie dental reconstruida dentro del modelo de dentición de malla digital donde se han eliminado uno o más brakets; y
- 25 exponer (S1012; S1410), almacenar o transmitir a través de una red a otro ordenador, el modelo de dentición de malla digital 3D modificado.
2. El método de la reivindicación 1, en donde eliminar (S1008; S1406) el uno o más brakets comprende además detectar el uno o más brakets utilizando un algoritmo de marcha rápida.
- 30 3. El método de la reivindicación 1, que además comprende:
- distinguir automáticamente (S1004) los dientes del tejido gingival; y
- distinguir automáticamente (S 1006) dientes individuales entre sí.
- 35 4. El método de la reivindicación 1, en donde adquirir la malla digital 3D comprende utilizar un escáner intraoral que emplea luz estructurada.
- 40 5. El método de la reivindicación 1, que comprende además realizar la segmentación (S202) de los dientes; y/o
- el método preferiblemente que comprende además identificar una holgura en la superficie de diente causada por la eliminación de bráket.
- 45 6. El método de la reivindicación 1, en donde la modificación del modelo de dentición de malla digital 3D mediante la eliminación de uno o más alambres separa los aparatos fijos en el modelo de dentición de malla digital 3D en una pluralidad de secciones de bráket.
- 50 7. El método de la reivindicación 1, en donde la formación de la superficie dental reconstruida utiliza datos de un modelo de dentición de malla digital 3D previo del paciente, adquirido antes de que se unieran los aparatos fijos.
8. El método de la reivindicación 1, en donde la formación de la superficie dental reconstruida utiliza un algoritmo de llenado de orificios que comprende:
- 55 rellenar cada uno de una pluralidad de orificios en el modelo de dentición de malla digital 3D modificado usando un proceso de llenado de polígonos para generar una superficie parcheada; y
- alisar las superficies parcheadas en el modelo de dentición de malla digital 3D para generar el modelo de dentición de malla digital 3D reconstruido.
- 60 9. El método de la reivindicación 1, en donde el procesamiento de la malla digital y la detección automática de una o más posiciones de bráket iniciales de la malla adquirida para modificar la malla digital 3D para generar el modelo de dentición de malla digital comprende la detección de brakets bastos (S1302) mediante:
- 65 (i) calcular una parábola (S1306) a lo largo de un arco dental en un lado bucal o lingual según la malla digital

3D;

(ii) detectar (S1312) una superficie dental en el lado bucal o lateral lingual del arco dental;

5 (iii) detectar (S1312) una longitud de una normal extendida hacia la superficie de malla desde el arco dental; y

(iv) seleccionar puntos en la malla digital que se encuentren cerca de dicha normal; y

10 en donde eliminar uno o más brackets y uno o más alambres (S1304) del modelo de dentición para modificar la malla digital 3D para generar el modelo de dentición de malla digital comprende opcionalmente refinar brackets bastos detectados separados mediante:

(i) generar (S1308) una máscara inicial según la al menos un brácket detectado;

15 (ii) procesar (S1310) la máscara inicial para corregir la forma de la máscara según al menos un brácket detectado;

(iii) ejecutar (1320) un algoritmo de marcha rápida para detectar regiones de brackets limitadas dentro de la máscara corregida; y

20

(iv) refinar (1330) la detección de la región de brácket usando procesamiento de imágenes morfológicas.

10. El método de la reivindicación 1, que comprende además realizar la segmentación automática de componentes dentales en el modelo de malla obtenido y mostrar resultados de segmentación automatizados, donde los resultados de segmentación automatizada distinguen uno o más dientes del tejido de encía del paciente, y donde los resultados de segmentación automatizada distinguen dientes individuales entre sí en el modelo de malla; y opcionalmente

25

30 realizar la segmentación interactiva de los resultados de segmentación automatizada según una instrucción del operador (S1404), en donde los resultados de segmentación automatizada distinguen dichos dientes individuales entre sí.

11. El método de la reivindicación 1, en donde la eliminación de uno o más brackets comprende:

35 realizar la segmentación interactiva de uno o más brackets en el modelo de dentición de malla digital 3D según una instrucción del operador; y eliminar, utilizando un procesador lógico de control, las partes de brácket segmentadas para formar el modelo de dentición de malla digital 3D, en donde la instrucción del operador comprende una marca de operador en forma de un segmento de línea trazada.

40 12. El método de la reivindicación 1, en donde modificar el modelo de dentición de malla digital 3D comprende además calcular un casco convexo.

13. Un aparato que comprende

45 un aparato de formación de imágenes (70) y

lógica de procesamiento,

en donde el aparato se configura para llevar a cabo el método según cualquiera de las reivindicaciones 1-12.

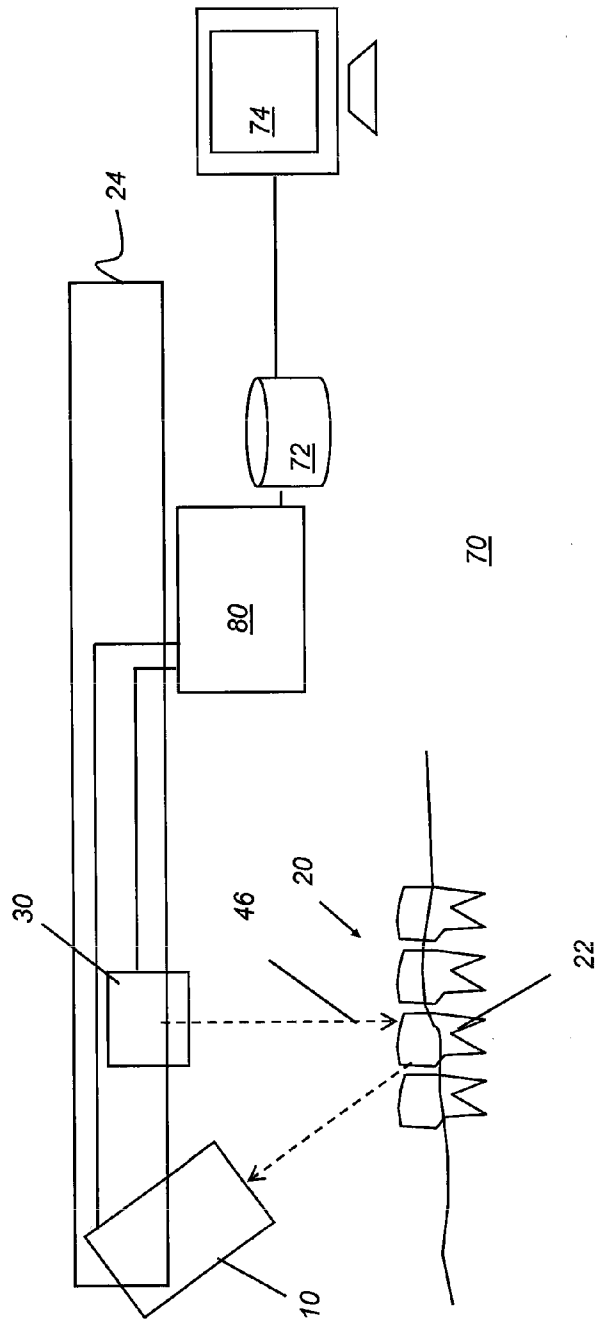


FIG. 1

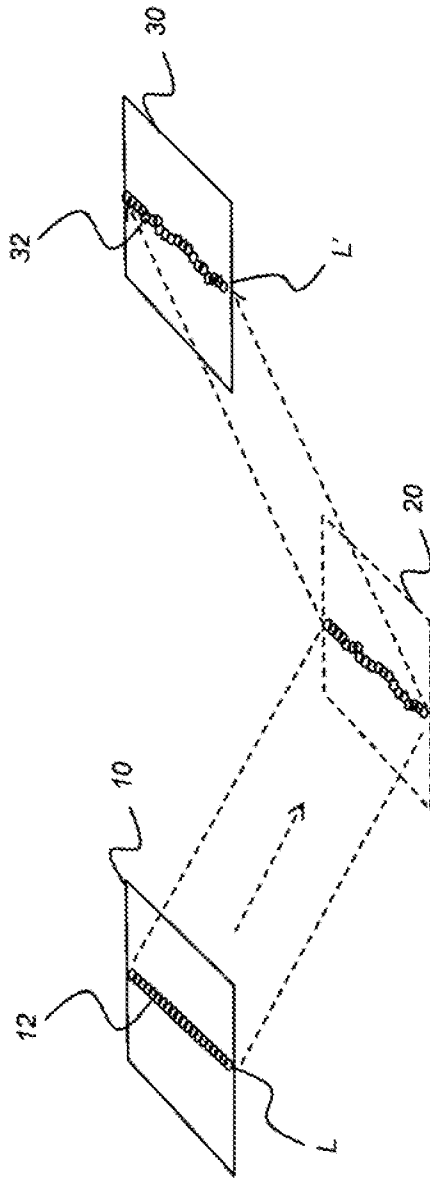


FIG. 2

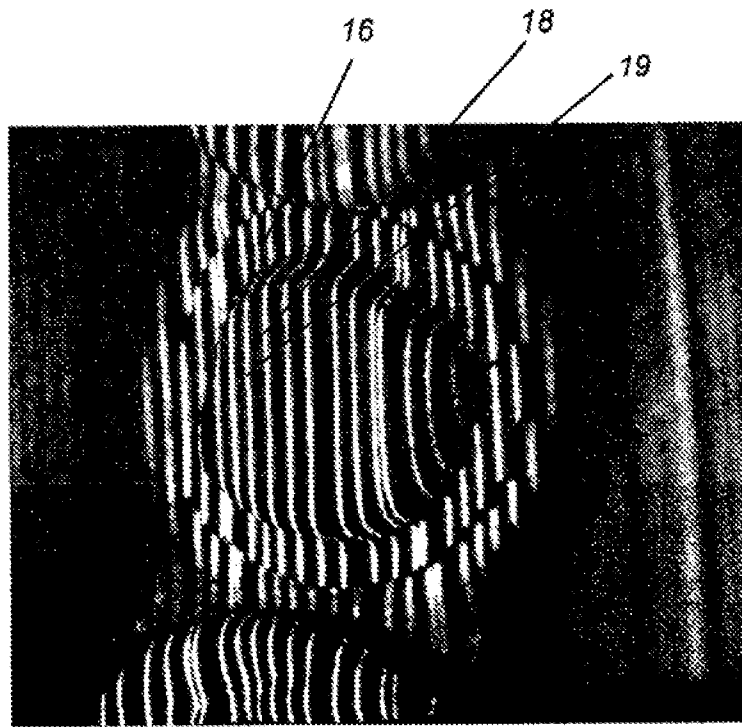


FIG. 3



50

FIG. 4



60

FIG. 5

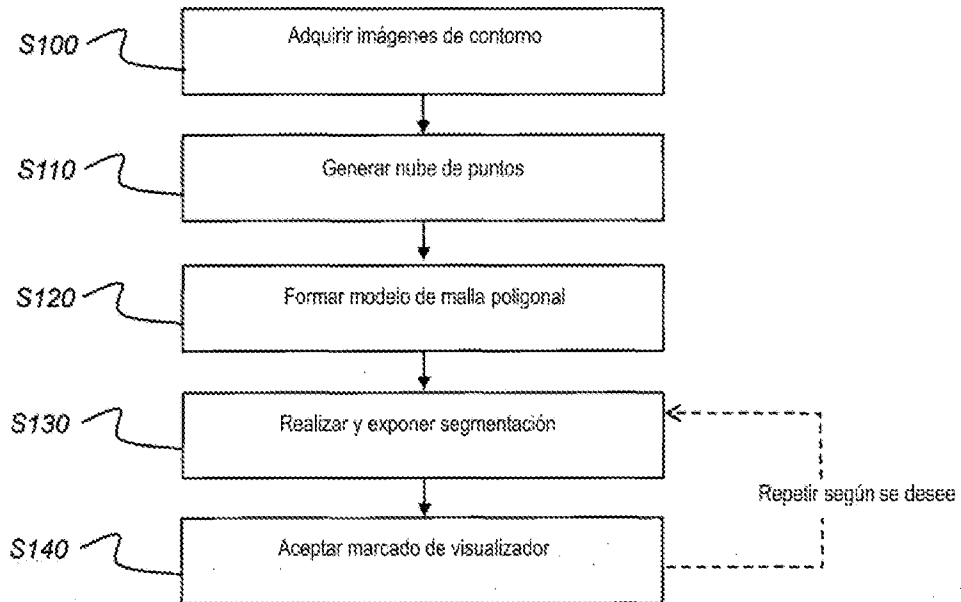


FIG. 6A

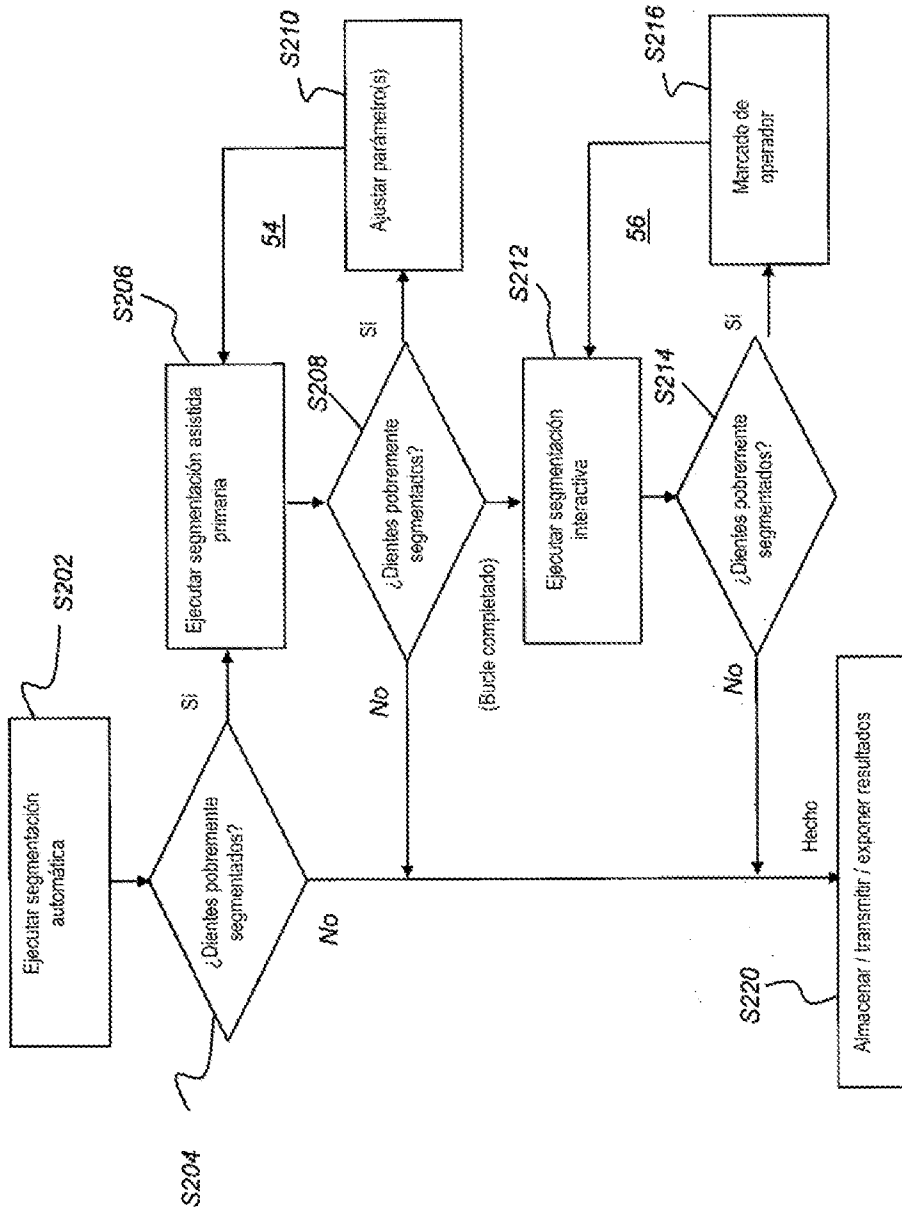


FIG. 6B

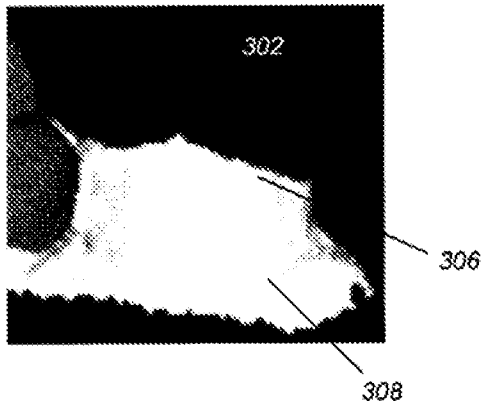


FIG. 7A

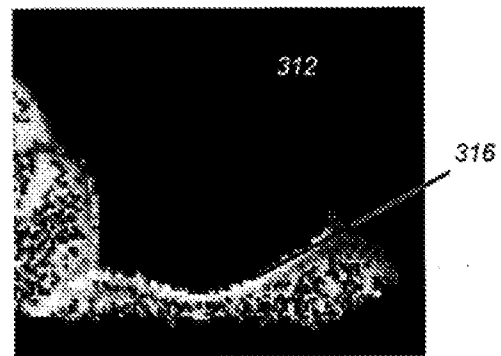


FIG. 7B

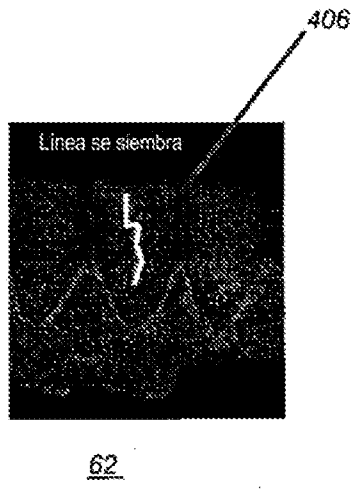


FIG. 8A

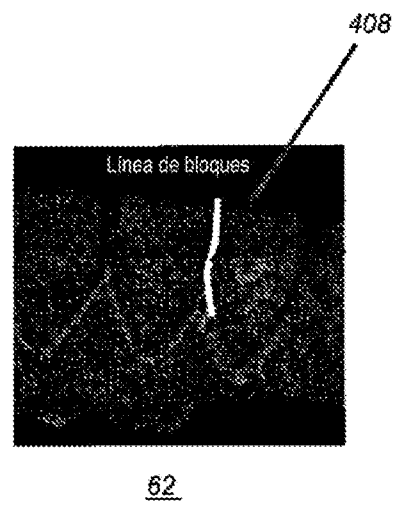


FIG. 8B

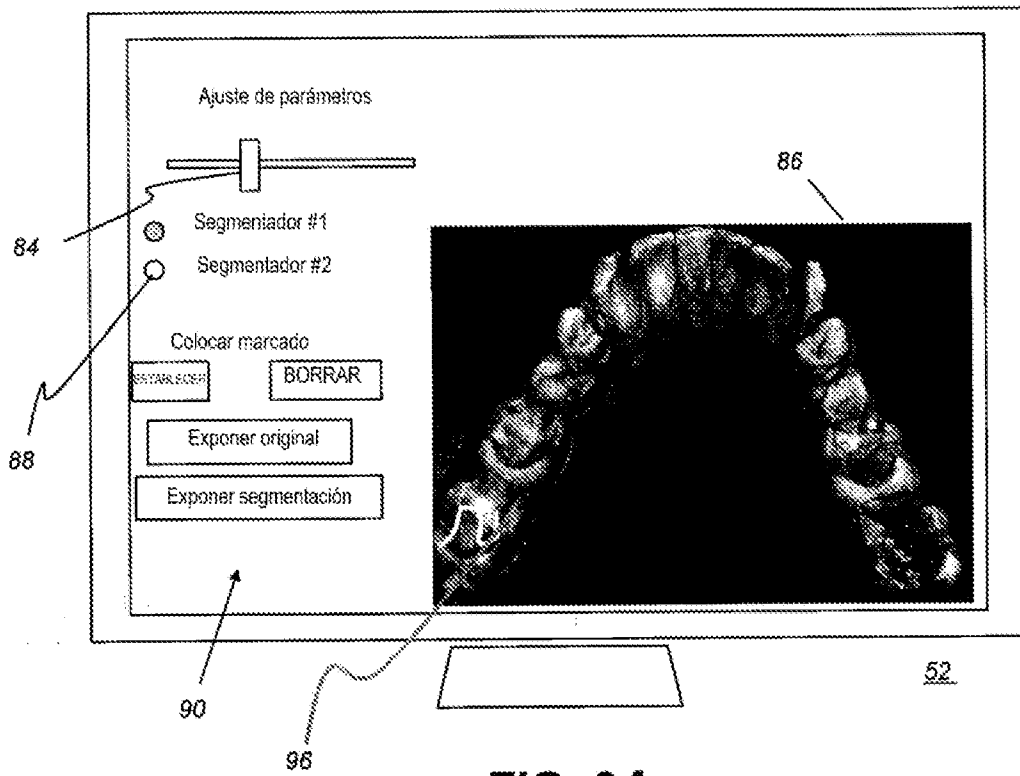


FIG. 9A

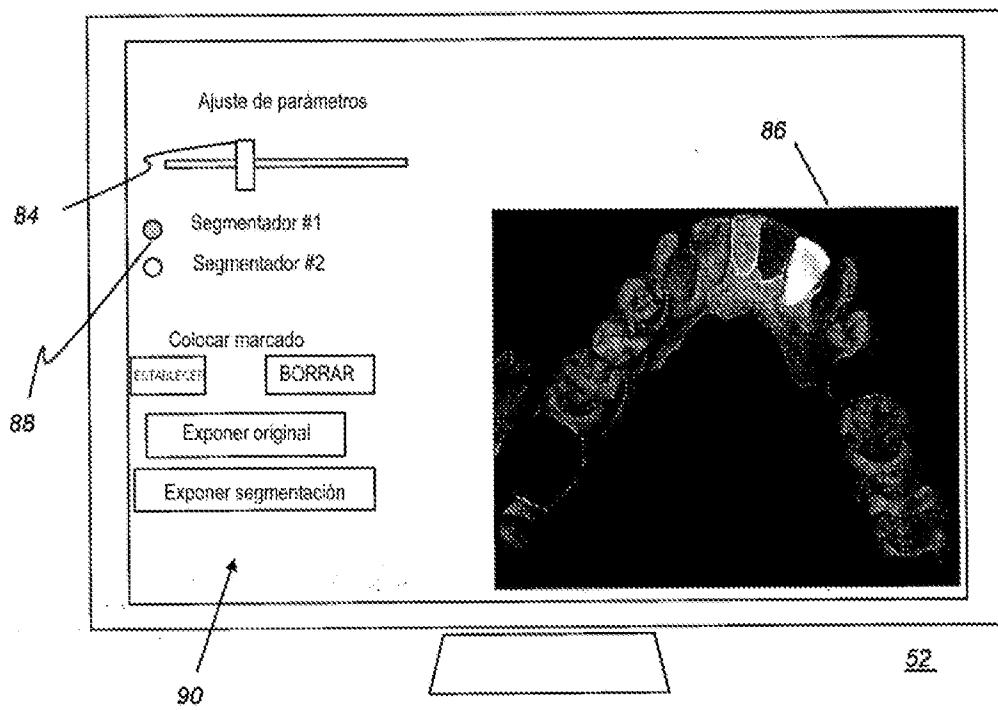


FIG. 9B

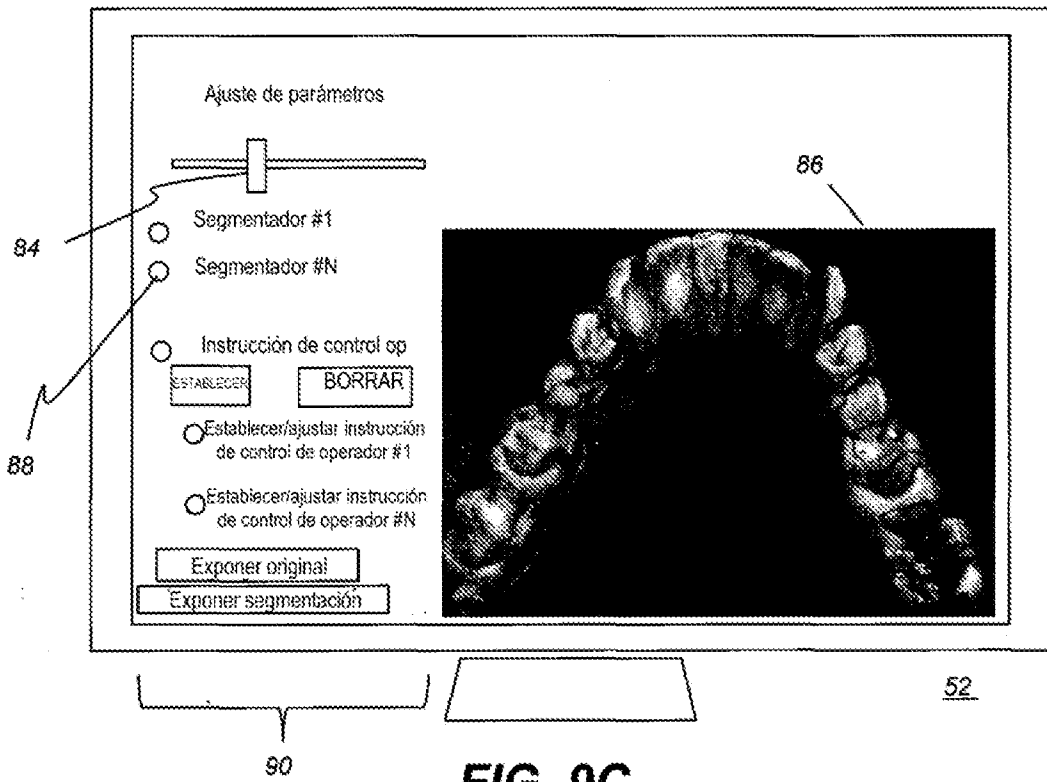


FIG. 9C

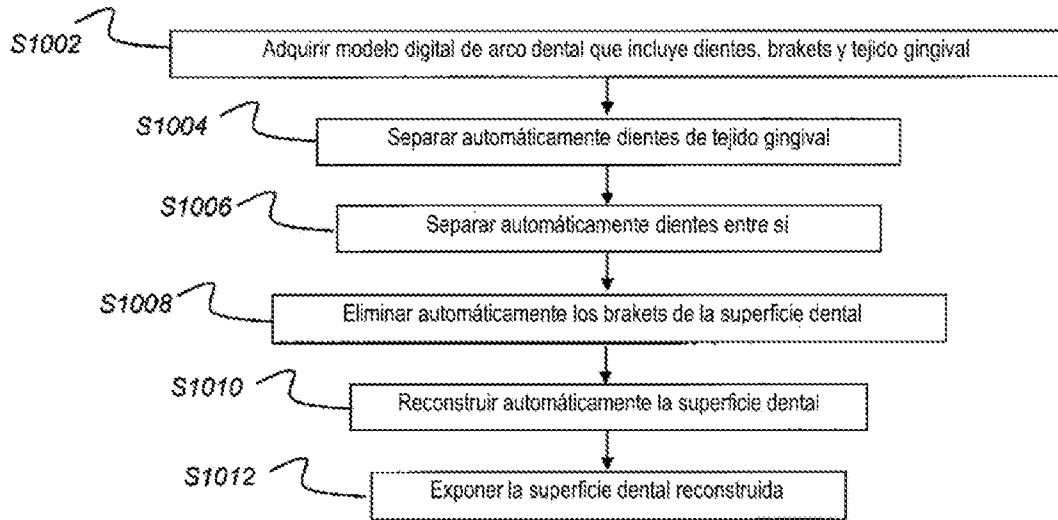
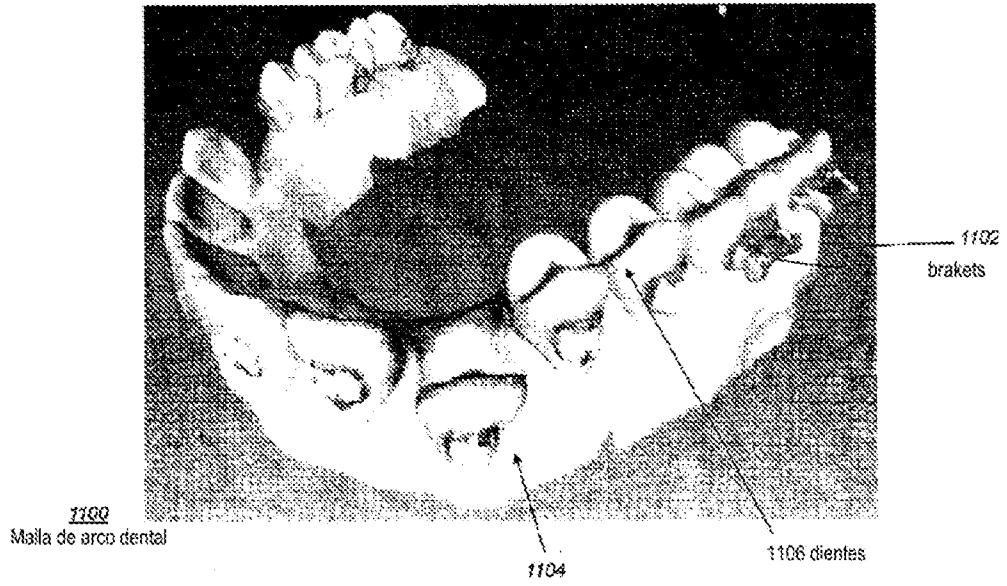
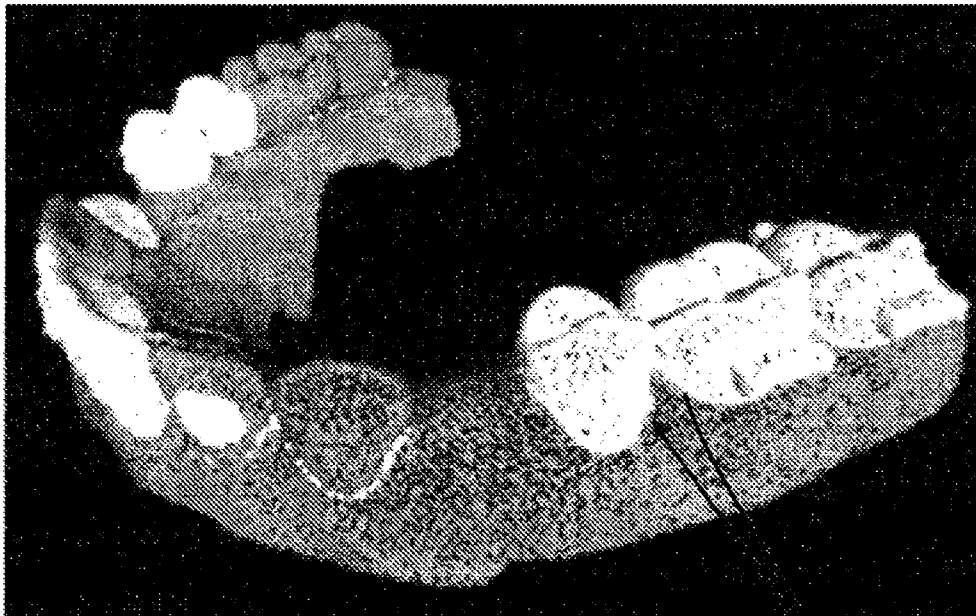


FIG. 10





Dientes separados

1202

FIG. 12

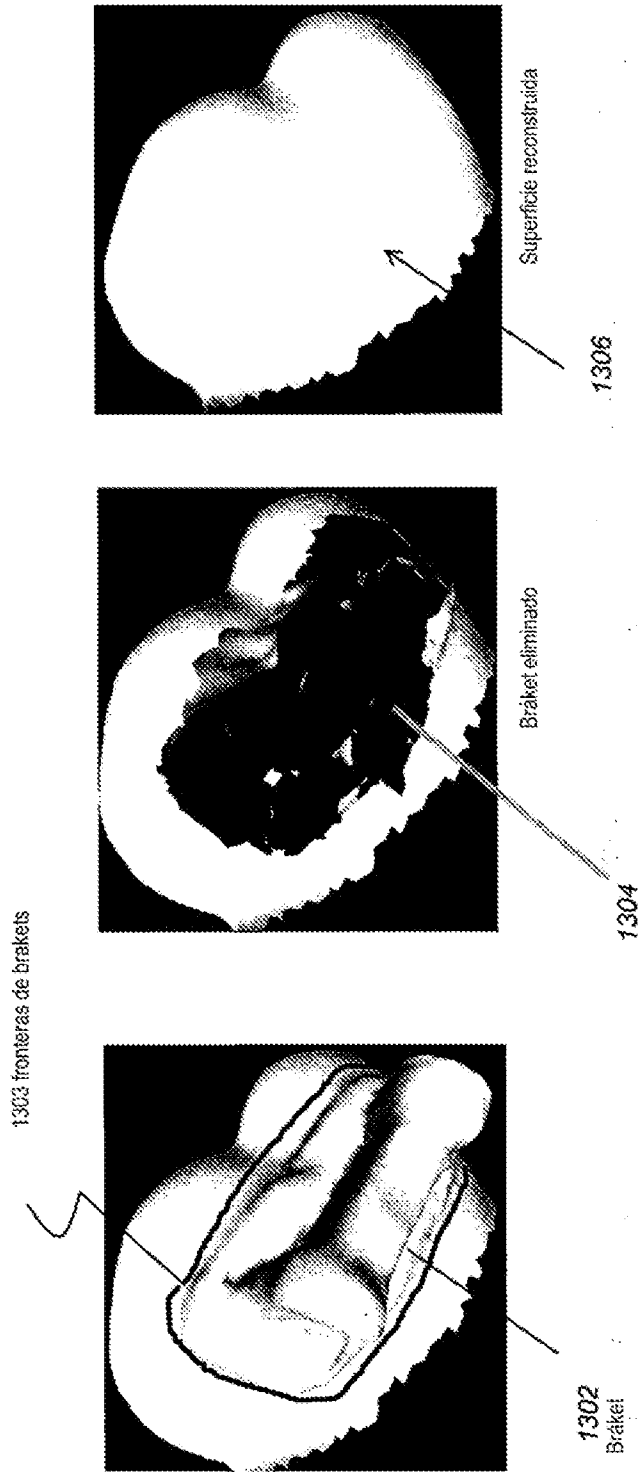


FIG. 13C

FIG. 13B

FIG. 13A

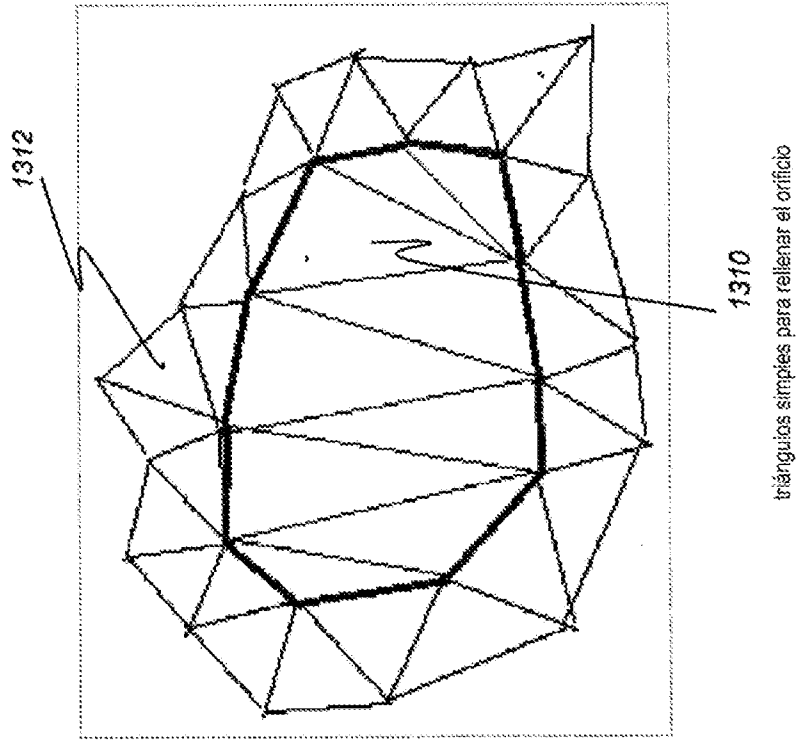


FIG. 13E

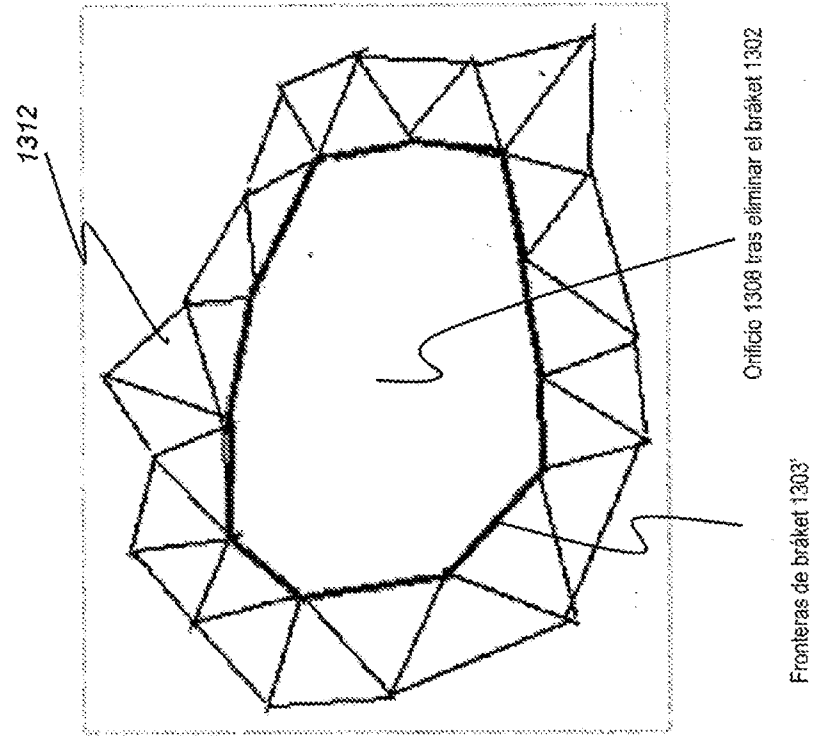


FIG. 13D

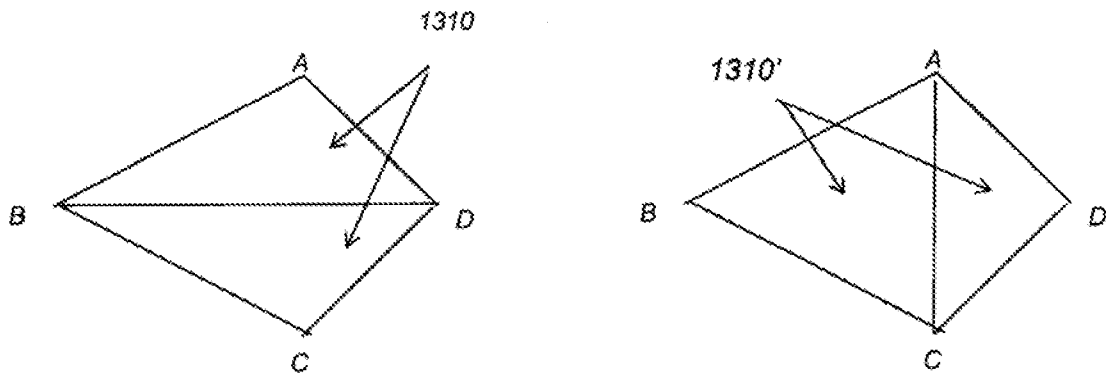
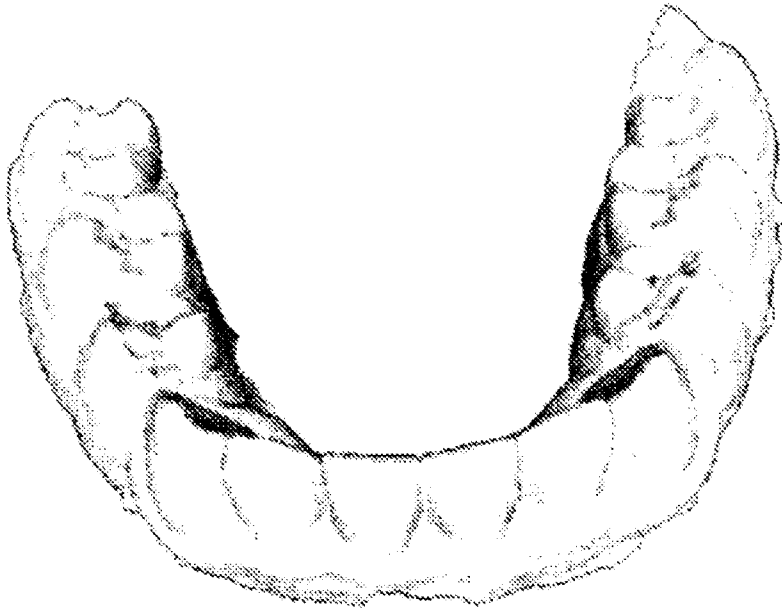


FIG. 13F



1316

FIG. 13G

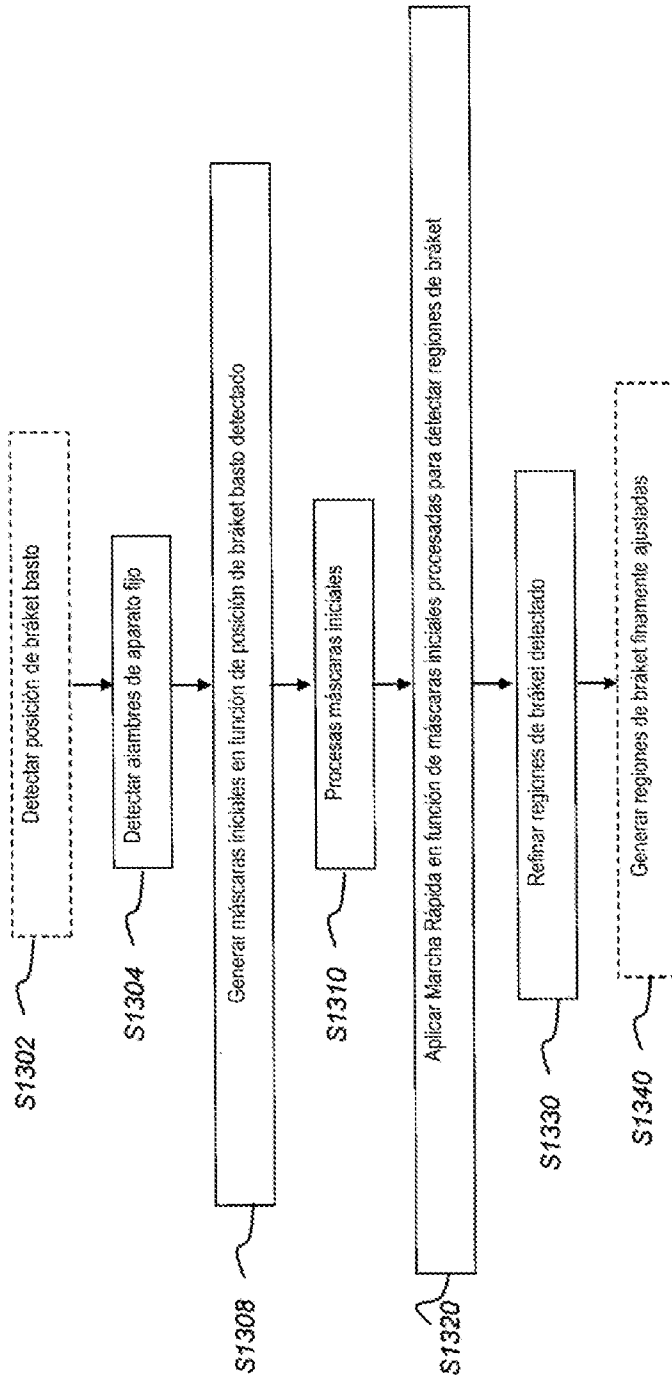


FIG. 14

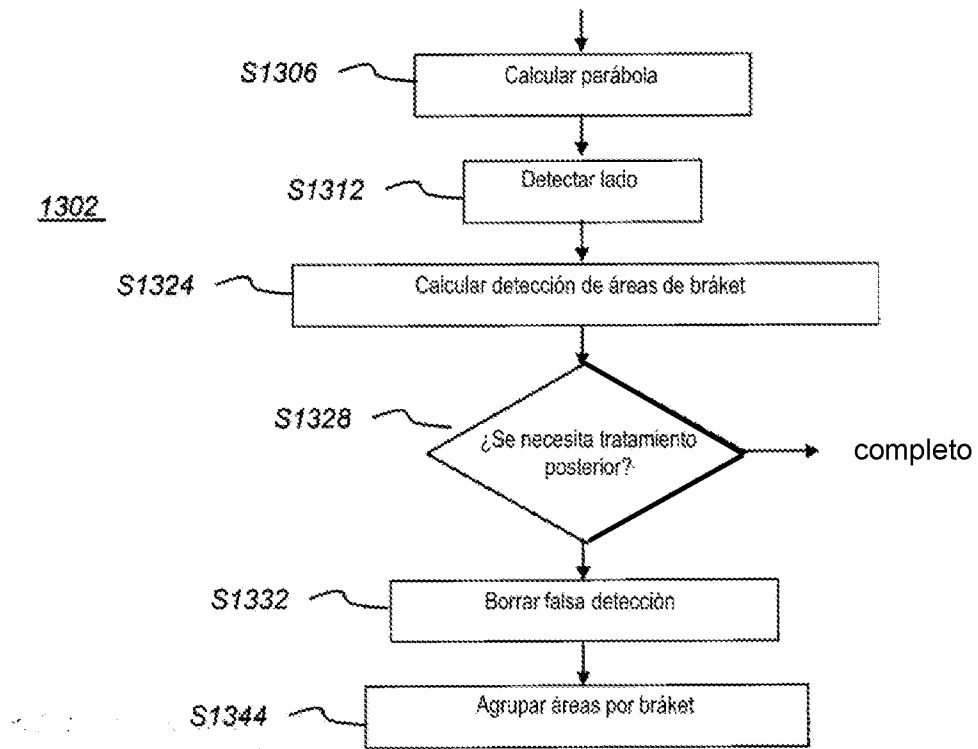


FIG. 15

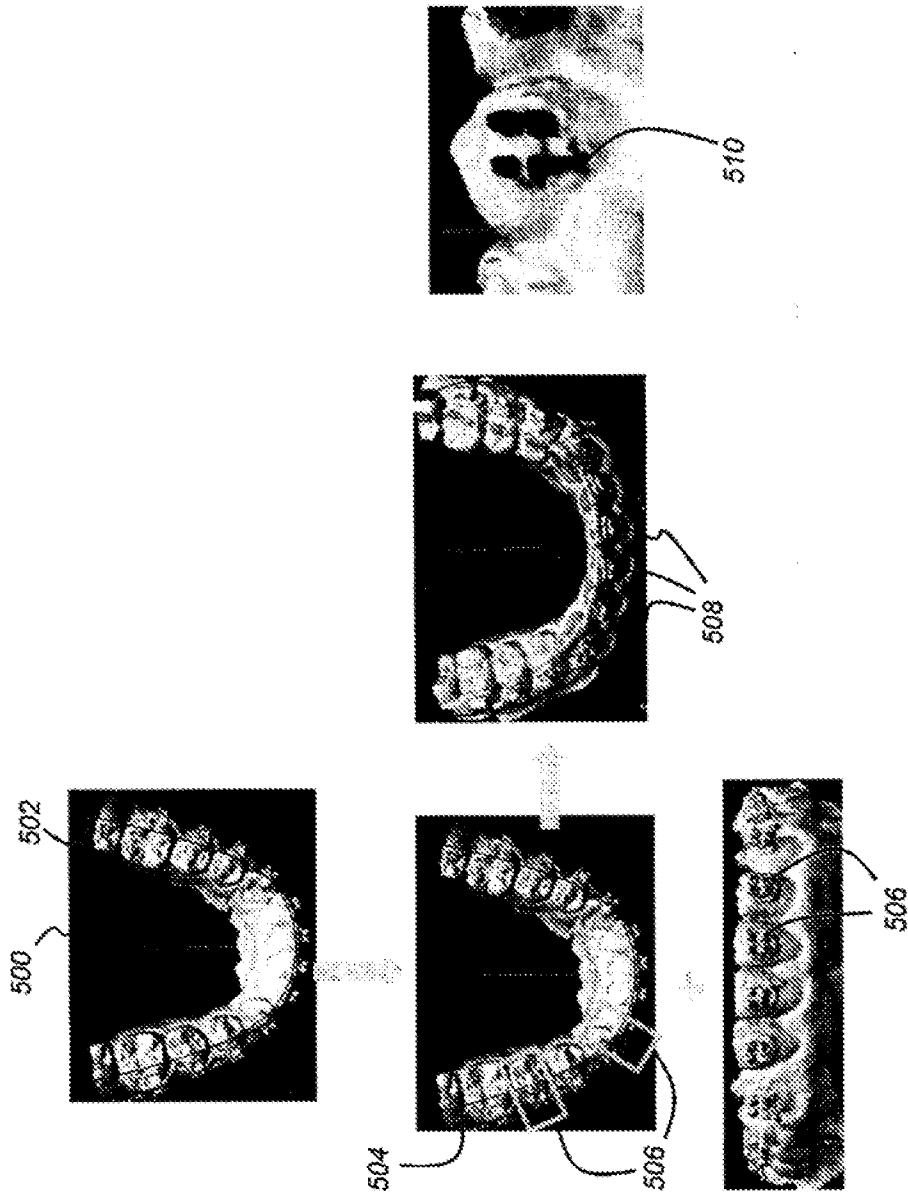


FIG. 16

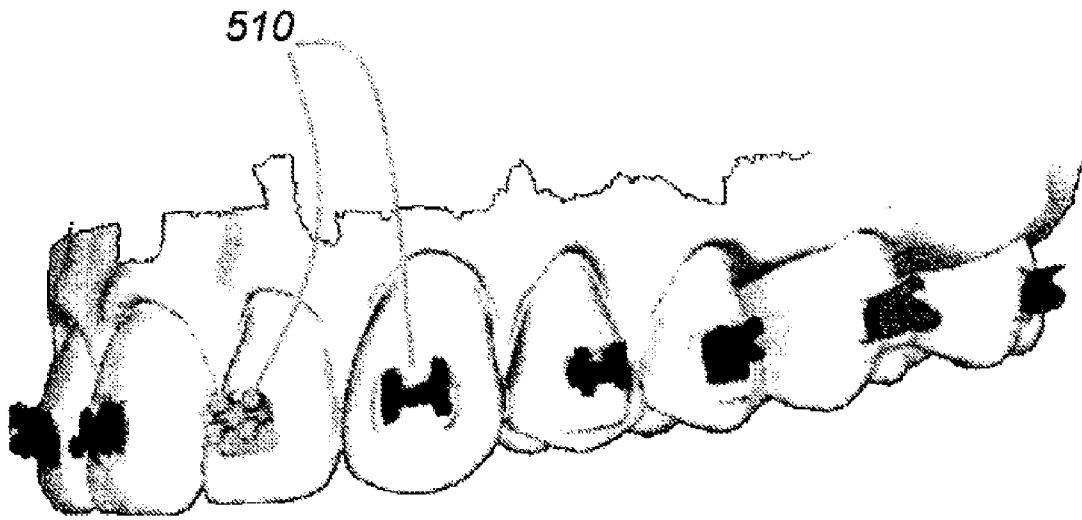


FIG. 17

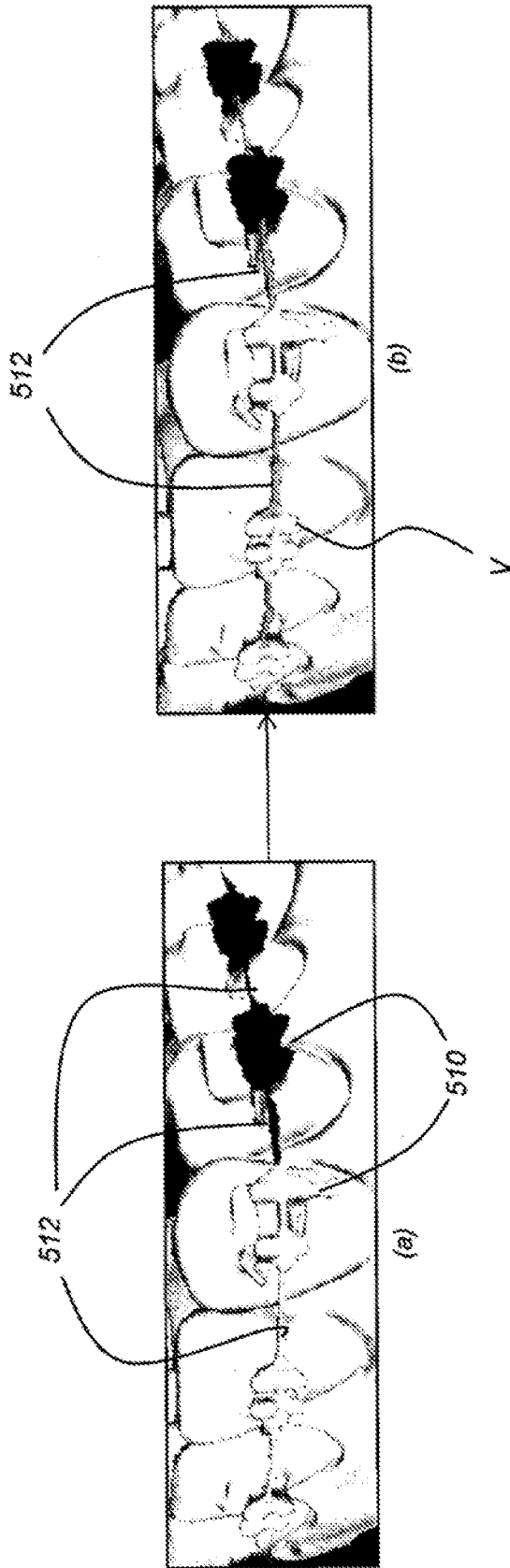


FIG. 18

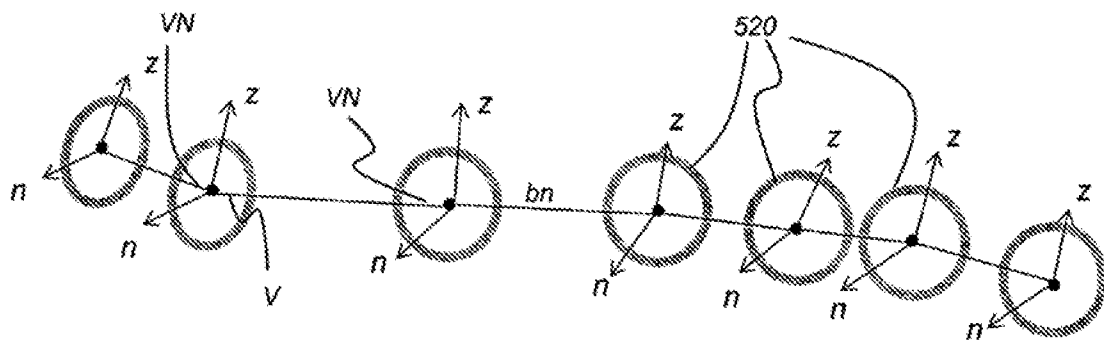


FIG. 19

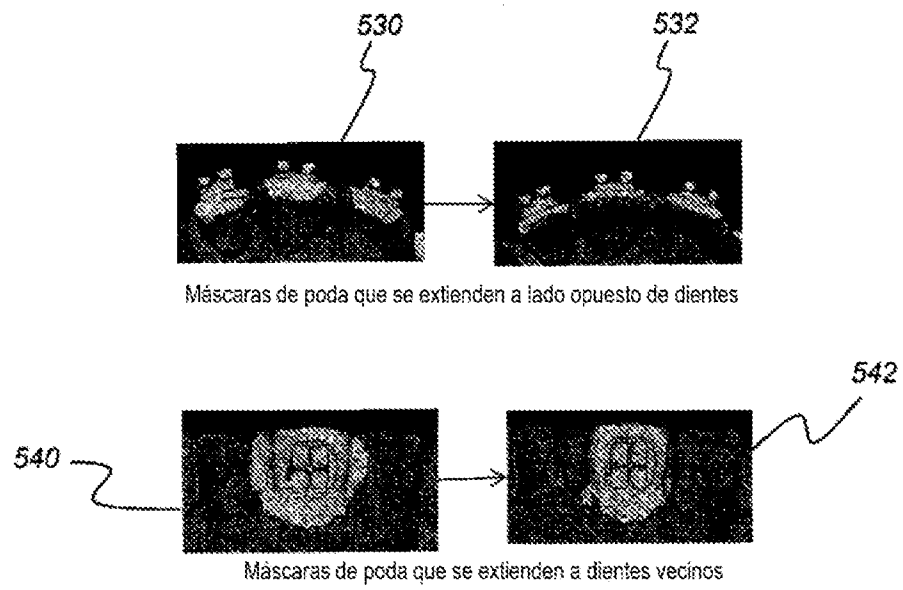


FIG. 20

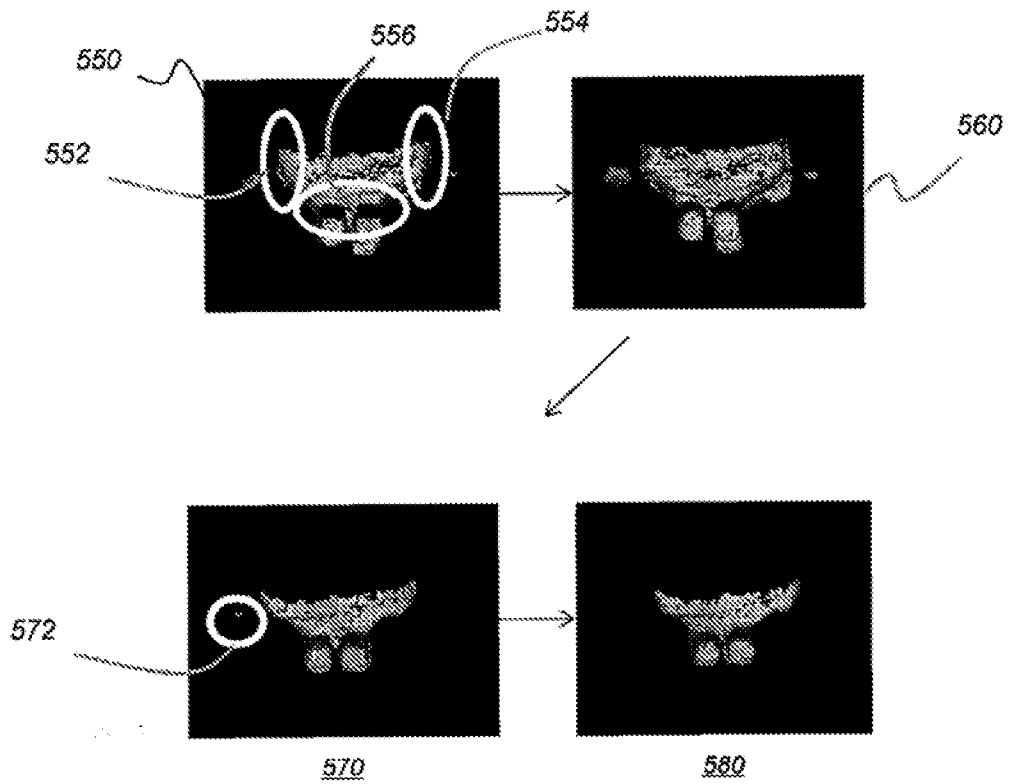


FIG. 21

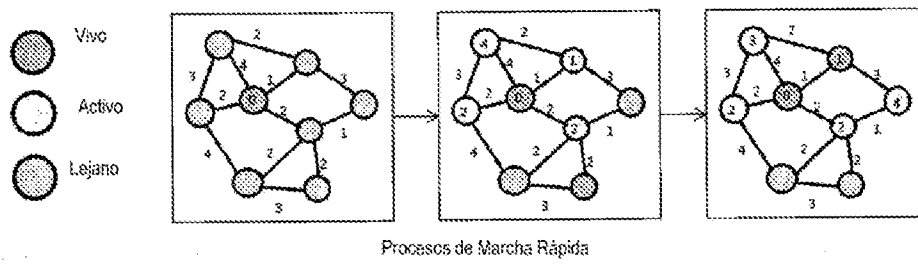


FIG. 22

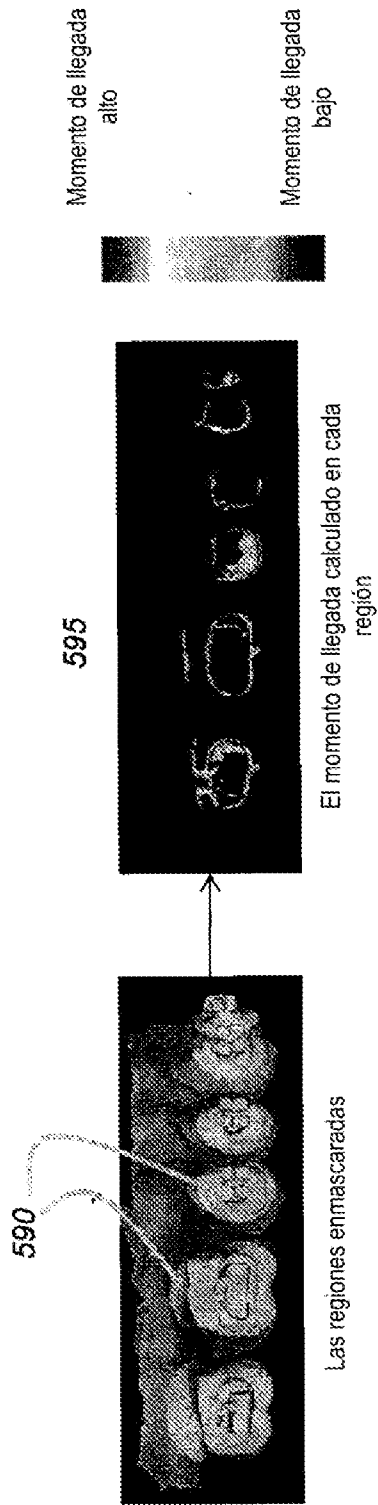


FIG. 23

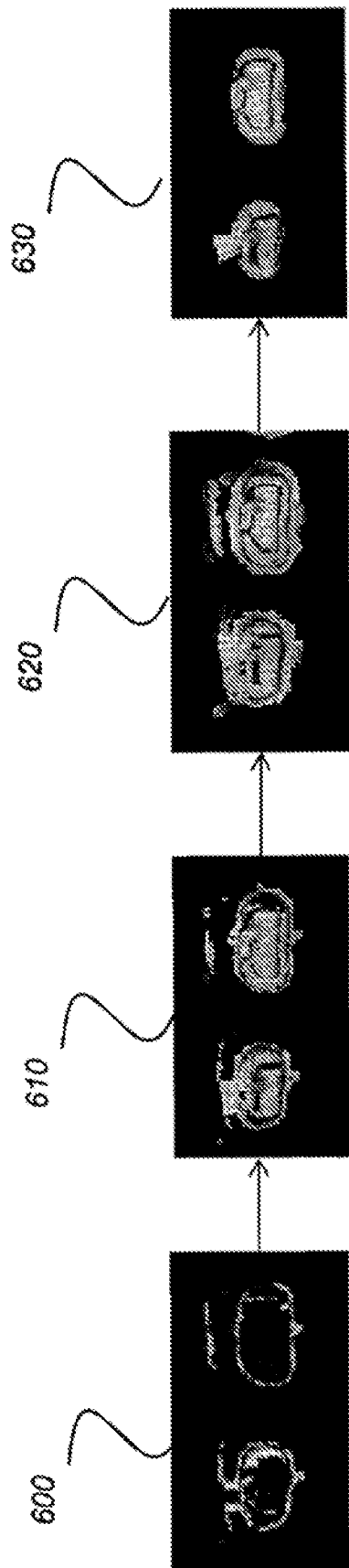


FIG. 24

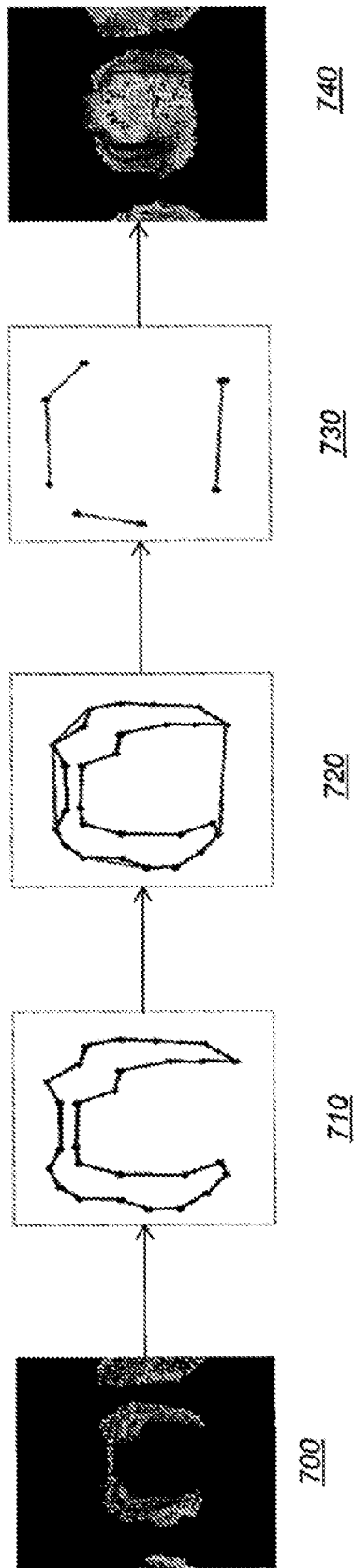
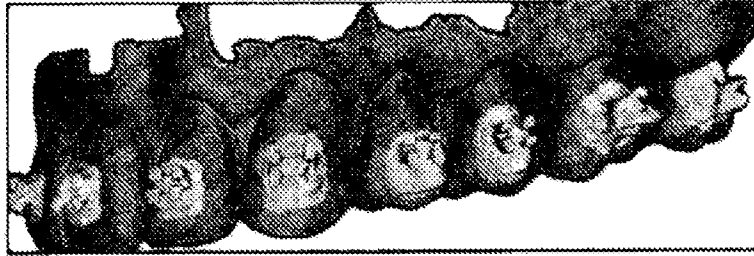
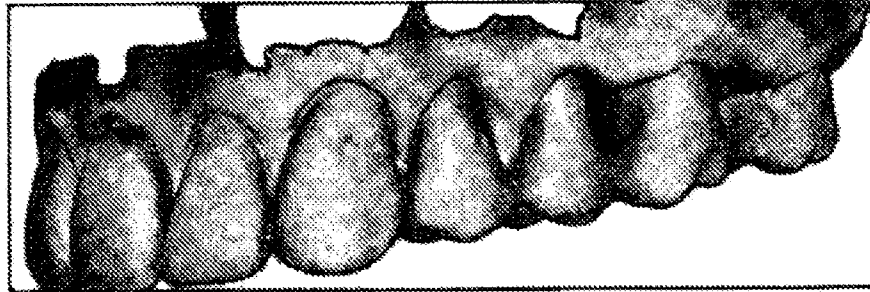


FIG. 25



Regiones de bráket finamente ajustadas

FIG. 26



Brakets eliminados de los dientes

FIG. 27

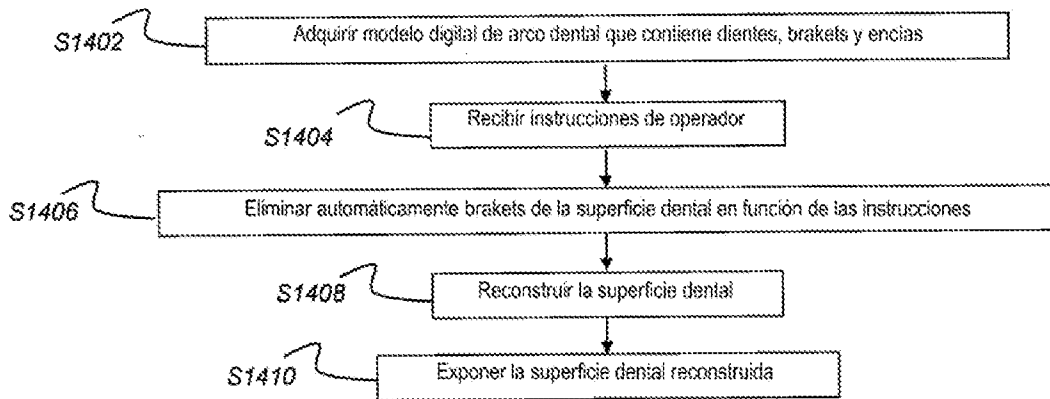


FIG. 28

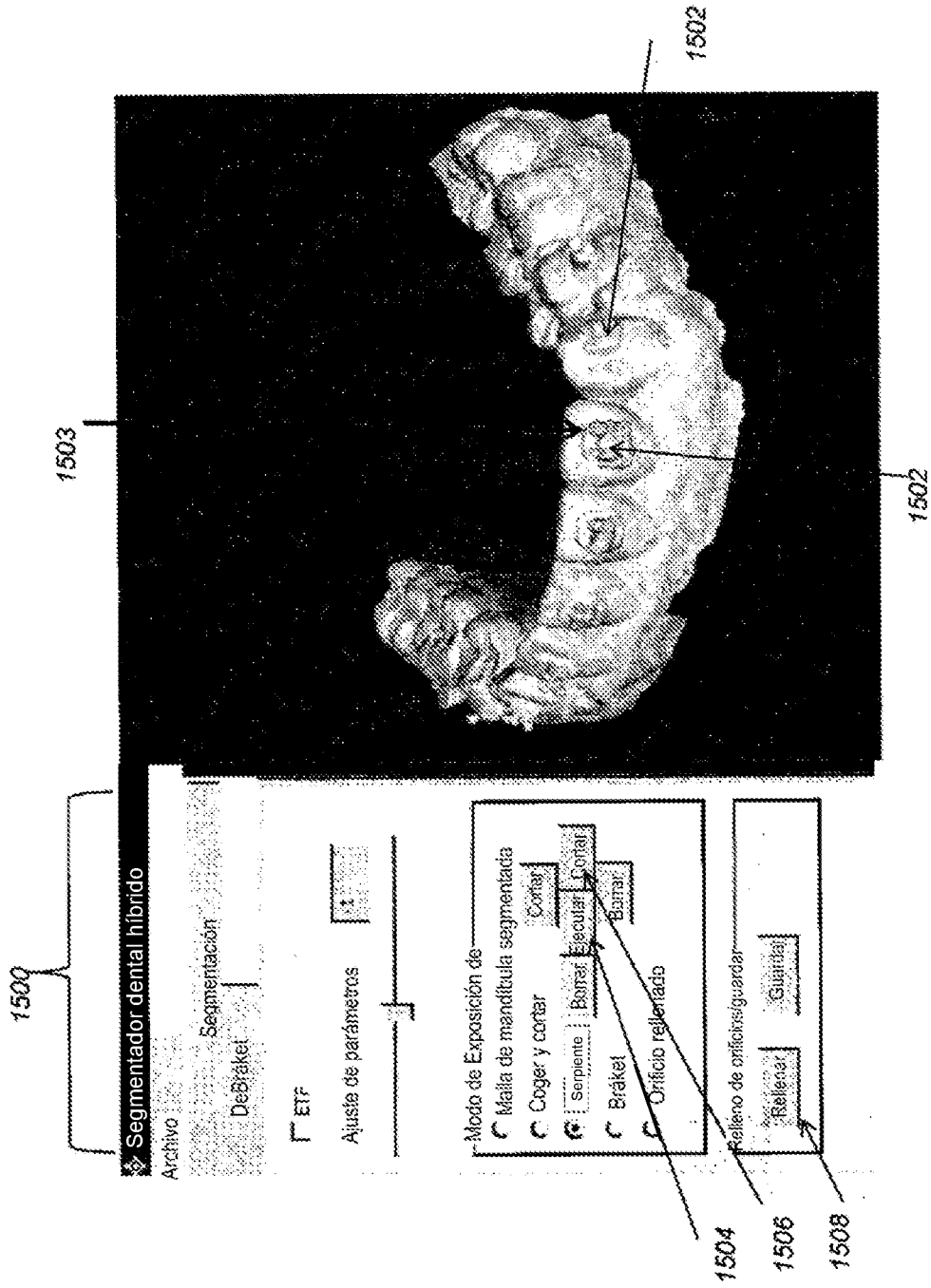


FIG. 29

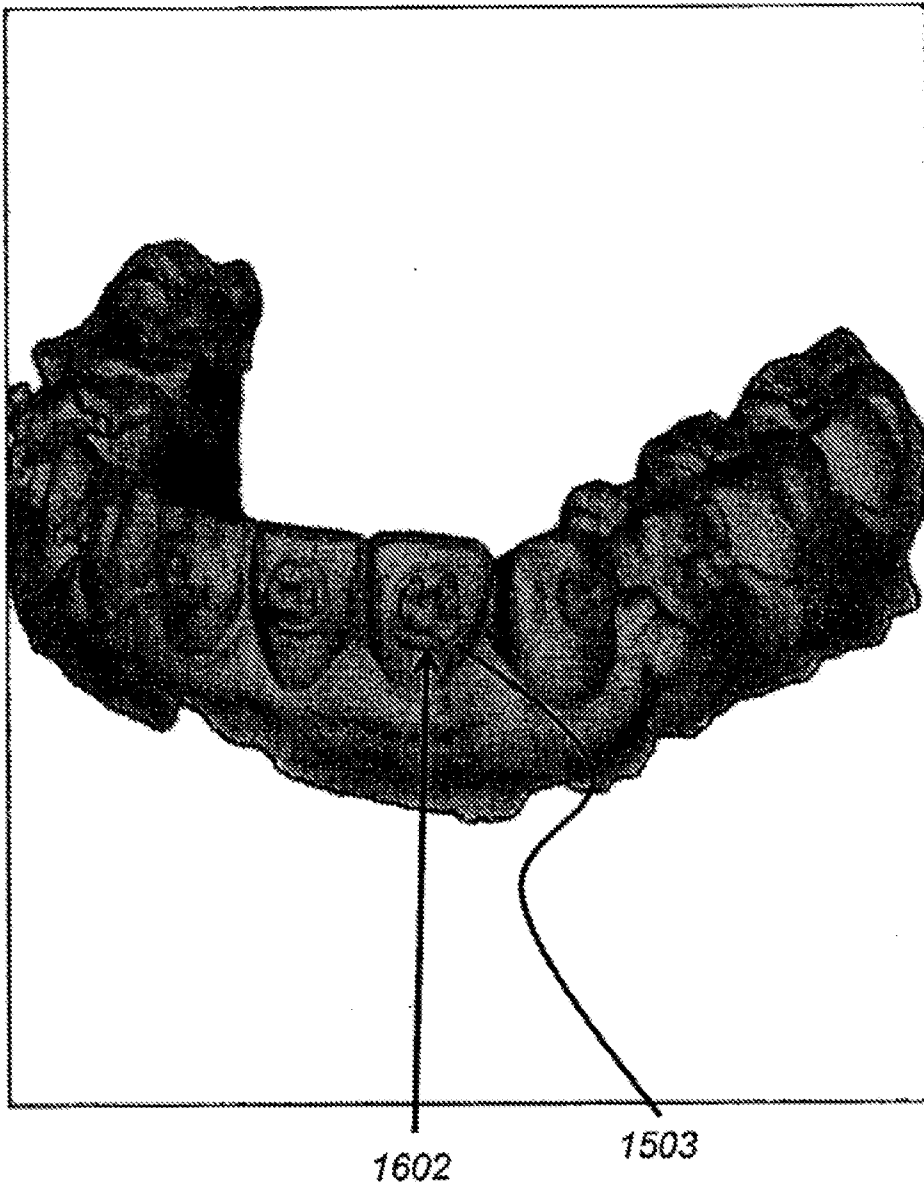


FIG. 30

1702

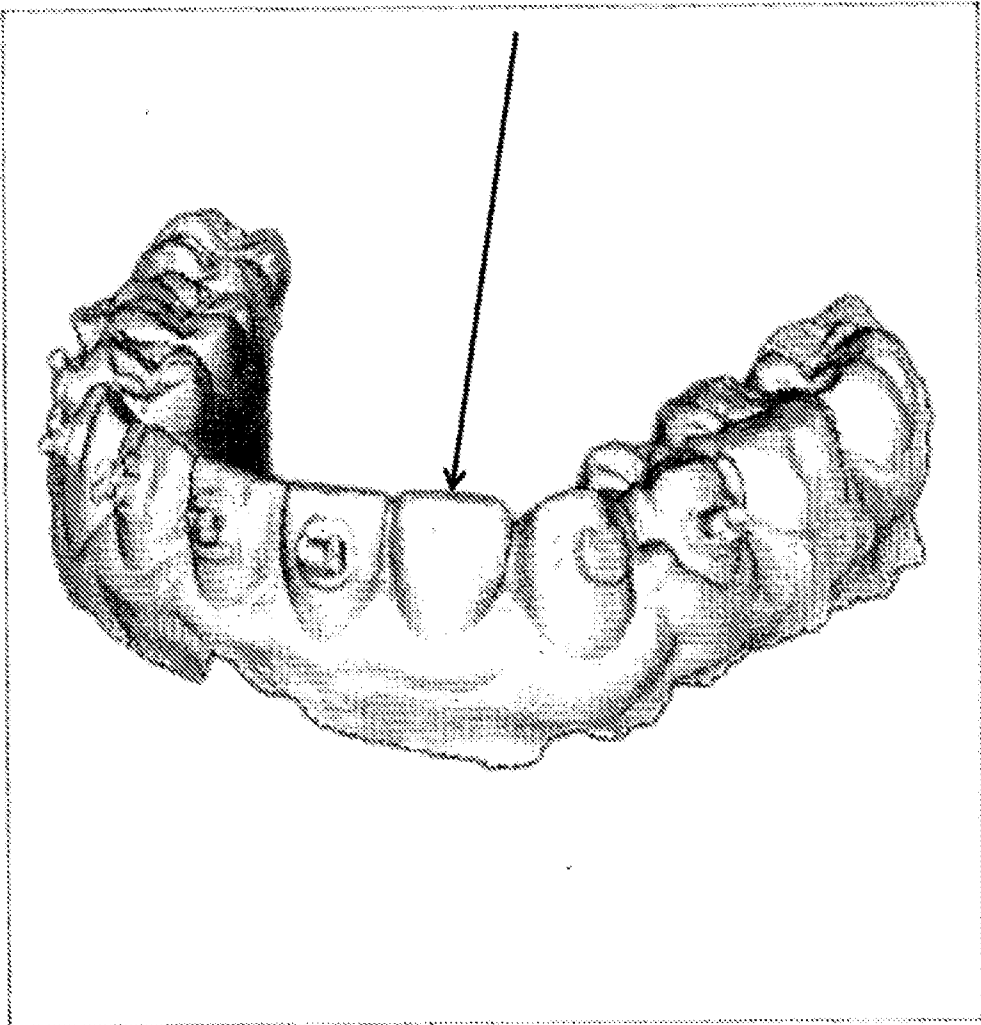
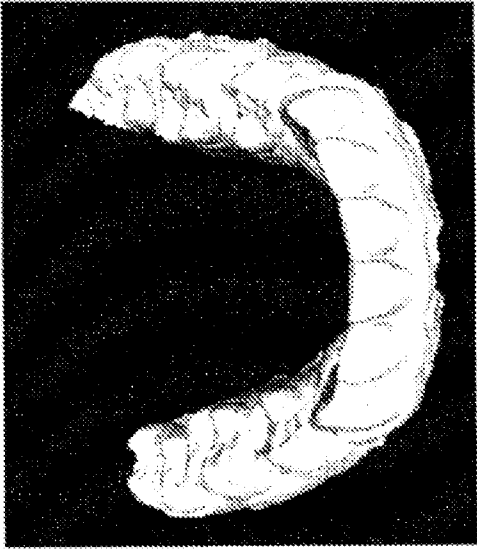
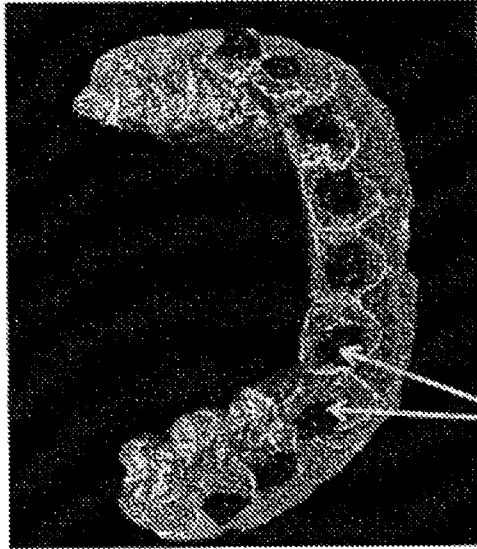


FIG. 31



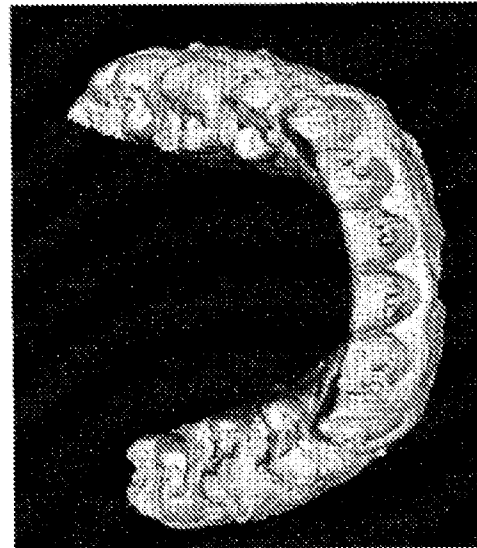
1806

FIG. 34



1802

FIG. 33



1800

FIG. 32

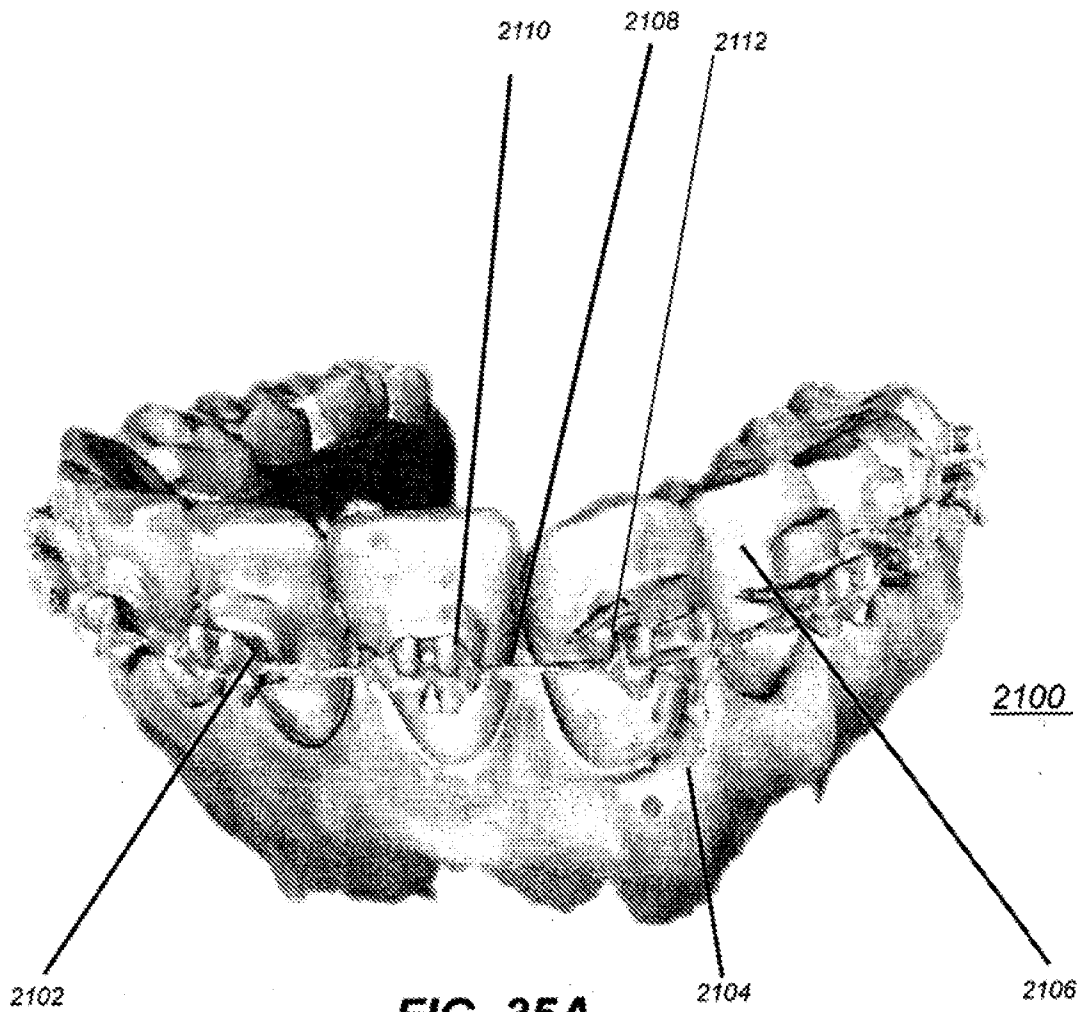


FIG. 35A

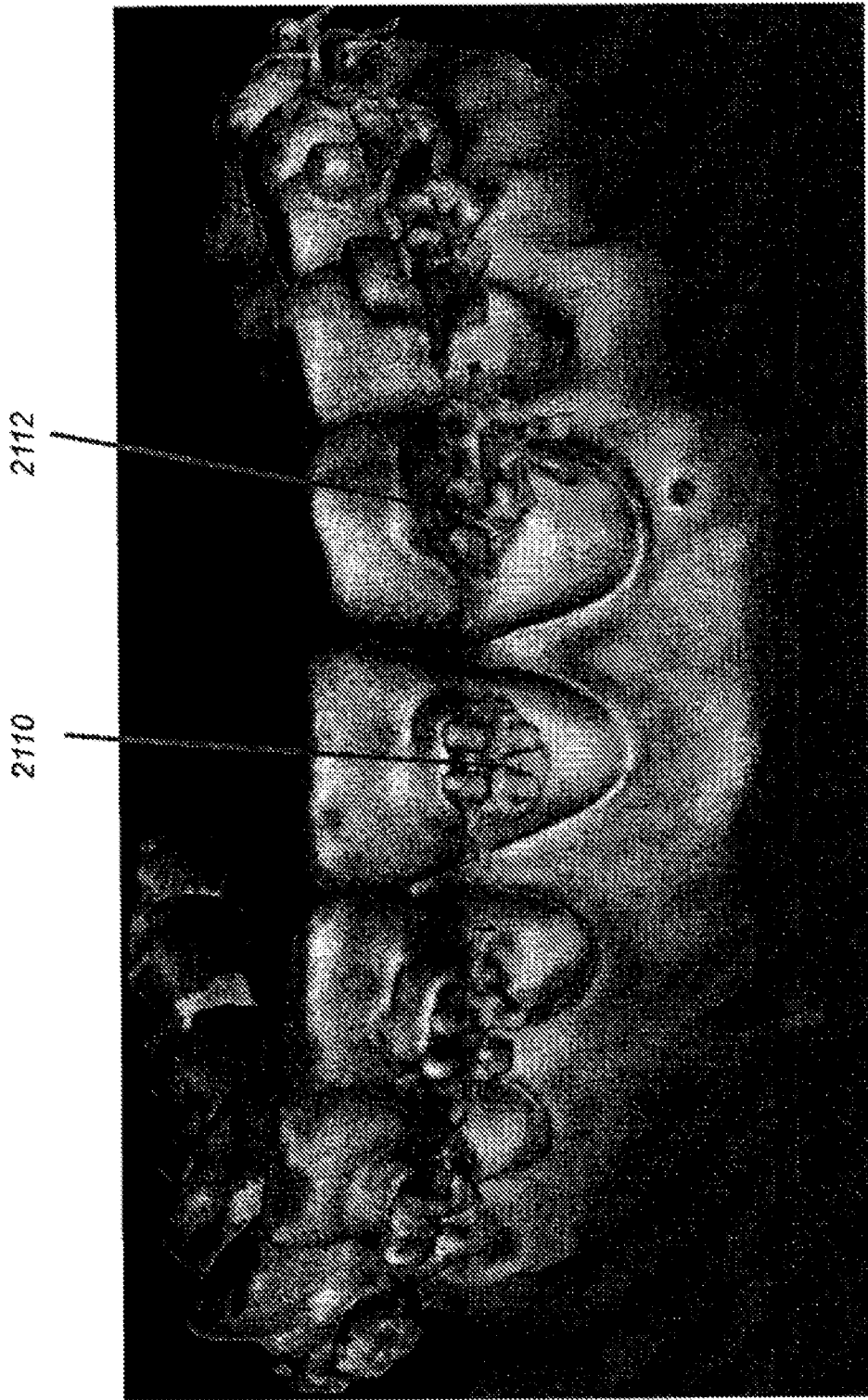
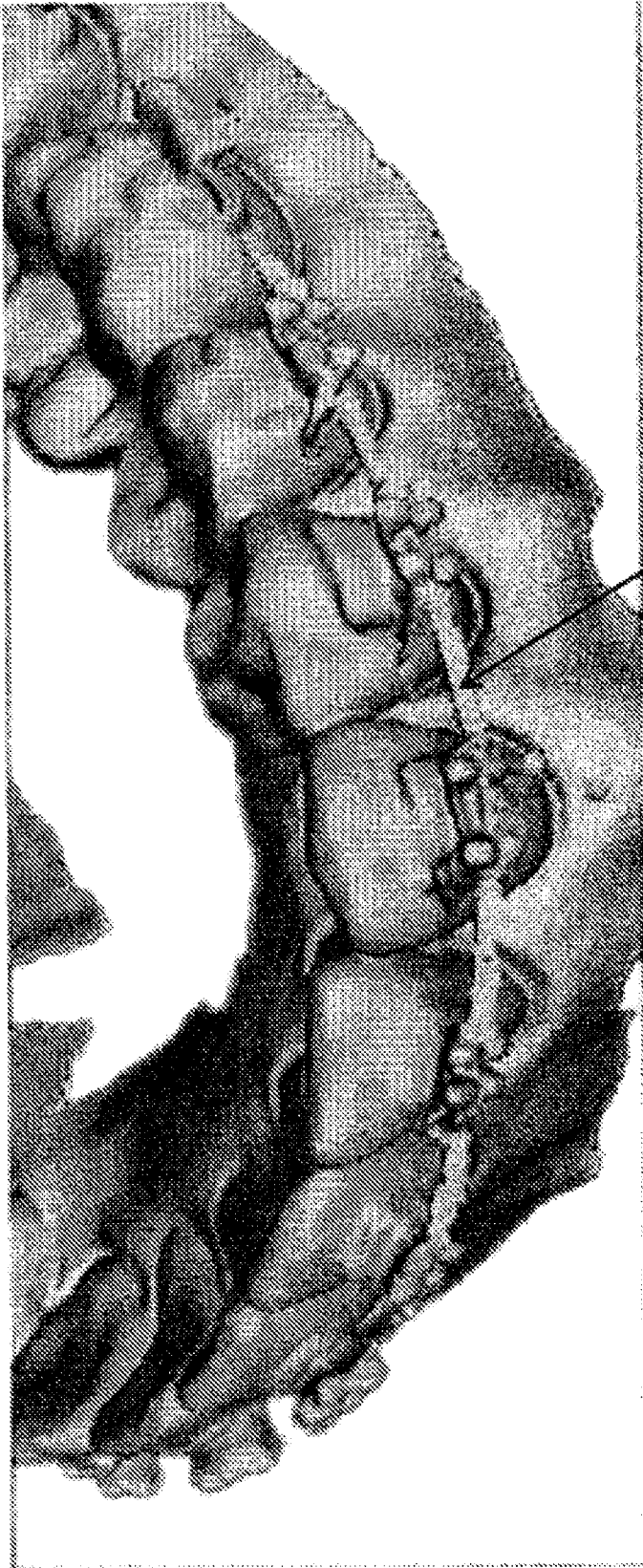
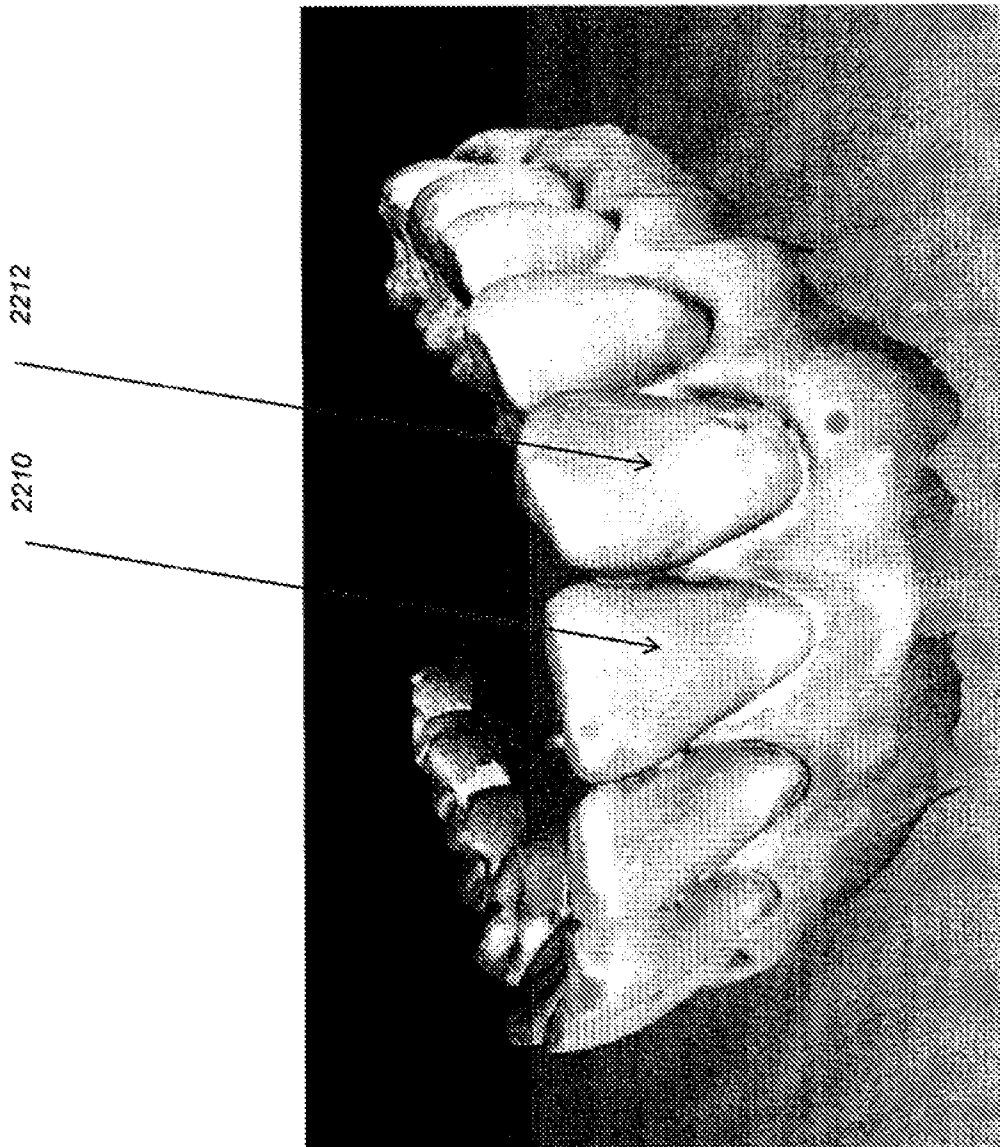


FIG. 35B



2118

FIG. 35C



2204

FIG. 36

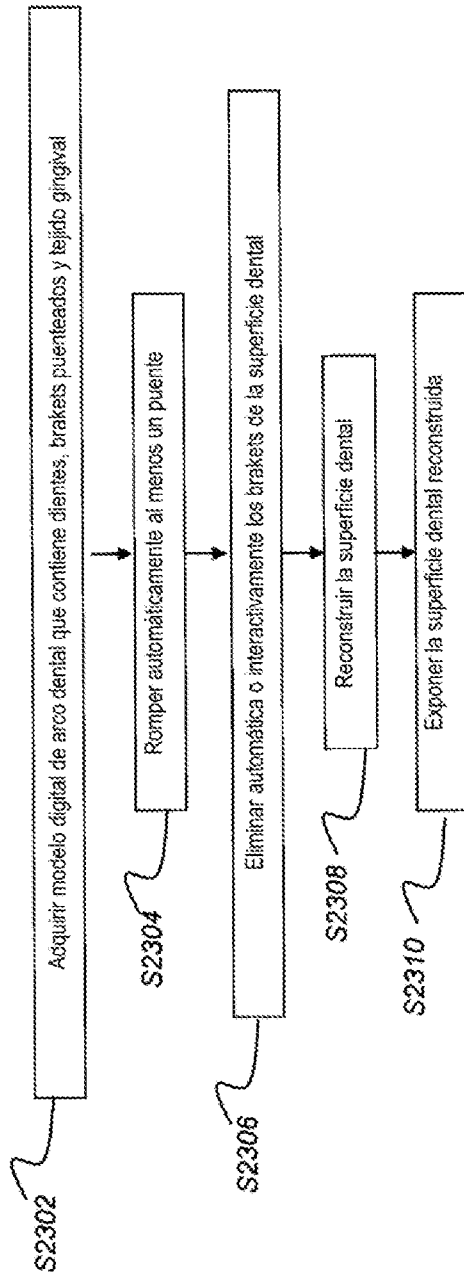


FIG. 37

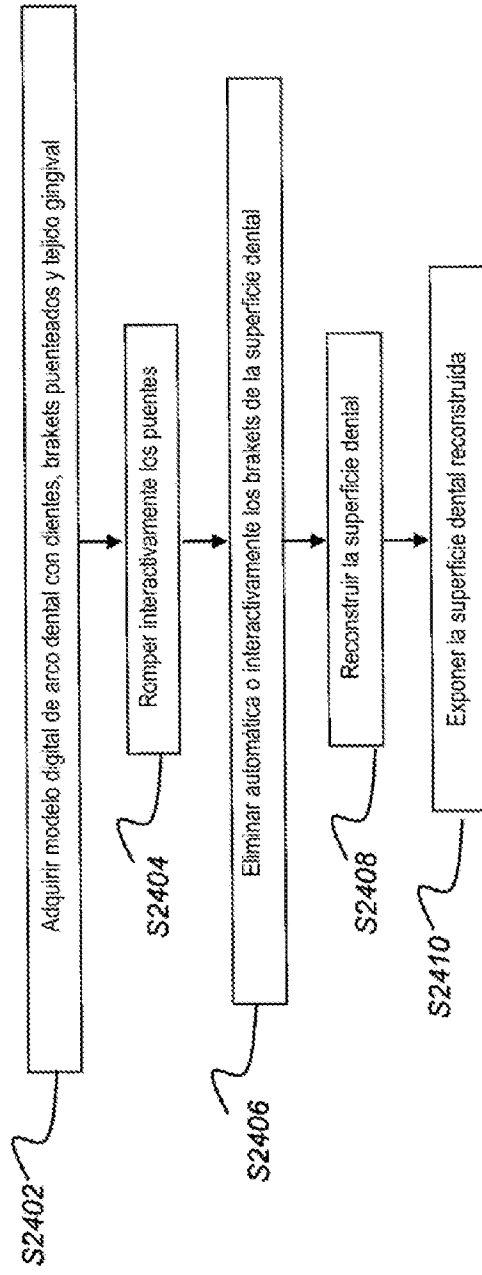


FIG. 38