



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 322 879**

51 Int. Cl.:

G06T 17/40 (2006.01)

A61C 7/08 (2006.01)

G05B 19/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **99953121 .3**

96 Fecha de presentación : **08.10.1999**

97 Número de publicación de la solicitud: **1191897**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.04.2002**

54 Título: **Sistema para visualizar los dientes.**

30 Prioridad: **13.05.1999 US 313290**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
30.06.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
30.06.2009

73 Titular/es: **Align Technology, Inc.**
881 Martin Avenue
Santa Clara, California 95050, US

72 Inventor/es: **Chishti, Muhammad, Ziaullah, Khan y**
Benton, Phillips, Alexander

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

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

DESCRIPCIÓN

Sistema para visualizar los dientes.

Esta solicitud está relacionada con las solicitudes de patente de EE.UU. n° 09/169.036, titulada "System and Method for Positioning Teeth" ("Sistema y Método para corregir la posición de dientes") (expediente fiscal n° 09943/003001), y 09/169.034 titulada "Defining Tooth-Moving Appliances Computationally" ("Definición de Aparatos para Mover Dientes por Ordenador") (expediente fiscal n° 09943/004001) ambas presentadas con fecha 8 de octubre de 1998.

Antecedentes

1. Campo del invento

Este invento se refiere en general al campo de la ortodoncia y, más en particular, al desarrollo automatizado por ordenador de un plan y un aparato para tratamiento de ortodoncia, tal como el descrito en el documento US 5.338.158.

La ortodoncia es la rama de la odontología que trata del enderezamiento de los dientes torcidos. Aunque hay muchos tipos de aparatos que pueden ser usados por el odontólogo que realice la ortodoncia para enderezar los dientes, el aparato más corriente son los tirantes ("braces"). Los tirantes incluyen una diversidad de aparatos, tales como abrazaderas ("brackets"), alambres que se adaptan al arco alveolar o distal, ligaduras y aros tóricos, y la fijación de los tirantes a los dientes del paciente es una labor tediosa y que lleva mucho tiempo, que requiere muchas visitas al odontólogo que realice el tratamiento de ortodoncia. Por consiguiente, el tratamiento de ortodoncia limita la capacidad de un paciente de ortodoncia y hace que el tratamiento de ortodoncia sea bastante caro.

Antes de sujetar los tirantes a los dientes del paciente, se ha de programar típicamente al menos una cita con el odontólogo que realice la ortodoncia, con el dentista, y/o con el laboratorio de rayos-X, de modo que se puedan hacer radiografías y tomar fotografías de los dientes del paciente y de la estructura de la mandíbula. También durante este encuentro preliminar, o posiblemente en un encuentro posterior, se hace típicamente un molde de alginato de los dientes del paciente. Ese molde proporciona un modelo de los dientes del paciente que el odontólogo usa conjuntamente con las radiografías y las fotografías, para formular una estrategia de tratamiento. El odontólogo programa entonces, típicamente, una o más citas, durante las cuales fijará los tirantes a los dientes del paciente.

La formulación de la estrategia del tratamiento es típicamente un proceso de ensayo y corrección de error, donde el odontólogo llega a la estrategia de tratamiento usando un modelo mental basado en su experiencia y habilidad. Puesto que no se dispone de un modelo exacto, la formulación de la estrategia de tratamiento es un arte que depende en gran medida de las estimaciones y los juicios del odontólogo que aplique el tratamiento. Además, una vez que se haya generado la estrategia de tratamiento, es difícil explicar con palabras al paciente el resultado que se espera.

El presente invento proporciona un método para presentar una vista para ortodoncia de los dientes del paciente, tal como se expone en la reivindicación 1.

Según un método que realiza el invento, se usa un ordenador para crear un plan para corregir la posición de los dientes del paciente mediante la ortodoncia. El ordenador recibe un conjunto de datos digitales que representan los dientes del paciente y usa el conjunto de datos para generar una o más vistas para ortodoncia de los dientes del paciente. El sistema capta los datos tridimensionales (3D) asociados a los dientes del paciente; determina un punto de vista para los dientes del paciente; aplica una conformación de la posición a los datos de 3D en base al punto de vista; y obtiene la vista para ortodoncia de los dientes del paciente en base a la transformación de la posición.

El sistema puede generar una vista del solapamiento bucal derecho, una vista del solapamiento anterior, una vista del solapamiento bucal izquierdo, una vista molar distal izquierda, una vista lingual izquierda, una vista de incisivos lingual, una vista lingual derecha, y una vista molar distal derecha de los dientes del paciente. Puede obtenerse una representación gráfica en 3D de los dientes en las posiciones correspondientes a un conjunto de datos seleccionados. La representación gráfica de los dientes puede ser animada para proporcionar una presentación visual del movimiento de los dientes a lo largo de las líneas de tratamiento. Se puede aplicar una compresión a nivel de detalle al conjunto de datos seleccionado para obtener la representación gráfica de los dientes. Un usuario humano puede modificar la representación gráfica de los dientes, lo que origina modificaciones en el conjunto de datos seleccionados en respuesta a la instrucción dada por el usuario. Se puede proporcionar una interfaz gráfica con componentes que representen los botones de control en una grabadora de vídeo casetes, para que un usuario humano manipule para controlar la animación. Una parte de los datos del conjunto de datos seleccionado puede ser usada para obtener la representación gráfica de los dientes. El usuario humano puede seleccionar un diente en la representación gráfica, y leer la información acerca del diente. La información puede relacionarse con el movimiento que experimentará el diente al moverse siguiendo la línea de tratamiento. La representación gráfica puede obtener los dientes según uno seleccionado de entre múltiples ángulos de visión específicos para ortodoncia. Se puede una señal de entrada procedente de un dispositivo de entrada giroscópico de 3D controlado por un usuario humano, para alterar la orientación de los dientes en la representación gráfica.

En un segundo aspecto, el presente invento proporciona un programa de ordenador, tal como se establece en la reivindicación 4.

Como ventajas del invento se incluyen una o más de las siguientes. Se usa la visualización para comunicar la información sobre el tratamiento en un plan y un aparato para tratamiento de ortodoncia automatizado, por ordenador. El invento genera un modelo realista de los dientes del paciente, sin requerir que un usuario posea un conocimiento en profundidad de los parámetros asociados a un sistema de captación de datos dentales del paciente. Además, no es ya necesario tener experiencia en software de 3D y conocimiento de la arquitectura del ordenador para procesar y traducir los datos médicos captados en un la obtención y la animación de un modelo de ordenador realista.

El invento permite por lo tanto que sea generado un plan de tratamiento de los dientes de una manera sencilla y eficaz. También mejora el modo en que un clínico que aplique el tratamiento realice las presentaciones del caso, permitiendo que el clínico exprese más claramente sus planes de tratamiento y dé a los posibles pacientes una oportunidad para visualizar los cambios faciales asociados al tratamiento propuesto. El invento permite que equipos de trabajo multidisciplinares manejen fácil y eficazmente el plan de tratamiento. Otro beneficio importante es el de la capacidad para visualizar e interactuar con modelos y procesos sin el consiguiente peligro de que no resulten prácticos, o de que supongan un gasto significativamente mayor que el que se produciría en el mismo ambiente si fuera físico. Por consiguiente, se economiza dinero y tiempo, a la vez que se mejora la calidad del plan de tratamiento.

Descripción de los dibujos

La Fig. 1 es un organigrama de un proceso para producir un sistema de aparatos para ajuste de la posición por incrementos.

La Fig. 2 es un organigrama de un proceso para formar un conjunto de datos de imagen en 3D de los dientes, a partir de dos conjuntos de datos de imagen.

La Fig. 3 es un organigrama de un proceso para formar una malla de superficie en 3D a partir de datos de imagen en 3D.

La Fig. 4 es un diagrama bloque en el que se exponen los pasos para manipular un conjunto de datos digitales inicial que representa una disposición de dientes inicial para producir un conjunto de datos digitales final correspondiente a una disposición de dientes final deseada.

La Fig. 5 es una captura de pantalla de una presentación de GUI (Interfaz de Usuario Gráfica) usada para obtener imágenes en 3D de los dientes del paciente de ortodoncia.

La Fig. 6 es un organigrama de un proceso para obtener imágenes en 3D de los dientes del paciente de ortodoncia.

Las Figs. 7-17 representan imágenes en 3D que sirven d ejemplos de los dientes del paciente de ortodoncia.

Las Figs. 18-19 ilustran una técnica para mejorar la descarga y obtener la velocidad de un archivo de datos de imagen para ortodoncia.

La Fig. 20 es un diagrama bloque simplificado de un sistema de procesado de datos.

Descripción detallada

La Fig. 1 representa un proceso 100 para producir los aparatos de ajuste de la posición por incrementos para su posterior uso por un paciente para corregir la posición de los dientes del paciente. Como un primer paso, se obtiene un conjunto de datos digitales inicial (IDDS) que representa una disposición de dientes inicial (paso 102). Después se manipula el IDDS usando un ordenador que tenga una interfaz de usuario gráfica (GUI) adecuada y un software apropiada para ver y modificar la imagen. En lo que sigue se describirán en detalle aspectos más específicos de este proceso.

Los dientes individuales y otros componentes pueden ser segmentados o aislados en el modelo, para permitir la corrección de la posición individual o la retirada del modelo digital. Después de segmentar o aislar los componentes, el usuario corregirá frecuentemente la posición de los dientes en el modelo, siguiendo para ello una prescripción u otra especificación escrita proporcionada por el profesional que aplique el tratamiento. Como alternativa, el usuario puede corregir la posición de uno o más dientes en base al aspecto visual, o bien en base a reglas y algoritmos programados en el ordenador. Una vez satisfecho el usuario, se incorpora la disposición de dientes final en un conjunto de datos digitales final (FDDS) (paso 104). Se usa el FDDS para generar aparatos que muevan los dientes según una secuencia especificada. En primer lugar, se pueden alinear los centros de cada modelo de diente, usando para ello una serie de métodos. Un método es el de seguir un arco normal. Después se giran los modelos de dientes hasta que sus raíces estén en la posición vertical correcta. A continuación se giran los modelos de dientes alrededor de su eje vertical, llevándolos a la orientación correcta. Se observan después los modelos de dientes desde un lado, y se trasladan verticalmente a su posición vertical correcta. Finalmente, se colocan juntos los dos arcos, y se mueven ligeramente los modelos de dientes para asegurar que los arcos superior e inferior ajustan entre sí correctamente. El ajuste de los arcos superior e inferior entre sí se visualiza usando un proceso de detección de colisión para destacar los puntos de contacto de los dientes.

ES 2 322 879 T3

En base tanto al IDDS como al FDDS, se definen una pluralidad de conjunto de datos digitales intermedios (INTDDS's) que se corresponden con los aparatos ajustados por incrementos (paso 106). Finalmente, se produce un conjunto de aparatos de ajuste de la posición por incrementos, en base a los INTDDSs y al FDDS (paso 108).

En el paso 102 pueden escanearse u obtener las imágenes de los dientes del paciente usando una tecnología bien conocida, tal como la de obtención de imágenes radiográficas, de radiografía tridimensional, por tomografía con ayuda de ordenador, o bien conjuntos de datos, e imágenes obtenidas por resonancia magnética. Los métodos para digitalizar cada imagen convencional, para producir conjuntos de datos útiles, son bien conocidos y se han descrito en la bibliografía de patentes y en la médica. Usualmente, sin embargo, se obtiene una pieza colada en yeso de los dientes del paciente por técnicas bien conocidas, tal como la descrita en la publicación de Graber: "*Orthodontics: Principle and Practice*" ("Ortodoncia: Principios y Práctica"), Segunda Edición, Saunders, Philadelphia (EE.UU.), 1969, págs. 401-415.

Después de obtenida la pieza colada del diente, se escanea digitalmente la colada mediante un escáner tal como un escáner no de contacto, del tipo láser, o bien un escáner destructivo o un escáner del tipo de contacto, para producir el IDDS. El conjunto de datos producido por el escáner puede ser presentado en cualquiera de una diversidad de formatos digitales, para asegurar la compatibilidad con el software usado para manipular las imágenes representadas por los datos, como se describe con más detalle en lo que sigue. Las técnicas generales para producir piezas coladas en yeso de los dientes y generar modelos digitales usando técnicas de escaneo con láser, se han descrito en, por ejemplo, la Patente de EE.UU. N° 5.605.459, cuya exposición queda incorporada en su totalidad en esta solicitud por su referencia.

Como escáneres adecuados se incluyen una diversidad de sistemas de adquisición de alcance, clasificados en general por categorías por si el proceso de adquisición requiere contacto con el objeto tridimensional que esté siendo escaneado. Algunos escáneres del tipo de contacto hacen uso de sondas que tienen múltiples grados de libertad de traslación y/o de rotación. Se genera una representación legible por ordenador (es decir, digital) de la muestra objeto registrando para ello el desplazamiento físico de la sonda al ser llevada ésta a través de la superficie de la muestra.

Como escáneres del tipo no de contacto convencionales se incluyen los sistemas del tipo reflectante y los sistemas del tipo de transmisión. Actualmente están en uso una gran diversidad de sistemas reflectantes, algunos de los cuales utilizan fuentes de energía incidente no óptica, tal como de radar de microondas, o de sonar. Otros utilizan energía óptica. Los sistemas del tipo no de contacto que usan energía óptica reflejada incluyen usualmente instrumentación especial que lleva a cabo ciertas técnicas de medición (por ejemplo, radar de obtención de imágenes, triangulación e interferometría).

Un tipo de escáner no de contacto es un escáner reflectante óptico, tal como un escáner láser. Los escáneres no de contacto tales como ese son de pos sí no destructivos (es decir, que no dañan el objeto de muestra), y generalmente se caracterizan por una resolución de la captación relativamente alta, y son capaces de escanear una muestra en un período de tiempo relativamente corto. Uno de tales escáneres es el escáner Cyberware Modelo 15, fabricado por la firma Cyberware, Inc., Monterey, California (EE.UU.).

Tanto los escáneres del tipo no de contacto como los escáneres del tipo de contacto pueden incluir cámaras de color, las cuales, cuando están sincronizadas con las capacidades de escaneo, proporcionan medios para captar, en formato digital, las representaciones en color de los objetos de muestra. La importancia de esa capacidad para captar no solamente la forma del objeto de muestra sino también su color, se analiza en lo que sigue.

Otros escáneres, tales como el escáner destructivo modelo CSS -1000, producido por la firma Capture Geometry Inside (CGI), de Minneapolis, Minnesota (EE.UU.), pueden proporcionar información acerca de los dientes del paciente más detallada y precisa que las que pueda proporcionar un escáner de adquisición de alcance típico. En particular, un escáner destructivo puede obtener la imagen de áreas que estén ocultas o apantalladas para un escáner de adquisición de alcance y que por lo tanto no puedan ser el sujeto de una adecuada obtención de imagen. El escáner CSS-1000 recoge los datos de la imagen para un objeto, fresando para ello repetidamente delgadas rebanadas del objeto y escaneando ópticamente la secuencia de superficies fresadas, para crear una secuencia de rebanadas de imágenes en 2D, de modo que ninguna de las superficies del objeto fresadas, queda oculta al escáner. El software de procesado de la imagen combina los datos obtenidos de las rebanadas individuales, para formar un conjunto de datos que representa el objeto, el cual es más tarde convertido en una representación digital de las superficies del objeto, tal como se describe en lo que sigue.

El escáner destructivo puede ser usado conjuntamente con un escáner láser para crear un modelo digital de los dientes del paciente. Por ejemplo, se puede usar un escáner láser primero para construir una imagen de baja resolución de los arcos superior e inferior del paciente acoplado con la mordida en cera del paciente, como se describe en lo que sigue. Se puede usar luego el escáner destructivo para formar imágenes de alta resolución de los arcos individuales. Los datos obtenidos por el escáner láser indican la relación entre los dientes superiores y los inferiores del paciente, la cual puede ser usada más tarde para relacionar entre sí las imágenes generadas por el escáner destructivo y los modelos digitales derivados de las mismas.

El escáner destructivo puede ser usado para formar el conjunto de datos digitales inicial (IDDS) de los dientes del paciente fresando para ello y escaneando un modelo físico, tal como una pieza colada en yeso, de los dientes. Para

asegurar una orientación consistente de la pieza colada durante todo el proceso de escaneo destructivo, el operador de un sistema de escaneo encapsula la pieza colada con material de encapsular, tal como epoxi "Encase-It" de la firma CCI, y cura el material en una cámara de vacío (PV) para formar un molde. La colocación del material de encapsula en la cámara de PV asegura que el material endurecerá con relativa rapidez y virtualmente sin ninguna burbuja de aire

5 aprisionado. El color del material de encapsular se selecciona para que contraste vivamente con el color del material de colada, para asegurar la claridad de la imagen escaneada. El operador monta después el molde en una placa de montaje y coloca la placa de moldeo en el sistema de escaneo destructivo.

Un mecanismo de cortar en rebanadas ("cortador") en el sistema de escaneo destructivo fresa una delgada rebanada

10 (típicamente de un grosor comprendido entre 0,925 mm y 0,156 mm) del molde, y un brazo de colocar en posición coloca la superficie fresada próxima a un escáner óptico. El escáner óptico, el cual puede ser un dispositivo de los disponibles en el comercio, tal como un escáner de lecho plano o una cámara digital, escanea la superficie para crear un conjunto de datos de imagen en 2D que representa la superficie. El brazo de colocación en posición coloca entonces en posición el molde debajo del cortador, el cual fresa de nuevo una delgada rebanada del molde. El producto resultante

15 del sistema de escaneo destructivo es un conjunto de datos de imagen en 3D, que más tarde es convertido en un modelo digital de superficies, tal como se describe en detalle en lo que sigue. En la Patente de EE.UU. N° 5.621.648 se han descrito un sistema de escaneo destructivo y el escaneo destructiva y el procesamiento de datos correspondientes.

Se puede usar una mordida en cera del paciente para adquirir las posiciones relativas de los dientes superiores

20 e inferiores en oclusión céntrica. Para un escaneo láser, esto puede conseguirse colocando primero la pieza colada inferior frente al escáner con los dientes mirando hacia arriba, colocando después la mordida en cera encima de la pieza colada inferior, y colocando finalmente la pieza colada superior encima de la pieza colada inferior, con los dientes mirando hacia abajo, descansando sobre la mordida en cera. Se adquiere después un escaneo cilíndrico para las piezas coladas inferior y superior en sus posiciones relativas. Los datos escaneados proporcionan un modelo digital

25 de resolución del medio que representa un objeto, el cual es la combinación de los arcos del paciente situados con la misma configuración relativa en que están en la boca.

El modelo digital actúa como una plantilla que guía la colocación de los dos modelos digitales individuales (uno por arco). Precizando más, usando software como por ejemplo el software de alineación "CyberWare", se alinea por

30 turno cada arco digital con el escaneo del par. Después se sitúan los modelos individuales relativamente entre sí correspondiéndose con los arcos en la boca del paciente.

La mordida en cera puede también ser escaneada por separado para proporcionar un segundo conjunto de datos acerca de los dientes de los arcos superior e inferior. En particular, la pieza colada en yeso proporciona una imagen

35 "positiva" de los dientes del paciente, a partir de la cual se deriva un conjunto de datos, y la mordida en cera proporciona una imagen "negativa" de los dientes, a partir de la cual se deriva un segundo conjunto de datos redundante. Los dos conjuntos de datos pueden se entonces emparejados para formar un solo conjunto de datos que describe los dientes del paciente con una mayor exactitud y precisión. La impresión a partir de la cual se hizo la pieza colada en yeso, puede ser también usada en vez, o además, de la mordida en cera.

La Fig. 2 es un organigrama de un proceso para derivar un solo conjunto de datos a partir de un conjunto de datos positivo y de un conjunto de datos negativo. En primer lugar se obtienen los datos de escaneo que representan los modelos de dientes físicos positivo y negativo (pasos 300, 302). Si los datos del escaneo se hubieran adquirido a través de un proceso de escaneo destructivo, se construyen dos modelos geométricos en 3D a partir de los datos, como se

45 describe en lo que sigue (paso 304). Los datos de escaneo adquiridos a partir de un sistema de escaneo de adquisición óptico o de alcance, son típicamente suficientes como modelo geométrico. Uno de los modelos geométricos se sitúa para que se empareje aproximadamente con el otro modelo en el espacio de modelo digital (paso 306), y se lleva a cabo un proceso de optimización para determinar el mejor emparejamiento entre los modelos (paso 308). El proceso de optimización trata de emparejar un punto de cada modelo con un punto del otro modelo. Cada par de puntos emparejados se combina después en un solo punto, para formar un solo conjunto de datos (paso 310). La combinación de puntos emparejados puede llevarse a cabo en una diversidad de formas, por ejemplo promediando las coordenadas de los puntos de cada par.

Mientras que un sistema de escaneo láser debe efectuar típicamente tres escaneos para obtener la imagen de un

55 conjunto completo de los dientes del paciente adecuadamente (un escaneo de alta resolución por cada una de las piezas coladas superior e inferior y un escaneo de la mordida en cera de resolución media), el sistema de escaneo destructivo descrito en lo que antecede puede proporcionar la imagen del conjunto completo de los dientes del paciente adecuadamente, con solamente un único escaneo de la mordida en cera. Escaneando ambas piezas coladas con la mordida en cera en posición, se garantiza que todas las superficies importantes de los dientes superiores e inferiores

60 son captadas durante un escaneo destructivo. Escaneando de esta manera ambas piezas coladas, se proporciona también un conjunto de datos de imagen de alta resolución que preserva la relación entre los dientes superiores e inferiores del paciente. Al igual que el material de encapsulación descrito en lo que antecede, la mordida en cera debe ser de un color que contraste vivamente con el color del material de la pieza colada, para asegurar la claridad de la imagen escaneada. La mordida en cera puede ser del mismo color que el del material de encapsular, si no se desea contraste

65 entre la mordida en cera y el material de encapsular. Como alternativa, el color de la mordida en cera puede contrastar vivamente con el de las piezas coladas de los dientes y con el del material de encapsular, si se necesita una imagen de la mordida en cera.

Además de los datos de imagen en 3D recogidos mediante el escaneo láser o el escaneo destructivo de las superficies expuestas de los dientes, un usuario puede desear recoger datos acerca de características ocultas, tal como de las raíces de los dientes del paciente y de los huesos de la mandíbula del paciente. Esa información se usa para construir un modelo más completo de la dentadura del paciente y para mostrar con mayor exactitud y precisión cómo responderán los dientes al tratamiento. Por ejemplo, la información acerca de las raíces permite modelar toda la superficie de los dientes, en vez de solamente las coronas, lo que a su vez permite la simulación de las relaciones entre las coronas y las raíces al moverse éstas durante el tratamiento. La información acerca de la mandíbula y las encías del paciente hace posible también un modelo más preciso del movimiento del diente durante el tratamiento. Por ejemplo, una radiografía de los huesos de la mandíbula del paciente puede ayudar a identificar dientes con anquilosis, y una MRI (Imagen obtenida por Resonancia Magnética) puede proporcionar información acerca de la densidad del tejido de la encía del paciente. Además, la información acerca de la relación entre los dientes del paciente y otras características craneales del mismo, permite una alineación precisa de los dientes con respecto al resto de la cabeza, en cada uno de los pasos del tratamiento. Los datos acerca de esas características ocultas pueden recogerse de muchas fuentes, incluidos los sistemas de rayos-X en 2D y en 3D, los escáneres CT (de tomografía por ordenador) y los sistemas de obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI). El uso de esos datos para introducir características virtualmente ocultas en el modelo de los dientes se describe con más detalle en lo que sigue.

El desarrollo de un plan de tratamiento de ortodoncia para un paciente implica manipular el IDDS en un ordenador o en una estación de trabajo que tenga una interfaz de usuario gráfica (GUI) adecuada y un software apropiado para ver y modificar las imágenes. Los aspectos específicos del software se describirán con detalle en lo que sigue. Sin embargo, se pueden producir aparatos dentales que tengan configuraciones geométricas que difieran por incrementos mediante técnicas no precisan de ayuda de ordenador. Por ejemplo, las piezas coladas en yeso obtenidas como se ha descrito en lo que antecede pueden ser cortadas usando cuchillas, sierras, u otros útiles de corte, con objeto de permitir la corrección de la posición de dientes individuales dentro de la pieza colada. Los dientes desconectados pueden ser entonces retenidos en su posición mediante cera blanda u otro material maleable, y se puede preparar una pluralidad de disposiciones de dientes intermedios usando tal pieza colada en yeso modificada de los dientes del paciente. Las diferentes disposiciones pueden ser usadas para preparar conjuntos de múltiples aparatos, generalmente como se describe en lo que sigue, usando técnicas de moldeo a presión y en vacío.

A continuación se considera el proceso de crear un modelo de los dientes en 3D. Muchos tipos de datos de escaneo, tales como los adquiridos mediante un sistema de escaneo óptico, proporcionan un modelo geométrico en 3D (por ejemplo, una malla de superficie triangular) de los dientes cuando se adquieren. Otras técnicas de escaneo, tal como la técnica de escaneo destructivo descrita en lo que antecede, proporcionan datos en forma de elementos de volumen ("voxels") que pueden ser convertidos en un modelo geométrico digital de las superficies de los dientes.

La Fig. 3 es un organigrama de un proceso para formar una malla de superficie a partir de datos de imagen de voxels. Ese modo de actuar implica recibir los datos de imagen del escáner destructivo (paso 400), procesar los datos para aislar el objeto a ser modelado (paso 401), y aplicar una técnica de "marching cubes" (algoritmo para crear modelos de superficies de malla triangular usado para ver datos) convencional, para crear una malla de superficie del objeto (paso 402).

Cada conjunto de datos de imagen puede incluir imágenes de múltiples piezas coladas de los dientes o de una pieza colada de diente y objetos extraños "ruidosos", tales como burbujas de aire, en el material de encapsulación. El sistema identifica cada objeto en la imagen asignando para ello a cada voxel un valor de un solo dígito binario (por ejemplo, el "0" para negro y el "1" para blanco) en base al valor de la imagen en la escala de grises de 8 bits, y conectando después los voxels adyacentes a los que se haya asignado el mismo valor de un solo bit. Cada grupo de voxels conectados representa uno de los objetos de la imagen. El sistema aísla después la pieza colada de diente a ser modelada, protegiendo para ello en la imagen todos los objetos excepto la pieza colada de diente de interés. El sistema elimina el ruido de los datos de imagen protegidos pasando para ello los datos a través de un filtro de paso bajo.

Una vez aislada la pieza colada de diente de los datos de imagen, el sistema efectúa una técnica de "marching cubes" convencional, para localizar las superficies de diente y de tejido en los datos de imagen. Esta técnica implica la identificación de pares de voxels adyacentes que tengan valores de imagen de 8 bits que queden a lados opuestos de un valor umbral seleccionado. Concretamente, cada voxel tiene asociado un valor de imagen, típicamente un número comprendido entre 0 y 255, que representa el valor del color o en la escala de grises de la imagen en ese voxel. Puesto que la pieza colada del diente y el material de encapsular que la rodea son de colores que contrastan vivamente, los valores de imagen de los voxels que forman la imagen de la pieza colada del diente difieren grandemente de los valores de los voxels que forman la imagen del material que la rodea. Por lo tanto, el algoritmo de "marching cubes" puede localizar las superficies de diente identificando para ello los voxels en los cuales tenga lugar una transición brusca del valor de la imagen. El algoritmo puede situar la superficie con precisión entre dos voxels, determinando para ello la diferencia entre el valor umbral y el valor de imagen de cada voxel, y colocando después la superficie a una distancia correspondiente del punto central de cada voxel.

En algunas formas de ejecución, después de aplicado el algoritmo de "marching cubes", la malla resultante experimenta una operación de suavizado, para reducir las asperezas en las superficies del modelo de diente producidas por la conversión de "marching cubes" (paso 404). Se puede usar una operación de suavizado convencional, tal como la que mueve los vértices de triángulos individuales llevándolos a posiciones que representan las medias de los vértices vecinos conectados para reducir los ángulos entre los triángulos en la malla.

Otro paso opcional es el de la aplicación de una operación de “decimation” o “diezmado” (proceso de filtrado y muestreo descendente de una señal para disminuir su régimen de muestreo efectivo) a la malla suavizada, para eliminar puntos de datos, con lo cual se aumenta la velocidad de procesamiento (paso 406). Las operaciones de “diezmado” convencionales identifican pared de triángulos que están casi en el mismo plano y combinan cada par identificado en un solo triángulo, mediante la eliminación del vértice común. La operación de “diezmado” aquí usada incorpora también reglas de diezmado específicas de la ortodoncia, las cuales se basan en la comprensión de las características generales de los dientes y las encías, y de los aparatos de ortodoncia que serán usados para seguir un plan de tratamiento. Por ejemplo, los alineadores no hacen típicamente contacto con las partes de las superficies de diente adyacentes a las encías, por lo que esas superficies de diente pueden ser modeladas con menor precisión que el resto del diente. La operación de diezmado incorpora ese conocimiento, diezmado para ello más intensamente a lo largo de la línea de la encía. Cuando se use un aparato tal como un alineador de envuelta de polímero para tratar los dientes del paciente, el algoritmo diezma también más intensamente en los costados de los dientes, donde se requiere usualmente que el alineador solamente empuje ortogonalmente a la superficie, y luego diezma en las partes superiores de los dientes, donde el alineador debe formar usualmente un agarre sólido.

Después de efectuadas las operaciones de suavizado y diezmado, se calcula un valor del error basado en las diferencias entre la malla resultante y la malla original o los datos originales (paso 408), y se compara el error con un valor umbral aceptable (paso 410). Las operaciones de suavizado y diezmado se aplican a la malla una vez más si el error no excede del valor aceptable. El último conjunto de datos de malla que satisfaga el umbral se almacena en el modelo de diente (paso 412).

Una vez que se haya conseguido un modelo en 3D de las superficies del diente, se pueden derivar modelos de los dientes del paciente individuales. En una forma de actuar, se “cortan” los dientes individuales y otros componentes para permitir la corrección de la posición o la retirada individual de dientes en o desde los datos digitales. Después de “liberados” los componentes, se sigue una prescripción u otra especificación escrita prevista para el profesional que aplique el tratamiento, para la corrección de la posición de los dientes. Como alternativa, se puede hacer corrección de la posición de los dientes en base al aspecto visual o en base a reglas y algoritmos programados en el ordenador. Una vez creada una disposición final aceptable, se incorpora la disposición de diente final en un conjunto de datos digitales final (FDDS).

En base tanto al IDDS como al FDDS, se generan una pluralidad de conjuntos de datos digitales intermedios (INTDDS's) para que se correspondan con las sucesivas disposiciones de dientes intermedias. El sistema de aparatos para ajuste de la posición por incrementos puede ser por tanto fabricado en base a los INTDDS's, como se describe con más detalle en lo que sigue. La segmentación de los dientes individuales del modelo de dientes y la determinación de las posiciones intermedia y final de los dientes se definen también con más detalle en lo que sigue.

En la Fig. 4 se ha ilustrado una técnica representativa para la manipulación asistida por el usuario del IDDS para producir el FDDS en el ordenador. Usualmente, los datos procedentes del escáner digital se adquieren en forma de alta resolución (paso 500). Con objeto de disminuir el tiempo de ordenador necesario para generar imágenes, se puede crear (paso 502) un conjunto paralelo de datos digitales que representen el IDDS con una resolución inferior. El usuario puede manipular las imágenes de más baja resolución mientras el ordenador actualiza el conjunto de datos de alta resolución en la medida en que sea necesario. El usuario puede ver también, y manipular, el modelo de alta resolución, si el detalle extra previsto en ese modelo es de utilidad. El IDDS puede ser también convertido en una estructura de datos “quad edge” (estructura de datos de representación en ordenador de la topología de un mapa bi- o tri-dimensional) si no está ya presente en esa forma (paso 506). Una estructura de datos “quad edge” es una estructura de datos topológicos estándar definida en “*Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams*”, ACM Transactions of Graphics, Vol 4, Nº 2, Abril 1985, págs 74-123. También podrían usarse otras estructuras de datos topológicas, tal como la estructura de datos “winged edge” (representación de datos usada para describir modelos de polígonos en gráficas de ordenador).

Como paso inicial, mientras se ve la imagen tridimensional de la mandíbula del paciente, incluidos dientes, encías y otros tejidos orales, el usuario borra usualmente las estructuras que no sean necesarias para la manipulación de la imagen y la producción final de un aparato. Esas secciones no deseadas del modelo pueden ser eliminadas usando un instrumento para borrar, para efectuar una sustracción de modelación sólida (paso 508). El instrumento está representado por una caja gráfica. El volumen a ser borrado (las dimensiones, la posición y la orientación de la caja) se establece mediante el empleo por el usuario del GUI. Típicamente, como secciones no deseadas se incluirían el área de encía extraña y la base de la pieza colada escaneada originalmente. Otra aplicación para este instrumento es la de estimular la extracción de dientes y el “suavizado” de las superficies del diente. Esto es necesario cuando se necesite espacio adicional en la mandíbula para la colocación en posición final de un diente que haya de ser movido. El profesional que aplique el tratamiento puede elegir determinar qué dientes deberán ser suavizados y cuáles hayan de ser extraídos. El suavizado permite al paciente mantener los dientes cuando solamente se necesite una pequeña cantidad de espacio. Típicamente, la extracción y el alisado se usan en el planeamiento del tratamiento solo cuando hayan de ser extraídos o alisados los dientes actuales del paciente, antes de iniciar la corrección de la posición.

La retirada de las secciones no deseadas o innecesarias del molde aumenta la velocidad de tratamiento de los datos y mejora la presentación visual. Como secciones innecesarias se incluyen aquellas que no se necesitan para la preparación del aparato para corrección de la posición de los dientes. Con la retirada de esas secciones no deseadas

se disminuye la complejidad y el tamaño del conjunto de datos digitales, acelerándose así las manipulaciones del conjunto de datos y demás operaciones.

Después de que el usuario sitúe y dimensione el instrumento de borra y dé instrucciones al software para que borre la sección no deseada, todos los triángulos que estén dentro de la caja establecida por el usuario son retirados, y se modifican los triángulos limítrofes para dejar un límite lineal suave. El software borra todos los triángulos que estén dentro de la caja y recorta todos los triángulos que crucen los límites de la caja. Esto exige generar nuevos vértices en el límite de la caja. Los orificios creados en el modelo en las caras de la caja son vueltos a triangular y cerrados usando los vértices creados de nuevo.

En realizaciones alternativas, el ordenador simplifica automáticamente el modelo digital, realizando para ello las funciones orientadas hacia el usuario descritas en lo que antecede. El ordenador aplica un conocimiento de relevancia en la ortodoncia para determinar qué partes del modelo digital son innecesarias para la manipulación de la imagen.

Se usa un instrumento de sierra para definir los dientes individuales (o posiblemente grupos de dientes) que hayan de ser movidos (paso 510). El instrumento separa la imagen escaneada en componentes gráficos individuales (paso 512), permitiendo que el software mueva el diente u otras imágenes componentes con independencia de las restantes partes del modelo. Se emparejan los componentes de alta y de baja resolución (paso 514) y se colocan los componentes en sus posiciones finales (paso 516).

En una realización, el instrumento de sierra define un camino para cortar la imagen gráfica, usando para ello dos curvas de ranura en B cúbicas, que están en el espacio, posiblemente limitadas a planos paralelos, ya sea abiertas o cerradas. Un conjunto de líneas conecta las dos curvas y muestra al usuario el camino general de corte. El usuario puede evitar los puntos de control en las curvas en B cúbicas, el grosor del corte de sierra, y el número de borradores usados, como se describe en lo que sigue.

En una realización alternativa, se separan los dientes usando la sierra como un dispositivo de “enuclear”, cortando el diente desde arriba con cortes de sierra verticales. Se separa la corona del diente, así como el tejido gingival inmediatamente debajo de la corona, del resto de la configuración geométrica, y se tratan como una unidad individual a la que se designa como un diente. Cuando se mueve ese modelo, el tejido gingival se mueve con relación a la corona, creando una aproximación de primer orden del camino que volverá a formar el tejido gingival dentro de la boca del paciente.

Cada diente puede ser también separado del modelo recortado original. Además, se puede crear una base a partir del modelo recortado original, cortando para ello las coronas de los dientes. El modelo resultante se usa como base para mover los dientes. Esto facilita la fabricación final de un molde físico, a partir del molde geométrico, como se describe en lo que sigue.

Grosor: Cuando se usa un corte para separar un diente, el usuario querrá usualmente que el corte sea lo más delgado posible. Sin embargo, el usuario puede querer hacer un corte más grueso, por ejemplo cuando suavice hacia abajo los dientes circundantes, como se ha descrito en lo que antecede. Gráficamente, el corte aparece como una curva limitada por el grosor del corte por un lado de la curva.

Número de Borradores: Un corte comprende múltiples cajas borradoras dispuestas próximas entre sí como una aproximación lineal en el sentido de la pieza del camino en curva del Instrumento de Sierra. El usuario elige el número de borradores, el cual determina la sofisticación de la curva creada: cuanto mayor sea el número de segmentos tanto más exactamente seguirá el corte la curva. El número de borradores está representado gráficamente por el número de líneas paralelas que conectan las dos curvas de ranura en B cúbicas. Una vez que haya sido especificado por completo un corte de sierra, el usuario aplica el corte al modelo. El corte se efectúa como una secuencia de borrados.

En una realización, el software puede dividir automáticamente el instrumento de sierra en un conjunto de borradores, en base a una entrada de la medida de la lisura por el usuario. La sierra es subdividida para adaptación, hasta que una métrica del error mide la desviación con respecto a la representación ideal en la representación aproximada, que sea menor que un umbral especificado por el ajuste de la suavidad. Una métrica de error compara la longitud lineal de la curva subdividida con la longitud del arco de la curva de ranura ideal. Cuando la diferencia es mayor que un umbral calculado a partir del ajuste de la suavidad, se añade un punto de subdivisión a lo largo de la curva de la ranura.

También se puede prever una característica previa en el software. La característica previa presenta visualmente un corte de sierra como las dos superficies que representan los lados opuestos del corte. Esto permite al usuario considerar el corte final antes de aplicarlo al conjunto de datos del modelo.

Después de que el usuario haya completado todas las operaciones de corte deseadas con el instrumento de sierra, existen múltiples gráficos de sólidos. Sin embargo, en este punto el software no ha determinado qué triángulos de la estructura de datos “quad edge” pertenecen a qué componentes. El software elige un punto de partida aleatorio en la estructura de datos y recorre la estructura de datos usando información de la medida en que son adyacentes, para hallar todos los triángulos que están unidos entre sí, identificando un componente individual. Este proceso se repite partiendo del triángulo cuyo componente no está todavía determinado. Una vez recorrida toda la estructura de datos, han quedado identificados todos los componentes.

Para el usuario, todos los cambios hechos en el modelo de alta resolución parecen ocurrir simultáneamente en el modelo de baja resolución, y viceversa. Sin embargo, no hay una correlación de uno a uno entre los diferentes modelos de resolución. Por lo tanto, el ordenador “empareja” los componentes de alta y de baja resolución como mejor puede, sujeto a límites definidos.

El sistema puede incluir opcionalmente un subsistema de segmentación que efectúe la segmentación automática o semiautomática del modelo de dentadura en 3D en modelos de dientes individuales. El subsistema de segmentación se implementa ventajosamente como uno o más procesos de programas de ordenador que implementen un proceso de segmentación. En implementaciones alternativas, el proceso de segmentación no puede actuar en los datos de volumen en 3D ni en la malla de superficie en 3D. El proceso de segmentación aplica técnicas de detección de las características convencionales adaptadas para sacar partido de las características y de las propiedades conocidas de los dientes. Por ejemplo, los algoritmos de detección de características actúan generalmente sobre imágenes en las cuales las características a ser diferenciadas unas de otras tienen diferentes colores o matices del gris. Las características a ser detectadas están también usualmente separadas unas de otras espacialmente. Sin embargo, las características a ser detectadas en una imagen en 2D o en 3D de una pieza colada en yeso de un diente (por ejemplo, de dientes individuales y del tejido de la encía) tienen todas el mismo color (blanco), y algunas características, tales como las de un diente individual y la encía circundante, no tienen una separación espacial.

El proceso de segmentación puede ser implementado para emplear cualquiera de entre varias técnicas de detección de características y ventajosamente hace uso de una combinación de técnicas para aumentar la precisión de la identificación de la característica. En una técnica de detección de características se hace uso del análisis del color para diferenciar los objetos en base a las variaciones de color. El análisis del color puede ser usado en situaciones en las que los dientes individuales estén separados por espacios de separación lo suficientemente grandes como para que el material de encapsulación los rellene. Puesto que la pieza colada del diente y el material de encapsulación son de colores que contrastan, esos dientes aparecen en el modelo como áreas blancas separadas por delgadas tiras de negro.

En otra técnica de detección de características se hace uso del análisis de la forma para diferenciar ciertas características, tales como el diente de la encía. En general, las superficies de los dientes son lisas, mientras que las superficies de las encías tienen textura, y los dientes y las encías forman típicamente una arista en forma de U en donde se encuentran. La detección de esas características a través del análisis de forma ayuda a diferenciar el diente de la encía. El análisis de forma puede también detectar dientes individuales, por ejemplo, buscando los objetos más grandes en la imagen en 3F, o bien reconociendo las cúspides de un molar como cuatro parches aislados de un color dispuestos según un cierto patrón. En lo que sigue se describe un algoritmo de detección de cúspides.

En otras técnicas de detección de características se hace uso de bases de datos de casos conocidos o de información estadística, frente a las cuales se empareja una imagen 3D particular usando técnicas convencionales de emparejamiento de patrón de datos de imagen y de ajuste de datos. En una de tales técnicas, conocida como la de “máximo *a posteriori*” (MAP) se hace uso de las imágenes anteriores para modelar valores en píxeles correspondientes a los distintos tipos (clases) de objetos como variables aleatorias independientes, con distribuciones normales (gaussianas), cuyos parámetros (media y varianza) se seleccionan empíricamente. Para cada clase se crea un perfil de histograma basado en una distribución de Gauss con la media y la varianza especificadas. Las imágenes anteriores suministran para cada píxel y cada clase la probabilidad de que el píxel pertenezca a la clase, una medida que refleja la frecuencia relativa de cada clase. Aplicando la Regla de Bayes a cada clase, se escalan los valores de los píxeles en la imagen de entrada, de acuerdo con las probabilidades anteriores, además de por la función de distribución. El resultado es una probabilidad posterior de cada píxel pertenezca a cada clase. Según la técnica de Máximo *a Posteriori* (MAP) se selecciona entonces para cada píxel la clase que tiene la más alta probabilidad posterior, como salida de la segmentación.

Según otra técnica de detección de características, se hace uso de la detección automática de las cúspides de los dientes. Las cúspides son las proyecciones aguzadas en la superficie de masticar de un diente. En una implementación, la detección de la cúspide se efectúa en dos etapas: (1) una etapa de “detección”, durante la cual se determina un conjunto de puntos en el diente como candidatos para situaciones de las cúspides; y (2) una etapa de “rechazo”, durante la cual los candidatos del conjunto de puntos son rechazados si no satisfacen un conjunto de criterios asociados con las cúspides.

Un proceso para la etapa de “detección” se ha expuesto en la Fig. 6A. En la etapa de detección, se ve una posible cúspide como una “isla” en la superficie del diente, con la candidata a cúspide en el punto más alto de la isla. El “más alto” se mide con respecto al sistema de coordenadas del modelo, pero podría igualmente medirse con la misma facilidad con respecto al sistema de coordenadas locales de cada diente, si se efectúa la detección después de la fase de corte en el tratamiento.

El conjunto de todas las posibles cúspides se determina buscando en el modelo de diente todos los máximos locales que estén dentro de una distancia especificada de la parte superior de la caja de límite del modelo. En primer lugar, el punto más alto en el modelo se designa como la primera candidata a cúspide. Se hace pasar un plano por ese punto, perpendicular a la dirección en la que se mide la altura de un punto. Se hace bajar después el plano en una pequeña distancia predeterminada a lo largo del eje Z. A continuación, todos los vértices conectados al diente y que estén por encima del plano y en algún componente conectado, se asocian con la candidata o candidatas a cúspide. Este paso se denomina también el paso de “llenado por inundación”. A partir de cada punto de candidata a cúspide, se efectúa la “inundación” hacia fuera, haciendo que cada vértice en el molde sea visitado a este respecto como “parte de” la

candidata a cúspide correspondiente. Después de completado el paso de llenado por inundación, se examina cada vértice en el modelo. Todo vértice que esté por encima del plano y que no haya sido visitado por uno de los llenados de inundación se añade a la lista de candidatas a cúspides. Estos pasos se repiten hasta que se recorre el plano en una distancia especificada.

Aunque esta solución iterativa puede llevar más tiempo que una búsqueda de máximos locales, la solución descrita en lo que antecede conduce a una lista más corta de candidatas a cúspide. Puesto que se naja el plano en una distancia finita en cada paso, se salta por encima de los máximos locales muy pequeños que puedan tener lugar debido a datos de ruidos.

Después de la etapa de “detección”, el algoritmo de detección de cúspides procede a la etapa de “rechazo”. Un proceso para la etapa de “rechazo” se ha expuesto en la Fig. 6B. En esta etapa, se analizan las configuraciones geométricas locales alrededor de cada una de las candidatas a cúspide para determinar si posee “características que no sean similares a las de las cúspides”. Las candidatas a cúspide que presenten “características que no sean similares a las de las cúspides” se retiran de la lista de candidatas a cúspide.

Se pueden usar varios criterios para identificar las “características que no sean similares a las de las cúspides”. De acuerdo con una prueba, se usa la curvatura local de la superficie alrededor de la candidata a cúspide para determinar si la candidata posee características que no sean similares a las de las cúspides. Como se ha representado en la Fig. 6B, la obtiene aproximadamente la curvatura local de la superficie alrededor de la candidata a cúspide y luego se analiza para determinar si es demasiado grande (superficie muy aguzada) o demasiado pequeña (superficie muy plana), en cuyo caso se retira la candidata de la lista de candidatas a cúspide. Se usan valores conservadores para los valores de curvatura mínima y máxima, para asegurar que no se rechacen por error cúspides genuinas.

Según una prueba alternativa, se calcula una medida de la suavidad en base a la media normal en un área alrededor de la candidata a cúspide. Si la media normal se desvía de la normal en la cúspide en más de una cantidad especificada, se rechaza la candidata a cúspide. En una realización, se obtiene una aproximación a la desviación de un vector normal N con respecto a la normal a la cúspide CN, mediante la fórmula:

$$\text{desviación} = 1 - \text{Abs}(N - CN),$$

que es cero si no hay desviación, y 1 cuando N y CN son perpendiculares.

En ambas técnicas de segmentación, la de asistencia humana y la automatizada, el clínico puede simplificar el proceso de identificación del diente marcando para ello el modelo de diente físico antes de que sea escaneado el modelo. Al escanear, esas marcas pasan a ser parte del modelo de diente digital. Como tipos de marcas que el clínico podría incluir se incluyen marcas que identifiquen el eje de rotación de un diente, marcas que identifiquen el eje principal de un diente (por ejemplo, una línea recta marcada en el borde oclusal del diente), y marcas que identifiquen los límites entre dientes. Se usa frecuentemente una marca que identifique el eje de rotación de un diente para limitar el modo en que puede girar el diente en el curso del tratamiento. El clínico puede desear también pintar el diente en el modelo físico con varios colores, para ayudar a la segmentación del diente individual del modelo de diente digital.

El sistema puede configurarse opcionalmente para añadir raíces y superficie ocultas a los modelos de diente, para permitir una simulación más completa y precisa del movimiento del diente durante el tratamiento. En implementaciones alternativas, esta información se añade automáticamente sin ayuda humana, semi automáticamente con ayuda humana, o manualmente por un operador humano, usando una diversidad de fuentes de datos.

En algunas implementaciones, se usan sistemas de obtención de imágenes en 2D y en 3D, tales como sistemas de rayos-X, escáneres de tomografía computada (CT), y sistemas MRI, para recoger información acerca de las raíces de los dientes del paciente. Por ejemplo, varias imágenes obtenidas por rayos-X en 2D de un diente, tomadas en planos diferentes, permiten la construcción de un modelo en 3D de las raíces del diente. La información acerca de las raíces está disponible por inspección visual de la imagen radiográfica y por aplicación a los datos radiográficos de un algoritmo de identificación de las características implementado por ordenador. El sistema añade las raíces al modelo de diente, creando para ello una malla de superficie que representa las raíces. Las marcas físicas en los dientes del paciente, por ejemplo, las cavidades o las cúspides, se extraen de los datos en 2D y en 3D, y se usan para registrar las raíces en el modelo de diente. Al igual que las raíces, esas marcas pueden ser extraídas manualmente, o bien mediante el uso de un algoritmo de detección de las características.

Otra alternativa para la adición de raíces y superficies ocultas es la de modelar formas típicas de raíz y corona y modificar el modelo digital de cada diente para incluir una raíz o superficie oculta correspondiente a una forma típica. Con esta solución se supone que las raíces y las superficies ocultas de cada uno de los dientes del paciente tienen formas típicas. Se adquiere un modelo geométrico de cada forma típica, por ejemplo, mediante el acceso a una base de datos electrónica de modelos típicos de raíz y corona, creada antes de iniciar el análisis de los dientes de un paciente particular. Partes de los modelos típicos de raíz y corona se añaden a los modelos de diente individuales en la medida en que sea necesario para completar los modelos de dientes individuales.

Todavía otra alternativa para la adición de raíces y superficies ocultas es la extrapolación del modelo de diente en 3D para incluir esas características en base a las características observadas de las superficies del diente. Por ejemplo, el sistema puede usar la curvatura de un molar particular entre las puntas de las cúspides y la línea de la encía, para predecir la forma de las raíces para ese molar. En otras implementaciones, se usan datos de escaneo por rayos-X y por CT de los dientes del paciente para proporcionar puntos de comparación para extrapolación de las raíces y las superficies ocultas de los pacientes. También se pueden usar modelos de formas típicas de raíz y corona para proporcionar puntos de comparación para extrapolación de raíces y superficies ocultas.

El sistema puede incorporar también y el usuario puede en cualquier punto usar una característica de “película” para mostrar una animación del movimiento desde el estado inicial al estado que se propone como objetivo. Esto es útil para visualizar el movimiento general de los componentes en todo el proceso de tratamiento.

Como se ha descrito en lo que antecede, una interfaz de usuario adecuada para la identificación de componentes es una interfaz de usuario gráfica (GUI) interactiva tridimensional. Una GUI tridimensional es también ventajosa para la manipulación de componentes. Tal interfaz proporciona al profesional que aplique el tratamiento o al usuario una interacción instantánea y visual con los componentes del modelo digital. La GUI tridimensional proporciona ventajas sobre las interfaces que permiten solamente órdenes de bajo nivel para dirigir el ordenador para que manipule un segmento particular. En otras palabras, una GUI adaptada para manipulación es mejor en muchos aspectos que una interfaz que acepte directivas, por ejemplo, solamente del tipo: “trasladar este componente 0,1 mm a la derecha”. Tales órdenes de bajo nivel son útiles para ajuste fino, pero si fueran la única interfaz los procesos de manipulación de componentes se convertirían en una interacción que llevaría mucho tiempo y sería cansada.

Antes de, o durante, el proceso de manipulación, se pueden aumentar uno o más componentes del diente con modelos de plantilla de raíces del diente. La manipulación de un modelo de diente aumentado con una plantilla de raíces es útil, por ejemplo, en situaciones en las que preocupe el impacto de los dientes por debajo de la línea de la encía. Estos modelos de plantilla podrían comprender, por ejemplo, una representación digitalizada de las radiografías de los dientes del paciente.

El software permite también añadir anotaciones a los conjuntos de datos que pueden comprender texto y/o el número de la secuencia del aparato. La anotación se añade como texto rebajado (es decir, es de una configuración geométrica de 3D), de modo que aparezca en el modelo positivo impreso. Si se puede colocar la anotación en una parte de la boca que vaya a estar cubierta por un aparato de corrección de la posición, pero que no sea importante para el movimiento del diente, la anotación puede aparecer en el aparato (aparatos) de corrección de la posición entregado.

El antes descrito software de identificación de componentes y de manipulación de componentes está diseñado para operar con un grado de complicación proporcional al nivel de entrenamiento del operador. Por ejemplo, el software de manipulación de componentes puede ayudar a un operador del ordenador que carezca de entrenamiento en ortodoncia, proporcionando para ello realimentación en relación con las manipulaciones de los dientes que sean admisibles o que estén prohibidas. Por otra parte, un odontólogo que realice ortodoncia y que tenga gran experiencia en fisiología intraoral y en la dinámica del movimiento de los dientes, puede usar el software de identificación y manipulación de componentes simplemente como un instrumento e incapacitar o ignorar su consejo.

La Fig. 5 es una captura de pantalla de la interfaz de usuario gráfica 2000 asociada con una aplicación de visor del cliente a través de la cual el clínico que aplique el tratamiento puede ver un plan de tratamiento del paciente y alterar o comentar sobre el plan. La aplicación del visor del cliente se implementa en un programa de ordenador instalado localmente en un ordenador del cliente en el local del clínico. El programa de visión descarga un archivo de datos desde un ordenador principal remoto, tal como un servidor de protocolo de transferencia de archivos (FTP) mantenido por el diseñador del plan de tratamiento, al cual se puede acceder ya sea a través de una conexión directa o ya sea a través de una red de ordenadores, tal como la World Wide Web (Red de Ámbito Mundial). El programa del visor hace uso del archivo descargado para presentar gráficamente al clínico el plan de tratamiento. El programa del visor puede ser también usado por el diseñador del plan de tratamiento en el lugar del ordenador principal, para ver imágenes de los dientes del paciente.

En la Fig. 6 se ha representado un proceso para obtener imágenes en 3D de varias vistas para ortodoncia que pueden ser obtenidas después de que hayan sido captados y modelados digitalmente los dientes del paciente. En este proceso se genera un punto de origen, o de “mirando desde”, asociado con una vista de cámara fotográfica (paso 600). A continuación se determina un punto de “mirando hacia” o punto de foco asociado con la vista de cámara fotográfica (paso 602). En este sistema, la línea desde el “Mirando Desde el Punto” al “Mirando Hacia el Punto” define la dirección en que está disparando la cámara. Además, se determina un vector Z de cámara, o vector hacia arriba (paso 604).

En lo que sigue se muestra un pseudo código para generar varias vistas para ortodoncia. Con referencia al pseudo código, el código define una caja de límite de un molde (dos arcos) que es el menor cubo que contiene la configuración geométrica de los moldes. Otros ajustes asociados con la caja de límite incluyen:

Z_Eje: punto desde inferior a superior,

ES 2 322 879 T3

Y_Eje: punto desde dentro de ratón a dientes frontales (incisivos)

X_Eje; punto desde centro a izquierda.

5 Campo de Vista: es el ángulo abierto, corresponde a la lente

Medio Campo de Vista: Campo de Vista * 0,5

Molde Centro: Centro de la Caja de Límite

10 X_Longitud: Dimensión X de Caja de Límite

Y_Longitud: Dimensión Y de Caja de Límite

15 Z_Longitud: Dimensión Z de Caja de Límite

X_MIN: valor mínimo de X de la Caja de Límite, es decir, valor X del cubo de la superficie más a la derecha

X_MAX: valor máximo de X de la Caja de Límite

20 Y_MIN: valor mínimo de Y de la Caja de Límite

Y_MAX: valor máximo de Y de la Caja de Límite

25 Z_MIN: valor mínimo de Z de la Caja de Límite

Z_MAX: valor máximo de Z de la Caja de Límite

30 *Solapamiento bucal derecho*

35 **Cámara Mirando Desde el Punto**

$$X = 0,5 * \text{Molde Centro } X + 0,5 * X_{\text{Max}} + 0,25 *$$

40 $\text{Max}(Y_{\text{Longitud}}, Z_{\text{Longitud}}) / \tan(\text{Medio Campo de Vista}):$

$$Y = \text{Molde Centro.}Y$$

$$Z = \text{Molde Centro.}Z - 0,25 * \text{MAX}(Y_{\text{Longitud}},$$

45 $Z_{\text{longitud}}) / \tan (\text{Medio Campo de Vista});$

Cámara Mirando Hacia el Punto:

$$X = \text{Molde Centro.}X \pm 0,25 * X_{\text{Longitud}};$$

50 $Y = \text{Molde Centro.}Y;$

$$Z = \text{Molde Centro.}Z;$$

Vector Hacia Arriba de la Cámara:

55 Z_{Eje}

60

65

Solapamiento anterior

5 Cámara Mirando Desde el Punto:

$X = \text{Molde Centro.X};$

$Y = 0,5 * \text{Molde Centro.Y} + 0,5 * Y_{\text{max}} + 0,25 * \text{MAX}(X_{\text{Longitud}}, Z_{\text{Longitud}}) / \tan(\text{Medio Campo de Vista});$

10 $Z = \text{Molde Centro.Z} - 0,25 * \text{MAX}(X_{\text{Longitud}}, Z_{\text{Longitud}}) / \tan(\text{Medio Campo de Vista});$

15 Cámara Mirando Hacia el Punto:

$X = \text{Molde Centro.X};$

$Y = \text{Molde Centro.Y} + 0,25 * Y_{\text{Longitud}};$

20 $Z = \text{Molde Centro.Z}$

25 Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje

30 *Solapamiento bucal izquierdo*

Cámara Mirando Desde el Punto

35 $X = 0,5 * \text{Molde Centro.X} + 0,5 * X_{\text{Min}} - 0,25 * \text{MAX}(Y_{\text{Longitud}}, Z_{\text{Longitud}}) / \tan(\text{Medio Campo de Vista}).$

$Y = \text{Molde Centro.Y};$

40 $Z = \text{Molde Centro.Z} - 0,25 * \text{MAX}(Y_{\text{Longitud}}, Z_{\text{Longitud}}) / \tan(\text{Medio Campo de Vista});$

45 Cámara Mirando Hacia el Punto:

$X = \text{Molde Centro.X} - 0,25 * X_{\text{Longitud}};$

$Y = \text{Molde Centro.Y};$

50 $Z = \text{Molde Centro.Z};$

Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje

55

60

65

ES 2 322 879 T3

Distal_molar izquierda

Cámara Mirando Desde el Punto:

$$\begin{aligned} X &= \text{Molde Centro.X} - 0,25 * X_Longitud; \\ Y &= Y_MIN - 0,25 * \text{MAX}(X_Longitud, \\ &Z_Longitud / \tan(\text{Medio Campo de Vista})) \\ Z &= \text{Molde Centro.Z}; \end{aligned}$$

Cámara Mirando Hacia el Punto:

$$\begin{aligned} X &= \text{Molde Centro.X} - 0,25 * X_Longitud; \\ Y &= \text{Molde Centro.Y}; \\ Z &= \text{Molde Centro.Z}; \end{aligned}$$

Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje

Lingual izquierda

Cámara Mirando Desde el Punto:

$$\begin{aligned} X &= \text{Molde Centro.X} + 0,125 * X_Longitud; \\ Y &= \text{Molde Centro.Y}; \\ Z &= \text{Molde Centro.Z}; \end{aligned}$$

Cámara Mirando Hacia el Punto:

$$\begin{aligned} X &= \text{Molde Centro.X} - 0,25 * X_Longitud; \\ Y &= \text{Molde Centro.Y}; \\ Z &= \text{Molde Centro.Z}; \end{aligned}$$

Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje

Lingual de incisivo

Cámara Mirando Desde el Punto:

$$\begin{aligned} X &= \text{Molde Centro.X}; \\ Y &= \text{Molde Centro.Y}; \\ Z &= \text{Molde Centro.Z}; \end{aligned}$$

Cámara Mirando Hacia el Punto:

$$\begin{aligned} X &= \text{Molde Centro.X}; \\ Y &= \text{Molde Centro.Y} + 0,25 * Y_Longitud; \\ Z &= \text{Molde Centro.Z}; \end{aligned}$$

Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje;

Lingual derecha

Cámara Mirando Desde el Punto:

5 $X = \text{Molde Centro.X} + 0,125 * X_Longitud;$
 $Y = \text{Molde Centro.Y};$
 $Z = \text{Molde Centro.Z};$

Cámara Mirando Hacia el Punto:

10 $X = \text{Molde Centro.X} + 0,25 * X_Longitud;$
 $Y = \text{Molde Centro.Y};$
 $Z = \text{Molde Centro.Z};$

Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje;

20

Molar distal derecho

Cámara Mirando Hacia el Punto:

25 $X = \text{Molde Centro.X} - 0,25 * X_Longitud;$
 $Y = Y_MIN - 0,25 * MAX(X_Longitud,$
30 $Z_Longitud) / \tan(\text{Medio Campo de Vista});$
 $Z = \text{Molde Centro.Z};$

Cámara Mirando Hacia el Punto:

35 $X = \text{Molde Centro.X} + 0,25 * X_Longitud;$
 $Y = \text{Molde Centro.Y};$
 $Z = \text{Molde Centro.Z};$

40

Vector Hacia Arriba - Cámara: Z Eje;

45 Las ocho vistas con las cuales se han evaluado los modelos virtuales de tratamiento se han representado en lo que sigue en las Figs. 7 - 14. En la Fig. 7 se ha representado una vista que sirve de ejemplo del solapamiento bucal derecho del paciente. Esta figura representa el ajuste mutuo ideal del canino mandibular, la bicúspide y los molares derechos con el canino, las bicúspides y los molares derechos. La Fig. 7 permite a los usuarios evaluar varios aspectos de la clasificación de Angle.

50

La Fig. 8 es una vista que sirve de ejemplo del solapamiento bucal izquierdo del paciente. La vista representa el ajuste mutuo ideal del canino, las bicúspides y los molares maxilares izquierdos con el canino, las bicúspides y los molares mandibulares izquierdos. La Fig. 8 permite también una evaluación de la clasificación de Angle. La Fig. 9 es una vista que sirve de ejemplo del solapamiento anterior del paciente, y muestra en qué medida están adelantados los incisivos maxilares con respecto a los incisivos mandibulares. La Fig. 9 permite al usuario evaluar la línea media. La Fig. 10 presenta una vista que sirve de ejemplo del molar distal derecho del paciente. En esta figura se muestra la relación de cúspide y fosa entre los molares maxilares y los mandibulares.

55

La Fig. 11 presenta una vista que sirve de ejemplo del molar distal izquierdo de los dientes del paciente. La vista de la Fig. 11 muestra la relación de cúspide y fosa entre los molares maxilares y los mandibulares. La Fig. 12 presenta una vista lingual de incisivo de los dientes del paciente que sirve de ejemplo. La vista ilustra cómo se relaciona el borde de incisivo de los incisivos mandibulares con el aspecto lingual de los incisivos maxilares, y permite una evaluación de la línea media.

60

La Fig. 13 presenta una vista lingual derecha y proporciona un primer plano de la intercalación de las cúspides del segmento posterior derecho desde el aspecto lingual. La Fig. 13 permite visualizar las cúspides ML (mesio-linguales) de los molares maxilares y su relación con las fosas de los molares mandibulares.

65

La Fig. 14 presenta la vista lingual izquierda de los dientes del paciente. Muestra un primer plano de la intercalación de las cúspides del segmento posterior izquierdo en el aspecto lingual y permite visualizar las cúspides ML (mesio-linguales) de los molares maxilares y su relación con las fosas de los molares mandibulares.

Además de las anteriores vistas, se pueden generar otras vistas, por ejemplo, la Fig. 15 que presenta una vista anterior, la Fig. 16 que presenta una vista oclusal maxilar, y la Fig. 17 que presenta una vista oclusal mandibular, respectivamente.

Los datos descargados por el programa del visor contienen un conjunto fijo de posiciones de tratamiento clave, incluyendo el IDDS y el FDDS, que definen el plan de tratamiento para los dientes del paciente. El programa del visor proporciona el IDDS o el FDDS para presentar una imagen de los dientes del paciente en las posiciones inicial y final. El programa del visor puede presentar simultáneamente una imagen de los dientes en sus posiciones iniciales (imagen inicial 2002) y de las posiciones finales de los dientes (imagen final 2004).

Puesto que el archivo de datos contiene una gran cantidad de datos, el software de descarga en el ordenador principal remoto emplea una técnica de “nivel de detalle”, para organizar la descarga en grupos de datos con niveles de detalle que van aumentando gradualmente, como se describe en lo que sigue. El programa del visor hace uso del conocimiento de relevancia para la ortodoncia, para hacer que las áreas menos importantes de la imagen tengan una menor calidad que las que proporciona de las áreas más importantes. El uso de estas técnicas reduce el tiempo requerido para generar una sola imagen ofrecida de los modelos de dientes y el tiempo requerido para presentar una imagen ofrecida en la pantalla después de haberse iniciado la descarga.

En las Figs. 18 y 19 se ha ilustrado el uso de la técnica de “nivel de detalle”, mediante el software de descarga en el ordenador principal remoto. El software transfiere los datos en varios grupos, cada uno de los cuales añade detalles por incrementos para la imagen de los dientes ofrecida. El primer grupo incluye típicamente solo los datos suficientes para ofrecer una representación poligonal aproximada de los dientes del paciente. Por ejemplo, si se trata un diente como un cubo que tiene seis caras, El diente puede ofrecerse rápidamente como un rombo 2100 que tiene seis puntos 2102a - f, estando uno en cada cara del cubo (Fig. 18). El software de descarga inicia la descarga suministrando unos pocos puntos para cada diente, los cuales usa el programa de interfaz para ofrecer inmediatamente representaciones poligonales de los dientes.

El software de descarga entrega después un segundo grupo de datos que añade detalles adicionales a las imágenes de los dientes ofrecidas. Este grupo añade típicamente puntos que permiten una representación esférica 2106 de los dientes (Fig. 19). A medida que continúa la descarga, el software va entregando grupos adicionales de datos, que cada uno añade un nivel de detalle a la imagen ofrecida de los dientes, hasta que se ofrecen los dientes completados.

El software de descarga aumenta también la velocidad de descarga y de ofrecimiento, al identificar y retener los datos que no sean críticos para formar una imagen ofrecida de los dientes. Esto incluye datos para la superficie del diente oscurecida por otros dientes o por tejido. El software aplica reglas basadas en la estructura de la ortodoncia común, para determinar qué datos son descargados y cuáles son retenidos. La retención de datos de esta manera reduce el tamaño del archivo descargado, y reduce por lo tanto el número de puntos de datos que debe tener en cuenta el programa de interfaz cuando ofrezca las imágenes inicial y final.

El programa del visor mejora también la velocidad de ofrecimiento, reduciendo para ello la cantidad de datos ofrecidos. Al igual que el software de descarga, el programa del visor aplica reglas de importancia para la ortodoncia, para determinar qué áreas de la imagen pueden ser ofrecidas con una menor calidad. Por ejemplo, el clínico que aplique el tratamiento no desea usualmente ver en detalle el tejido de la encía, por lo que el programa del visor ofrece las encías con una baja resolución como superficies lisas, ignorando los datos que conserven la textura de las encías. Típicamente, el programa del visor ofrece las áreas menos importantes con una menor resolución antes de ofrecer las áreas más importantes con una más alta resolución. El clínico puede requerir que se ofrezca una alta resolución de toda la imagen.

Como se ha ilustrado en las Figs. 5 - 6, y se analiza en lo que sigue, el programa del visor presenta una imagen inicial 2002 de los dientes y, si lo requiere el clínico, una imagen final 2004 de los dientes tal como aparecerán después del tratamiento. El clínico puede girar las imágenes en tres dimensiones para ver las diversas superficies de los dientes, y el clínico puede saltar a la imagen de cualquiera de las vistas desde de varios ángulos de vista previamente definidos. Como se ha visto con más detalle en lo que antecede, juntamente con las Figs. 7 - 17, esos ángulos de vista incluyen las vistas frontal, posterior, superior, inferior y laterales estándar, así como los ángulos de vista específicos de la ortodoncia, tales como las vistas lingual, bucal, facial, oclusal y de los incisivos.

El programa del visor incluye también una rutina de animación que proporciona una serie de imágenes que muestran las posiciones de los dientes en cada paso intermedio a lo largo de la línea de tratamiento. El clínico controla la rutina de animación a través de una metáfora de VCR (Grabadora de Vídeo Casete), la cual proporciona botones de control similares a los de una grabadora de vídeo casete convencional. En particular, la metáfora de VCR incluye un botón 2006 de “poner en funcionamiento” que, cuando se selecciona, hace que la rutina de animación vaya escalonadamente a través de todas las imágenes a lo largo de la línea de tratamiento. Una barra de guía 2008 se mueve horizontalmente en una distancia predeterminada con cada imagen sucesiva presentada. Cada posición de la barra de guía 2008 y cada imagen de la serie corresponde a uno de los pasos de tratamiento intermedios descritos en lo que antecede.

La metáfora de VCR incluye también un botón 2010 de “paso hacia delante” y un botón 2012 de “paso de retroceso”, que permite al clínico avanzar hacia delante hacia atrás un paso en la serie de imágenes, avanzando cada vez un cuadro de clave o paso del tratamiento, así como un botón 2014 de “avance rápido” y un botón 2016 de “retroceso rápido”, que permiten al clínico saltar inmediatamente a la imagen final 2004 o a la imagen inicial 2002, respectivamente. El clínico puede también saltar inmediatamente a cualquier imagen de la serie, situando para ello la barra de guía 2008 en el lugar apropiado.

Como se ha descrito en lo que antecede, el programa del visor recibe un subconjunto fijo de posiciones clave, incluyendo el IDDS y el FDDS, desde el ordenador principal remoto. A partir de esos datos, la rutina de animación deduce las curvas de transformación requeridas para presentar los dientes en los pasos intermedios del tratamiento, usando cualquiera de entre una diversidad de técnicas matemáticas. Una técnica es la de invocar el programa de generación de la línea descrito en lo que antecede. En esta situación, el programa del visor incluye el código del programa de generación de la línea. La rutina de animación invoca ese código, ya sea cuando se reciben por primera vez las posiciones clave descargadas, o ya sea cuando el usuario invoque la rutina de animación.

El programa del visor permite al clínico alterar la imagen ofrecida, manipulando para ello la imagen gráficamente. Por ejemplo, el clínico puede corregir la posición de un diente individual usando un ratón para hacer clic y arrastrar o hacer girar el diente a una posición deseada. En algunas implementaciones, la corrección de la posición de un diente individual altera solamente la imagen ofrecida; en otras implementaciones, la corrección de la posición de un diente de esta manera modifica el conjunto de datos subyacentes. En esta última situación, el programa del visor realiza la detección de colisión para determinar si la alteración que se intenta es válida y, si no lo es, notifica inmediatamente al clínico. Como alternativa, el programa del visor modifica el conjunto de datos subyacentes y descarga luego el conjunto de datos alterados al ordenador principal remoto, el cual realiza el algoritmo de detección de colisión. El clínico puede también proporcionar realimentación textual al ordenador principal remoto, a través de una caja de diálogo 2018 en la presentación de interfaz 2000. El texto entrado en la caja de diálogo 2018 se almacena como un objeto de texto, y se descarga más adelante al ordenador principal remoto, o bien, como alternativa, se entrega al ordenador principal remoto inmediatamente a través de una conexión existente.

El programa del visor permite opcionalmente al clínico aislar la imagen de un diente particular y ver el diente separado de los demás dientes. El clínico puede también cambiar el color de un diente individual o de un grupo de dientes en una sola imagen ofrecida, o bien a través de la serie de imágenes. Esta característica proporciona al clínico una mejor comprensión del comportamiento de los dientes individuales durante el curso del tratamiento.

Otra característica del programa del visor permite al clínico recibir información acerca de un diente específico o de una parte específica del modelo cuando lo ordene, por ejemplo, mediante la selección con un ratón del área de interés. Los tipos de información disponibles incluyen tipo de diente, distancia entre dientes adyacentes, y fuerzas (magnitudes y direcciones) ejercidas sobre los dientes por el alineador o por otros dientes. Se usan las técnicas de análisis de elementos finitos para calcular las fuerzas ejercidas sobre los dientes. El clínico puede también requerir presentaciones gráficas de cierta información, tal como un gráfico de las fuerzas ejercidas sobre un diente durante todo el curso del tratamiento, o bien un gráfico que presente los movimientos que efectuará un diente entre los pasos en la línea del tratamiento. El programa del visor incluye también, opcionalmente, “calibres virtuales”, un instrumento gráfico que permite al clínico seleccionar dos puntos en la imagen ofrecida y recibir una presentación que indique la distancia entre esos dos puntos.

La Fig. 20 es un diagrama bloque simplificado de un sistema de procesamiento de datos 300 que puede ser usado para desarrollar planes de tratamiento de ortodoncia. El sistema de procesamiento de datos 300 incluye típicamente al menos un procesador 302, que comunica con una serie de dispositivos periféricos por medio de un subsistema de bus 304. Estos dispositivos periféricos incluyen típicamente un subsistema de almacenamiento 306 (subsistema de memoria 308 y subsistema de almacenamiento de archivos 314), un conjunto de dispositivos de entrada y salida de interfaz del usuario 318, y una interfaz a redes exteriores 316, incluidas la red telefónica pública. Esa interfaz se ha representado esquemáticamente como el bloque 316 de “Interfaz de Módems y Red”, y está acoplada a dispositivos de interfaz correspondientes en otros sistemas de procesamiento de datos por medio de la interfaz de red de comunicación 324. El sistema de procesamiento de datos 300 podría ser un terminal o un ordenador personal de alta gama, una estación de trabajo o un ordenador principal.

Los dispositivos de entrada de interfaz del usuario incluyen típicamente un teclado, y pueden incluir además un dispositivo indicador y un escáner. El dispositivo indicador puede ser un dispositivo indicador indirecto, tal como un ratón, una bola seguidora, un “touchpad” (dispositivo táctil de entrada), o una tableta gráfica, o bien un dispositivo de indicación directo, tal como una pantalla táctil incorporada en la presentación, o bien un dispositivo de indicación tridimensional, tal como el dispositivo de indicación giroscópico descrito en la Patente de EE.UU. N° 5.440.326; también se pueden usar otros tipos de dispositivo de entrada de interfaz de usuario, tales como los sistemas de reconocimiento de voz.

Como dispositivos de salida de interfaz de usuario se incluyen típicamente una impresora y un subsistema de presentación, el cual incluye un controlador de presentación y un dispositivo de presentación acoplado al controlador. El dispositivo de presentación puede ser un tubo de rayos catódicos (CRT), un dispositivo de panel plano, tal como una presentación en cristal líquido (LCD), o bien un dispositivo de proyección. El subsistema de presentación puede proporcionar también una presentación no visual, tal como una salida de audio.

El subsistema de almacenamiento 306 mantiene la programación básica requerida y construye datos. Los módulos del programa antes considerados son típicamente almacenados en el subsistema de almacenamiento 306. El subsistema de almacenamiento 306 comprende típicamente el subsistema de memoria 308 y el subsistema de almacenamiento en archivos 314.

El subsistema de memoria 308 incluye típicamente una serie de memorias que incluyen una memoria de acceso directo (RAM) principal 310 para almacenamiento de instrucciones y datos durante la ejecución del programa, y una memoria de solo lectura (ROM) 312, en la cual se almacenan las instrucciones fijas. En el caso de los ordenadores personales compatibles Macintosh la ROM incluiría partes del sistema operativo; en el caso de ordenadores personales compatibles IBM, ésta incluiría el BIOS (Sistema Básico de Entrada/Salida).

El subsistema de almacenamiento de archivos 314 proporciona almacenamiento persistente (no volátil) para programas y archivos de datos, e incluye típicamente al menos una unidad de disco duro y al menos una unidad de disco flexible (con medios asociados que pueden retirarse). Puede haber también otros dispositivos tales como una unidad de CD-ROM, y unidades ópticas (todas con sus medios asociados que pueden retirarse). Además, el sistema puede incluir unidades del tipo con cartuchos de medios que pueden retirarse. Los cartuchos de medios que pueden retirarse pueden ser, por ejemplo, cartuchos de disco duro, tales como los comercializados por la firma Syquest y por otras, y cartuchos de disco flexible, tales como los comercializados por Iomega. Una o más de las unidades pueden estar situadas en un lugar remoto, tal como en un servidor o en una red de área local, o en un lugar en la World Wide Web de Internet.

En este contexto, la denominación de “subsistema de bus” se usa genéricamente para incluir cualquier mecanismo para permitir que los varios componentes y subsistemas se comuniquen entre sí como se pretende. Con la excepción de los dispositivos de entrada y de presentación, los demás componente no han de estar necesariamente en el mismo lugar físico. Así, por ejemplo, partes del sistema de almacenamiento de archivos podrían estar conectadas por varios medios de red de área local o de red de área amplia, incluidas las líneas telefónicas. Análogamente, los dispositivos de entrada y de presentación no han de estar necesariamente en el mismo lugar en que esté el procesador, aunque se prevé que se usen típicamente ordenadores personales y estaciones de trabajo.

El subsistema de bus 304 se ha representado esquemáticamente como un solo bus, pero un sistema típico tiene una serie de buses, tales como un bus local y uno o más buses de expansión (por ejemplo, ADB, SCSI, ISA, EISA, MCA, NuBus, o PCI), así como puertos en serie y en paralelo. Las conexiones de red se establecen usualmente a través de un dispositivo tal como el adaptador de red en uno de esos buses de expansión o en un módem en un puerto en serie. El ordenador del cliente puede ser un sistema de sobremesa, o bien un sistema portátil.

El escáner 320 es el responsable de escanear las piezas coladas de los dientes del paciente obtenidas ya sea del paciente o ya sea de un odontólogo que practique la ortodoncia, y proporcionar la información del conjunto de datos digitales escaneados al sistema de procesamiento de datos 300, para su posterior tratamiento. En un ambiente distribuido, el escáner 320 puede estar situado en un lugar remoto y comunicar la información del conjunto de datos digitales escaneados al sistema de procesamiento de datos 300 por medio de la interfaz de red 324.

La máquina de fabricación 322 fabrica aparatos dentales basados en la información del conjunto de datos intermedios y finales recibida del sistema de procesamiento de datos 300. En un ambiente distribuido, la máquina de fabricación 322 puede estar situada en un lugar remoto y recibir la información del conjunto de datos del sistema de procesamiento de datos 300 por medio de la interfaz de red 324.

Se ha descrito el invento en términos de realizaciones particulares. Otras realizaciones están dentro del alcance de las reivindicaciones que siguen. Por ejemplo, las técnicas de escaneado tridimensional descritas en lo que antecede pueden ser usadas para analizar las características materiales, tales como la contracción y la expansión de los materiales que forman las piezas coladas de dientes y los alineadores. También, los modelos de dientes en 3D y la interfaz gráfica descrita en lo que antecede pueden ser usados para ayuda a los clínicos que tratan a los pacientes con tirantes convencionales u otros aparatos para ortodoncia convencionales, en cuyo caso se modifican en consecuencia las limitaciones aplicadas al movimiento de los dientes. Además, los modelos de dientes pueden ser señalados en un lugar de la red de protocolo de transferencia de hipertexto (http) para un acceso limitado por los correspondientes pacientes y clínicos que apliquen los tratamientos.

REIVINDICACIONES

1. Un método para presentar una vista para ortodoncia de los dientes del paciente, que comprende: captar datos tridimensionales (3D) asociados con los dientes del paciente; determinar un punto de vista para los dientes del paciente; aplicar una transformación posicional a los datos en 3D basada en el punto de vista; ofrecer una representación gráfica de los dientes del paciente basada en la transformación posicional;

determinar una línea de tratamiento para los dientes del paciente y actualizar, animándola, la representación gráfica de los dientes, para proporcionar una presentación visual de la posición de los dientes a lo largo de la línea de tratamiento.

2. El método según la reivindicación 1, que comprende además generar al menos una vista de entre una vista del solapamiento bucal derecho de los dientes del paciente, una vista del solapamiento anterior de los dientes del paciente; una vista del solapamiento bucal izquierdo de los dientes del paciente; una vista molar distal izquierda de los dientes del paciente; una vista lingual izquierda de los dientes del paciente; una vista de los incisivos lingual de los dientes del paciente; una vista lingual derecha de los dientes del paciente y una vista distal derecha de los dientes del paciente.

3. El método según las reivindicaciones 1 y 2, que comprende además ofrecer una representación gráfica en 3D de los dientes en la posición correspondiente a un conjunto de datos seleccionados.

4. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además aplicar una compresión a nivel de detalle del conjunto de datos seleccionados para ofrecer la representación gráfica de los dientes.

5. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además recibir una instrucción de un usuario humano para modificar la representación gráfica de los dientes.

6. El método según la reivindicación 5, que comprende además modificar el conjunto de datos seleccionados, en respuesta a la instrucción procedente del usuario.

7. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además proporcionar una interfaz gráfica, con componentes que representan los botones de control de una grabadora de vídeo casetes, la cual puede manipular el usuario humano para controlar la animación.

8. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además usar solamente una parte de los datos del conjunto de datos seleccionados, para obtener la representación gráfica de los dientes.

9. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además permitir que un usuario humano seleccione un diente en la representación gráfica y, en respuesta, presentar la información acerca del diente.

10. El método según la reivindicación 9, en el que la información se refiere al movimiento que experimentará el diente mientras se mueve a lo largo de la línea de tratamiento.

11. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la representación gráfica que se ofrece comprende ofrecer los dientes según uno seleccionado de los múltiples ángulos de visión específicos de la ortodoncia.

12. El método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además recibir una señal de entrada desde un dispositivo de entrada giroscópico en 3D, controlado por un usuario humano, y usar la señal de entrada para alterar la orientación de los dientes en la representación gráfica.

13. Un programa de ordenador que reside en un medio de almacenamiento tangible, para uso para presentar una vista para ortodoncia de los dientes de un paciente, comprendiendo el programa instrucciones ejecutables operables para hacer que un ordenador ejecute un método según se ha reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

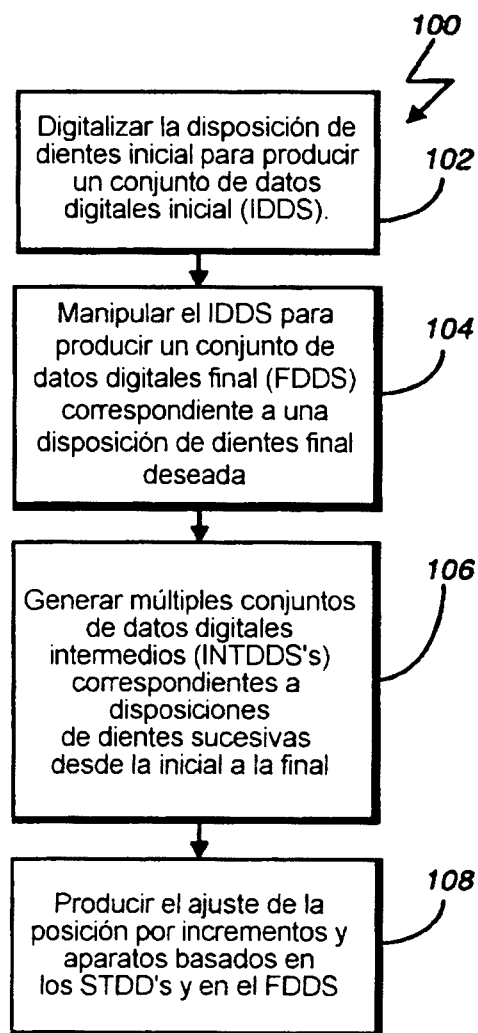


FIG. 1

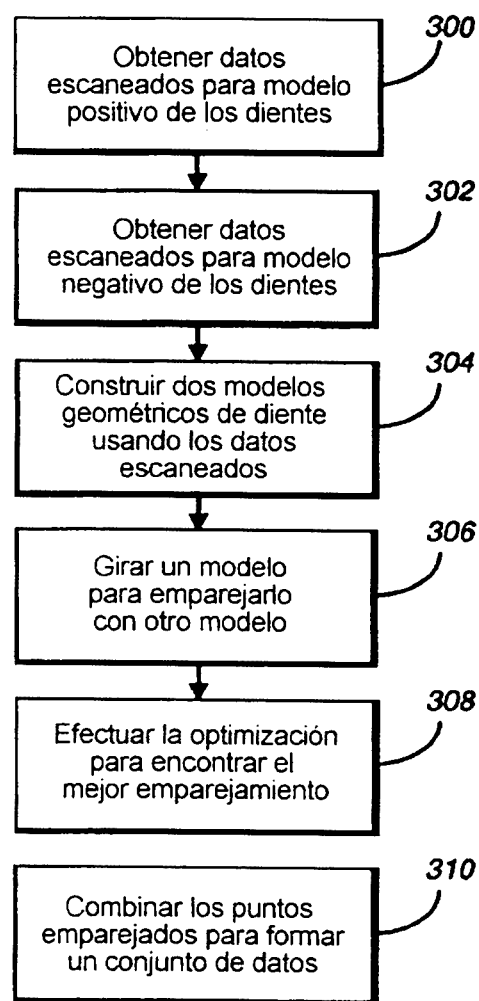


FIG. 2

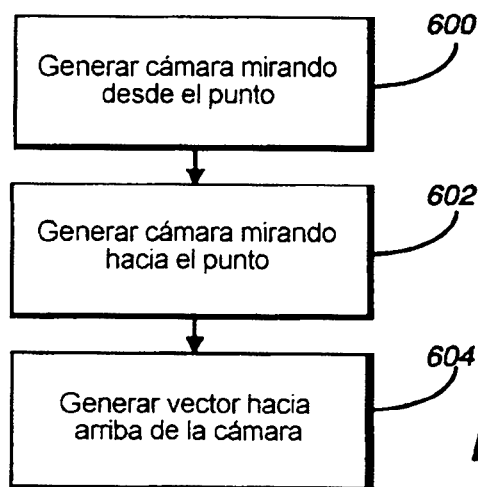


FIG. 6

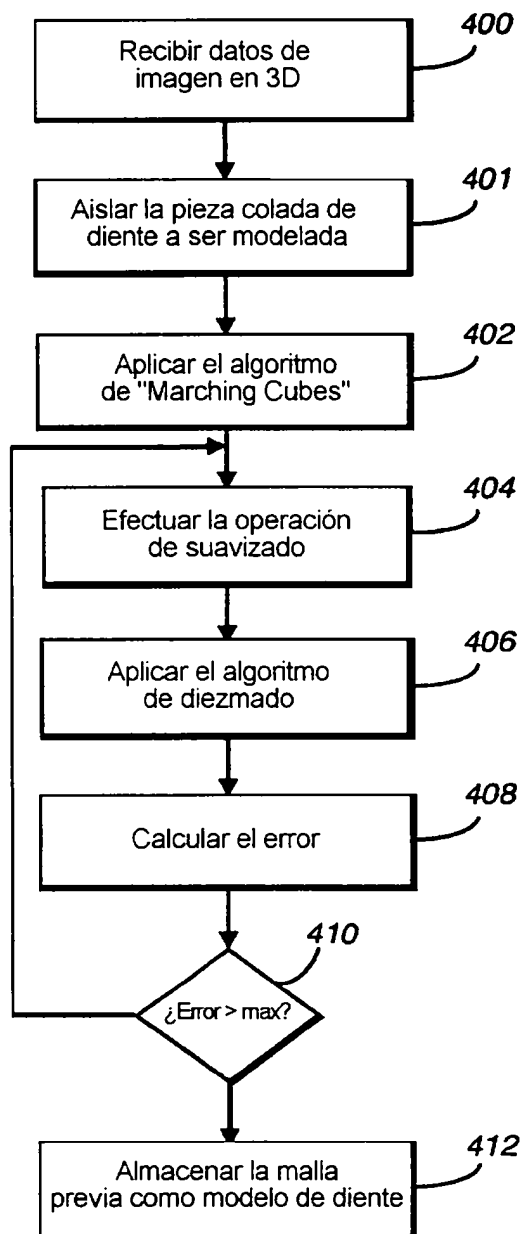


FIG._3

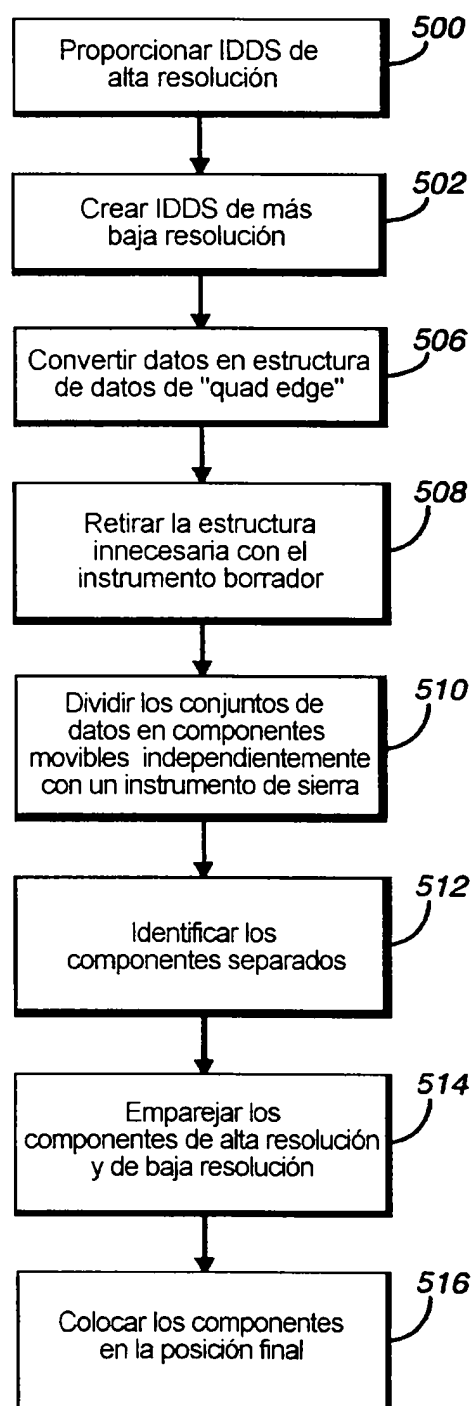


FIG._4

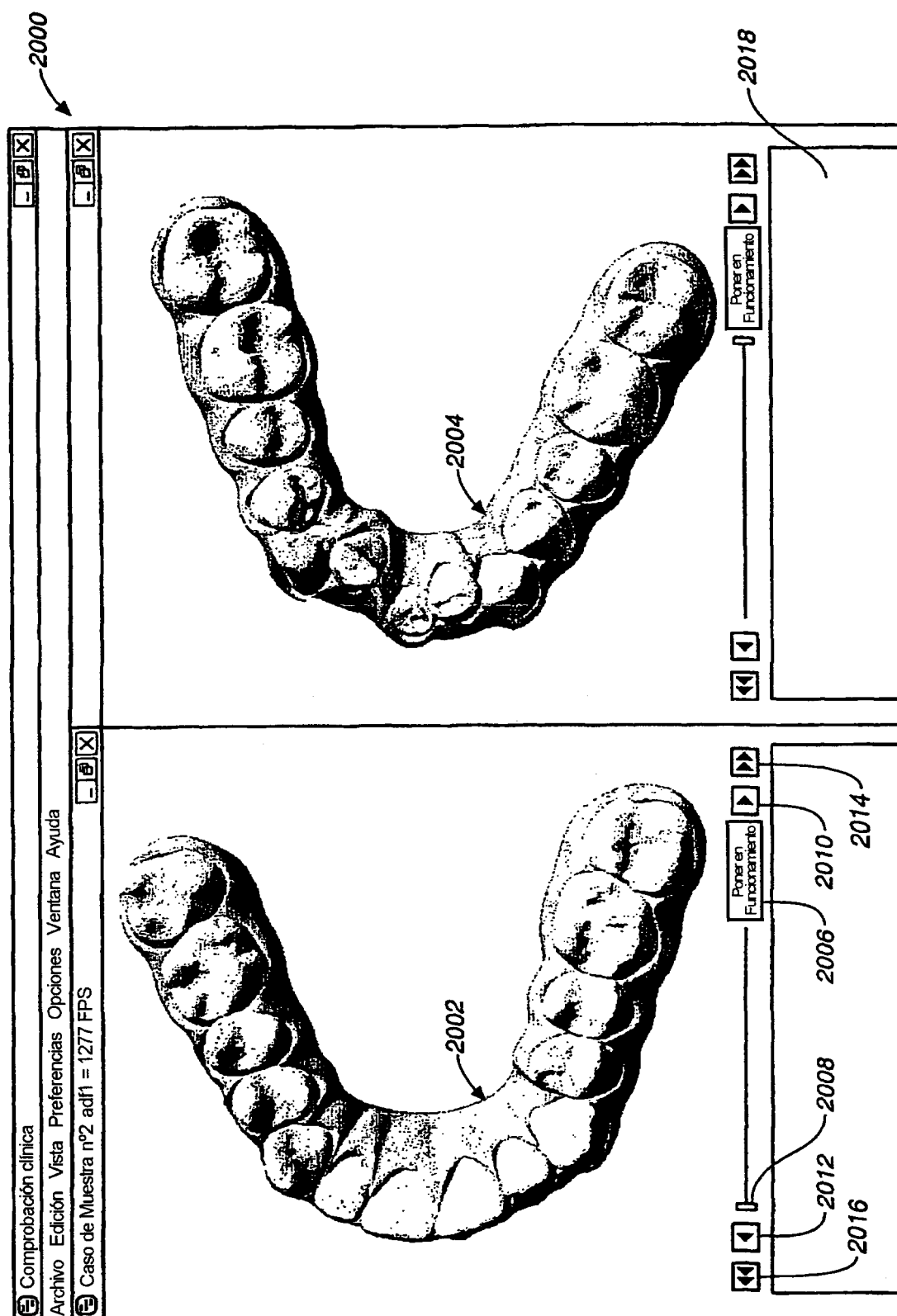
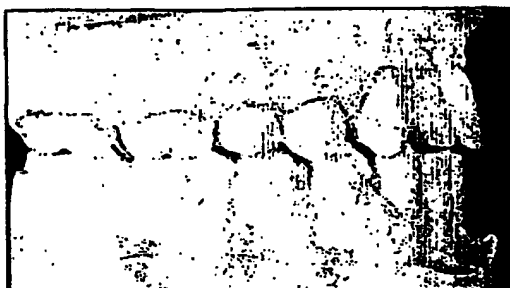
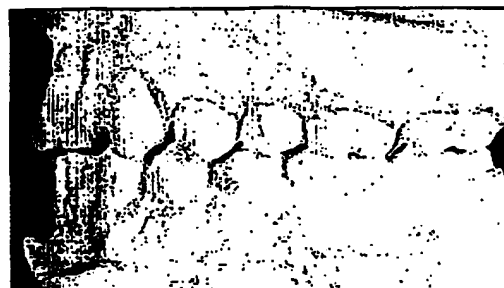


FIG. 5



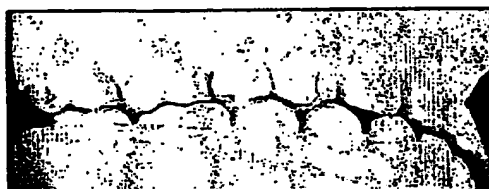
BUCAL DERECHA

FIG._7



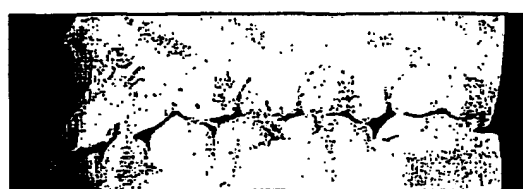
BUCAL IZQUIERDA

FIG._8



SOLAPAMIENTO BUCAL DERECHO

FIG._11



SOLAPAMIENTO IZQUIERDO

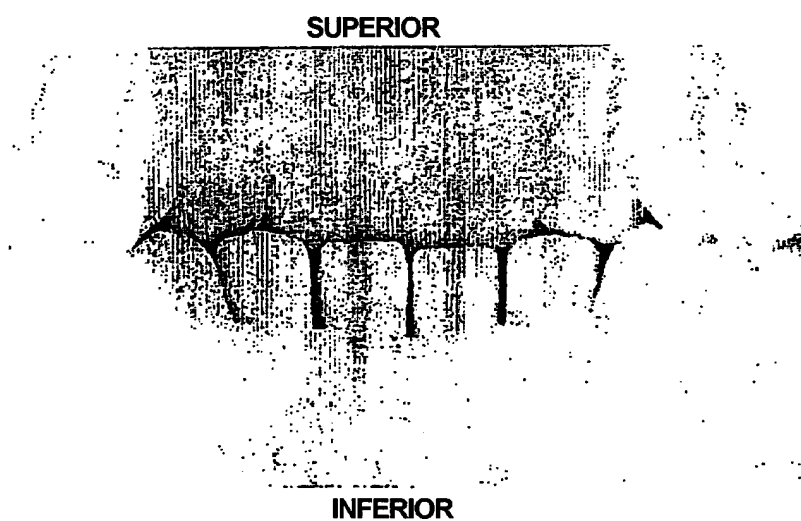
FIG._10

FIG._9



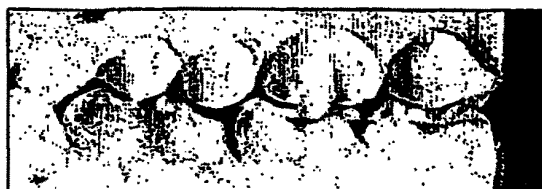
SOLAPAMIENTO ANTERIOR

FIG._12



SUPERIOR

INFERIOR



LINGUAL DERECHA

FIG._ 13



LINGUAL IZQUIERDA

FIG._ 14



ANTERIOR

FIG._ 15



OCLUSAL MAXILAR

FIG._ 16



OCLUSAL MANDIBULAR

FIG._ 17

