



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 328 876**

51 Int. Cl.:
G06T 17/40 (2006.01)
A61C 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **99954818 .3**
96 Fecha de presentación : **08.10.1999**
97 Número de publicación de la solicitud: **1191898**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **03.04.2002**

54 Título: **Plan de tratamiento de realineación de dientes.**

30 Prioridad: **13.05.1999 US 313289**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
18.11.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
18.11.2009

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

72 Inventor/es: **Chishti, Muhammad, Ziaullah, Khan y**
Wen, Huafeng

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

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

Plan de tratamiento de realineación de dientes.

5 Antecedentes

1. Campo de la invención

La invención se refiere en general al campo de la ortodoncia, y más en particular, a un desarrollo automatizado por ordenador de un plan y aparato ortodóntico de tratamiento ortodóntico.

El reposicionamiento de los dientes por razones estéticas o de otro tipo se consigue convencionalmente con el uso de lo que comúnmente se denominan "aparatos correctores". Los aparatos correctores comprenden una variedad de aparatos ortodónticos tales como soportes, arcos, ligaduras y juntas. Fijar los aparatos ortodónticos a los dientes de un paciente es una tarea tediosa y lenta que requiere muchas visitas al ortodoncista que realiza el tratamiento. Como consecuencia, el tratamiento ortodóntico convencional limita la capacidad del paciente del ortodoncista y hace que el tratamiento ortodóntico sea bastante caro. De esta manera, la utilización de aparatos correctores convencionales es un proceso tedioso y lento y requiere muchas visitas a la consulta del ortodoncista. Además, desde la perspectiva del paciente, la utilización de aparatos correctores es poco estética, incómoda, presenta un riesgo de infección y hace que el cepillado, la limpieza con seda dental y otros procedimientos de higiene dental sean dificultosos.

2. Descripción de la técnica antecedente

Los posicionadores de dientes para el acabado de los tratamientos ortodónticos son descritos por Kesling en la publicación *Am. J. : Orthod. Oral. Surg* 31:297-304 (1945) y 32:285-293 (1946). La utilización de posicionadores de silicona para la realineación ortodóntica comprensiva de los dientes en pacientes es descrita por Warunek *et al.* (1989) en la publicación *J. Clin. Orthod.* 23:694-700. Retenedores de plástico transparentes para acabar y mantener las posiciones de los dientes se encuentran disponibles comercialmente en Raintree Essix, Inc., New Orleans, Louisiana 70125, y en Tru-Tain Plastics, Rochester, Minnesota 55902. La fabricación de posicionadores ortodónticos se describe en las patentes norteamericanas números 5.186.623; 5.059.118; 5.055.039; 5.035.613; 4.856.991; 4.798.534; y 4.755.139.

Otras publicaciones que describen la fabricación y el uso de posicionadores dentales incluyen Kleemann y Jansen (1996) *R Clin. Orthodon.* 30:673-680; Cureton (1996) *J Clin. Orthodon.* 30:390-395; Chiappone (1980) *J Clin. Orthodon.* 14:121-133; Shilliday (1971) *Am. J Orthodontics* 59:596-599; Wells (1970) *Am. J. Orthodontics* 58:351-366; y Cottingham (1969) *Am. J Orthodontics* 55:23-31.

Kuroda *et al.* (1996) *Am. J Orthodontics* 110:365-369 describe un procedimiento para escanear con láser un molde dental de escayola y producir una imagen digital del molde. Véase también la patente norteamericana número 5.605.459.

Las patentes norteamericanas números 5.533.895; 5.474.448; 5.454.717; 5.447.432; 5.431.562; 5.395.238; 5.368.478; y 5.139.419, transferidas a Ormco Corporation describen procedimientos para manipular imágenes digitales de dientes para diseñar aparatos ortodónticos. En particular, la patente norteamericana número 5.454.717 describe soportes ortodónticos realizados a medida y procedimientos y aparatos para formar los soportes.

La patente norteamericana número 5.011.405 describe un procedimiento para realizar digitalmente el tratamiento por imágenes de un diente y determinar el posicionamiento óptimo del soporte para el tratamiento ortodóntico. La exploración por láser de un diente moldeado para producir un modelo en tres dimensiones se describe en la patente norteamericana número 5.338.198. La patente norteamericana número. 5.452.219 describe un procedimiento para escanear por láser un modelo de diente y fresar un molde del diente. La manipulación digital por ordenador de contornos de dientes se describe en las patentes norteamericanas 5.607.305 y 5.587.912.

El tratamiento por imágenes digitales computarizadas de la mandíbula se describe en las patentes norteamericanas números 5.342.202 y 5.340.309. Otras patentes de interés incluyen las patentes norteamericanas números 5.549.476; 5.382.164; 5.273.429; 4.936.862; 3.860.803; 3.660.900; 5.645.421; 5.055.039; 4.798.534; 4.856.991; 5.035.613; 5.059.118; 5.186.623; y 4.755.139.

El documento WO 98/58596 describe un procedimiento y un sistema para mover en incrementos los dientes. El procedimiento incluye digitalizar una disposición de dientes iniciales para producir un conjunto de datos digitales iniciales; y manipular el conjunto de datos digitales iniciales para producir un conjunto de datos digitales finales.

Sumario

En un aspecto, la invención se refiere a un procedimiento implementado por ordenador para su uso para crear un plan para reposicionar los dientes de un paciente desde un conjunto de posiciones iniciales de los dientes a un conjunto de posiciones finales de los dientes. El sistema incluye un medio para recibir un conjunto de datos digitales iniciales que representa los dientes en sus posiciones iniciales; un medio para recibir una o más restricciones asociadas

con el reposicionado de los dientes; y un medio para generar trayectos de tratamiento para mover los dientes desde las posiciones iniciales a las posiciones finales de acuerdo con las restricciones y para utilizar una base de datos de tratamientos preferidos de disposiciones de dientes ejemplares.

5 Las implementaciones de la invención incluyen uno o más de lo que sigue. Las restricciones se refieren a agrupaciones de dientes, separación de dientes, extracción de dientes, eliminación del recubrimiento de dientes, rotación de dientes, y movimiento de dientes. Los dientes puede ser rotados aproximadamente cinco y diez grados (por etapa) o se pueden mover en incrementos en una o más etapas (por etapa), moviendo cada diente en cada etapa aproximadamente de 0,2 mm a aproximadamente 0,4 mm. Las restricciones pueden ser almacenadas en una agrupación habiendo una
10 dimensión de la agrupación que identifica cada etapa en el movimiento de los dientes. Los trayectos de tratamiento pueden incluir determinar la mínima cantidad de transformación requerida para mover cada diente desde la posición inicial a la posición final, y crear cada trayecto de tratamiento de manera que requiera solamente la mínima cantidad de movimiento. Además, se pueden generar posiciones intermedias para al menos un diente entre las cuales el diente está sometido a movimientos de traslación de tamaños iguales. Además, la posiciones intermedias puede ser generadas
15 para al menos un diente entre las cuales el diente está sometido a movimientos de traslación de tamaños desiguales. Un conjunto de reglas puede ser aplicado para detectar cualquier colisión que se pudiese producir cuando los dientes del paciente se mueven a lo largo de los trayectos de tratamiento. Las colisiones pueden ser detectadas calculando las distancias entre un primer diente y un segundo diente, estableciendo un plano de proyección neutro entre el primer diente y el segundo diente, estableciendo un eje z que es normal al plano y que tiene una dirección positiva y una
20 dirección negativa con respecto a cada uno de un conjunto de puntos de base del plano de proyección, calcular una pareja de distancias con signo que comprenden una primera distancia con signo al primer diente y una segunda distancia con signo al segundo diente, midiéndose las distancias con signo en una línea a través de los puntos de base y paralela al eje z, y determinar que se producirá una colisión si cualquiera de la pareja de distancias con signo indica una colisión. Cuando la dirección positiva para primera distancia es opuesta a la dirección positiva para la segunda
25 distancia, se detecta una colisión si la suma de cualquier pareja de distancias con signo es menor o igual a cero. La información que indica si los dientes del paciente están siguiendo los trayectos de tratamiento puede ser utilizada para revisar los trayectos de tratamiento. Se puede ser generar más de un trayecto de tratamiento candidato para cada diente y se puede mostrar gráficamente cada trayecto de tratamiento candidato a un usuario para que realice la selección. Un conjunto de reglas puede ser aplicado para detectar cualquier colisión que se producirá cuando los dientes del paciente se muevan a lo largo de los trayectos de tratamiento. Las colisiones pueden ser detectadas calculando distancias entre
30 un primer diente y un segundo diente estableciendo un plano de proyección neutro entre el primer diente y el segundo diente, estableciendo un eje z que es normal al plano y que tiene una dirección positiva y una dirección negativa desde cada uno de un conjunto de puntos de base en el plano de proyección, calculando una pareja de distancias con signo que comprenden una primera distancia con signo al primer diente y una segunda distancia con signo al segundo diente, siendo medidas las distancias con signo en una línea a través de los puntos de base y paralela al eje z, y determinando que una colisión se producirá si cualquiera de la pareja de distancias con signo indica una colisión. Una colisión puede ser detectada también si la suma de cualquier pareja de distancias con signo es menor o igual a cero. Un conjunto de reglas puede ser aplicado para detectar cualquier oclusión de mordedura inadecuada que se pueda producir cuando los
35 dientes del paciente se muevan a lo largo de los trayectos de tratamiento. Un valor de índice de maloclusión puede ser calculado y el valor se puede mostrar al usuario. Los trayectos de tratamiento pueden ser generados recibiendo los datos que indican las restricciones en los movimientos de los dientes del paciente y aplicando los datos para generar los trayectos de tratamiento. De esta manera, se puede conseguir una representación gráfica en tres dimensiones (3D) de los dientes en las posiciones que se corresponden a un conjunto de datos seleccionados para ser presentados. La representación gráfica de los dientes para proporcionar una representación visual del movimiento de los dientes a lo largo de los trayectos de tratamiento puede ser generada. Una interfaz gráfica, en la cual los componentes que representan los botones de control en un grabador de videocasete que un usuario puede manipular para controlar la animación, puede ser generados. Una porción de los datos seleccionados puede ser utilizada para conseguir la representación gráfica de los dientes. Una compresión a nivel de detalle puede ser aplicada al conjunto de datos para conseguir la representación gráfica de los dientes. Un usuario puede modificar la representación gráfica de los dientes y el conjunto
45 de datos seleccionados puede ser modificado como respuesta a la petición del usuario. Un usuario puede seleccionar un diente en la representación gráfica y, como respuesta, se puede mostrar información referente al diente. La información se puede relacionar con el movimiento que el diente experimentará cuando se mueva a lo largo del trayecto de tratamiento. La información también puede indicar una distancia lineal entre el diente y otro diente seleccionado en la representación gráfica. Los dientes pueden ser presentados en una presentación seleccionada de múltiples ángulos de visualización específica ortodóntica de visualización múltiple. Una interfaz de usuario mediante la cual un usuario puede proporcionar comentarios basados en texto después de visualizar la representación gráfica de los dientes del paciente puede ser proporcionada. Los datos de representación gráfica pueden ser descargados a un ordenador remoto en el cual un usuario desea visualizar la representación gráfica. Una señal de entrada de un dispositivo giroscópico de entrada en 3D controlado por un usuario puede ser aplicada para alterar la orientación de los dientes en la
60 representación gráfica.

Descripción de los dibujos

65 La figura 1 es un diagrama en alzado que muestra la relación anatómica de las mandíbulas de un paciente.

La figura 2A ilustra en más detalle la mandíbula inferior del paciente y proporciona una indicación general de cómo los dientes se puede mover por medio de los procedimientos y aparatos de la presente invención.

ES 2 328 876 T3

La figura 2B ilustra un único diente de la figura 2A y define como se determinan las distancias del movimiento del diente.

La figura 2C ilustra la mandíbula de la figura 2A junto con un aparato ortodóntico de ajuste de la posición incrementada que se ha configurado de acuerdo con los procedimientos y aparatos de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de bloques que ilustra un proceso para producir los aparatos ortodónticos de ajuste de posición en incrementos.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso para optimizar una colocación final de los dientes del paciente.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra el posicionamiento de los dientes en varias etapas de un plan de tratamiento ortodóntico.

La figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso para determinar el trayecto de un diente entre las posiciones intermedias durante un plan de tratamiento ortodóntico.

La figura 7 es un diagrama de flujo de un proceso para optimizar el trayecto de un diente desde una posición inicial a una posición final durante un plan de tratamiento ortodóntico.

La figura 8 es un diagrama que ilustra una técnica de amortiguamiento para utilizarse en un algoritmo de detección de colisiones.

La figura 9 es un diagrama de flujo de una técnica de detección de colisiones.

La figura 10 es un diagrama de bloques que ilustra un sistema para generar aparatos ortodónticos de acuerdo con la presente invención.

Descripción

La figura 1 muestra un cráneo 10 con un hueso maxilar superior 22 y un hueso maxilar inferior 20. El hueso maxilar inferior 20 se articula en una articulación 30 al cráneo 10. La articulación 30 es denominada articulación temporomandibular (TMJ). El hueso maxilar superior 22 está asociado a una mandíbula superior 101, mientras que el hueso maxilar inferior 20 está asociado a una mandíbula inferior 100.

Se genera un modelo de ordenador de las mandíbulas 100 y 101, y una simulación por ordenador modeliza las interacciones entre los dientes de las mandíbulas 100 y 101. La simulación por ordenador permite que el sistema se enfoque en los movimientos que involucran contactos entre los dientes montados en las mandíbulas. La simulación por ordenador permite que el sistema presente movimientos realistas de las mandíbulas que son físicamente correctos cuando las mandíbulas 100 y 101 entran en contacto una con la otra. El modelo de la mandíbula coloca los dientes individuales en una posición tratada. Además, el modelo se puede utilizar para simular movimientos de mandíbula que incluyen movimientos sobresalientes, movimientos laterales, y movimientos “guiados por diente” en los que el trayecto de la mandíbula inferior 100 es guiado por los contactos de los dientes en lugar de serlo por los límites anatómicos de las mandíbulas 100 y 101. Los movimientos se aplican a una mandíbula pero también se pueden aplicar a ambas mandíbulas. En base a la determinación de la oclusión se puede asegurar la posición final de los dientes.

Haciendo referencia a la figura 2A, la mandíbula inferior 100 incluye por ejemplo una pluralidad de dientes 102. Al menos algunos de estos dientes se puede mover desde una disposición inicial de dientes a una disposición final de dientes. Como un marco de referencia que describe como un diente puede ser movido, se puede trazar una línea de centros arbitraria (CL) a través del diente 102. Con referencia a esta línea de centros (CL), cada diente se puede mover en direcciones ortogonales representadas por los ejes 104, 106 y 108 (en donde 104 es la línea de centros). La línea de centros puede ser rotada respecto al eje 108 (ángulo de raíz) y al eje 104 (par de giro), como se indica por las flechas 110 y 112, respectivamente. Además, los dientes pueden ser rotados respecto a la línea de centros, como se representa por la flecha 114. De esta manera, se pueden ejecutar todos los movimientos posibles de forma libre del diente.

La figura 2B muestra como la magnitud de cualquier movimiento del diente puede ser definida en términos de traslación lineal máxima de cualquier punto P de un diente 102. Cada punto P_1 sufrirá una traslación acumulada cuando ese diente se mueva en cualquiera de las direcciones ortogonales o rotacionales definidas en la figura 2A. Esto es, mientras el punto normalmente seguirá un trayecto no lineal, hay una distancia lineal entre cualquier punto en el diente cuando se determina en cualquiera de dos momentos durante el tratamiento. De esta manera, un punto arbitrario P_1 de hecho puede sufrir una traslación verdadera de lado a lado como está indicada por la flecha d_1 , mientras que un segundo punto arbitrario P_2 puede desplazarse a lo largo de un trayecto curvo, lo cual resulta en una traslación final d_2 . Muchos aspectos de la presente invención se definen en términos de movimiento permisible máximo de un punto P_1 inducido en cualquier diente particular. Tal movimiento máximo del diente a su vez está definido como la traslación lineal máxima de ese punto P_1 en el diente que sufre el movimiento máximo para ese diente en cualquier etapa del tratamiento.

La figura 2C muestra un aparato ortodóntico de ajuste 111 que es usado por un paciente con el fin de conseguir un reposicionamiento en incrementos de los dientes individuales en la mandíbula como se ha descrito en general más arriba. El aparato ortodóntico es un casco polimérico que tiene una cavidad de recepción de dientes. Esto se describe en la Solicitud de Patente norteamericana número de serie 09/169.036, presentada el 8 de octubre de 1998, que reivindica prioridad de la Solicitud de Patente norteamericana número de serie 08/947.080, presentada el 8 de octubre de 1997, la cual a su vez reivindica prioridad de la solicitud provisional número 06/050.352 presentada el 20 de junio de 1997 (denominadas colectivamente “las solicitudes anteriores”).

Como se establece en las solicitudes anteriores, cada casco polimérico puede estar configurada de manera que en su cavidad de recepción de diente tenga una geometría que se corresponda con una disposición intermedia o final del diente pretendida por el aparato ortodóntico. Los dientes de pacientes se reposicionan desde su disposición inicial de dientes a una disposición final de dientes colocando una serie de aparatos ortodónticos de ajuste de posición en incrementos sobre los dientes del paciente. Los aparatos ortodónticos de ajuste son generados al principio del tratamiento y el paciente usa cada aparato ortodóntico hasta que la presión de cada aparato ortodóntico sobre el diente ya no pueda sentirse. En ese momento, el paciente reemplaza el aparato ortodóntico de ajuste actual por el siguiente aparato ortodóntico de ajuste en la serie hasta que no quede ningún aparato ortodóntico adicional. Convenientemente, los aparatos ortodónticos en general no están fijados a los dientes y el paciente puede colocar y reemplazar los aparatos ortodónticos en cualquier momento durante el procedimiento. El aparato ortodóntico final o los distintos aparatos ortodónticos en la serie pueden tener una geometría o geometrías seleccionadas para sobre corregir la disposición de dientes, es decir, tienen una geometría que podría mover (si se consigue completamente) los dientes individuales más allá de la disposición de dientes que se ha seleccionado como la “final”. Tal sobre corrección puede ser deseable con el fin de compensar recaídas potenciales después de que el procedimiento de reposicionamiento haya sido finalizado, es decir, permitir algún movimiento de los dientes individuales hacia atrás hacia sus posiciones precorrectas. La sobre corrección también puede ser beneficiosa para hacer más rápida la velocidad de corrección, es decir, tener un aparato ortodóntico con una geometría que está situada más allá de una posición deseada intermedia o posición final, los dientes individuales serán desplazados hacia la posición con una velocidad más rápida. En tales casos, el uso de un aparato ortodóntico puede ser finalizado antes de que los dientes alcancen las posiciones definidas por el aparato ortodóntico.

El casco polimérico 111 puede ajustarse sobre todos los dientes presentes en la mandíbula superior o inferior. A menudo, sólo uno (s) de los dientes será reposicionado mientras que los otros dientes proporcionarán una base o una región de anclaje para sujetar el aparato ortodóntico 111 en su lugar cuando el aparato ortodóntico 111 aplica una fuerza resiliente de reposicionamiento contra el diente o los dientes que se deben reposicionar. En casos complejos, sin embargo, múltiples dientes pueden ser reposicionados en algún punto durante el tratamiento. En tales casos, los dientes que son movidos también pueden servir como una base o región de anclaje para sujetar el aparato ortodóntico de reposicionamiento.

El aparato ortodóntico polimérico 111 de la figura 2C se pueden formar a partir de una lámina delgada de un polímero elastomérico de material odontológico de formación térmica, tal como el Tru-Tain de 0,762 mm, disponible en Tru-Tain Plastics, Rochester, Minnesota. Por lo general, no se proporcionarán alambres ni otros medios para sujetar el aparato en su lugar sobre los dientes. En algunos casos, sin embargo, será conveniente o necesario proporcionar anclajes individuales en los dientes con sus correspondientes receptáculos o aberturas en el aparato ortodóntico 100 para que el aparato ortodóntico pueda aplicar una fuerza hacia arriba sobre el diente que no sería posible en ausencia de tal anclaje.

La figura 3 muestra un proceso 200 para producir los aparatos ortodónticos de ajuste de posición en incrementos para su posterior utilización por un paciente para reposicionar los dientes del paciente. Como primera etapa, se obtiene un conjunto de datos digitales iniciales (IDDS) que representa una disposición inicial de los dientes (etapa 202). En algunas implementaciones, el IDDS incluye los datos obtenidos por la exploración de un modelo físico de los dientes del paciente, tales como escaneando una impresión positiva o una impresión negativa de los dientes del paciente con un escáner láser o con un escáner destructivo. La impresión positiva y negativa pueden ser escaneadas cuando se bloquean entre sí para proporcionar datos más precisos. El primer conjunto de datos digitales también pueden incluir los datos de volumen de la imagen de los dientes del paciente, que el ordenador puede convertir en un modelo geométrico 3D de la superficies del diente, por ejemplo utilizando una técnica convencional de cubos en movimiento. En algunas realizaciones, los modelos de los dientes individuales incluyen datos que representan superficies dentales ocultas, tales como raíces tratadas por imágenes por medio de técnicas de rayos X, escáneres CT ó MRI. Las raíces de los dientes y las superficies ocultas también pueden extrapolarse a partir de las superficies visibles de los dientes del paciente. El IDDS es manipulado entonces usando un ordenador con una interfaz gráfica de usuario (GUI) adecuada y el software apropiado para visualizar y modificar las imágenes. Aspectos más específicos de este proceso se describirán en detalle más adelante.

Cada diente individual y otros componentes pueden ser segmentados o aislados en el modelo para su reposicionamiento o retirada individuales del modelo digital. Después de segmentar o aislar los componentes, el usuario a menudo reposicionará el diente en el modelo, siguiendo una prescripción u otra especificación escrita proporcionada por el profesional que realiza el tratamiento. Alternativamente, el usuario puede reposicionar uno o más dientes sobre la base de una apariencia visual o sobre la base de reglas y algoritmos programados en el ordenador. Una vez que el usuario está satisfecho, la disposición final de los dientes se incorpora en un conjunto final de datos digitales (FDDS) (etapa 204).

En la etapa 204, las posiciones finales de los dientes superiores e inferiores en un sistema masticatorio de un paciente se determinan mediante la generación de una representación por ordenador del sistema masticatorio. Una oclusión de los dientes superiores e inferiores se calcula a partir de la representación por ordenador, y una oclusión funcional se calcula sobre la base de las interacciones en la representación por ordenador del sistema masticatorio. La oclusión se puede determinar mediante la generación de un conjunto de modelos ideales de los dientes. Cada modelo ideal en el conjunto de modelos ideales es un modelo abstracto de la colocación idealizada de los dientes que se realiza a medida de los dientes del paciente, tal como se describe a continuación. Después de aplicar el modelo ideal a la representación por ordenador, y la posición de los dientes se optimiza para ajustarse al modelo ideal. El modelo ideal puede ser especificado por una o más formas de arco, o puede ser especificado utilizando varias características asociadas a los dientes

El FDDS es creado siguiendo la prescripción del ortodoncista para mover los dientes en el modelo a sus posiciones finales. En una realización, la prescripción se introduce en un ordenador, que calcula automáticamente las posiciones finales de los dientes. En otras realizaciones alternativas, un usuario desplaza los dientes a sus posiciones finales manipulando independientemente uno o más dientes, al mismo tiempo que cumple las restricciones de la prescripción. Diversas combinaciones de las técnicas anteriores también pueden utilizarse para llegar a las posiciones finales de los dientes.

Un procedimiento para la creación del FDDS implica mover los dientes en una secuencia especificada. En primer lugar, los centros de cada modelo de diente pueden ser alineados utilizando una serie de procedimientos. Un procedimiento es un arco estándar. A continuación, los modelos de los dientes son rotados hasta que sus raíces se encuentren en la posición vertical correcta. A continuación, los modelos de los dientes son rotados alrededor de sus ejes verticales en la orientación correcta. Los modelos de los dientes son entonces observados desde la posición lateral, y se trasladan verticalmente a sus posiciones verticales correctas. Por último, los dos arcos se colocan juntos, y los modelos de los dientes se mueven ligeramente para asegurar que los arcos superior e inferior se engranan adecuadamente uno con el otro. El engrane de los arcos superior e inferior entre sí se visualiza usando un proceso de detección de colisiones para resaltar los puntos de contacto de los dientes.

En base al IDDS así como al FDDS, se define una pluralidad de conjuntos de datos digitales intermedios (INTDDSs) que se corresponden a aparatos ortodónticos ajustados en incrementos (etapa 206). Por último, un conjunto de aparatos ortodónticos de ajuste de posición en incrementos son producidos en base a los INTDD y FDDS (etapa 208).

Después de que los dientes y otros componentes han sido colocados o retirados para producir un modelo de la disposición final de los dientes, es necesario generar un plan de tratamiento que produzca una serie de INTDDS y de FDDS como se ha descrito anteriormente. Para producir estos conjuntos de datos, es necesario definir o mapear el movimiento de dientes individuales seleccionados a partir de la posición inicial a la posición final en una serie de etapas sucesivas. Además, puede ser necesario añadir otras características a los conjuntos de datos con el fin de producir las características deseadas en los aparatos ortodónticos de tratamiento. Por ejemplo, puede ser deseable añadir parches de cera a la imagen con el fin de definir las cavidades o rebajes con propósitos particulares, tales como para mantener un espacio entre el aparato ortodóntico y las regiones particulares de los dientes o de la mandíbula con el fin de reducir el dolor de las encías, evitar los problemas periodontales, permitir una corona, y otros temas similares. Además, a menudo será necesario proporcionar un recipiente o una abertura para acomodar un anclaje que se debe colocar sobre un diente con el fin de permitir que el diente sea manipulado de una manera que requiere un anclaje, por ejemplo, para levantarlo en relación con la mandíbula.

De la manera que se ha señalado más arriba, la información sobre la forma en que los dientes del paciente deben ser movidos desde un estado inicial no tratado, a un estado final tratado se utiliza para generar una prescripción, o plan de tratamiento. La prescripción tiene en cuenta lo siguiente:

1. Posición Inicial: descripción detallada de la maloclusión inicial.
2. Posición Final: descripción detallada de los objetivos del tratamiento para el paciente.
3. Movimiento: descripción secuencial detallada de cómo los dientes del paciente se debe mover con el fin de conseguir los objetivos deseados para la colocación final.

1. *Posición Inicial*

La sección de posición inicial describe en detalle la maloclusión del paciente.

Las consideraciones incluyen:

1. Agrupamiento
2. Separación

3. Extracción

4. Eliminación del recubrimiento.

5 Además, también se pueden utilizar las consideraciones de la Posición Final que se tratan más adelante.

2. Posición Final

10 Esta sección es una descripción detallada de los objetos de la posición final y de los objetivos del tratamiento, tanto estadísticos como funcionales. Estas consideraciones incluyen

1. Sobreproyección

15 2. Sobre mordida

3. Líneas Medias

20 4. Oclusión Funcional

5. Clasificación

6. Par

25 7. Punta

8. Rotaciones

9. Lingual/Palatal

30 10. Bucal/Facial

11. Intercuspación

35 12. Posición Inicial de la Oclusión-consideraciones CR/CO

13. Cuestiones inter arcos

14. Cuestiones intra arcos

40 15. Espacio

3. Movimiento

45 La sección de movimiento especifica un orden para mover los dientes del paciente con la finalidad de obtener los objetivos de la colocación finales. En este proceso, el ortodoncista tiene un control preciso sobre cuales dientes quiere mover el ortodoncista y cuales dientes quiere anclar (de manera que no se muevan), con lo que divide el tratamiento en etapas discretas. La información de la orden de movimiento es capturada para ambos arcos superior e inferior.

50 En cada etapa, se analizan los movimientos principales y menores de los dientes. Los movimientos principales suelen producirse en el inicio del movimiento de un diente. Los movimientos menores se producen por lo general como movimientos “de detalle” que se producen hacia el final del tratamiento. En promedio, cada alineador debe ser capaz de lograr un movimiento de 0,25-0,33 mm y una rotación en torno a 5-10 grados en un período de 2 semanas. Sin embargo, la variabilidad biológica y las preferencias del paciente y del médico también se toman en consideración. Además, diversos movimientos tales como distalización, de punta, y de par pueden tener parámetros separados.

60 En base a estas consideraciones, se genera un plan para mover los dientes. La figura 4 ilustra un proceso 300 para generar los movimientos de los dientes al mismo tiempo que minimiza los índices de dientes, como se explica en la Patente Norteamericana número 6.471.511. En primer lugar, el proceso 300 de forma automática o, con ayuda humana, identifica diversas características asociadas a cada diente para llegar a un modelo de los dientes (etapa 302). A continuación se genera un modelo ideal de los dientes, ya sea a partir de moldes de los dientes del paciente o de pacientes con una oclusión conocida aceptable (etapa 303).

65 En la etapa 302, el proceso 300 posiciona el modelo de los dientes en su posición final aproximada sobre la base de una correspondencia de características con el modelo ideal (etapa 304). En esa etapa, cada modelo de diente se mueve de forma que sus características se alineen con las características de un diente correspondiente en el modelo ideal. Las

ES 2 328 876 T3

características se pueden basar en crestas, fosas, cumbres, métrica basada en distancia, o métrica basada en forma. La métrica basada en forma puede expresarse, entre otras maneras, como una función de los arcos del paciente.

5 A continuación, el proceso 300 calcula un índice ortodóntico/de oclusión (etapa 306). Un índice que puede utilizarse es el índice PAR (Calificación de Evaluación de Pares). Además del PAR, se pueden utilizar otras métricas tales como la métrica basada en la forma o la métrica basada en la distancia. El índice PAR identifica lo alejado que se encuentra un diente de una buena oclusión. Una puntuación se asigna a los distintos rasgos de oclusión que constituyen una maloclusión. Los resultados individuales se suman para obtener un total general, que representa el grado con el que un caso se desvía de una alineación y oclusión normales. La oclusión y la alineación normales se definen como
10 que todos los puntos de contacto anatómico son adyacentes, con un buen engranaje intercuspal superior e inferior entre los dientes bucales superiores e inferiores, y con una sobreproyección y sobremordida no excesivas

En el PAR, una puntuación de cero indicaría una buena alineación, y puntuaciones más altas indicarían unos niveles incrementados de irregularidad. La puntuación general se registra en moldes dentales previo y posterior al tratamiento.
15 La diferencia entre estos resultados representa el grado de mejora como resultado de la intervención ortodóntica y del tratamiento activo. Los once componentes del Índice PAR son: segmento superior derecho; segmento superior anterior, segmento superior izquierdo, segmento inferior derecho; segmento inferior anterior; segmento inferior izquierdo, oclusión bucal derecha; sobreproyección; sobre mordedura; línea central, y oclusión bucal izquierda. Además del índice PAR, otros índices se pueden basar en las distancias de las características de los dientes a su posición ideal o a su
20 forma ideal.

En la etapa 306, el proceso 300 determina si son posibles movimientos de reducción de índice adicionales (etapa 308). Aquí se intentan todos los movimientos posibles, incluyendo movimientos pequeños a lo largo de cada eje principal, así como movimientos pequeños con pequeñas rotaciones. Se calcula un valor del índice después de cada
25 movimiento pequeño y se selecciona el movimiento con el mejor resultado. En este contexto, el mejor resultado es el resultado que minimiza una o más métricas tales como la como métrica basada en el PAR, la métrica basada en la forma o la métrica basada en la distancia. La optimización puede utilizar una serie de técnicas, incluida la técnica de templado simulado, la técnica de escalada de colina, la primera mejor técnica, el procedimiento de Powell, y la técnica heurística, entre otros. Las técnicas de templado simulado se pueden utilizar cuando el índice se incrementa
30 temporalmente, de manera que se pueda encontrar otro trayecto en la búsqueda de espacio con un mínimo inferior. Sin embargo, empezando con los dientes en una posición casi ideal, cualquier disminución en el índice debe converger con el mejor resultado.

En la etapa 308, si se puede optimizar el índice moviendo el diente, se añaden las entradas de movimiento de
35 reducción de índice en incrementos (etapa 310) y el proceso realiza un bucle a la etapa 306 para continuar calculando el índice ortodóntico/de oclusión. Alternativamente, en el caso de que el índice no se pueda optimizar adicionalmente, el proceso 300 finaliza (etapa 312).

Cuando genera los movimientos de reducción de índice de la etapa 310, el proceso considera un conjunto de límites
40 de movimiento que afectan el plan de movimiento del trayecto del diente. En una realización, se especifica la información de movimiento de aproximadamente cincuenta etapas discretas. Cada etapa representa un alineador único, que se espera que sea reemplazado aproximadamente cada dos semanas. De esta manera, cada etapa representa aproximadamente un periodo de dos semanas. En una realización, se utiliza una agrupación de dos dimensiones para seguir los movimientos específicos de cada diente en un período de tiempo específico. Una dimensión de esta agrupación
45 se refiere a la identificación de los dientes, mientras que la segunda dimensión se refiere a los períodos de tiempo o etapas. Consideraciones respecto a cuando un cliente se puede mover incluyen lo que sigue:

1. Mesial
- 50 2. Distal
3. Bucal/Facial
4. Lingual/Palatal
- 55 5. Expansión
7. Dientes sobrepasándose
- 60 8. Intrusión
9. Extrusión
10. Rotaciones
- 65 11. Qué dientes se están moviendo en cada momento?

12. Qué dientes se mueven en primer lugar?
13. Que dientes necesitan moverse antes de que los otros se muevan?
14. Que movimientos son realizados fácilmente?
15. Anclaje
16. Filosofía del usuario ortodóntico sobre la distalización de molares y expansiones pequeñas en adultos.

En una realización, el usuario puede cambiar el número de etapas de tratamiento deseadas desde los estados inicial a objetivo de los dientes. Se supone que cualquier componente que no se mueva permanecerá estacionario, y, por tanto, se supone que su posición final es la misma que la posición inicial (así como todas las posiciones intermedias, a menos que se definan uno o varios marcos clave para ese componente).

El usuario puede especificar también “marcos clave” seleccionando un estado intermedio y realizar cambios en la(s) posición(posiciones) del (de los) componente(s). En algunas realizaciones, a menos que reciba otras instrucciones, el software interpola linealmente automáticamente entre todas las posiciones especificadas por el usuario (incluida la posición inicial, todas las posiciones de marco, y la posición objetivo). Por ejemplo, si sólo se define una posición final para un componente particular, cada una de las etapas subsecuentes después de la etapa inicial simplemente mostrarán el componente con una distancia lineal y rotación iguales (especificado por una cuatenaria) más cercana a la posición final. Si el usuario especifica dos marcos clave para ese componente, el componente *z* se “moverá” linealmente desde la posición inicial a través de diferentes etapas de la posición definida por el primer marco clave. A continuación, se moverá, posiblemente en una dirección diferente, linealmente a la posición definida por el segundo marco clave. Por último, se moverá, posiblemente en todavía otra dirección diferente, linealmente a la posición objetivo.

Estas operaciones pueden realizarse independientemente para cada componente, de manera que un marco clave para un componente no afectará a otro componente, a no ser que el otro componente sea movido también por el usuario en ese marco clave. Un componente puede acelerar a lo largo de una curva entre una pareja de etapas (por ejemplo, las etapas 3 y 8 en un plan de tratamiento que tenga muchas etapas), mientras que otro se mueve linealmente entre otra pareja de etapas (por ejemplo, las etapas 1 a 5) y, a continuación, cambia de dirección repentinamente y se frena a lo largo de un trayecto lineal hacia una etapa posterior (por ejemplo, la etapa 10). Esta flexibilidad permite una gran libertad en la planificación del tratamiento de un paciente.

En algunas implementaciones, se utiliza interpolación no lineal en lugar de, o además de, la interpolación lineal para construir un trayecto de tratamiento entre los principales marcos. En general, un trayecto no lineal, tal como una curva acanalada, creada para que se ajuste entre los puntos seleccionados, es un trayecto más corto que un trayecto formado a partir de segmentos de línea recta que conectan los puntos. Un “trayecto de tratamiento” describe la curva de transformación que se aplica a un diente particular para mover el diente desde su posición inicial a su posición final. Un trayecto de tratamiento típico incluye alguna combinación de movimiento de rotación y de translación del diente correspondiente, como se ha descrito anteriormente.

La Figura 5 muestra la etapa 310, en mayor detalle. Inicialmente se selecciona un primer diente (etapa 311). A continuación, las restricciones asociadas con el diente se recuperan para la etapa o período actual (etapa 312). De esta manera, para la realización que mantiene una agrupación de dos dimensiones que realiza un seguimiento de los movimientos específicos de cada diente en un período de tiempo específico, la identificación del diente y el período de tiempo o etapa de información se utilizan para realizar la indexación en la agrupación y recuperar las restricciones asociadas al diente actual.

A continuación, se genera un plan de movimiento del diente que tiene en cuenta las restricciones (etapa 313). El proceso de la figura 5 a continuación detecta si los movimientos planeados producirán colisiones con los dientes vecinos (etapa 314). El proceso de detección de colisiones determina si se cruzan cualesquiera de las geometrías que describen las superficies del diente. Si no hay obstrucciones, el espacio se considera libre, de lo contrario estará obstruido. Los algoritmos de detección de colisiones adecuados se discuten en mayor detalle más adelante.

Si se produce una colisión, un vector “de empuje” es creado para desplazar el trayecto del movimiento previsto (etapa 315). Sobre la base del vector de empuje, el diente actual “rebota” por la colisión y se genera un nuevo movimiento de diente (etapa 316). A partir de las etapas 314 o 316, el movimiento del diente actual finaliza.

A continuación, el proceso de la figura 5 determina si se han generado planes de movimiento de dientes para todos los dientes (etapa 317) y, si es así, el proceso termina. Alternativamente, se selecciona el siguiente diente en el plan de tratamiento (318), y el proceso de la figura 5 realiza un bucle hacia atrás a la etapa 312 para continuar generando los planes de movimiento de dientes.

El trayecto final resultante consiste en una serie de vectores, cada uno de los cuales representa un grupo de valores de los parámetros de interpolación de los componentes de translación y de rotación de las transformaciones de los dientes en movimiento. Tomados en conjunto, constituyen una planificación de los movimientos de los dientes que

ES 2 328 876 T3

evita las interferencias de diente con diente. A continuación se muestra un pseudo-código para generar el trayecto del diente en consideración de las restricciones especificadas:

Para cada modelo de trayecto de diente

Para cada incremento de trayecto

Límites de carga asociados con cada diente

Mover el diente en vista de la restricción

Realizar la detección de colisiones de dientes

Si se produce la colisión, crear un vector “de empuje” para los dientes que colisionan y “rebote” hacia atrás de la colisión para evitar la colisión

Fin para

finalizar modelo de trayecto de diente.

La figura 6 es un diagrama de flujo de un proceso implementado en ordenador para generar trayectos no lineales de tratamiento a lo largo de los cuales los dientes de un paciente se desplazarán durante el tratamiento. Los trayectos no lineales por lo general son generados automáticamente por el programa de ordenador, en algunos casos con ayuda humana. El programa recibe como entrada las posiciones inicial y final de los dientes del paciente y utiliza esta información para seleccionar posiciones intermedias para cada diente que se debe mover (etapa 1600). A continuación el programa aplica un algoritmo de cálculo convencional de curva acanalada para crear una curva acanalada que conecta cada posición inicial del diente con la posición final del diente (etapa 1602). En muchos casos, la curva se ve obligada a seguir el trayecto más corto entre las posiciones intermedias. A continuación el programa muestrea cada curva acanalada entre las posiciones intermedias (etapa 1604) y aplica el algoritmo de detección de colisiones a las muestras (etapa 1606). Si se detectan cualesquiera colisiones, el programa altera el trayecto de al menos un diente en cada pareja que colisiona seleccionando una nueva posición para una de las etapas intermedias (etapa 1608) y crea una nueva curva acanalada (1602). A continuación, el programa muestrea el nuevo trayecto (1604) y de nuevo aplica el algoritmo de detección de colisiones (1606). El programa continúa de esta manera hasta que no se detectan colisiones. A continuación la rutina almacena los trayectos, por ejemplo salvando las coordenadas de cada punto en el diente en cada posición en el trayecto en un dispositivo de almacenamiento electrónico, tal como un disco duro (etapa 1610).

El programa de generación de trayecto, ya sea utilizando interpolación lineal o no lineal, selecciona las posiciones de tratamiento de manera que el trayecto de tratamiento del diente tenga longitudes aproximadamente iguales entre cada pareja adyacente de etapas de tratamiento. El programa de tratamiento también evita posiciones que fuercen a que porciones de un diente se muevan a más velocidad que una velocidad máxima determinada. La figura 15C muestra un diente que está programado para moverse a lo largo de un primer trayecto T1 desde una posición inicial T1₁, a una posición final T1₃ a través de una posición intermedia T1₂, que se encuentra más cerca de la posición final T1₃. Otro diente está programado para moverse a lo largo de un trayecto más corto T2 desde una posición inicial T2₁, a una posición final de T2₃ a través de una posición intermedia T2₂, que es equidistante entre las posiciones iniciales y finales T2₁, T2₃. En esta situación, el programa puede optar por insertar una segunda posición intermedia T1₄ a lo largo del primer trayecto T1 que es aproximadamente equidistante entre la posición inicial T1₁ y la posición intermedia T1₂ y que está separado de estas dos posiciones en aproximadamente la misma distancia que separa la posición intermedia T1₂ de la posición final T1₃.

Alterar el primer trayecto T1 de esta manera asegura que el primer diente se moverá en pasos de igual tamaño. Sin embargo, alterar el primer trayecto T1 también introduce una nueva etapa de tratamiento que no tiene contrapartida en el segundo trayecto T2. El programa puede responder a esta situación en una gran variedad de formas, tales como permitiendo que el segundo diente permanezca estacionario durante la segunda etapa de tratamiento (es decir, cuando el primer diente se mueve desde una posición intermedia T1₄ a la otra posición intermedia T1₃) o modificando el segundo trayecto T2 para incluir cuatro posiciones de tratamiento equidistantes. El programa determina la forma de responder aplicando un conjunto de restricciones ortodónticas que restringen el movimiento de los dientes.

Las restricciones ortodónticas que pueden ser aplicadas por el programa de generación de trayectos incluyen las distancias mínima y máxima permitidas entre los dientes adyacentes en un momento dado, la máxima velocidad lineal o de rotación con la cual debe moverse el diente, la distancia máxima sobre la cual un diente se debe mover entre las etapas de tratamiento, la forma de los dientes, las características de los tejidos y huesos que rodean los dientes (por ejemplo, los dientes anquilosados no se pueden mover de ninguna manera), y las características del material alineador (por ejemplo, la distancia máxima que el alineador puede mover un determinado diente durante un período determinado de tiempo). Por ejemplo, la edad del paciente y la densidad ósea de la mandíbula pueden dictar ciertos “límites de seguridad” más allá de los cuales los dientes del paciente no deben ser forzados a desplazarse. En general, una separación entre dos dientes central y lateral adyacentes, relativamente verticales y sin punta de los dientes no se debería cerrar más de 1 mm cada siete semanas. Las propiedades del material de los aparatos de ortodoncia también limitan la cantidad que el aparato ortodóntico puede mover un diente. Por ejemplo, los materiales convencionales

de retención de los dientes suelen limitar el movimiento de los dientes individuales aproximadamente a 0,5 mm entre las etapas de tratamiento. Las restricciones tienen valores por defecto que se aplican, a menos que se calculan valores específicos para el paciente o sean proporcionados por un usuario. La información de restricciones se encuentra disponible en una variedad de fuentes, incluyendo libros de texto y médicos de tratamiento.

5 Cuando se seleccionan las posiciones intermedias de cada diente, el programa de generación de trayecto invoca el programa de detección de colisiones para determinar si las colisiones se van a producir a lo largo de los trayectos elegidos. El programa también inspecciona la oclusión del paciente en cada etapa de tratamiento a lo largo del trayecto para garantizar que los dientes se alinean para formar una mordedura aceptable a lo largo del curso del tratamiento.

10 En caso de que se produzca una colisión o una mordedura inaceptable, o si una restricción requerida no puede ser satisfecha, el programa modifica iterativamente el trayecto del diente responsable hasta que se cumplan todas las condiciones. El articulador virtual que se ha descrito más arriba es una herramienta para probar la oclusión de la mordedura en las posiciones intermedias del tratamiento.

15 Como se muestra en la figura 7, una vez que el programa de generación de trayecto ha establecido trayectos sin colisión para cada diente que se debe mover, el programa invoca una rutina de optimización que trata de hacer más lineal la curva de transformación de cada diente entre las posiciones inicial y final. La rutina comienza con el muestreo de cada trayecto de tratamiento en puntos situados entre las etapas de tratamiento (etapa 1702), por ejemplo colocando dos puntos de muestreo entre cada etapa de tratamiento, y calculando para cada diente un trayecto de tratamiento

20 más lineal que se ajuste entre los puntos de muestreo (etapa 1704). A continuación, la rutina aplica el algoritmo de detección de colisiones para determinar si se producen colisiones en los trayectos alterados (etapa 1706). Si es así, la rutina vuelve a muestrear los trayectos alterados (etapa 1708) y, a continuación construye para cada diente un trayecto alternativo entre las muestras (etapa 1710). La rutina continúa de esta manera hasta que no se produzcan colisiones (etapa 1712).

25 En algunas realizaciones, como se ha aludido anteriormente, el programa lógico calcula automáticamente el trayecto de tratamiento, en base al IDDS y al FDDS. Esto se logra utilizando un algoritmo de programación de trayectos que determina a qué velocidad se mueve cada uno de los componentes, es decir, cada diente, a lo largo del trayecto desde la posición inicial a la posición final. El algoritmo de planificación de tratamiento determina el trayecto de acceso, al mismo tiempo que evita un trayecto de “viaje de ida y vuelta”, es decir, al mismo tiempo que evita mover un diente a lo largo de una distancia mayor que la que sea absolutamente necesaria para enderezar los dientes. Un movimiento de este tipo es altamente indeseable, y tiene efectos negativos potenciales sobre el paciente.

30 Una implementación del algoritmo de planificación de trayecto en primer lugar intenta programar o escalar los movimientos de los dientes limitando cada diente al trayecto de tratamiento más lineal entre las posiciones inicial y final. A continuación, el algoritmo recurre a rutas menos directas a las posiciones finales, solamente si se producirán colisiones entre los dientes a lo largo de las trayectorias lineales o si se violan restricciones obligatorias. El algoritmo aplica uno de los procesos de generación de trayecto se han descrito anteriormente, en caso necesario, para construir un trayecto para que los pasos intermedios de tratamiento no se encuentren dispuestos a lo largo de una curva de transformación lineal entre las posiciones inicial y final. Alternativamente, el algoritmo planifica trayectos de tratamiento recurriendo a una base de datos de tratamientos preferidos de disposiciones ejemplares de dientes. Esta base de datos se puede construir con el tiempo mediante la observación de varios cursos de tratamiento y la identificación de los planes de tratamiento que han probado ser más eficaces con cada clase general de disposiciones iniciales de dientes. El algoritmo de programación de trayectos puede crear varios trayectos alternativos y presentar gráficamente cada

45 trayecto al usuario. El algoritmo proporciona como salida el trayecto seleccionado por el usuario.

En otras implementaciones, el algoritmo de programación de trayectos utiliza una técnica estocástica de búsqueda para encontrar un trayecto sin obstáculos por medio de un espacio de configuración que describe los planes de tratamiento posibles. Un enfoque para programar el movimiento entre dos marcos clave globales definidos por el usuario se describe a continuación. La programación a lo largo de un intervalo de tiempo que incluye marcos clave intermedios se logra dividiendo el intervalo de tiempo en subintervalos que no incluyen marcos clave intermedios, programando cada uno de estos intervalos de forma independiente y, a continuación, concatenando las programaciones resultantes.

55 Un algoritmo de detección de colisiones o interferencias empleado en una realización se basa en el algoritmo descrito en el artículo SIGGRAPH, de Stefan Gottschalk *et al.* (1996): “Árbol OBB: Una Estructura Jerárquica para Detección Rápida de Interferencias”.

60 El algoritmo se centra en torno a una subdivisión recursiva del espacio ocupado por un objeto, que se organiza en forma de árbol binario. Se utilizan triángulos para representar los dientes en el DDS. Cada nodo del árbol es denominado caja limitadora orientada (OBB) y contiene un subconjunto de triángulos que aparecen en el nodo progenitor. Los descendientes de un nodo progenitor contienen entre ellos todos los datos de triángulos almacenados en el nodo progenitor.

65 La caja limitadora de nodo está orientada de manera que encaja ajustadamente alrededor de todos los triángulos en ese nodo. Los nodos hoja en el árbol contienen idealmente un solo triángulo, pero posiblemente pueden contener más de un triángulo. La detección de colisiones entre dos objetos incluye determinar si los árboles OBB de los objetos se cruzan. Si las OBB de los nodos raíz de los árboles se solapan, los descendientes de raíz son controlados para la

superposición. El algoritmo continúa de forma recursiva hasta que se alcanzan los nodos de hoja. En este punto, se utiliza una rutina robusta de intersección de triángulos para determinar si los triángulos en las hojas están implicados en una colisión.

5 La técnica de detección de colisiones descrita aquí ofrece varias mejoras con respecto al algoritmo de detección de colisiones descrito en el artículo SIGGRAPH. Por ejemplo, los árboles OBB se pueden construir en una manera perezosa para ahorrar memoria y tiempo. Este enfoque se deriva de la observación de que algunas partes del modelo nunca estarán involucradas en una colisión y, por consiguiente, el árbol OBB de estas partes del modelo no tiene que ser calculado. Los árboles OBB se expanden dividiendo los nodos internos del árbol, como sea necesario durante el
10 algoritmo recursivo de determinación de colisiones.

Además, los triángulos en el modelo que no son requeridos para los datos de colisión también pueden ser excluidos expresamente de la consideración cuando se construye un árbol OBB. Por ejemplo, el movimiento puede ser visualizado en dos niveles. Los objetos pueden ser conceptualizados como “moviéndose” en un sentido global, o pueden
15 ser conceptualizados como “moviéndose” en relación con otros objetos. La información adicional mejora el tiempo necesario para la detección de colisiones, evitando volver a calcular la información de colisiones entre objetos que están en reposo relativamente entre sí puesto que el estado de la colisión entre dichos objetos no varía.

La figura 8 ilustra un esquema alternativo de detección de colisiones, que calcula una “colisión de amortiguación” orientada a lo largo del eje z 1802 a lo largo del cual se encuentran dos dientes 1804, 1806. La colisión de amortiguación se calcula para cada etapa de tratamiento o en cada posición a lo largo de un trayecto de tratamiento para el cual se requiere la detección de colisiones. Para crear la amortiguación, se define un plano x, y 1808 entre los dientes 1804, 1806. El plano debe ser “neutro” con respecto a los dos dientes. Idealmente el plano neutro se encuentra situado de manera que no se cruce con ningún diente. Si la intersección con uno o ambos dientes es inevitable, el plano neutro se
25 orienta de tal forma que los dientes se encuentren, en lo posible, en los lados opuestos del plano. En otras palabras, el plano neutro minimiza la cantidad de área superficial de cada diente que se encuentra en el mismo lado del plano que el otro diente.

En el plano 1808 hay una cuadrícula de puntos discretos, cuya resolución depende de la resolución necesaria para la rutina de detección de colisiones. Un amortiguador de colisiones típico de alta resolución incluye una cuadrícula de
30 400 x 400; un amortiguador de colisiones típico de baja resolución incluye una cuadrícula de 20 x 20. El eje z 1802 está definido por una línea normal al plano 1808.

Las posiciones relativas de los dientes 1804, 1806 se determinará calculando, para cada uno de los puntos en la cuadrícula, la distancia lineal paralela al eje z 1802 entre el plano 1808 y la superficie más cercana de cada diente 1804, 1806. Por ejemplo, en cualquier punto dado (M, N) de la cuadrícula, el plano 1808 y la superficie más cercana de la parte posterior del diente 1804 están separados por una distancia representada por el valor $Z_{1(M, N)}$ mientras que el plano 1808 y la superficie más cercana del diente frontal 1806 están separados por una distancia representada por el valor $Z_{2(M, N)}$. Si el amortiguador de colisiones se define de tal manera que el plano 1808 se encuentra en $z = 0$ y
40 los valores positivos de z se encuentran hacia el diente trasero 1804, entonces los dientes 1804, 1806 chocarán cuando $Z_{1(M, N)} \leq Z_{2(M, N)}$ en cualquier punto de la cuadrícula (M, N) en el plano 1808.

La figura 9 es un diagrama de flujo de una rutina de detección de colisiones que implementa este esquema de amortiguación de colisiones. En primer lugar, la rutina recibe los datos de uno de los conjuntos de datos digitales que indican las posiciones de las superficies de los dientes que van a ser probados (etapa 1900). La rutina define entonces el plano neutro x, y (etapa 1902) y crea el eje z normal al plano (etapa 1904).
45

A continuación la rutina determina la distancia lineal para la posición x, y del primer punto de la cuadrícula en el plano, en la dirección z entre el plano y la superficie más cercana de cada diente (etapa 1906). Para detectar una colisión en esa posición x, y, la rutina determina si la posición z de la superficie más cercana del diente trasero es menor o igual a la posición z de la superficie más cercana del diente delantero (etapa 1908). Si es así, la rutina crea un mensaje de error, para mostrar a un usuario o para realimentar al programa de generación de trayectos, indicando que se producirá una colisión (etapa 1910). A continuación la rutina determina si se han probado todas las posiciones x, y asociadas a los puntos de la cuadrícula en el plano (etapa 1912) y, en caso contrario, repite los pasos anteriores
50 para cada punto restante de la cuadrícula. La rutina de detección de colisiones se realiza para cada pareja de dientes adyacentes en la boca del paciente en cada etapa de tratamiento.

El sistema también puede incorporar, y el usuario puede utilizar en cualquier momento, una característica de “película” para mostrar una animación del movimiento desde las etapas inicial a final. Esto es útil para visualizar el movimiento global de los componentes en todo el proceso de tratamiento.
60

Como se ha descrito anteriormente, una interfaz de usuario adecuada para la identificación de componentes es una interfaz de usuario gráfica interactiva tridimensional (GUI). Una GUI de tres dimensiones también es ventajosa para la manipulación del componente. Dicha interfaz proporciona al profesional del tratamiento o al usuario una interacción visual e instantánea con los componentes del modelo digital. La GUI tridimensional proporciona ventajas sobre las interfaces sencillas que permiten sólo los comandos de bajo nivel para dirigir al ordenador a que manipule un segmento particular. En otras palabras, una GUI adaptada para la manipulación es mejor en muchos aspectos de una interfaz que acepta directivas solamente, por ejemplo, del tipo: “trasladar este componente 0,1 mm a la derecha.” Estos comandos
65

de bajo nivel son útiles para el ajuste fino, pero si son la única interfaz, los procesos de manipulación del componente se convertirían en una interacción tediosa y lenta.

Antes o durante el proceso de manipulación, uno o más componentes de los dientes pueden ser aumentados con los modelos de plantilla de las raíces del diente. La manipulación de un modelo de diente aumentado con una plantilla de raíz es útil, por ejemplo, en situaciones en las que el impacto de los dientes por debajo de las encías es preocupante. Estos modelos de plantilla podrían incluir, por ejemplo, una representación digitalizada de las radiografías de los dientes del paciente.

El software también permite añadir anotaciones a los conjuntos de datos que pueden incluir texto y/o el número de secuencia del aparato. La anotación se añade como texto rebajado (es decir, es una geometría 3D), para que aparezca impreso en el modelo positivo. Si la anotación se puede colocar en una parte de la boca que estará cubierta por un aparato ortodóntico de reposicionamiento, pero que no es importante para el movimiento del diente, la anotación puede aparecer en los aparatos ortodónticos de reposicionamiento suministrados.

La identificación de los componentes y el software de manipulación de los componentes que se han descrito con anterioridad están diseñados para funcionar con una sofisticación en consonancia con el nivel de formación del operador. Por ejemplo, el software de manipulación de componentes puede ayudar a un operador de ordenador que carece de la formación ortodóntica, proporcionando información respecto a las manipulaciones permitidas y prohibidas de los dientes. Por otra parte, un ortodoncista, que tenga una mayor habilidad en la fisiología intraoral y dinámica de los dientes en movimiento puede utilizar simplemente la identificación de componentes y el software de manipulación como una herramienta y desactivar o hacer caso omiso de los consejos.

La figura 10 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema de proceso de datos 500. El sistema de proceso de datos 500 típicamente incluye al menos un procesador 502, que comunica con un número de dispositivos periféricos en un subsistema de bus 504. Estos dispositivos periféricos incluyen típicamente un subsistema de almacenamiento 506 (subsistema de memoria 508 y subsistema de almacenamiento de ficheros 514), un conjunto de dispositivos de entrada y salida de interfaz de usuario 518, y una interfaz a redes exteriores 516, incluyendo la red telefónica pública conmutada. Esta interfaz se muestra esquemáticamente como bloque 516 de "Interfaz de Red y Módems", y se acopla a los dispositivos correspondientes de interfaz en otros sistemas de tratamiento de datos sobre la interfaz de red de comunicaciones 524. Los sistemas de proceso de datos 500 pueden incluir un terminal o un ordenador personal de gama baja o un ordenador personal de gama alta, estación de trabajo, u ordenador principal.

Los dispositivos de entrada de la interfaz de usuario suelen incluir un teclado y pueden incluir adicionalmente un dispositivo puntero y un escáner. El dispositivo puntero puede ser un dispositivo señalador indirecto, tal como un ratón, puntero, tableta sensora, o tableta gráfica, o un dispositivo puntero directo tal como una pantalla táctil incorporada en la pantalla. Se pueden utilizar otros tipos de dispositivos de entrada de interfaz de usuario, tales como sistemas de reconocimiento de voz.

Los dispositivos de salida de interfaz de usuario pueden incluir una impresora y un subsistema de visualización que incluye un controlador de pantalla y un dispositivo de pantalla, acoplado al controlador. El dispositivo de visualización puede ser un tubo de rayos catódicos (CRT), un dispositivo de panel plano, tal como una pantalla de cristal líquido (LCD), o un dispositivo de proyección. El subsistema de pantalla también puede proporcionar un dispositivo no visual tal como salida de audio.

El subsistema de almacenamiento 506 mantiene la programación básica y construcciones de datos que proporcionan la funcionalidad de la presente invención. Los módulos de software que se han explicado más arriba se almacenan típicamente en un subsistema de almacenamiento 506. El subsistema de almacenamiento 506 comprende típicamente un subsistema de memoria 508 y un subsistema de almacenamiento de archivos 514.

El subsistema de memoria 508 incluye típicamente un número de memorias que incluyen una memoria de acceso aleatorio principal (RAM) 510 para el almacenamiento de instrucciones y datos durante la ejecución del programa y una memoria de sólo lectura (ROM) 512, en la cual se almacenan las instrucciones fijas. En el caso de los ordenadores personales compatibles con Macintosh, la ROM incluye porciones del sistema operativo; en el caso de ordenadores personales compatibles con IBM se incluiría el BIOS (sistema básico de entradas y salidas).

El subsistema de almacenamiento de archivos 514 proporciona un almacenamiento persistente (no volátil) para el programa y los archivos de datos, y típicamente incluye al menos un controlador de disco duro y al menos un controlador de disco floppy (junto con sus medios extraíbles correspondientes). También pueden haber otros dispositivos tales como un controlador de CD-ROM y unidades ópticas (todos ellos con todos sus medios extraíbles). Además, el sistema puede incluir controladores del tipo de cartuchos extraíbles. Los cartuchos extraíbles pueden ser, por ejemplo, cartuchos de disco duro tales como los comercializados por Syquest y otros, y los cartuchos de discos flexibles, tales como los comercializados por Iomega. Uno o más controladores pueden estar situados en una posición remota, tal como en un servidor en una red de área local o en un sitio en la World Wide Web de Internet.

En este contexto, la expresión "subsistema de bus" se usa genéricamente para incluir cualquier mecanismo que permita que los distintos componentes y subsistemas se comuniquen unos con otros, como se pretenda. Con la excepción de los dispositivos de entrada y la pantalla, los otros componentes no tienen por qué estar en la misma posición

física. Así, por ejemplo, porciones del sistema de almacenamiento de archivos pueden estar conectadas por medio de varios medios de área local o red de área amplia, incluyendo las líneas telefónicas. Del mismo modo, los dispositivos de entrada y la pantalla no tienen que estar situados en la misma posición que el procesador, aunque se prevé que la presente invención se implemente con mayor frecuencia en el contexto de los PC y de las estaciones de trabajo.

El subsistema de bus 504 se muestra esquemáticamente como un único bus, pero un sistema típico tiene un número 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 los puertos serie y paralelo. Las conexiones de red generalmente se establecen a través de un dispositivo tal como un adaptador de red en uno de esos buses de expansión o de un módem en un puerto serie. El ordenador cliente puede ser un sistema de sobremesa o un sistema portátil.

El escáner 520 es el responsable de escanear moldes de los dientes del paciente obtenidos del paciente o de un ortodoncista y de proporcionar la información del conjunto de los datos digitales escaneados a un sistema de proceso de datos 500, para su procesamiento posterior. En un entorno distribuido, el escáner 520 puede estar situado en una posición remota y comunicar la información del conjunto de datos digitales escaneados al sistema de proceso de datos 500 sobre la interfaz de red 524.

La máquina de fabricación 522 fabrica aparatos ortodónticos dentales en base a la información de los datos intermedios y finales recibida del sistema de proceso de datos 500. En un entorno distribuido, la máquina de fabricación 522 puede estar situada en una posición remota y recibir información del conjunto de datos desde el sistema de proceso de datos 500 sobre la interfaz de red 524.

Diversas alternativas, modificaciones y equivalentes se pueden utilizar en lugar de los componentes mencionados. Aunque la posición final de los dientes puede ser determinada utilizando técnicas asistidas por ordenador, un usuario puede mover los dientes a sus posiciones finales manipulando independientemente uno o más dientes, al mismo tiempo que satisface las restricciones de la prescripción.

Además, las técnicas descritas aquí pueden ser implementadas en equipos físicos o en software, o en una combinación de los dos. Las técnicas pueden ser implementadas en programas de ordenador que se ejecutan en ordenadores programables que incluyen cada uno de ellos un procesador, un medio de almacenamiento legible por el procesador (incluyendo memoria volátil y no volátil y/o elementos de almacenamiento), y dispositivos de entrada y salida adecuados. El código de programa se aplica a los datos introducidos mediante un dispositivo de entrada para realizar las funciones descritas y para generar información de salida. La información de salida se aplica a uno o más de los dispositivos de salida.

Cada programa puede ser implementado en un lenguaje de programación de alto nivel de procedimiento u orientado a objeto para operar en conjunto con un sistema informático. Sin embargo, los programas pueden ser implementados ensamblados o en lenguaje de máquina, si así se desea. En cualquier caso, el lenguaje puede ser un lenguaje compilado o interpretado.

Cada uno de estos programas de ordenador se pueden almacenar en un soporte o dispositivo de almacenamiento (por ejemplo, CD-ROM, disco duro o disquetes magnéticos) que sea legible por un ordenador programable de propósito general o especial para configurar u operar el ordenador cuando el soporte o el dispositivo de almacenamiento es leído por el ordenador para ejecutar los procedimientos descritos. El sistema también puede ser implementado como un medio de almacenamiento legible por ordenador, configurado con un programa de ordenador, en el que el medio de almacenamiento configurado de esta manera hace que un ordenador opere en una manera específica y predefinida.

La invención ha sido descrita en términos de realizaciones particulares. Otras realizaciones se encuentran en el alcance de las reivindicaciones que siguen. Por ejemplo, las técnicas de escaneado tridimensional que se han descrito anteriormente se pueden utilizar para analizar las características de los materiales, tales como la contracción y expansión, de los materiales que forman el diente y los moldes de dientes y los alineadores. Asimismo, los modelos 3D de dientes y la interfaz gráfica que se han descrito anteriormente pueden ser utilizados para ayudar a los médicos que tratan a pacientes con aparatos correctores convencionales u otros aparatos de ortodoncia convencional, en cuyo caso las restricciones aplicadas al movimiento de los dientes se modificarían en consecuencia. Por otra parte, los modelos de los dientes pueden ser situados en un sitio web de protocolo de transferencia de hipertexto (http) para el de acceso limitado a los pacientes correspondiente y a los médicos de tratamiento.

Además, aunque la invención se ha mostrado y descrito con referencia a una realización de la misma, los expertos en la técnica comprenderán que lo anterior y otros cambios en la forma y detalle pueden hacerse sin separarse del espíritu y del alcance de las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema implementado por ordenador para su uso en la creación de un plan para reposicionar los dientes de un paciente desde un conjunto de posiciones iniciales a un conjunto de posiciones finales de los dientes, que comprende:
 - un medio para recibir un conjunto de datos digitales iniciales que representan los dientes en las posiciones iniciales;
 - un medio para recibir una o más restricciones relacionadas con el reposicionamiento de los dientes; y
 - un medio para generar trayectos de tratamiento para mover los dientes desde las posiciones iniciales a las posiciones finales de acuerdo con las restricciones y para recurrir a una base de datos de tratamientos preferidos de disposiciones de dientes ejemplares.
2. Un procedimiento implementado por ordenador que se utiliza para crear un plan para reposicionar los dientes de un paciente desde un conjunto de posiciones iniciales de los dientes a un conjunto de posiciones finales de los dientes, comprendiendo el procedimiento:
 - proporcionar un sistema como en la reivindicación 1,
 - recibir una o más restricciones asociadas al reposicionamiento de los dientes; y
 - generar trayectos de tratamiento para mover los dientes desde las posiciones iniciales a las posiciones finales de acuerdo con las restricciones.
3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que las restricciones comprenden al menos una de entre separación de dientes, agrupación de dientes, extracción de dientes, eliminación de recubrimiento de dientes, rotación de dientes, y movimientos de diente en incrementos.
4. El procedimiento de la reivindicación 3, en el que la restricción comprende rotación de dientes en el rango de cinco grados a diez grados por etapa y/o movimiento en el rango de 0,2 mm a 0,4 mm por etapa.
5. El procedimiento de las reivindicaciones 2 a 4, en el que
 - las restricciones están almacenadas en el sistema implementado por ordenador en una agrupación; y
 - una dimensión de la agrupación identifica cada etapa en el movimiento de los dientes.
6. El procedimiento de las reivindicaciones 2-5, que comprende, además, aplicar un conjunto de reglas para detectar cualesquiera colisiones que se puedan producir cuando los dientes del paciente se mueven a lo largo de los trayectos de tratamiento, en el que detectar colisiones comprende calcular distancias entre un primer diente y un segundo diente por medio de:
 - establecer (1902) un plano de proyección neutro entre el primer diente y el segundo diente;
 - establecer (1904) un eje z que es normal al plano y que tiene una dirección positiva y una dirección negativa desde cada uno de un conjunto de puntos de base en el plano de proyección,
 - calcular (1906) una pareja de distancias con signo que comprende una primera distancia con signo al primer diente y una segunda distancia con signo al segundo diente, midiéndose las distancias con signo sobre una línea a través de los puntos de base y paralela al eje z; y
 - determinar (1910) que se produce una colisión si cualquiera de la pareja de distancias con signo indica una colisión.
7. El procedimiento de las reivindicaciones 2-6, que además comprende aplicar un conjunto de reglas para detectar cualesquiera oclusiones de mordedura inadecuadas que se puedan producir cuando los dientes del paciente se muevan a lo largo de los trayectos de tratamiento.
8. El procedimiento de la reivindicación 7, que comprende, además, calcular un valor de un índice de maloclusión y mostrar el valor a un usuario.
9. El procedimiento de las reivindicaciones 2-8, en el que generar los trayectos de tratamiento incluye recibir datos que indican las restricciones de los movimientos de los dientes del paciente y aplicar los datos para generar los trayectos de tratamiento.
10. El procedimiento de las reivindicaciones 2-9, que comprende además presentar una representación gráfica de tres dimensiones (3D) de los dientes en las posiciones que se corresponden a un conjunto de datos seleccionados.

ES 2 328 876 T3

11. El procedimiento de la reivindicación 10, que comprende además animar la representación gráfica de los dientes para proporcionar una representación visual de los movimientos de los dientes a lo largo de los trayectos de tratamiento.
- 5 12. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además proporcionar una interfaz gráfica con componentes que representan botones de control en un grabador de videocasete, que un usuario puede manipular para controlar la animación.
- 10 13. El procedimiento de las reivindicaciones 10-12, que comprende además usar solamente una porción de los datos en el conjunto de datos seleccionados para obtener la representación gráfica de los dientes.
14. El procedimiento de las reivindicaciones 10-12, que comprende además aplicar una compresión a nivel de detalle al conjunto de datos para presentar la representación gráfica de los dientes.
- 15 15. El procedimiento de las reivindicaciones 10-14, que comprende además recibir una instrucción de un usuario para modificar la representación gráfica de los dientes y modificar la representación gráfica como respuesta a la instrucción.
- 20 16. El procedimiento de la reivindicación 15, que comprende además modificar el conjunto de datos seleccionados como respuesta a la instrucción del usuario.
17. El procedimiento de las reivindicaciones 10-16, que comprende además permitir que un usuario seleccione un diente en la representación gráfica, y como respuesta, mostrar la información referida al diente.
- 25 18. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que la información se refiere al movimiento que el diente experimentará cuando se mueva a lo largo del trayecto de tratamiento.
19. El procedimiento de la reivindicación 17, en el que la información indica una distancia lineal entre el diente y otro diente seleccionado en la representación gráfica.
- 30 20. El procedimiento de las reivindicaciones 10-19, en el que reproducir la representación gráfica comprende reproducir el diente en una visualización seleccionada de múltiples ángulos de visualización específicos ortodónticos de visualización múltiple.
- 35 21. El procedimiento de las reivindicaciones 10-20, que comprende además proporciona una interfaz de usuario a través de la cual un usuario puede proporcionar comentarios basados en texto después de visualizar la presentación gráfica de los dientes del paciente.
- 40 22. El procedimiento de las reivindicaciones 10-21, en el que reproducir la representación gráfica comprende descargar datos a un ordenador remoto en el cual un usuario desea visualizar la representación gráfica.
23. El procedimiento de las reivindicaciones 10-22, que comprende además recibir una señal de entrada de un dispositivo giroscópico de entrada de 3D controlado por un usuario y utilizar la señal de entrada para alterar la orientación de los dientes en la representación gráfica.
- 45 24. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 23, en el que los trayectos de tratamiento se utilizan para construir una serie de aparatos de ortodoncia (111), estando configurado cada uno de ellos para mover los dientes del paciente de acuerdo con una etapa de trayecto de tratamiento.
- 50 25. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 24, en el que la base de datos de tratamientos preferidos para disposiciones ejemplares de dientes se construye a lo largo del tiempo observando varios cursos de tratamiento e identificando los planes de tratamiento que han probado que tienen más éxito con cada clase general de posiciones iniciales de dientes.

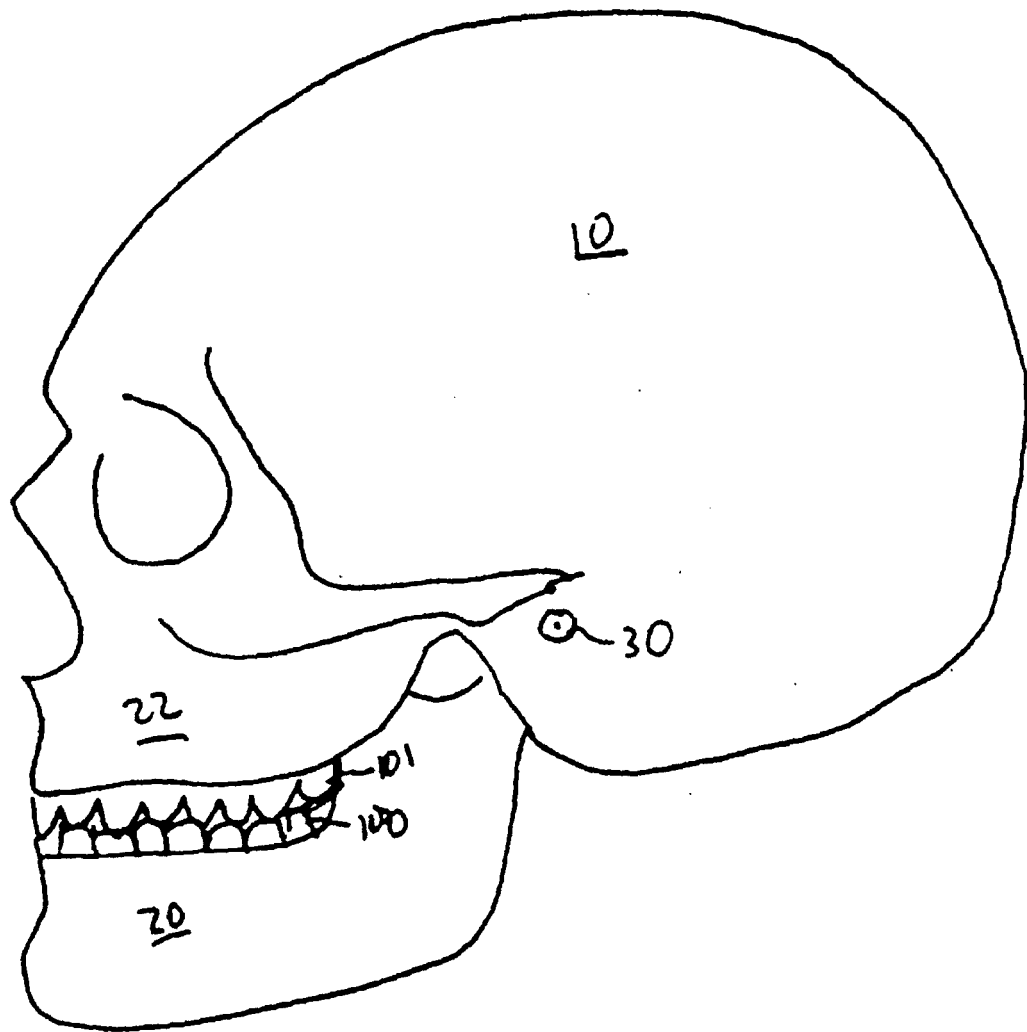


FIG. 1

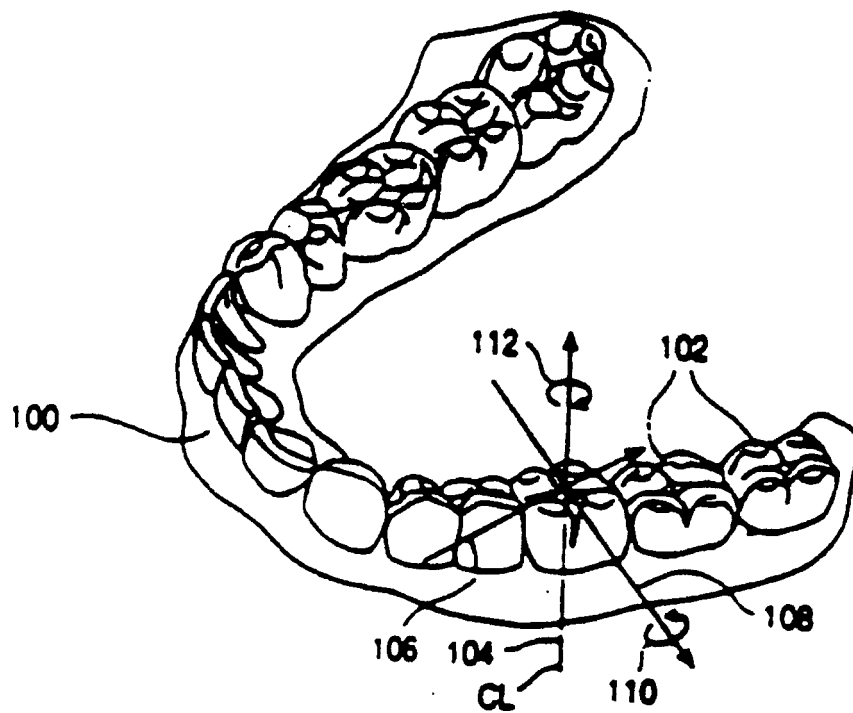


FIG. 2A

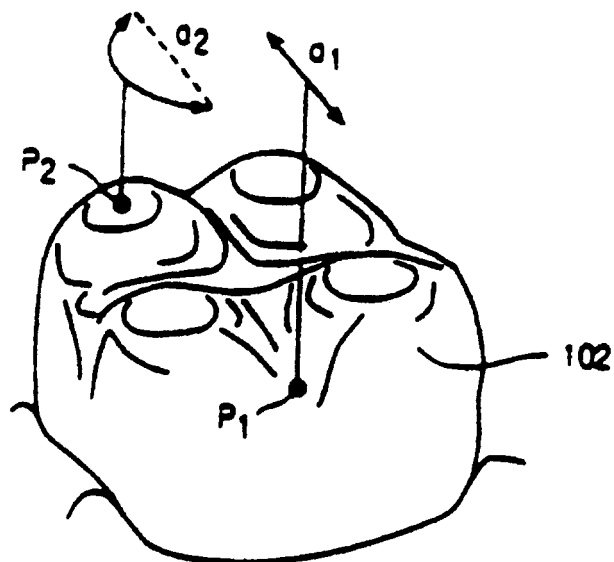


FIG. 2B

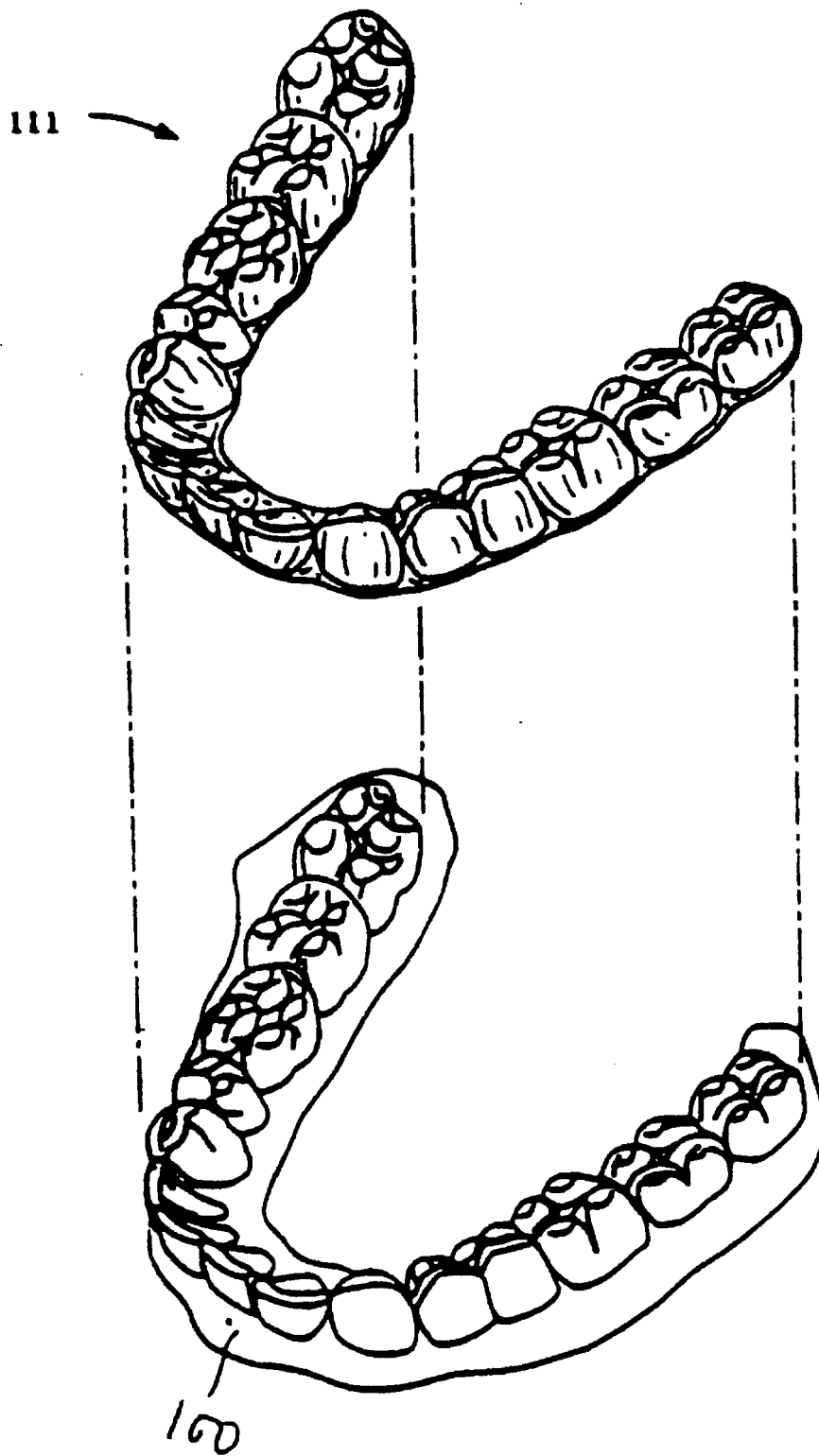


FIG. 2C

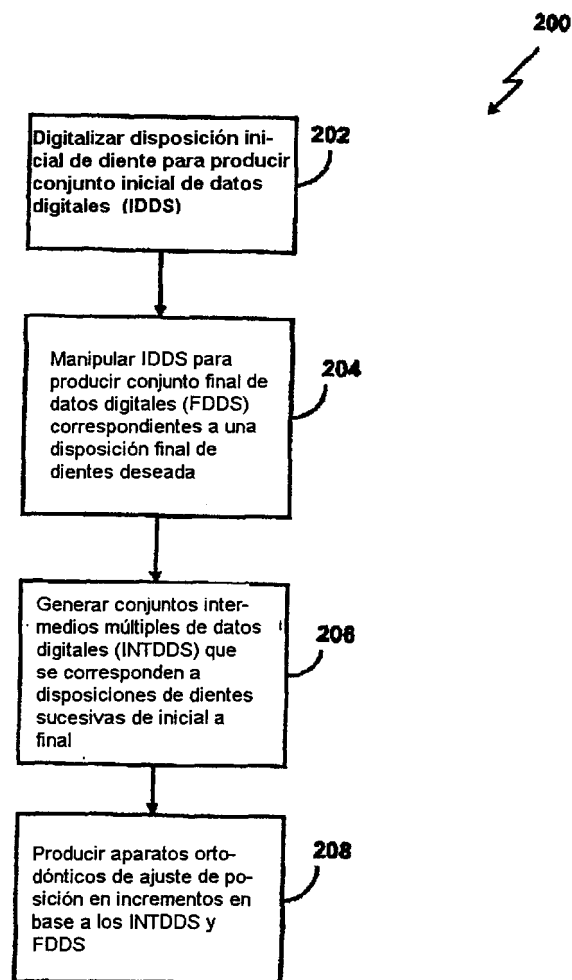


FIG. 3

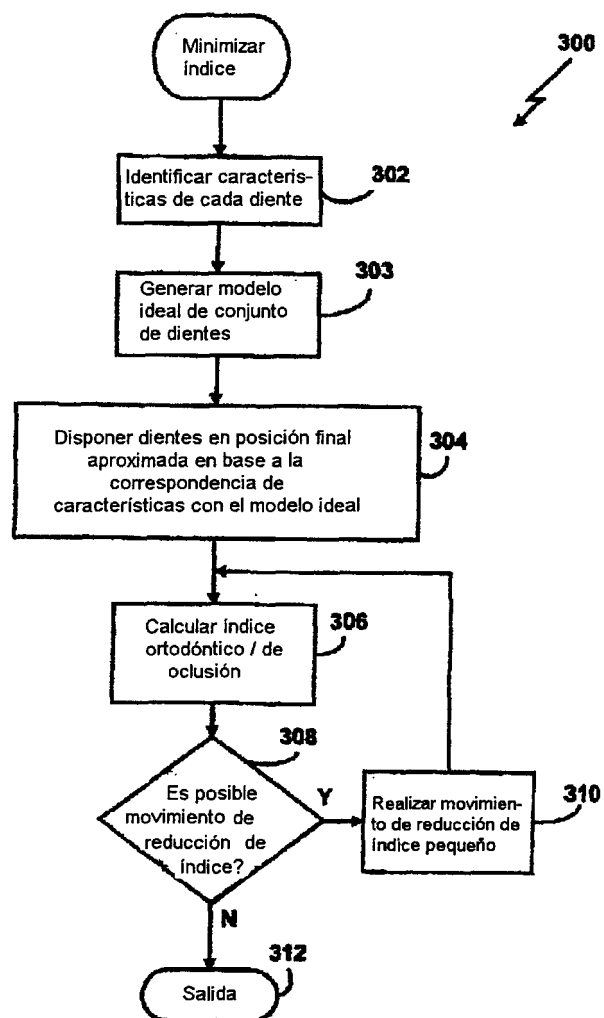
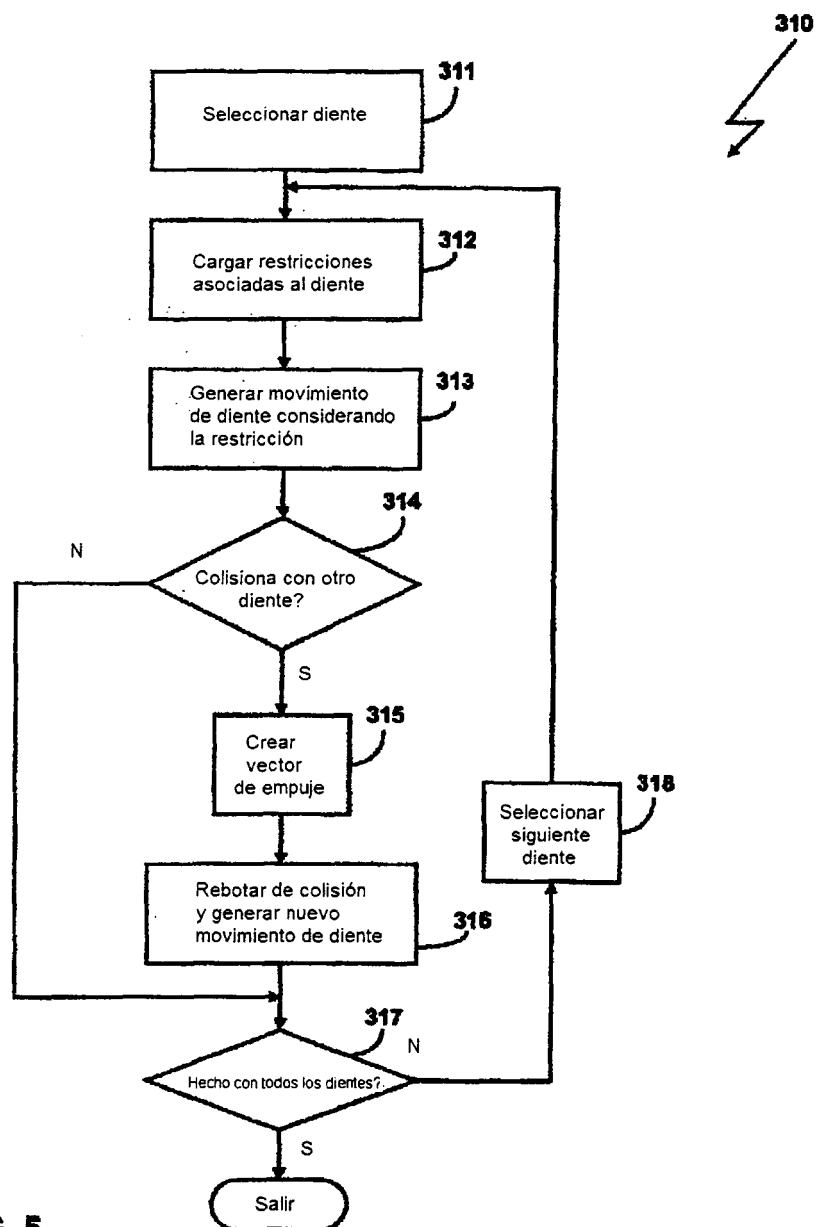


FIG. 4



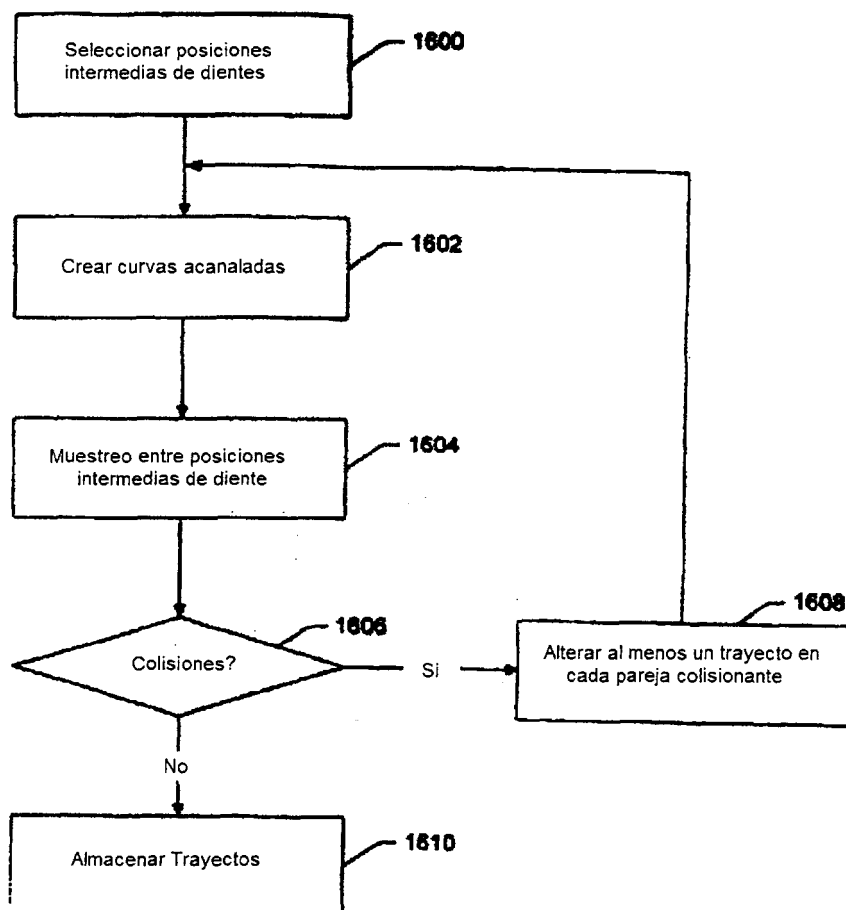


FIG. 6

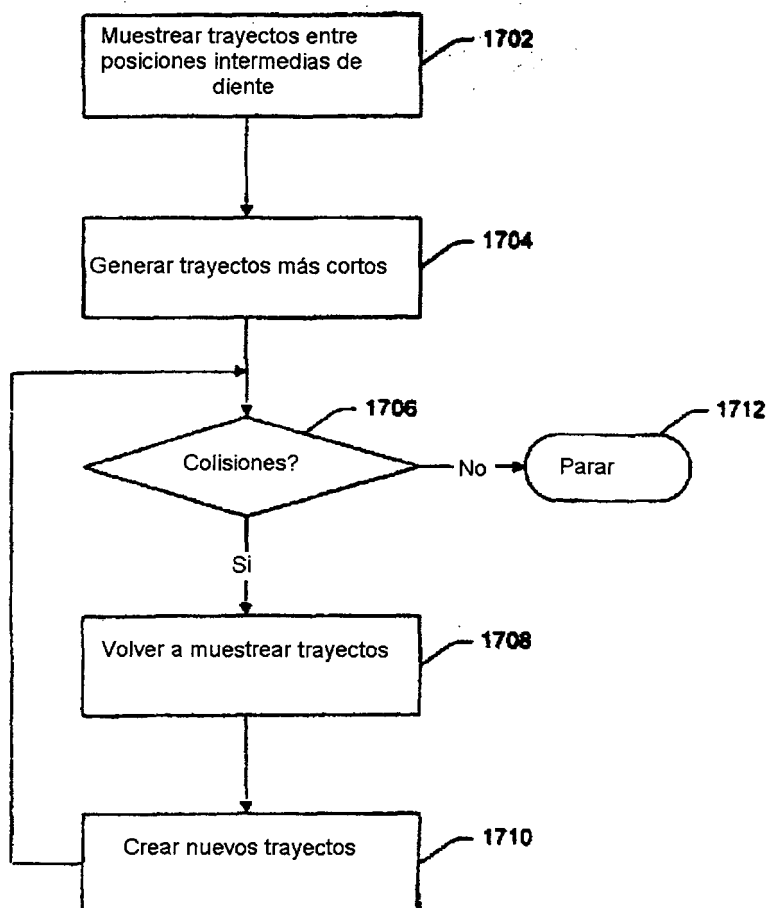


FIG. 7

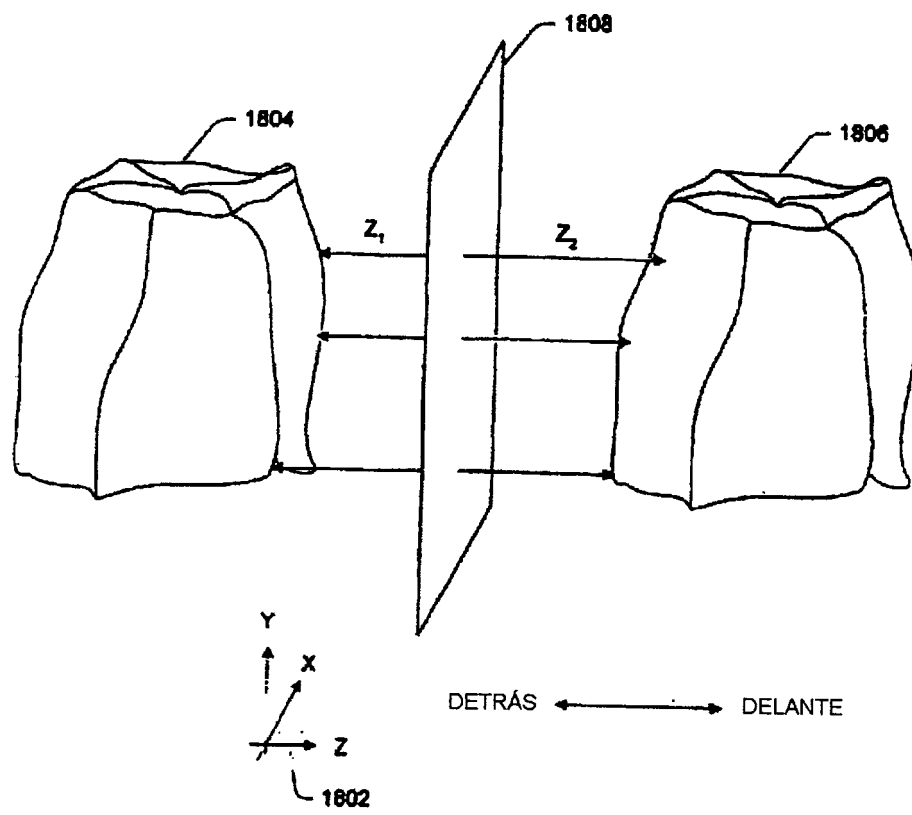


FIG. 8

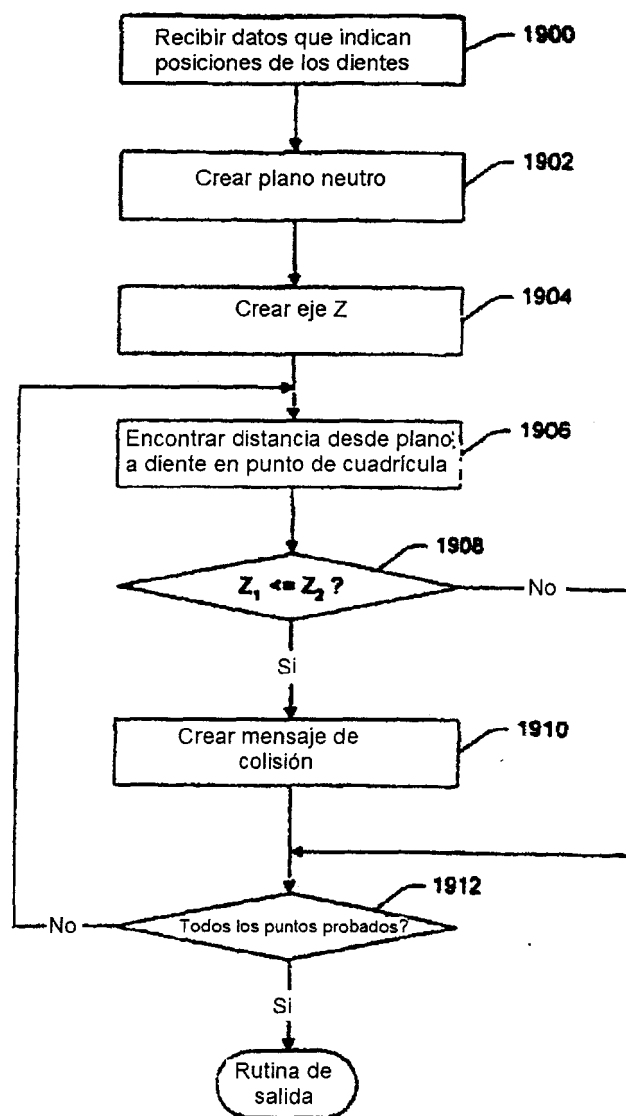


FIG. 9

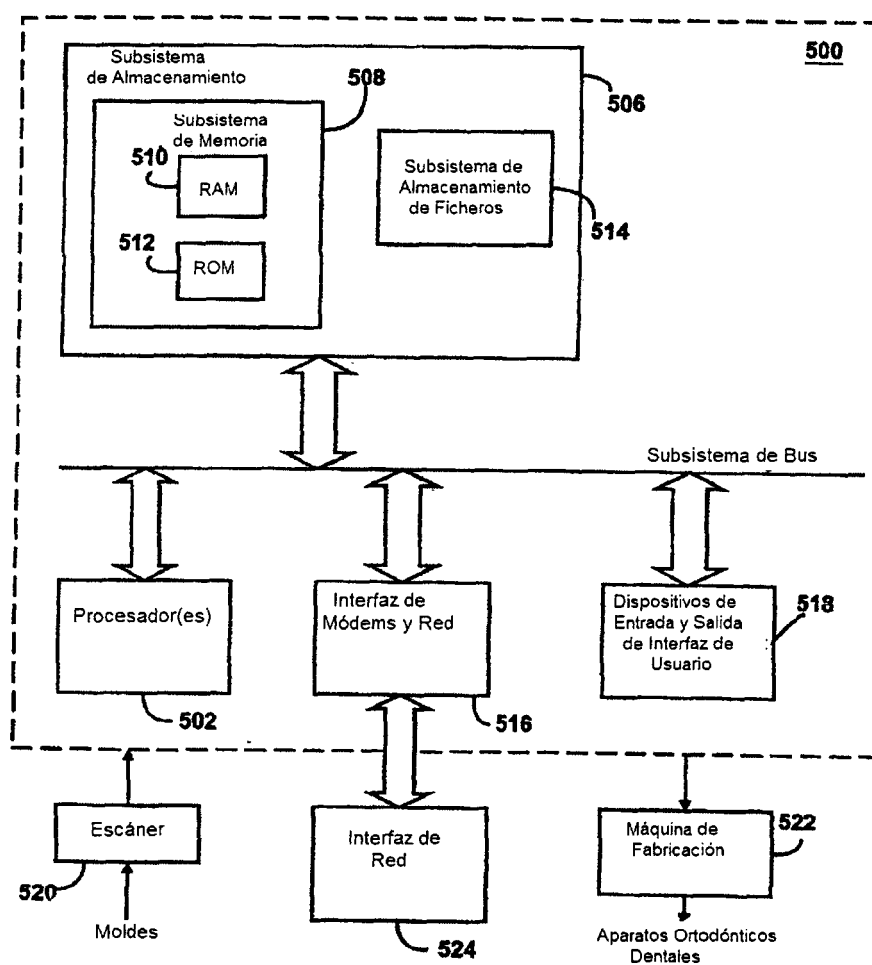


FIG. 10