

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 815 523**

51 Int. Cl.:

A61C 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.02.2018** **E 18157574 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020** **EP 3527163**

54 Título: **Método implementado por ordenador para modificar un modelo tridimensional digital de una dentición**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.03.2021

73 Titular/es:

IVOCLAR VIVADENT AG (100.0%)
Bendererstrasse 2
9494 Schaan, LI

72 Inventor/es:

LANCELLE, MARCEL;
MÖRZINGER, ROLAND;
DEGEN, NICOLAS;
SÖRÖS, GABOR y
NEMANJA, BARTOLOVIC

74 Agente/Representante:

CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 815 523 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método implementado por ordenador para modificar un modelo tridimensional digital de una dentición

5 La presente invención se refiere a un método implementado por ordenador para modificar un modelo tridimensional digital de una dentición, que comprende: visualizar una imagen de la dentición en una pantalla; recibir información de entrada de usuario que modifica la forma de por lo menos una parte de la dentición mediante marcar introducidas en la imagen sobre la pantalla; y transferir la información de modificación de forma al modelo tridimensional y modificar el modelo tridimensional de manera correspondiente.

10 Habitualmente, el modelo tridimensional de la dentición se ha obtenido usando una biblioteca de denticiones o por escaneo y/o adquisición fototécnica de la cavidad bucal de una persona, o por escaneo de la forma de la dentición tomada como impresiones en el moldeo de material compuesto en cubetas de impresión.

15 La invención se puede usar en una aplicación dental de Realidad Aumentada para obtener una vista previa de una situación dental, que sea el resultado de cualquier modificación de la dentición, por ejemplo, después de un tratamiento dental planificado, con dispositivos correctores de la posición de los dientes en su lugar o incluyendo cualquier otra modificación de la dentición. Al estado modificado de la dentición del paciente (por ejemplo, después de un tratamiento dental) se le hace referencia como situación dental en la presente solicitud. El tratamiento dental se puede planificar usando herramientas de diseño de tratamientos dentales implementadas por ordenador a partir del modelo tridimensional de la dentición y creando un modelo tridimensional modificado de una situación dental después del tratamiento. Otra opción consiste en crear un modelo físico de la dentición y modificarlo con cualquier alteración dental para obtener un modelo físico de la situación dental planificada que, a continuación, se escanea. La situación dental planificada puede incluir una o más prótesis dentales nuevas u otras restauraciones dentales, o una disposición de dientes corregida como consecuencia de correcciones de posiciones de los dientes, por ejemplo, mediante el uso de aparatos dentales.

30 Para dentistas, prótesis dentales y pacientes, es interesante disponer de una impresión visual del aspecto de una situación dental modificada, es decir, representar visualmente la situación dental modificada en una imagen de la cara del paciente. Con esta finalidad, resulta útil para el dentista una vista previa virtual (maqueta virtual) de la dentición modificada por el tratamiento dental y la misma también puede usarse en el transcurso de una modificación interactiva de la situación dental con el fin de obtener los resultados estéticos más favorables.

35 El documento US 2011/0212420 A1 divulga un método para obtener un modelo digital tridimensional de una estructura dental planificada. Se forma un segundo modelo digital modificando el primer modelo digital de una estructura dental. Como consecuencia, el segundo modelo digital de la estructura dental planificada tiene contornos de superficie espacial diferentes con respecto a aquellos de la estructura dental del primer modelo digital. Se mencionan herramientas de CAD/CAM que son útiles para modificar los modelos digitales. Un profesional de la odontología puede seleccionar una estructura dental propuesta del sistema CAD/CAM, puede editar manualmente una estructura dental propuesta, y/o editar manualmente el primer modelo digital para llegar al segundo modelo digital de la estructura dental planificada.

45 El documento US 9.775.491 B2 divulga un método implementado por ordenador para representar visualmente una imagen renderizada a partir de un modelo tridimensional de una situación dental en una imagen de la cara del paciente grabada por una cámara. En este método se obtiene un modelo tridimensional de la cavidad bucal del paciente. Este modelo tridimensional se modifica en un plan de tratamiento odontológico aplicando restauraciones dentales para obtener un modelo tridimensional de la situación dental de la dentición del paciente después de la aplicación de las restauraciones dentales. Se obtiene una imagen bidimensional de la cara del paciente que incluye la abertura de la boca. A continuación, se estima el posicionamiento de la cámara que grabó la imagen con respecto a la dentición del paciente. En esta solicitud, "posicionamiento de la cámara" estaba destinada a incluir la posición tridimensional x, y, z en el espacio y la orientación angular de la cámara con respecto a la cara del paciente. Una cámara virtual que hace uso del posicionamiento estimado procesa el modelo tridimensional de la situación dental para obtener una imagen bidimensional, y se selecciona una parte del modelo tridimensional de la situación dental que es visible para la cámara virtual. La imagen renderizada por la cámara virtual se superpone y visualiza en la imagen tomada por la cámara.

60 El documento US 7.717.708 B2 describe unos métodos basados en ordenador para prestar soporte a dentistas durante una planificación de un tratamiento dental para un paciente. En un método de este tipo, varias fuentes de información sobre el estado fisiológico y anatómico de la dentición del paciente se almacenan en el dispositivo informático. Esto incluye, por ejemplo, un modelo tridimensional de la dentición que incluye los arcos de dientes superiores e inferiores y las encías, así como imágenes bidimensionales del paciente grabadas por una cámara, que incluyen la abertura de la boca y las partes visibles de la dentición de la misma. La fotografía de la abertura de la boca puede visualizarse en una pantalla del dispositivo informático, y el odontólogo puede usar herramientas de *software* para marcar ciertas características en la fotografía visualizada, por ejemplo, el plano oclusal. Además, se menciona que se proporcionan herramientas de *software* para simular cambios en la forma o posición anatómica de las estructuras anatómicas craneofaciales y su efecto sobre el aspecto visual externo del paciente. A este respecto, se menciona también que todos

los cambios o modificaciones aplicados a la fotografía visualizada de la dentición se transfieren automáticamente al modelo tridimensional de la dentición el cual se modifica de manera correspondiente. Para marcar ciertas características y líneas sobre la fotografía visualizada, se describe que el usuario identifica puntos y líneas con una interfaz de usuario, tal como un ratón, sobre la pantalla. Por lo tanto, para marcar una línea o curva en la imagen de la dentición, es necesario introducir marcas (una pluralidad de puntos en el método descrito) a lo largo de la curva usando el ratón. Uno de los aspectos importantes cuando se planifican restauraciones para una parte de un arco dental o para uno completo es el posicionamiento de las curvas de contorno visibles de arcos de dientes, a saber, la curva incisal y la curva de borde gingival de los arcos de los dientes superiores e inferiores, en la imagen de la abertura de la boca del paciente. La introducción, punto a punto, de dichas curvas en el trayecto del arco de los dientes superiores o inferiores para recibir restauraciones dentales es un procedimiento lento e ineficiente.

El documento US 2017/319293 A1 divulga otro método implementado por ordenador para modificar un modelo tridimensional digital de una dentición.

En particular, cuando se diseñan restauraciones para el arco de los dientes superiores o inferiores, el posicionamiento de las líneas de contorno visibles de los arcos de los dientes en la abertura de la boca es un aspecto importante. A este respecto, resultaría particularmente útil disponer de una visualización inmediata de una curva incisal modificada o una curva modificada del borde de los dientes y la encía.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un método para modificar un modelo tridimensional digital de una dentición de una persona que permita una introducción intuitiva rápida de una modificación del posicionamiento y la forma de una curva de contorno visible de arco de dientes correspondiente a los arcos de los dientes superiores o inferiores.

Este objetivo se alcanza con el método que comprende las características de la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se exponen unas formas de realización preferidas de la invención.

Según la presente invención, el usuario puede modificar una de las curvas de contorno visibles de arcos de dientes (curva incisal o curva de borde gingival) dibujando o bosquejando una línea nueva sobre la imagen de la dentición en la pantalla, en donde la línea dibujada en la pantalla determina hasta dónde debe extenderse la nueva curva de contorno de arco de dientes. Cabe señalar que la línea dibujada en la pantalla no se muestra en la pantalla, sino que únicamente sirve para introducir información. El usuario puede dibujar la línea con su dedo deslizando la punta del mismo a lo largo de la curva nueva, o puede usar una herramienta de entrada tal como un bolígrafo para dibujar la línea nueva en la pantalla; nuevamente, cabe señalar que no queda ni se visualiza en modo alguno en pantalla ninguna línea física. La pantalla puede ser una pantalla táctil que capte la línea dibujada; alternativamente, la herramienta de entrada puede ser un ratón o similar que se puede usar para dibujar una línea moviendo un cursor controlado por el ratón a lo largo de la pantalla. En otras palabras, a lo largo de la línea, los dientes se estiran/comprimen en la imagen en dirección longitudinal (entre la raíz del diente y el borde incisal) en la región de la línea, de tal manera que los dientes se extienden entre la línea proyectada y la curva de contorno del arco dental opuesta a la curva del arco dental que se modifica con la línea dibujada. Esta modificación del arco dental se realiza deformando el modelo tridimensional de la dentición según la línea dibujada.

Para permitir modificaciones de diseño del tipo mencionado dibujando líneas virtuales en la pantalla que visualiza la dentición, se llevan a cabo las siguientes etapas. La imagen de la dentición se obtiene aplicando una cámara virtual al modelo tridimensional de la dentición con el fin de renderizar una imagen bidimensional que se visualiza en la pantalla. La línea dibujada por el usuario sobre la imagen en la pantalla es captada y procesada adicionalmente. Con esta finalidad, la misma cámara virtual (es decir, en el mismo posicionamiento de cámara) que se usó para renderizar la imagen bidimensional de la dentición se usa para proyectar la línea captada hacia una superficie de proyección tridimensional con el fin de obtener una línea proyectada. La superficie de proyección tridimensional es una aproximación de la forma de los arcos dentales superior e inferior en el modelo tridimensional de la dentición y prolonga los arcos dentales hacia las regiones contiguas de la encía y en la dirección dirigida al otro arco de dientes para cubrir cualquier abertura entre los arcos dentales superior e inferior en casa de una boca abierta.

En el modelo tridimensional de la dentición se obtienen curvas de contorno visibles de arcos de dientes correspondientes a los arcos de dientes superiores e inferiores, a saber, la curva incisal y la curva de borde gingival para cada uno de los arcos de dientes superiores e inferiores. Las curvas de contorno de los arcos de los dientes pueden obtenerse deduciéndolas a partir del modelo tridimensional de la dentición mediante detección automática de líneas en el modelo tridimensional, o las puede predefinir un usuario de antemano. A continuación, las curvas de contorno de arcos de dientes se proyectan hacia la superficie de proyección. Una forma de proyección consiste en representar las curvas como segmentos de línea donde cada punto se proyecta encontrando el punto más cercano sobre la superficie de proyección, respectivamente. La conexión de estos puntos proyectados da como resultado las curvas proyectadas.

Se selecciona una de las curvas de contorno de arcos de dientes como la correspondiente que se va a modificar. Esto o bien se hace sobre la base de una selección del usuario de antemano o bien puede realizarse, por ejemplo, seleccionando aquella de las curvas de contorno de los arcos de dientes que esté más cerca de la línea proyectada

en la superficie de proyección. La distancia entre dos curvas se puede definir, por ejemplo, calculando la integral sobre el área de la superficie de proyección entre las dos curvas.

5 Todos los dientes a lo largo de la línea proyectada que pertenecen a la curva de contorno de arco de dientes seleccionada se deforman en el modelo tridimensional de la dentición en una dirección longitudinal de los dientes de tal manera que por lo menos unas partes de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada, después de la deformación y la proyección hacia la superficie de proyección, coincidan con la línea proyectada y todas las partes restantes de la curva de contorno de los arcos de dientes seleccionada se sitúen entre la línea proyectada y la curva de la línea de base, mientras que las regiones de los dientes en y más allá de la curva de la línea de base no se ven afectadas por la deformación.

15 Eso significa que la línea captada proyectada hacia la superficie de proyección se convierte en una línea envolvente o máxima de la curva de contorno modificada de arco de dientes y, cuando la curva de contorno de arco de dientes a modificar es una curva incisal, los dientes en el área afectada del arco de dientes se deforman estirándolos o comprimiéndolos (estirándolos cuando la línea dibujada está más alejada de la curva de borde gingival, y comprimiéndolos cuando la línea dibujada para la nueva curva incisal está más cerca de la curva de borde gingival que la curva incisal actual). De esta manera, los dientes a lo largo de la línea proyectada se alargan o comprimen de una manera definida por la línea dibujada sobre la imagen de la dentición en la pantalla.

20 De la misma manera, la curva de borde gingival se puede rediseñar dibujando una línea correspondiente, en donde, en este caso, la curva incisal opuesta del mismo arco de dientes es la curva de la línea de base, y los dientes se alargan o comprimen a lo largo de la línea dibujada de tal manera que la curva de borde gingival de los dientes deformados entra en contacto con la línea dibujada, mientras que la curva incisal opuesta no se ve afectada.

25 En cuanto a la deformación del modelo tridimensional de la dentición, esta incluye métodos en los que se genera un modelo tridimensional deformado y el modelo tridimensional original (sin deformar) se mantiene y permanece almacenado.

30 La deformación del modelo tridimensional de la dentición puede llevarse a cabo, por ejemplo, aplicando factores de escala que multiplican todos los valores de coordenadas en la dirección de deformación de todos los puntos del modelo tridimensional. Por ejemplo, en caso de que se use una malla poligonal para el modelo tridimensional, todos los vértices de la malla poligonal se pueden escalar usando un factor de escala para la coordenada a deformar, en donde el origen de la coordenada a deformar se define con la curva de la línea de base de tal manera que no tiene lugar ninguna deformación en la propia curva de la línea de base, y la deformación en términos absolutos es más pronunciada cuanto más separado esté el punto de la coordenada con respecto a la línea cero (curva de la línea de base).

40 En una forma de realización preferida, la curva de la línea de base se deriva de la otra curva de contorno de arco de dientes correspondiente al mismo arco de dientes que la curva de contorno de los dientes que se va a modificar suavizando la otra curva de contorno de arco de dientes. El suavizado de curvas se puede lograr según se ha descrito anteriormente. Otra posibilidad es definir un intervalo de vecindad y asignar un promedio o un valor máximo dentro del intervalo de vecindad.

45 En una forma de realización preferida, se completa la deformación a lo largo de la línea proyectada, y a continuación se renderiza una imagen del modelo tridimensional deformado aplicando la cámara virtual al modelo tridimensional deformado y la imagen renderizada se visualiza en la pantalla en lugar de la imagen del modelo tridimensional no deformado original (su imagen). De esta manera, el usuario puede obtener inmediatamente una impresión del aspecto visual del diseño modificado de la dentición.

50 Alternativamente, se renderizan continuamente imágenes nuevas en tiempo real mientras la línea se dibuja en la pantalla y las imágenes renderizadas de la parte deformada de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada se visualizan en tiempo real hasta el punto actual en el que se ha dibujado la línea. En este caso, la imagen de la parte deformada del arco de los dientes sigue la línea mientras el usuario continúa dibujando esta línea en la pantalla. Por ejemplo, el usuario puede dibujar en primer lugar una primera parte de línea para definir una primera parte de una curva de contorno de arco de dientes modificada, y la parte modificada resultante del arco de dientes ya se visualiza renderizando el modelo tridimensional deformado, y a continuación el usuario puede continuar dibujando la línea hacia una parte adicional del arco de los dientes para completar el diseño de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada. En principio, cuando el usuario dibuja por primera vez una parte de línea corta, esto puede tener el efecto de que puede que solamente se deforme una parte de la curva de contorno de los dientes al dibujar una línea solo a lo largo de una parte de un único diente lo cual entonces tendría el efecto ya de que solamente se modificaría la curva incisal o curva de borde gingival de esta parte del diente y el diseño modificado se visualizaría en la pantalla.

65 En una forma de realización preferida, el usuario puede seleccionar la curva de contorno de arco de dientes a modificar con una línea que se dibujará de antemano identificando explícitamente una curva de contorno particular de arco de dientes, o la curva de contorno de arco de dientes a modificar se selecciona automáticamente

seleccionando la curva de contorno de arco de dientes que está más cerca de la línea proyectada cuando no hay otra selección presente.

5 En una forma de realización preferida, la línea proyectada se forma a partir de la línea captada mediante el uso de una secuencia de puntos a lo largo de la línea captada, y para cada punto mediante la proyección, usando la cámara virtual, de una línea recta que interseca con el punto de la línea captada hacia la superficie de proyección y mediante la determinación del punto de intersección de la línea recta con la superficie de proyección, en donde la línea proyectada se forma conectando la secuencia de puntos de intersección en la superficie de proyección. En otras palabras, la línea captada se describe mediante una polilínea, y la cámara virtual proyecta puntos a lo largo de la polilínea proyectando una línea recta a través de cada punto de la polilínea en la pantalla por parte de la cámara virtual hacia la superficie de proyección para determinar su posición con respecto a los arcos de los dientes. La secuencia de puntos de intersección con la superficie de proyección formada de esta manera describe la línea proyectada como una polilínea en la superficie de proyección. La superficie de proyección es necesaria en particular en la situación en la que la línea proyectada no estuviera en intersección con ninguna parte de la dentición, por ejemplo, la línea proyectada se extiende en un área abierta entre las curvas incisales de los arcos de los dientes superiores e inferiores.

20 En una forma de realización preferida, se define una dirección vertical para el modelo tridimensional de la dentición mediante una dirección perpendicular a un plano oclusal del modelo tridimensional de la dentición. La superficie de proyección se define a continuación con una superficie de un sector de un cilindro o prisma rectos en torno a un eje paralelo a la dirección vertical, es decir, el eje longitudinal perpendicular a las caras terminales del cilindro o prisma rectos está orientado en dirección vertical. La superficie de proyección se subdivide en una pluralidad de subsectores, extendiéndose cada subsector sobre un paso angular incremental con respecto al eje longitudinal del sector del cilindro o prisma. Para cada subsector, se determina por lo menos un punto de la línea proyectada por proyección o interpolación de puntos proyectados de sectores vecinos. Para cada subsector, se determina un subsector de modelo de dentición correspondiente determinando todos los puntos de coordenadas en el modelo tridimensional contenidos en el subsector del sector del cilindro o prisma rectos. La deformación se realiza para todos los puntos de coordenadas dentro del sector del modelo de dentición aplicando un factor de escala que escala todos los puntos de coordenadas dentro del subsector en dirección vertical, en donde el factor de escala se determina para cada subsector por separado. De esta manera, la superficie de proyección y el escalado del modelo tridimensional de la dentición se discretiza y se realiza en subsectores incrementales a lo largo de la línea proyectada sobre la superficie de proyección por separado.

35 En una forma de realización preferida, la deformación se realiza de la siguiente manera. En cada subsector sobre la superficie de proyección, se seleccionan un primer punto en la línea proyectada y un segundo punto alineado verticalmente con el primer punto, siendo dicho segundo punto el punto de intersección de una línea vertical que se extiende desde el primer punto con la curva de contorno de arco de dientes seleccionada proyectada hacia la superficie de proyección. Se determinan una primera y una segunda distancias verticales entre la curva de la línea de base del modelo tridimensional de la dentición proyectada hacia la superficie de proyección y el primer y el segundo punto, respectivamente. La relación entre la primera y la segunda distancia se calcula como el factor de escala para el subsector. Si, por ejemplo, el punto de la línea proyectada tiene una distancia vertical a la curva de la línea de base de 11.0 mm, y la curva incisal proyectada del arco de dientes seleccionado tiene una distancia de 10.0 mm a la curva de la línea de base, entonces el factor de escala para este subsector es 1.1.

45 Por ejemplo, el primer punto del subsector puede ser el que presenta la máxima distancia vertical de la línea proyectada a la curva de la línea de base en el subsector.

50 En particular, la deformación en cada subsector se puede realizar utilizando el factor de escala de la siguiente manera. Todos los puntos de coordenadas del modelo tridimensional de la dentición se multiplican por el factor de escala del subsector multiplicando una coordenada z, que se define en la dirección vertical, de cada punto de coordenadas dentro del subsector por el factor de escala del subsector, en donde el valor promedio de la coordenada z de la curva de la línea de base define el valor cero de la coordenada z en el subsector y solamente se escalan por multiplicación con el factor de escala puntos de coordenadas con $z > 0$. De esta manera, los puntos de coordenadas con coordenadas z muy próximas a la curva de la línea de base se estirarán/comprimirán únicamente en una pequeña cantidad absoluta ya que el propio valor de la coordenada z es pequeño, mientras que los puntos de coordenadas muy próximos a la curva de arco de dientes seleccionada experimentarán una deformación absoluta mayor llevándolos o aproximándolos a la línea proyectada.

60 En una forma de realización preferida, la curva de contorno de arco de dientes seleccionada se suaviza amortiguando cambios rápidos a lo largo de la curva de contorno de arco de dientes. El suavizado de las curvas se puede lograr, por ejemplo, aplicando un filtro, por ejemplo, un filtro paso bajo para amortiguar cambios rápidos a lo largo de la curva, o ajustando parámetros incluidos en una función predeterminada de manera que la función ajustada se aproxime a la curva de contorno de arco de dientes seleccionada mediante una curva suave. En una forma de realización preferida, la línea de base se deriva de la curva de contorno de arco de dientes opuesta del mismo arco de dientes suavizando la curva para obtener la curva de la línea de base.

En una forma de realización preferida, la curva de contorno de arco de dientes seleccionada proyectada hacia la superficie de proyección se usa para seleccionar un punto de contorno de arco de dientes para cada subsector, por ejemplo, un punto central en el subsector. A continuación, la curva de contorno de arco de dientes se suaviza a una curva de contorno de arco de dientes suavizada asignando en cada subsector un punto del contorno de arco de dientes suavizado mediante selección de entre un intervalo de un número predeterminado de subsectores vecinos, presentando el punto del contorno de arco de dientes la mayor distancia vertical a la curva de la línea de base. Este suavizado seleccionando el punto de distancia máxima de una vecindad de, por ejemplo, dos o tres subsectores vecinos es particularmente útil para la curva incisal ya que, de esta manera, las depresiones o rebajes de la curva incisal en las regiones de dientes vecinos contiguos se conservan por lo menos parcialmente, es decir, también después de la deformación, por ejemplo al estirar los dientes para alargarlos sigue habiendo depresiones en la curva incisal resultante en la región contigua de un par de dientes vecinos.

En una forma de realización preferida, si la curva de contorno de arco de dientes seleccionada que se va a modificar es una curva de borde gingival, la región de borde gingival contigua en el modelo tridimensional de la dentición se deforma localmente para adaptarla a la deformación de los dientes determinada por la línea proyectada, en donde la deformación local en dirección vertical se realiza de tal manera que el movimiento de los puntos de coordenadas en dirección vertical debido a la deformación se hace más pequeño cuanto más separados estén los puntos de coordenadas de la curva de borde gingival no modificada.

En una forma de realización preferida, en cada subsector de la superficie de proyección se seleccionan un primer punto de la línea proyectada y un segundo punto alineado verticalmente con el primer punto, siendo dicho segundo punto el punto de intersección de una línea vertical que se extiende desde el primer punto con la curva de contorno de arco de dientes suavizada, se determinan una primera y una segunda distancias verticales entre la curva de la línea de base y el primer punto y el segundo punto, respectivamente, y se calcula la relación entre la primera y la segunda distancia como el factor de escala para el subsector.

En lugar de la deformación local por un factor de escala, se puede llevar a cabo una traslación de las coordenadas en dirección vertical, en donde se selecciona una traslación igual a la distancia vertical entre la curva antigua y la nueva y la misma se pondera con un factor de ponderación que es próximo a 1 para coordenadas próximas a la curva antigua y que es 0 cerca de la curva de la línea de base.

La invención se describirá a continuación en referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

la figura 1 es una ilustración esquemática para ilustrar principios del método de la presente invención;

la figura 2 es una ilustración esquemática de una parte de un arco de dientes superiores que ilustra varias curvas y puntos usados en una forma de realización preferida del método de la presente invención; y

la figura 3 es una ilustración esquemática que muestra un modelo tridimensional de una dentición, una línea dibujada por un usuario en la pantalla que muestra la imagen de la dentición y el modelo tridimensional modificado resultante de la dentición renderizada después de llevar a cabo la deformación de los dientes para modificar la curva incisal.

La figura 1 proporciona una visión general esquemática con respecto a elementos usados en el método según la invención. En un dispositivo informático se almacena un modelo tridimensional de una dentición 3. El modelo tridimensional de la dentición puede tener, por ejemplo, el formato de una malla poligonal con polígonos como elementos de superficie del modelo tridimensional según se muestra en la ilustración esquemática del modelo tridimensional de la dentición en la figura 3. En el dispositivo informático se almacenan varios módulos de *software* que, cuando se ejecutan, llevan a cabo las etapas de un método según la presente invención. Uno de los módulos de *software* es una cámara virtual 4. Esta cámara virtual 4 se usa, por un lado, para renderizar una imagen bidimensional a partir del modelo tridimensional de la dentición 3. La imagen bidimensional de la dentición renderizada por la cámara virtual 4 se visualiza en una pantalla 1 conectada al dispositivo informático.

Tal como se muestra en la figura 1, un usuario desliza la punta de un lápiz en la pantalla 1 para dibujar una línea invisible en la imagen bidimensional de la dentición, es decir, no se dibuja ninguna línea física, sino que se capta la información por donde se movió la punta del lápiz y la misma se usa para una deformación en tiempo real del modelo 3D de la dentición.

Para simplificar la ilustración, la figura 1 únicamente muestra el arco de los dientes superiores del modelo tridimensional de la dentición, mientras que un modelo tridimensional de la dentición en general también incluye un arco de los dientes inferiores de la dentición.

El dispositivo informático capta la línea dibujada por el usuario en la pantalla con la imagen bidimensional de la dentición, o bien captando la línea continua o bien captando una polilínea que representa la línea dibujada por una secuencia de puntos captados a lo largo de la línea dibujada.

El usuario dibuja la línea en la pantalla con la imagen de la dentición con el fin de modificar una de las curvas de contorno visibles de arco de dientes, es decir, o bien la curva incisal definida por los bordes incisales de los dientes en el arco de los dientes o bien la curva de borde gingival.

5 Para modificar el modelo tridimensional de la dentición según la línea dibujada con el fin de definir una nueva curva de contorno de arco de dientes, se llevan a cabo las siguientes etapas. La cámara virtual 4, que se usa utilizando el mismo posicionamiento que para renderizar la imagen bidimensional a partir del modelo tridimensional de la dentición 3 en la pantalla 1, se usa para proyectar una línea recta 8 que pasa a través del punto de contacto 5 de la punta del lápiz en la pantalla hacia una superficie de proyección 7 con el fin de determinar un punto de línea proyectado 6. La superficie de proyección 7 es necesaria para definir la posición del punto proyectado en tres dimensiones. En el área del arco de los dientes, la superficie de proyección se aproxima a la forma del arco de los dientes y la prolonga en dirección vertical, perpendicular al plano oclusal de la dentición, a áreas de superficie por encima y por debajo del arco de los dientes. La superficie de proyección puede estar formada, por ejemplo, por un sector de un cilindro recto o, tal como se muestra, de un prisma recto. El prisma recto tiene un eje longitudinal vertical 9 perpendicular al plano oclusal. El prisma recto que tiene una superficie exterior frontal que define la superficie de proyección 7 se subdivide en una pluralidad de subsectores, extendiéndose cada subsector sobre un paso angular incremental con respecto al eje longitudinal 9 del sector del prisma. En la ilustración simplificada de la figura 1, el tamaño de los subsectores se exagera para simplificar. Se prefiere subdividir la superficie de proyección en subsectores mucho más finos los cuales son pequeños en comparación con la anchura de un diente, y no del mismo orden que la anchura de los dientes como en la figura 1.

Mientras el usuario dibuja la línea en la pantalla, sobre la superficie de proyección se forma continuamente una línea proyectada correspondiente que progresa a lo largo de la superficie de proyección 7 a medida que la punta del lápiz avanza a lo largo de la línea en la pantalla. La línea dibujada en la pantalla se usa para modificar una curva de contorno visible de arco de dientes de uno de los arcos de los dientes superiores e inferiores en el modelo tridimensional 3 de la dentición, en el ejemplo ilustrado del arco de los dientes superiores. La línea de contorno de arco de dientes seleccionada que se va a modificar es en este ejemplo la curva incisal del arco de los dientes superiores. La curva de contorno de arco de dientes que se va a modificar mediante la línea dibujada se puede definir, por ejemplo, mediante una entrada de usuario que identifique de antemano la línea de contorno de arco de dientes que se va a modificar. Alternativamente, la línea de contorno de arco de dientes que está junto a la línea dibujada puede seleccionarse automáticamente como curva de contorno de arco de dientes a modificar.

La línea proyectada que resulta de una secuencia de puntos de línea proyectados 6 en la superficie de proyección se usa, a continuación, para deformar los dientes del modelo tridimensional a lo largo de la línea proyectada de manera que la curva de contorno de arco de dientes seleccionada, en este caso la curva incisal del arco de los dientes superiores, se mueva hacia la línea proyectada de modo que por lo menos unas partes de la curva incisal modificada coincidan con la línea proyectada, mientras que las partes restantes de las curvas incisales se sitúan entre la línea proyectada y la curva de la línea de base opuesta, en este caso la curva de borde gingival del arco de los dientes superiores. En otras palabras, la línea proyectada define una línea de borde o línea límite para la curva incisal modificada del arco de los dientes superiores.

Se describirá haciendo referencia a la figura 2 un ejemplo sobre cómo se pueden deformar los dientes según la manera mencionada. La figura 2 muestra una vista parcial del arco de los dientes superiores, a saber, un par de dientes vecinos. Una curva de contorno de borde gingival 12 se muestra como curva suavizada derivada del modelo tridimensional de la dentición. La base de cada uno de los dos dientes se extiende hacia la encía. La curva de contorno de borde gingival en este caso forma la curva de la línea de base. La curva incisal se deriva del modelo tridimensional de la dentición y se proyecta sobre la superficie de proyección. La curva incisal proyectada está representada por una secuencia de cruces 14, representando cada cruz 14 un punto de curva incisal de uno de los subsectores subsiguientes de la superficie de proyección. Tal como se puede ver por comparación con la figura 1, la anchura de los subsectores subsiguientes en el ejemplo de la figura 2 es mucho más pequeña y significativamente más pequeña que la anchura de un diente. La cruz 14 de cada subsector puede representar, por ejemplo, el punto de curva incisal de este subsector que tiene la mayor distancia vertical a la línea de base 12. Cabe señalar que tanto la línea de base 12 así como la secuencia de cruces 14 que representan la curva incisal obtenida a partir del modelo tridimensional de la dentición se proyectan sobre la superficie de proyección 7. Esto también se aplica a la línea proyectada 18 que representa la línea captada dibujada en la pantalla proyectada por la cámara virtual 4 hacia la superficie de proyección 7. Además de la curva incisal 14, en la figura 2 se muestra una curva incisal suavizada que se representa con una secuencia de puntos 16. Esta curva incisal suavizada en la que se amortiguan cambios rápidos a lo largo de la curva se forma, en este ejemplo, de la siguiente manera. Para cada subsector, se tienen en cuenta los dos subsectores vecinos en cada dirección, y el punto de la curva incisal del intervalo de subsectores vecinos que se tienen en cuenta se selecciona como el punto de la curva incisal del subsector actual que tiene la mayor distancia vertical a la línea de base 12. De esta manera, el rebaje en la región contigua de los dientes vecinos disminuye en comparación con la curva incisal representada por las cruces 14.

65 A continuación, para cada uno de los subsectores posteriores se determina un factor de escala comparando las distancias verticales, por un lado, entre la curva proyectada 18 y la curva de la línea de base, y, por otro lado, entre

la curva incisal suavizada representada por los puntos 16 y la curva de la línea de base 12. En particular, se determina una relación entre las distancias mencionadas para cada subsector como factor de escala vertical que a continuación se usa para deformar la región de los dientes correspondiente a este subsector en el modelo tridimensional de la dentición aplicando el factor de escala. Tal como se puede observar en la figura 1, cada subsector define también un subvolumen correspondiente en el modelo tridimensional de la dentición. Para cada subsector, todos los puntos de coordenadas del modelo tridimensional de la dentición se someten al factor de escala determinado para el subsector multiplicando la coordenada z vertical de cada uno de los puntos de coordenadas por el factor de escala del subsector. De esta manera, los puntos en la curva de la línea de base no se ven afectados por la deformación, mientras que el desplazamiento absoluto en la dirección z es mayor cuanto más alejado esté un punto de coordenadas de la curva de la línea de base en la dirección z. De esta manera, la región del ápice de la curva incisal de un diente se mueve para tocar la línea proyectada 18.

En cambio, la región rebajada en el área contigua de dientes vecinos no se deforma completamente con respecto a la línea proyectada 18 pero la forma rebajada se mantiene parcialmente dentro de estas regiones en las que la región rebajada se sitúa entre la línea proyectada 18 y la curva de línea de base 12. Este comportamiento es el pretendido en una forma de realización preferida ya que de esta manera la curva incisal modificada hasta cierto nivel mantiene los rebajes en la región contigua de un par de dientes vecinos. El motivo por el que los rebajes se mantienen parcialmente es que la curva incisal suavizada 16 se ha usado para determinar los factores de escala. La curva incisal suavizada da como resultado la región de rebaje en el área contigua de un par de dientes vecinos en factores de escala relativamente menores tal como se hubiera producido cuando los factores de escala se hubieran determinado a partir de una comparación de la línea proyectada 18 y la curva incisal 14.

En la figura 3, se ilustra el efecto de la deformación efectuada según se ha descrito usando factores de escala verticales determinados para cada subsector. La figura 3 muestra en el lado izquierdo el modelo tridimensional de dentición en el estado original, representado aquí por una malla poligonal. También se muestra la línea dibujada por el usuario para ilustrar en qué dirección y hasta qué punto desea el usuario modificar el modelo tridimensional de la dentición modificando la curva incisal del arco de los dientes superiores. Cuando se aplica el factor de escala para cada subsector según se determina según lo descrito en relación con la figura 2 a todos los puntos de coordenadas (vértices) de la malla poligonal que se sitúan en este subsector angular multiplicando las coordenadas z por el factor de escala respectivo, los dientes a lo largo de la línea proyectada se deforman hacia la línea proyectada tal como se muestra en el lado derecho de la figura 3. En términos absolutos, esto hace que los puntos de coordenadas que están más próximos a la línea proyectada se desplacen en mayor medida estirándolos hacia la línea proyectada, mientras que la vertical o el movimiento de los puntos de coordenadas se hace más pequeño cuanto menor resulta la distancia a la curva de la línea de base. En la propia curva de la línea de base no tiene lugar ninguna deformación, de manera que la propia curva de la línea de base permanece en su posición en el modelo tridimensional.

REIVINDICACIONES

1. Método implementado por ordenador para modificar un modelo tridimensional digital (3) de una dentición, que comprende:

5

visualizar una imagen de la dentición en una pantalla (1);

recibir información de entrada de usuario que modifica la forma de por lo menos una parte de la dentición mediante unas marcas que se introducen en la imagen en la pantalla;

10

transferir la información de modificación de forma al modelo tridimensional y modificar el modelo tridimensional de manera correspondiente;

caracterizado por

15

visualizar la imagen de la dentición mediante la aplicación de una cámara virtual (4) al modelo tridimensional para renderizar la imagen para la pantalla;

20

captar una línea dibujada por el usuario sobre la imagen en la pantalla (1);

formar una línea proyectada como una proyección de la línea captada, usando la cámara virtual (4), hacia una superficie de proyección tridimensional (7) que se aproxima a la forma de los arcos dentales en el modelo tridimensional de la dentición, extendiendo la superficie de proyección tridimensional (7) los arcos dentales superior e inferior para cubrir cualquier abertura entre los mismos;

25

obtener unas curvas visibles de contorno de arcos de dientes, a saber, una curva incisal y una curva de borde gingival, de los arcos de los dientes superiores e inferiores en el modelo tridimensional de la dentición, y proyectar las curvas de contorno de arcos de dientes hacia la superficie de proyección;

30

seleccionar una de las curvas de contorno de arcos de dientes como curva de contorno de arco de dientes que se va a modificar y seleccionar la otra curva de contorno de arco de dientes del mismo arco de los dientes o una curva derivada de la misma como una curva de la línea de base;

35

deformar todos los dientes que pertenecen a la curva de contorno de arco de dientes seleccionada a lo largo de la línea proyectada en el modelo tridimensional de la dentición en una dirección longitudinal de tal manera que por lo menos unas partes de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada, después de la deformación y la proyección hacia la superficie de proyección, coincidan con la línea proyectada y con cualquier parte restante de la curva de arco de dientes seleccionada estén situadas entre la línea proyectada y la curva de la línea de base, mientras que la curva de la línea de base no se ve afectada por la deformación.

40

2. Método implementado por ordenador según la reivindicación 1, caracterizado por que la curva de la línea de base se deriva de la otra curva de contorno de arco de dientes del mismo arco de dientes que la curva de contorno de dientes que va a ser modificada suavizando la otra curva de contorno de arco de dientes.

45

3. Método implementado por ordenador según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que después de que se complete la deformación de los dientes de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada, se renderiza una imagen del modelo tridimensional deformado mediante la aplicación de la cámara virtual y la imagen renderizada se visualiza en la pantalla.

50

4. Método implementado por ordenador según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la deformación de los dientes de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada progresa continuamente y sigue la parte de línea dibujada en ese momento mientras la línea se dibuja en tiempo real y la imagen renderizada de la parte deformada de la curva de contorno de arco de dientes seleccionada se visualiza en tiempo real hasta el punto actual hasta el que se ha dibujado la línea.

55

5. Método implementado por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que una de las curvas de contorno de arcos de dientes se selecciona mediante una entrada de usuario o mediante la selección de la curva de contorno de arco de dientes que está más cerca de la línea captada cuando no hay otra selección presente.

60

6. Método implementado por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que para formar la línea proyectada a partir de la línea captada se usa una secuencia de puntos (5) a lo largo de la línea captada y para cada punto se proyecta una línea recta (8) que pasa a través de este punto (5) a lo largo de la línea captada, usando la cámara virtual (4), hacia la superficie de proyección (7) y se determina el punto de intersección (6) de la línea recta con la superficie de proyección, estando la línea proyectada formada conectando la secuencia de puntos de intersección (6) en la superficie de proyección (7).

65

7. Método implementado por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se define una dirección vertical para el modelo tridimensional de la dentición mediante una dirección perpendicular a un plano oclusal del modelo tridimensional de la dentición, por que la superficie de proyección (7) está definida por una superficie de un sector de un cilindro recto o prisma recto, siendo el eje longitudinal (9) del cilindro o prisma paralelo a la dirección vertical, por que la superficie de proyección está subdividida en una pluralidad de subsectores, extendiéndose cada subsector sobre un paso angular incremental con respecto al eje longitudinal del sector del cilindro o prisma, por que dentro de cada subsector se determina por lo menos un punto de la línea proyectada, y por que para cada subsector, se determina un subsector del modelo de dentición correspondiente en el modelo tridimensional de la dentición determinando todos los puntos de coordenadas del modelo tridimensional contenidos en el subsector, y por que la deformación se lleva a cabo para todos los puntos de coordenadas dentro del sector del modelo de dentición aplicando un factor de escala que escala todos los puntos de coordenadas en dirección vertical, siendo dicho factor de escala determinado para cada subsector por separado.
8. Método implementado por ordenador según la reivindicación 7, caracterizado por que en cada subsector de la superficie de proyección, se seleccionan un primer punto de la línea proyectada y un segundo punto alineado verticalmente con el primer punto, siendo dicho segundo punto el punto de intersección de una línea vertical que se extiende desde el primer punto con la curva de arco de dientes seleccionada del modelo tridimensional de la dentición proyectada hacia la superficie de proyección, se determinan una primera y una segunda distancias verticales entre la curva de la línea de base del modelo tridimensional de la dentición proyectada hacia la superficie de proyección y el primer punto y el segundo punto, respectivamente, y se calcula la relación entre la primera y la segunda distancia como factor de escala para el subsector.
9. Método implementado por ordenador según la reivindicación 8, caracterizado por que para llevar a cabo la deformación en cada subsector, el factor de escala determinado se aplica mediante la multiplicación de una coordenada z, que está definida en la dirección vertical, de cada punto de coordenadas dentro del subsector por el factor de escala del subsector, definiendo el valor promedio de la coordenada z de la curva de la línea de base el valor 0 de la coordenada z en el subsector.
10. Método implementado por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la curva de contorno de arco de dientes seleccionada es suavizada por la amortiguación de unos cambios rápidos a lo largo de la curva de contorno de arco de dientes.
11. Método implementado por ordenador según la reivindicación 10, cuando depende de la reivindicación 7, caracterizado por que la curva de contorno de arco de dientes seleccionada se usa para seleccionar un punto de contorno de arco de dientes para cada subsector, por que una curva de contorno de arco de dientes suavizada está formada definiendo, para cada subsector, el punto de contorno de arco de dientes suavizado (16) mediante selección, de entre un intervalo de un número predeterminado de subsectores vecinos, del punto de contorno de arco de dientes que presenta la mayor distancia vertical a la curva de la línea de base.
12. Método implementado por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la curva de la línea de base se deriva de la curva de contorno de arco de dientes opuesta a la curva de contorno de arco de dientes seleccionada del mismo arco de dientes suavizando la curva de contorno de arco opuesta.
13. Método implementado por ordenador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, si la curva de contorno de arco de dientes seleccionada que se va a modificar es una curva de borde gingival, la región de borde gingival contigua está deformada localmente para adaptarla a la deformación de los dientes determinada por la línea proyectada, siendo la deformación local en dirección vertical llevada a cabo de tal manera que el movimiento de los puntos de coordenadas en dirección vertical debido a la deformación se hace más pequeño cuanto más separados están los puntos de coordenadas con respecto a la curva de borde gingival no modificada.
14. Método implementado por ordenador según la reivindicación 7 y 10 u 11, caracterizado por que en cada subsector de la superficie de proyección, se selecciona un primer punto de la línea proyectada y un segundo punto alineado verticalmente con el primer punto, siendo dicho segundo punto el punto de intersección de una línea vertical que se extiende desde el primer punto con la curva de contorno de arco de dientes suavizada, se determinan una primera y segunda distancias verticales entre la curva de la línea de base y el primer punto y el segundo punto, respectivamente, y se calcula la relación entre la primera y la segunda distancia como factor de escala para el subsector.

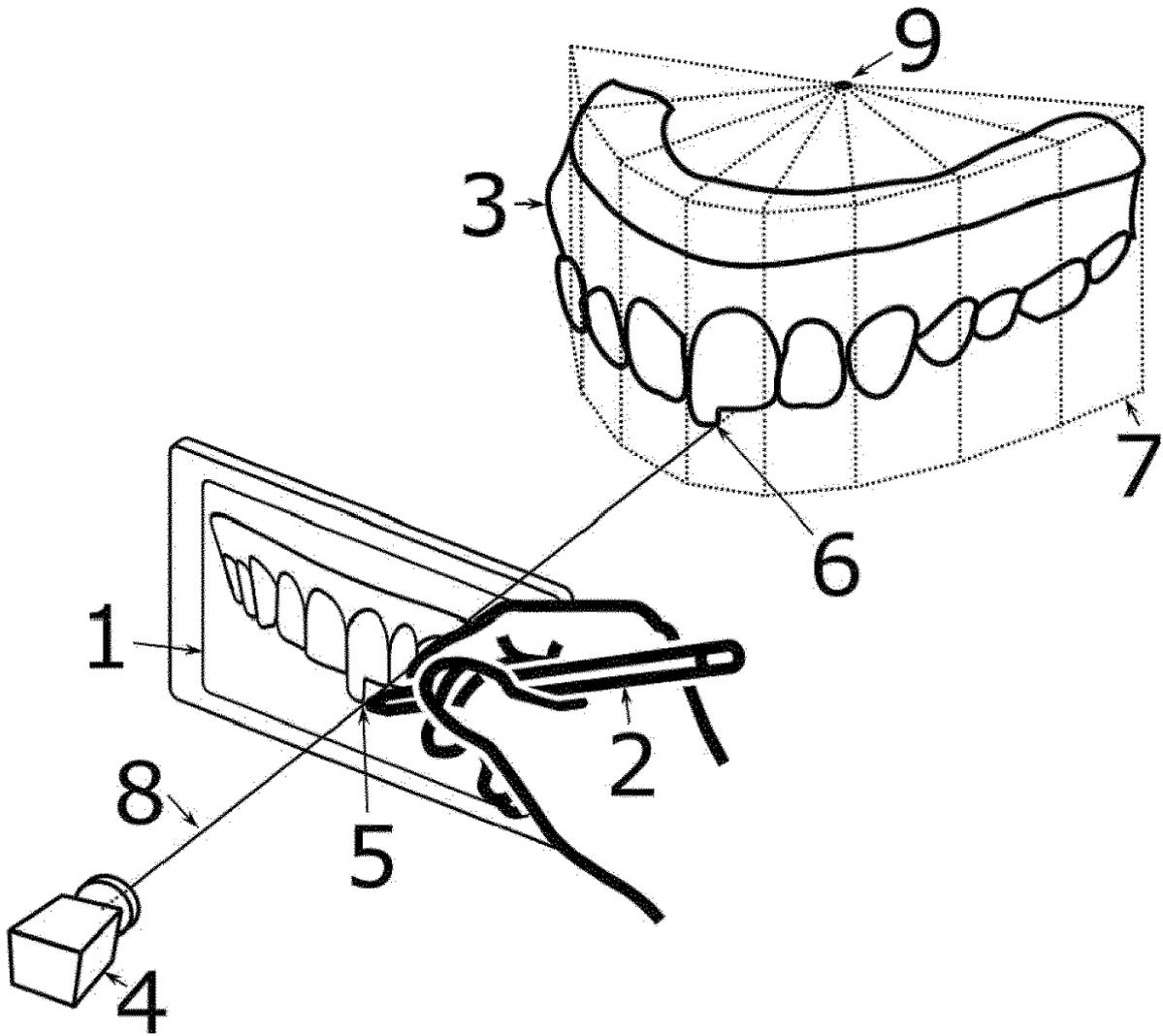


FIG. 1

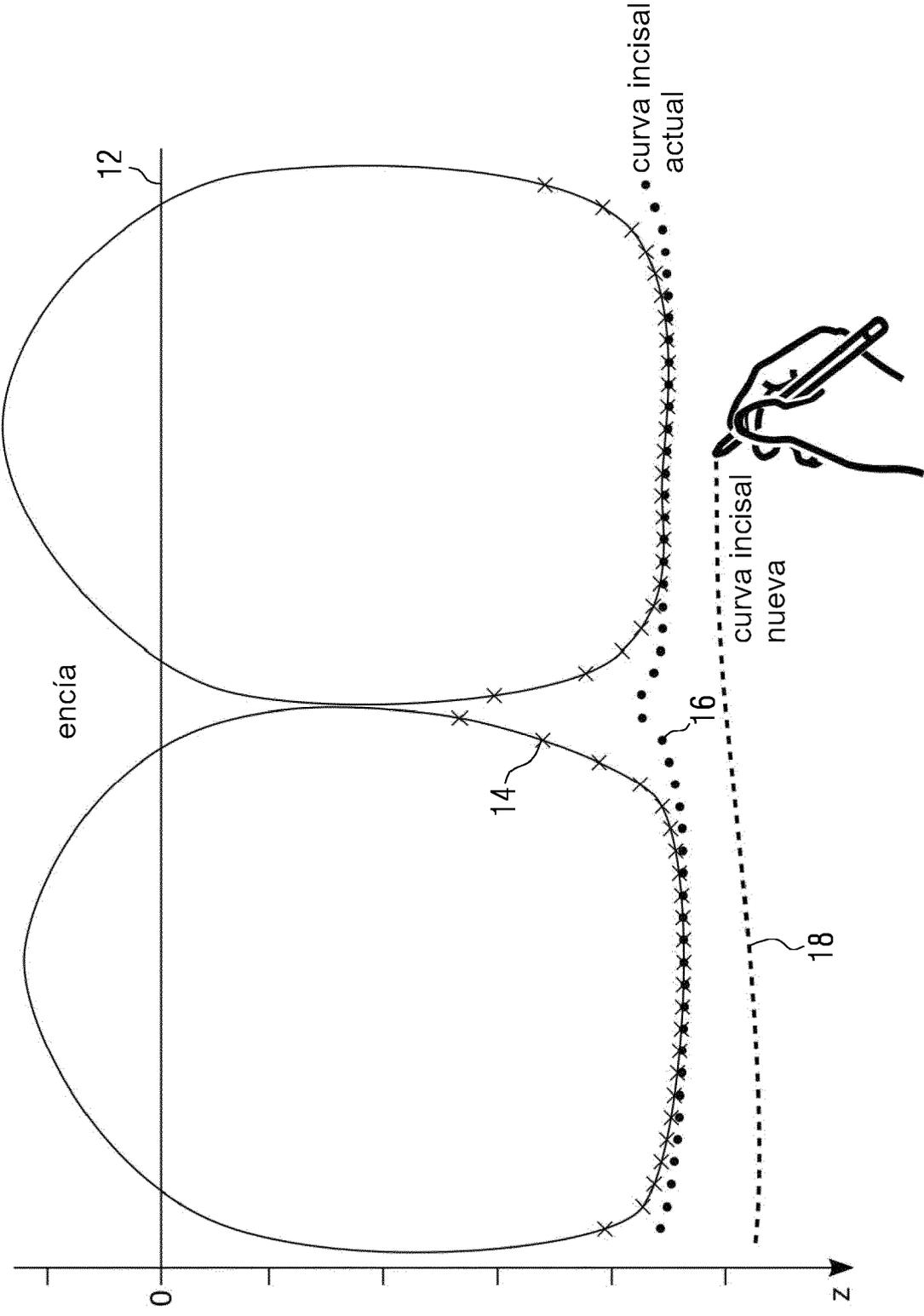


FIG. 2

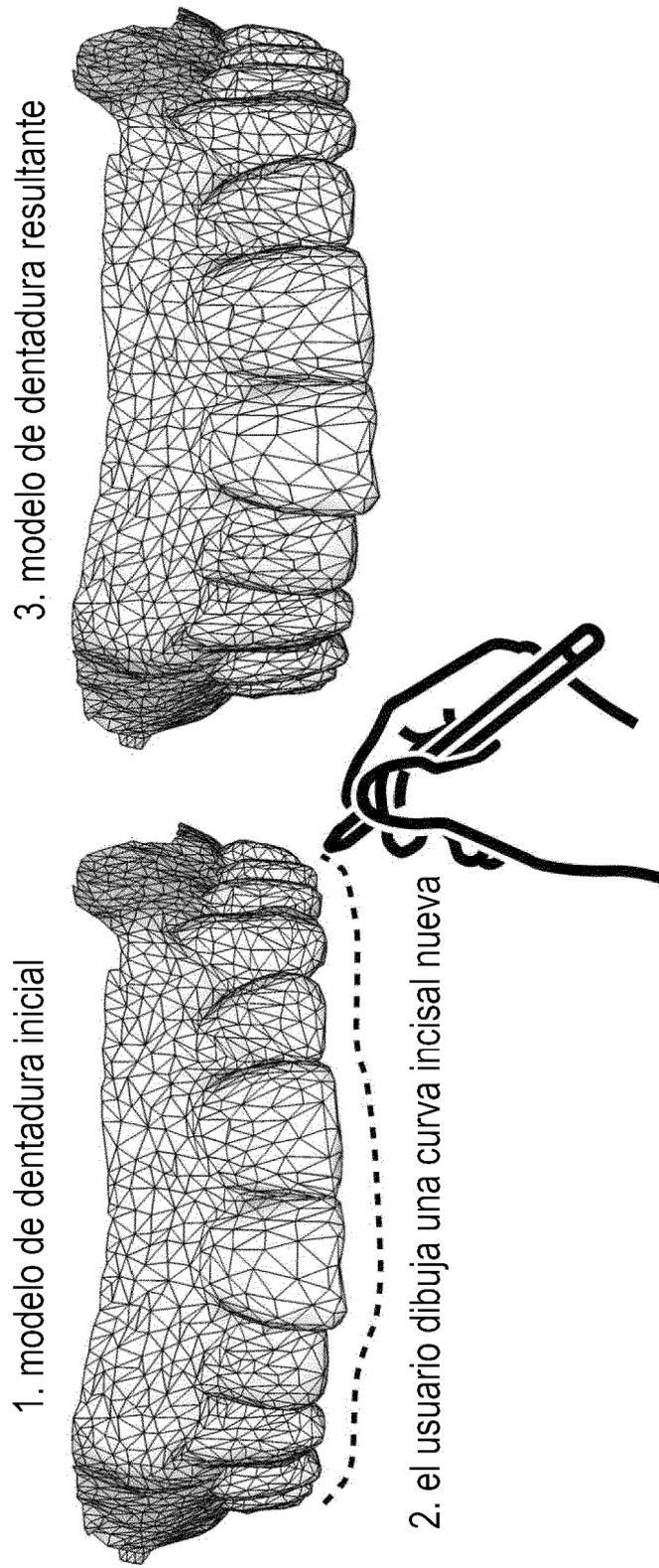


FIG. 3