

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 962 606**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/11** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.07.2019 PCT/EP2019/068564**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.01.2020 WO20011866**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.07.2019 E 19736406 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.09.2023 EP 3821397**

54 Título: **Procedimiento de corte de un modelo de una arcada dental**

30 Prioridad:

**13.07.2018 FR 1856502**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.03.2024**

73 Titular/es:

**DENTAL MONITORING (100.0%)  
75, rue de Tocqueville  
75017 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**SALAH, PHILIPPE;  
PELLISSARD, THOMAS;  
GHYSELINCK, GUILLAUME y  
DEBRAUX, LAURENT**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 962 606 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

Procedimiento de corte de un modelo de una arcada dental

Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento de corte de un modelo tridimensional de una arcada dental.

5 Estado de la técnica

El corte de un modelo tridimensional en modelos elementales es una operación mediante la cual se corta el modelo para delimitar la representación de uno o más elementos de la escena modelada. En particular, el solicitante ha inventado varios procedimientos en los que se corta un modelo de una arcada dental para definir modelos elementales para cada diente, o "modelos de dientes". El modelo así cortado puede luego deformarse, por desplazamiento de los modelos de diente, para

10

simular el efecto de un tratamiento de ortodoncia o la evolución de una recidiva, o de un tratamiento estético. El corte puede automatizarse parcialmente, en particular para definir el contorno de los dientes. Sin embargo, sigue siendo necesaria la intervención de un operador para afinar y validar el corte, en particular para tener en cuenta el contexto.

15

En esta área, el artículo "3D Shape Segmentation with Projective Convolutional Networks" ("Segmentación de formas 3D con redes convolutivas proyectivas") de Kalogerakis et al., describe un procedimiento de segmentación de modelo 3D basado en el tratamiento por red neuronal de imágenes 2D proyectadas del modelo 3D.

Existe una necesidad permanente para acelerar la operación de corte de un modelo de una arcada dental.

Un propósito de la invención es satisfacer esta necesidad.

Resumen de la invención

20

La invención propone un procedimiento para cortar un modelo tridimensional de una escena o "modelo de escena", en particular de una escena dental, estando definido dicho procedimiento en la reivindicación 1.

Como se verá con más detalle en el resto de la descripción, un procedimiento de corte según la invención utiliza las capacidades de una red neuronal para el análisis de imágenes, en este caso vistas del modelo de escena, para enriquecer la descripción de este modelo. El procedimiento puede utilizarse en particular para identificar, en el modelo de escena, las regiones cuya naturaleza ha sido identificada por la red neuronal en la vista de análisis.

25

Preferiblemente, la zona elemental define la representación de un elemento físico de la escena, por ejemplo un diente. La zona elemental se califica entonces de "zona de diente".

El atributo de la zona elemental puede elegirse en particular entre un número de diente, un tipo de diente, un parámetro de forma del diente, un índice de desviación mesial y distal del borde incisivo, un nivel de abrasión, un parámetro de apariencia del diente, un parámetro relativo al estado del diente o relativo a un aparato dental llevado por el diente.

30

El atributo del modelo puede ser idéntico o diferente al atributo de la zona elemental. Preferiblemente, estos dos atributos son idénticos y, en particular, pueden ser un número del diente.

El procedimiento comprende además, después de la etapa c), la siguiente etapa:

d) modificación de la vista de análisis, luego se reanuda en la etapa b).

35

Multiplicando los ciclos de etapas b) a d), es posible así explorar el modelo de escena, es decir adquirir numerosas vistas de análisis, en diferentes condiciones de observación, y en particular bajo diferentes orientaciones, para conseguir asignar valores, para dicho atributo de modelo, a todos los vóxeles de dicho modelo de escena. Preferiblemente, el procedimiento todavía comprende, después de más de 10, más de 100 o más de 1000 ciclos de etapas b) a d), la siguiente etapa e):

e) reagrupamiento de las regiones del modelo de escena que tienen el mismo valor para dicho atributo de modelo, de manera que creen un modelo elemental.

40

Por ejemplo, el modelo de escena puede ser un modelo de una arcada dental, o "modelo de arcada", y el atributo de la zona elemental puede ser un número de diente. Los ciclos de etapas b) a d) permiten entonces, observando según diferentes direcciones la parte del modelo de arcada que representa un diente, identificar progresivamente todos los vóxeles del modelo de arcada que pertenecen a la representación de este diente, y así definir, sin intervención de un operador, un modelo de diente.

45

Preferiblemente, el procedimiento comprende además, después de la etapa e), la siguiente etapa:

f) desplazamiento y/o deformación y/o supresión del modelo elemental. El desplazamiento de los modelos elementales permite en particular simular una situación dental, en particular ortodóncica, pasada o futura.

En un modo de realización, el modelo de escena está formado por un conjunto de regiones de base, clásicamente triangulares y, cuando, en la etapa c), se asigna un valor, a un atributo del modelo de escena, para una región que incluye al menos un vóxel de una región de base, dicho valor se asigna a la totalidad de dicha región de base.

5 Por ejemplo, si se identifica, en la etapa c), que un vóxel es la representación del diente nº 4, inmediatamente se considera que la región triangular que incluye este vóxel representa el diente nº 4. Ventajosamente se acelera considerablemente el corte del modelo de escena.

El procedimiento incluye las siguientes características:

- 10 - la vista de análisis adquirida en la etapa a) y/o una o más de las vistas de análisis modificadas en la etapa d), preferiblemente la vista de análisis adquirida en la etapa a) y todas las vistas de análisis modificadas en la etapa d), son vistas de análisis de base obtenidas siguiendo las siguientes etapas:
  - 1) determinación de una orientación predeterminada del modelo de escena, denominada "orientación de base";
  - 2) determinación de un conjunto de diferentes condiciones de observación del modelo de escena posicionado en dicha orientación de base, denominadas "condiciones de observación de base";
  - 15 3) adquisición de un conjunto de vistas de análisis de base, adquiriendo cada vista de análisis de base en condiciones de observación de base respectivas;
- en la etapa 2), se determina el conjunto de dichas condiciones de observación de base de manera que minimice el número de dichas condiciones de observación de base, y que mantenga un valor mayor que un umbral predeterminado, para cada uno de los modelos de escena de base de un grupo de modelos de escena de base, la relación de la superficie total del conjunto de los modelos elementales determinados en la etapa e) sobre la superficie del modelo de escena.
- 20

Opcionalmente, el procedimiento incluye una o más de las siguientes características:

- el grupo de modelos de escena de base comprende más de 10, preferiblemente más de 100, preferiblemente más de 1000 modelos de escena de base, modelando cada modelo de escena de base al menos una parte de una arcada de un paciente respectivo;
- 25 - el procedimiento comprende, al final de la etapa e), la etapa que consiste en asignar cada uno de al menos una parte de los vóxeles huérfanos del modelo de escena, preferiblemente cada uno de los vóxeles huérfanos, a los modelos elementales creados en la etapa e), un vóxel huérfano que no puede ser asignado a más de un modelo elemental, siendo un vóxel huérfano un vóxel no reagrupado dentro de un modelo elemental durante la etapa e).

Un procedimiento según la invención se implementa al menos en parte, preferiblemente en su totalidad, por ordenador.

### 30 Definiciones

Un "paciente" es una persona para quien se implementa un procedimiento según la invención, independientemente de si esta persona sigue o no un tratamiento de ortodoncia.

El "plano de oclusión" es el plano que proporciona la mejor correlación lineal con el conjunto de los puntos de contacto entre los dientes de la arcada maxilar por una parte y los dientes de la arcada mandibular por otra parte.

35 El "plano longitudinal medio" es el plano sustancialmente vertical cuando el paciente mantiene la cabeza erguida, que separa de manera sustancialmente simétrica las partes derecha e izquierda de cada arcada. El eje longitudinal medio es el eje que se extiende en la intersección del plano de oclusión y del plano longitudinal medio.

Una "situación dental" define un conjunto de características relativas a la arcada de un paciente en un momento dado, por ejemplo la posición de los dientes, su forma, la posición de un aparato de ortodoncia, etc. en este momento.

40 Por "modelo" se hace referencia a un modelo digital tridimensional. Un modelo se compone de un conjunto de vóxeles. Un "modelo de arcada" es un modelo que representa al menos parte de una arcada dental, preferiblemente al menos 2, preferiblemente al menos 3, preferiblemente al menos 4 dientes.

45 Con el propósito de la claridad, se distingue clásicamente el "corte" de un modelo de escena en "modelos elementales" y la "segmentación" de una imagen, en particular de una vista de un modelo de escena, en "zonas elementales". Los modelos elementales y las zonas elementales son representaciones, en 3D o en 2D respectivamente, de un elemento de una escena real, por ejemplo de un diente.

La observación de un modelo, en condiciones de observación específicas, en particular según un ángulo específico y a una distancia determinada, se denomina "vista".

Una "imagen" es una representación bidimensional de una escena, formada por píxeles. Una vista es un ejemplo de una

imagen.

Una "escena" está formada por un conjunto de elementos que pueden observarse simultáneamente. Una "escena dental" es una escena que incluye al menos una parte de una arcada dental.

5 Un atributo de diente es un atributo cuyo valor es específico para los dientes. Preferiblemente, se le asigna un valor de un atributo de diente a cada zona de diente de la vista considerada o a cada modelo de diente de un modelo de arcada dental considerado. Un atributo de diente no se refiere a la vista ni al modelo en su conjunto. Su valor deriva de las características del diente al que se refiere.

Por "vista de una arcada", "representación de una arcada", "escaneo de una arcada" o "modelo de una arcada", se entiende una vista, una representación, un escaneo o un modelo de la totalidad o parte de dicha arcada dental.

10 Una "base de aprendizaje" es una base de registros informáticos adecuada para entrenar una red neuronal. Cada registro incluye un objeto, por ejemplo una imagen, e informaciones sobre este objeto, o "descriptiva". Una descriptiva incluye valores para los atributos del objeto. Por ejemplo, un atributo de una imagen de una escena dental puede servir para identificar los números de los dientes representados. El atributo es entonces "número de diente" y para cada diente, el valor de este atributo es el número de este diente.

15 Una "red neuronal" o "red neuronal artificial" es un conjunto de algoritmos de inteligencia artificial bien conocidos por el experto en la técnica.

En la presente descripción, los calificativos "histórico" o "de análisis" se utilizan para mayor claridad.

20 Con el propósito de la claridad, se califican de "zonas" y de "regiones" las superficies de una imagen y de un modelo, respectivamente. También se distingue una "descriptiva", que describe el objeto de un registro de una base de aprendizaje y que, en particular, incluye valores de atributos de este objeto, y una "descripción" que describe un modelo. Una "descriptiva elemental" describe específicamente una zona elemental. Una "descripción elemental" describe específicamente un modelo elemental.

Debe interpretarse "que comprende" o "que incluye" o "que presenta" de manera no restrictiva, a menos que se indique lo contrario.

25 Breve descripción de las figuras.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán aún con la lectura de la descripción detallada que sigue y con el examen del dibujo adjunto en el que:

La Figura 1 representa, esquemáticamente, las diferentes etapas de un procedimiento según la invención;

La figura 2 representa un ejemplo de un modelo de arcada dental, es decir un modelo de escena dental;

30 La figura 3 representa un ejemplo de una "vista de análisis" de un modelo de arcada dental;

La Figura 4 representa las regiones de dicho modelo de arcada dental que están "relacionadas" con las zonas elementales identificadas en la vista de análisis mostrada en la Figura 3;

La Figura 5 representa, esquemáticamente, las diferentes etapas de un procedimiento para crear un modelo de escena dental por ensamblaje de modelos de dientes de base;

35 Las Figuras 6A-6D ilustran el tratamiento llevado a cabo para determinar el plano de oclusión del modelo de escena dental de la Figura 2;

La figura 7 ilustra un ejemplo de un conjunto de condiciones de observación de base de un modelo de escena dental;

La figura 8 ilustra un ejemplo de un conjunto de vistas de análisis de base de un modelo de escena dental, obteniéndose este conjunto a partir de una configuración de observación que reagrupa 16 condiciones de observación de base.

40 Descripción detallada

La siguiente descripción detallada es la de los modos de realización preferidos, pero no es limitante.

Creación de la base de aprendizaje y entrenamiento de la red neuronal.

Antes de la etapa b) y preferiblemente de la etapa a), se debe entrenar una red neuronal con una base de aprendizaje.

La base de aprendizaje se puede crear utilizando métodos convencionales.

45 Clásicamente, la base de aprendizaje está constituida de más de 1.000 registros "históricos", incluyendo cada registro:

- una vista "histórica" de un modelo tridimensional digital "histórico" que modela una escena "histórica", en particular una arcada dental de un paciente "histórico";
- una descriptiva "histórica" de la vista histórica, una descriptiva histórica que incluye un valor para al menos un atributo de una zona "histórica" elemental que representa, en la vista histórica, un elemento de la escena histórica.

5 Se puede preparar un modelo histórico a partir de mediciones realizadas en los dientes del paciente histórico o sobre un molde de sus dientes, por ejemplo un molde de yeso.

El modelo histórico se obtiene preferiblemente a partir de una situación real, preferiblemente creada con un escáner 3D.

10 En una realización, el modelo histórico es teórico, es decir, no corresponde a una situación real. En particular, el modelo histórico 10 (véase la figura 5) se puede crear ensamblando un conjunto de modelos de dientes de base 12 elegidos en una biblioteca digital 14. La disposición de los modelos de diente de base se determina de modo que el modelo histórico sea realista, es decir, corresponda a una situación que podría haberse encontrado en un paciente. En particular, los modelos de dientes de base están dispuestos según un arco 16, en función de su naturaleza, y orientados de forma realista.

Se puede observar un modelo histórico en diferentes condiciones de observación para adquirir diferentes vistas históricas.

15 Cada vista histórica representa un conjunto de zonas históricas elementales que, cada una, representa un elemento de la escena modelada por el modelo histórico. Este elemento puede ser un diente.

Por ejemplo, cada registro de la base de aprendizaje puede incluir una vista histórica de una arcada dental y una descriptiva que contenga para cada zona de diente, es decir para cada zona elemental que representa un diente en la vista histórica, un valor para al menos un atributo de diente.

20 El atributo del diente se elige preferiblemente de entre un número de diente, un tipo de diente, un parámetro de forma del diente, por ejemplo una anchura del diente, en particular una anchura meso-palatina, un grosor, una altura de la corona, un índice de desviación mesial y distal del borde incisivo, o un nivel de abrasión, un parámetro de apariencia del diente, en particular un índice de translucidez o un parámetro de color, o un parámetro relativo al estado del diente, por ejemplo "desgastado", "roto", "con caries" o "con aparato" (es decir en contacto con un aparato dental, por ejemplo de ortodoncia).

25 Por ejemplo, el atributo de diente "tipo de diente" tendrá el valor "incisivo", "canino" o "molar" dependiendo de si la zona elemental representa un incisivo, un canino o un molar, respectivamente. El atributo del diente "situación patológica" tendrá el valor "diente sano", "diente roto", "diente desgastado" o "diente con caries", por ejemplo.

El atributo del diente también puede referirse a una interacción entre un aparato dental y el diente considerado. El atributo del diente puede ser, por ejemplo, "pegado al diente" y tomar el valor "pegado" o "despegado".

30 Una vista histórica también puede representar zonas elementales históricas, cada una de las cuales representa un elemento diferente de un diente. En particular, se pueden definir, a partir del modelo histórico, otras zonas elementales además de las zonas de diente, y en particular modelos para la lengua, y/o la boca, y/o los labios, y/o las mandíbulas, y/o la encía, y/o un aparato dental, preferiblemente de ortodoncia, y asignarles valores para atributos de lengua, y/o de boca, y/o de labios, y/o de mandíbulas, y/o de encía, y/o de aparato dental, respectivamente.

Un atributo de lengua puede ser, por ejemplo, relativo a la posición de la lengua (por ejemplo, tomar el valor "en retirada").

35 Un atributo de boca puede ser, por ejemplo, relativo a la apertura de la boca del paciente (por ejemplo tomar el valor "boca abierta" o "boca cerrada").

Un atributo de aparato dental puede ser, por ejemplo, relativo a la presencia de un aparato dental y/o relativo a su estado (por ejemplo, tomar el valor "aparato intacto", "aparato roto" o "aparato dañado").

40 Clásicamente, las descripciones históricas son generadas por un operador que delimita, mediante un ordenador, las zonas elementales, preferiblemente al menos las zonas de diente, y que, después de haber identificado un valor de al menos un atributo de una zona elemental, por ejemplo la naturaleza de un diente representado, por ejemplo "canino superior derecho", asigna este valor a dicho atributo. Esta operación se llama "etiquetado".

La generación de una descriptiva histórica también puede ser, al menos en parte, automática.

45 En particular, preferiblemente, se genera una descripción del modelo histórico, luego se crea al menos en parte, la descriptiva histórica, a partir de la descripción del modelo histórico.

A este efecto, preferiblemente, el modelo histórico se corta en modelos históricos elementales, luego se genera, en la descripción del modelo histórico, una descripción elemental específica para cada modelo histórico elemental.

En un modo de realización preferido, la forma de un modelo elemental histórico, por ejemplo de un modelo de diente particular, se analiza por medio de una red neuronal entrenada para definir un valor para al menos un atributo, por ejemplo

un número de diente.

La descripción de un modelo histórico incluye así un conjunto de datos relativos a los modelos elementales históricos, por ejemplo a los modelos elementales históricos que modelan los dientes, y preferiblemente datos relativos al modelo histórico en su conjunto.

- 5 Se puede incluir a continuación, en la descriptiva histórica de una vista histórica, una descriptiva histórica elemental para cada representación de un modelo histórico elemental en la vista histórica, heredándose al menos parte de la descriptiva histórica elemental de la descripción histórica elemental específica del modelo histórico elemental.

10 Un modelo elemental histórico puede, en particular, modelar un diente, y uno o más atributos de diente pueden estar asociados con este modelo histórico elemental. Estos atributos de dientes pueden elegirse en particular de entre los atributos dentales enumerados anteriormente para las zonas de diente.

15 Por ejemplo, en el modelo histórico se crean modelos elementales históricos que representan dientes, o "modelos de diente históricos", y, en la descripción del modelo histórico, se crea una descripción elemental histórica específica para cada modelo de diente histórico, por ejemplo para identificar los números de dientes correspondientes. Entonces se puede informar en consecuencia fácilmente la descriptiva histórica y, en particular, las descriptivas elementales históricas. En particular, los números de los dientes de los modelos de diente históricos se pueden asignar a las representaciones de estos modelos de dientes históricos en la vista histórica. Ventajosamente, una vez creado el modelo histórico y su descripción, es posible generar registros históricos por ordenador, sin intervención humana. Por lo tanto, la creación de la descriptiva histórica puede automatizarse, al menos parcialmente. Ventajosamente se limita el riesgo de error.

20 Además, este procedimiento permite ventajosamente, modificando la vista histórica del mismo modelo histórico, generar un gran número de registros históricos. Preferiblemente, después de haber generado un registro histórico, se modifica la vista histórica del mismo modelo histórico, luego se crea un nuevo registro histórico.

25 En un modo de realización, el modelo histórico se deforma, por ejemplo por desplazamiento de uno o más modelos de dientes, y luego se generan nuevos registros históricos a partir de vistas históricas del modelo histórico deformado. Ventajosamente, resulta así posible crear diferentes modelos históricos que no se derivan exclusivamente de mediciones en un paciente y, en particular, de un escaneo de la arcada dental del paciente. En particular, se pueden crear modelos históricos para simular situaciones dentales sobre las que se dispone de pocos datos reales, por ejemplo en relación con patologías raras.

En particular, la red neuronal puede elegirse de entre:

- 30 - las redes especializadas en la clasificación de imágenes, llamadas "CNN" ("Convolutional neural network" ("red neuronal convolutiva"), por ejemplo
- AlexNet (2012)
  - ZFNet (2013)
  - VGGNet (2014)
  - GoogleNet (2015)
  - 35 - Microsoft ResNet (2015)
  - Caffe: BAIR Referencia CaffeNet, BAIR AlexNet
  - Torch:VGG\_CNN\_S,VGG\_CNN\_M,VGG\_CNN\_M\_2048,VGG\_CNN\_M\_1024,VGG\_CNN\_M\_128,VGG\_CNN\_F,VGG\_ILSVRC-2014 de 16 capas, VGG\_ILSVRC-2014 de 19 capas, Red en Red (Imagenet y CIFAR-10)
  - 40 - Google: Inicio (V3, V4);
- las redes especializadas en la localización y detección de objetos en una imagen, la Red de Detección de los Objetos, por ejemplo:
- R-CNN (2013)
  - 45 - SSD (Single Shot Multibox Detector: Object Detection network ("Detector MultiBox de disparo único: red de detección de objetos"), R-CNN más rápido (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection network ("Método de red convolutiva basado en regiones más rápidas: red de detección de objetos"))
  - R-CNN más rápido (2015)
  - SSD (2015).

La lista anterior no es limitante.

Para ser operativa, la red neuronal debe ser entrenada mediante un proceso de aprendizaje llamado "aprendizaje profundo", a partir de la base de aprendizaje.

5 Al presentar los registros de la base de aprendizaje como entrada a la red neuronal, esta última aprende gradualmente cómo segmentar una vista de análisis que se le presenta, es decir, cómo analizarla y generar una descriptiva que permita identificar y cualificar zonas elementales de esta vista. En particular, la red neuronal aprende a identificar, en una vista de análisis de una arcada dental, las representaciones de los dientes y a atribuirles los valores de atributos correspondientes.

10 La calidad del análisis realizado por la red neuronal entrenada con la base de aprendizaje depende directamente del número de registros de la base de aprendizaje. Preferiblemente, la base de aprendizaje incluye más de 5.000, preferiblemente más de 10.000, preferiblemente más de 30.000, preferiblemente más de 50.000, preferiblemente más de 100.000 registros. Cuanto mayor sea el número de registros, mejor será la capacidad de análisis de la red neuronal.

#### Corte de un modelo

15 El modelo de escena modela una escena y en particular puede modelar una escena dental de un paciente (figura 2). Puede realizarse siguiendo las técnicas descritas anteriormente para la generación de un modelo histórico, y en particular mediante un escaneo de una arcada de un paciente.

Para cortar un modelo de escena, se procede, después de haber creado la base de aprendizaje y entrenado la red neuronal, siguiendo las etapas a) a c) (figura 1).

20 En la etapa a), se adquiere una vista del modelo de escena, o "vista de análisis". Por lo tanto, la vista de análisis representa el modelo de escena tal como se observa en condiciones de observación específicas. Por ejemplo, una vista de análisis puede representar el modelo de escena visto de frente. La vista de análisis contiene zonas elementales, cada una de las cuales representa un elemento de la escena modelada. Por ejemplo, si la vista de análisis es una vista frontal, puede incluir una representación para el incisivo derecho, una representación para el incisivo izquierdo y una representación para la encía. Cada una de estas representaciones constituye una zona elemental.

25 En la etapa b), se presenta la vista de análisis a la red neuronal entrenada. La red neuronal analiza la vista de análisis y determina valores para atributos de las zonas elementales. Así, la red neuronal determina una descriptiva para la vista de análisis. En particular, puede determinar con probabilidad, los contornos de las zonas elementales y la naturaleza de los elementos representados por estas zonas elementales. Por ejemplo, puede determinar que una zona elemental en el centro de la vista de análisis es un incisivo con una probabilidad del 95%. Las pruebas han demostrado que una red neuronal está bien adaptada para analizar una vista de un modelo dental.

30 En la etapa c), se identifica, para cada zona elemental determinada en la etapa b), la región del modelo de escena de la que proviene.

35 Una vista de un modelo de arcada es siempre única, es decir, sólo puede adquirirse bajo condiciones de observación específicas. Por tanto, a una visión analítica corresponden, de manera biyectiva, condiciones de observaciones particulares. Siendo conocidas las condiciones de observaciones que han permitido adquirir la vista de análisis, es posible por tanto deducir, para cada zona elemental, una y sólo una región del modelo de escena, denominada "región padre", que, cuando se observa en las condiciones de observaciones, está representada por la zona elemental.

Los valores de la descriptiva de la vista de análisis y, en particular, los valores de atributos específicos de la zona elemental, se pueden entonces asignar a la región padre.

40 Por ejemplo, si un valor de atributo de una zona elemental indica que "la zona elemental es una representación al menos parcial de un incisivo", el vóxel del modelo de escena que está representado, en la vista de análisis, por un píxel que pertenece a la zona elemental puede heredar de este valor de atributo, y ser considerada como perteneciente también "a la representación de un incisivo", es decir como perteneciente a un modelo elemental de un incisivo. También se puede decir que el vóxel está "asignado" al modelo elemental que representa el incisivo.

45 Al ser limitada la resolución del modelo de escena, este modelo es clásicamente un conjunto de regiones base de forma triangular, o "triángulos", de diferentes tamaños. En la medida en que un valor de atributo es asignado a una región del modelo de escena que contiene al menos un vóxel de un triángulo, dicha región se puede extender de manera que incluya todo el triángulo. Se acelera el corte del modelo de escena.

Al final de la etapa c), sustancialmente sólo las regiones padres de zonas elementales de la vista de análisis tienen una descripción que especifica un valor de atributo deducido del análisis de la vista de análisis.

50 En la etapa d), se modifica por tanto la vista de análisis, es decir se modifican las condiciones de observación del modelo de escena, luego se vuelven a comenzar las etapas b) y c). Una vez modificada la vista de análisis, lo mismo sucede con las zonas elementales y las correspondientes regiones padres.

5 El ciclo de las etapas b) a d) se repite preferiblemente, por ejemplo más de 10, más de 100 o más de 1000 veces, preferiblemente girando alrededor del modelo de escena. Preferiblemente, el ciclo de las etapas b) a d) se repite hasta que el conjunto de las regiones padres identificadas y que han heredado valores de atributos de zonas elementales represente más del 50%, preferiblemente más del 60%, más del 70%, más del 80%, más del 90%, preferiblemente sustancialmente el 100% de la superficie del modelo de escena.

Al final de la etapa d), las regiones padres que comparten un mismo valor para un atributo, por ejemplo las regiones que se consideran todas como que "pertenecen al incisivo superior derecho", se pueden reagrupar para formar un modelo elemental, por ejemplo un modelo elemental de un incisivo superior derecho.

10 El procedimiento permite así cortar un modelo de escena y, en particular, cortar un modelo de arcada para crear modelos elementales, en particular para los dientes del modelo de arcada.

El modelo de escena cortado se puede utilizar en todas las aplicaciones en las que se utilizan modelos de escena de corte hasta hoy. En particular, el modelo de escena cortado se puede utilizar para simular un tratamiento de ortodoncia o para diseñar un aparato de ortodoncia, con fines terapéuticos o no, por ejemplo con fines de investigación o con fines puramente estéticos.

15 Ejemplo

La figura 3 es una vista de análisis de una arcada dental. La red neuronal permitió identificar las representaciones, en esta vista, de diferentes elementos de la escena dental y, en particular, permitió identificar zonas elementales que son representaciones de dientes y de la encía. En particular, identificó que la zona elemental 10 es la representación de un incisivo. El valor del atributo "tipo de diente" de la zona elemental 10 es por tanto "incisivo".

20 En la etapa c), las regiones padres de las diferentes zonas elementales se han identificado en el modelo representado en la vista de análisis. La Figura 4 representa estas diferentes regiones principales. En particular, la región 12 es padre de la zona elemental 10. Por tanto, es posible concluir que la región 12 del modelo es una región que representa, al menos parcialmente, un incisivo. El valor del atributo de modelo "tipo de diente" de la región 12 es por tanto "incisivo".

25 Se observa que la Figura 4 está incompleta. En efecto, no se pudieron identificar las partes del modelo que no son visibles en la vista de análisis. Por ejemplo, no se han identificado las partes que se extienden entre el incisivo y el canino adyacente, lo que deja un espacio vacío 14 en la Figura 4.

Para identificar la naturaleza de estas partes, por ejemplo para determinar, en el espacio vacío 14, las superficies del modelo que pertenecen a la encía, al incisivo o al canino adyacente, deben adquirirse una o más vistas de análisis diferentes, que representan la parte del modelo correspondiente al espacio vacío 14, y luego someterse a la red neuronal.

30 El ciclo entre las etapas b) y d) permite así identificar todas las superficies del incisivo que están representadas en el modelo. De este modo, el modelo puede ser cortado automáticamente.

Perfeccionamiento

35 Para cortar con precisión un modelo de escena en modelos elementales, es preferible multiplicar los ciclos de las etapas b) a d), preferiblemente efectuar más de 1000 ciclos, preferiblemente girando alrededor del modelo de escena. Este procedimiento es largo de implementar. Existe la necesidad de acelerarlo.

Al continuar con sus investigaciones, los inventores descubrieron una solución para responder a esta necesidad, sin perjudicar la precisión. Más precisamente, proponen un procedimiento de corte "perfeccionado" que incluye las siguientes etapas:

- 1) determinación de una orientación del modelo de escena en el espacio, denominada "orientación de base";
- 40 2) determinación de un conjunto de diferentes condiciones de observación del modelo de escena posicionado en dicha orientación de base, denominadas "condiciones de observación de base";
- 3) adquisición de un conjunto de vistas de análisis, denominadas "vistas de análisis de base", siendo adquirida cada vista de análisis de base en condiciones de observación de base respectivas;
- 45 4) implementación del procedimiento de corte que incluye las etapas a) a e) para cada una de las vistas de análisis de base.

En otras palabras, en la etapa 4), las vistas de análisis analizadas durante las diferentes ocurrencias de la etapa b), es decir la vista de análisis resultante de la etapa a), luego las vistas de análisis modificadas resultantes de las etapas sucesivas d), están cada vez constituidas por una vista de análisis de base diferente, implementándose el procedimiento de corte según la invención tantas veces como sea necesario para que se hayan utilizado todas las vistas de análisis de base.

Como se verá más detalladamente más adelante en la descripción, la orientación del modelo de escena permite limitar considerablemente el número de ciclos, manteniendo al mismo tiempo una buena resolución de los modelos elementales. Inesperadamente, con modelos de escenas que representan modelos de arcadas dentales, los inventores lograron, con menos de 20 vistas de análisis de base, un grado de precisión superior al 95%.

5 En la etapa 1), el modelo de escena es una escena dental de una arcada dental o de las dos arcadas dentales de un paciente.

Preferiblemente, como se muestra en la Figura 6D, el modelo de escena está orientado en el espacio para confundir

- el plano P de oclusión del modelo de escena con un plano P' de referencia predeterminado, y
- el eje longitudinal medio L del modelo de escena que se extiende en el plano P de oclusión de dicho modelo, con un eje L' de referencia predeterminado que se extiende en el plano de referencia.

10

El plano de oclusión y el eje longitudinal medio del modelo de escena se pueden determinar manualmente, de manera aproximada. Preferiblemente se determinan mediante procesamiento informático.

Preferiblemente, el modelo de escena es un modelo de las arcadas con la boca cerrada, es decir en una posición en la que dientes de la arcada maxilar están en contacto con dientes de la arcada mandibular (figura 6A).

15 Clásicamente, el modelo de escena dental proporcionado por un escáner tridimensional permite distinguir la arcada maxilar de la arcada mandibular. Generalmente, el modelo se presenta en forma de dos archivos correspondientes respectivamente a estas arcadas, y que incluyen datos que permiten posicionar los modelos de estas arcadas entre sí en la posición de oclusión.

20 En un modo de realización, el modelo de escena dental representa las dos arcadas y se determina un plano de oclusión según las siguientes operaciones:

- I. determinación de los puntos del modelo de escena dental que pertenecen a una arcada y que se encuentran a una distancia de la otra arcada que es inferior a una distancia predeterminada de la otra arcada, llamados "puntos de contacto";
- II. opcionalmente, filtrado de una parte de los puntos de contacto, preferiblemente de manera que el número de puntos de contacto que pertenecen a la arcada maxilar sea idéntico al número de puntos de contacto que pertenecen a la arcada mandibular, preferiblemente eliminando los puntos de una arcada más alejados de la otra arcada;
- III. regresión lineal, preferiblemente por el método de mínimos cuadrados, en todos los puntos de contacto restantes de manera que se determine el plano de oclusión.

25

30 En la etapa I., para estimar los puntos de contacto entre los dientes de las arcadas maxilar y mandibular (figura 6A), se determinan de preferencia todos los puntos del modelo de la arcada maxilar y de la arcada mandibular que se encuentran a una distancia inferior a un límite predeterminado, siendo este límite preferiblemente inferior a 3 mm, de preferencia de aproximadamente 2 mm. Luego se ignoran todos los demás puntos de estos modelos, lo que lleva a la representación de la Figura 6B.

35 En la etapa II, se suprimen puntos de contacto de la arcada que incluye más, hasta que el número de puntos de contacto sea idéntico para las dos arcadas. La precisión de la regresión lineal en la etapa III., se ha mejorado.

En la etapa III., una regresión lineal convencional permite determinar entonces el plano de oclusión (referido como "P" en la Figura 6C).

40 De este modo, el modelo de escena dental puede orientarse modificando la orientación del plano de oclusión (Fig. 6D), por ejemplo disponiendo el plano P de oclusión horizontalmente si el plano P' de referencia es horizontal.

Si el modelo de escena dental no incluye datos que permitan posicionar las arcadas maxilar y mandibular una con relación a la otra, se utiliza preferiblemente una mordida de oclusión que muestre los puntos de contacto entre los dientes superiores de la arcada maxilar y los dientes inferiores de la arcada mandibular, luego se reposicionan los modelos de las arcadas con respecto a esta mordida de oclusión.

45 Para determinar la orientación del modelo de escena en el plano de oclusión, es necesario orientar el eje longitudinal medio L con un eje L' de referencia del plano de oclusión.

Preferiblemente, se efectúan las siguientes operaciones:

- i. proyección, en el plano de oclusión del modelo de escena dental, de los puntos de contacto entre los dientes de las arcadas maxilar y mandibular del paciente, determinándose preferiblemente los puntos de contacto y/o el plano

de oclusión según las etapas I a III;

ii. determinación del baricentro de las proyecciones de dichos puntos de contacto y creación de un sistema de referencia, en el plano de oclusión, centrado en dicho baricentro;

5 iii. determinación, en dicho sistema de referencia, de la función parabólica, que presenta el mayor coeficiente de correlación con el conjunto de las proyecciones de los puntos de contacto;

iv. rotación del conjunto de las proyecciones de los puntos de contacto alrededor del baricentro, y reanudación de la operación anterior iii hasta que el conjunto de las proyecciones de los puntos de contacto hayan recorrido un sector determinado, preferiblemente superior a 90°, superior a 180°, o incluso de aproximadamente 360°;

10 v. identificación del coeficiente de correlación más alto para el conjunto de las posiciones angulares del conjunto de las proyecciones de los puntos de contacto alrededor del baricentro, y del eje de la función parabólica correspondiente;

vi. determinación del eje longitudinal medio del modelo de escena como siendo dicho eje de la función parabólica.

En la etapa ii., se consideran ejes [Ox] y [Oy] en el plano de oclusión (figura 6C), siendo el punto O el baricentro de las proyecciones normales de los puntos de contacto en el plano P de oclusión.

15 En la etapa iii., se busca en este sistema de referencia (xOy), la curva, preferiblemente parabólica, que presenta el mayor coeficiente de correlación con el conjunto de dichas proyecciones.

En la etapa iv., se desplaza a continuación el conjunto de las proyecciones de los puntos de contacto en el plano de oclusión, por rotación alrededor del punto O, y se inicia de nuevo la etapa anterior a partir de esta nueva posición angular de las proyecciones de los puntos de contacto.

20 Se continúa el ciclo de las operaciones anteriores, preferiblemente hasta haber hecho girar el conjunto de los puntos de contacto en 360° alrededor del baricentro O. Luego se comparan los coeficientes de correlación correspondientes a las diferentes orientaciones del conjunto de los puntos de contacto.

En las etapas v., y vi., el eje de la curva que conduce al coeficiente de correlación más alto se considera el eje longitudinal medio (referido como "L" en la Figura 6C).

25 De este modo, el modelo de escena dental puede ser orientado modificando la orientación en el plano de oclusión (Fig. 6D), alineando el eje longitudinal medio L con el eje L' de referencia. De este modo, la orientación "de base" del modelo de escena en el espacio (figura 6D) puede determinarse perfectamente y de manera rápida por ordenador.

Naturalmente, la orientación en el espacio del modelo de escena dental se puede conseguir mediante otros procedimientos, por ejemplo mediante una red neuronal entrenada para ello.

30 En la etapa 2), se determina un conjunto constituido de diferentes condiciones de observación del modelo de escena posicionado en dicha orientación de base, denominadas "condiciones de observación de base". Este conjunto se denomina "configuración de observación".

Para adquirir una vista de análisis de base, se posiciona un dispositivo virtual V de adquisición en las respectivas condiciones de observación de base.

35 La Figura 7 ilustra un ejemplo de una configuración de observación que incluye 8 condiciones de observación de base de un modelo de escena 20. A cada condición de observación de base le están asociadas

- una posición  $C_i$  de observación diferente, representada por una cruz, y
- una dirección de observación del modelo de escena,  $D_i$ , para el dispositivo de adquisición

virtual V destinado a la adquisición de la vista de análisis de base correspondiente, estando  $i$  comprendido entre 1 y 8.

40 La determinación de la configuración de observación se puede efectuar manualmente, probando diferentes configuraciones de observación.

Preferiblemente, la configuración de observación se determina para minimizar el número de condiciones de observación de base. Preferiblemente, se minimiza el recubrimiento entre las diferentes vistas de análisis de base obtenidas con la configuración de observación. Dicho de otro modo, la configuración de observación se determina de modo que la superficie del modelo de escena representada en más de una vista de análisis de base sea mínima.

45 La configuración de observación se determina preferiblemente en función de los modelos elementales a crear. Por ejemplo, para modelar los dientes, es preferible que la configuración de observación no contenga vista de análisis que no represente al menos un diente.

Se llama "grado de precisión" al porcentaje de la superficie del modelo de escena que, al final de la etapa e) de la etapa 4), ha sido asignado a un modelo elemental. En efecto, es posible que el conjunto de las regiones del modelo de escena representadas por zonas elementales en las diferentes vistas de análisis de base utilizadas no sean suficientes para cubrir toda la superficie del modelo de escena.

- 5 Preferiblemente, en la etapa 2), se determina la configuración de observación en función de un grado mínimo de precisión que se debe alcanzar para los modelos elementales. Preferiblemente, la configuración de observación se determina de modo que el grado de precisión sea superior al 90%, preferiblemente superior al 95% o incluso superior al 98%.

10 Preferiblemente, en la etapa 2), se determina la configuración de observación para minimizar el número de condiciones de observación de base, mientras se obtienen modelos elementales que tienen un grado de precisión mayor que un grado de precisión mínimo.

En la etapa 3), se adquieren las vistas de análisis, denominadas "vistas de análisis de base", observando el modelo de escena dental en las condiciones de observación de base.

15 La Figura 8 ilustra un conjunto de vistas  $V_i$  de análisis de base, estando comprendido  $i$  entre 1 y 16, correspondiente a un ejemplo de configuración de observación. Las 8 primeras vistas  $V_i$  de análisis de base corresponden sustancialmente a las condiciones de observación de base ilustradas en la Figura 7.

La etapa 3) se puede implementar completamente antes de la etapa 4), o progresivamente durante la implementación del procedimiento de corte según la invención, a medida que se utilizan las vistas de análisis de base.

En la etapa 4), se utilizan las vistas de análisis de base para implementar el procedimiento de corte según la invención.

20 Por ejemplo, en la etapa a), se utiliza la vista  $V_i$  de análisis de base, luego se efectúan 7 ciclos de etapas a) a d) con las vistas  $V_2$  a  $V_8$  de análisis de base, luego se efectúa una etapa e).

De manera notable, es posible realizar un corte de buena calidad con un número limitado de vistas de análisis de base, particularmente con menos de 50, menos de 30, menos de 20 o incluso menos de 15 vistas de análisis de base. De este modo se acelera considerablemente el procedimiento de corte. Sin embargo, el grado de precisión sigue siendo muy alto. Con el conjunto de las vistas de análisis de base de la Figura 8, sobrepasa el 98%.

25 Preferiblemente, el procedimiento de corte perfeccionado comprende aún, al final de la etapa 4), la siguiente etapa:

5) asignación de cada una de al menos una parte de los vóxeles huérfanos del modelo de escena, preferiblemente de cada uno de los vóxeles huérfanos, a los modelos elementales creados en la etapa e), no pudiendo un vóxel huérfano ser asignado a más de un modelo elemental.

30 Un vóxel "huérfano" es un vóxel no reagrupado dentro de un modelo elemental durante la etapa e). Por ejemplo, si el grado de precisión es del 95%, los vóxeles que constituyen el 5% complementario del modelo de escena son vóxeles huérfanos.

Las reglas para asignar un vóxel huérfano a un modelo elemental dependen del objeto modelado por el modelo elemental. Por ejemplo, se puede asignar un vóxel huérfano al modelo elemental más cercano.

35 Según la invención, en la etapa 2), se determina la configuración de observación de manera que se minimice el número de condiciones de observación de base en dicha configuración de observación, obteniendo al mismo tiempo, al final de la etapa 4), modelos elementales que tienen un grado de precisión superior a un umbral predeterminado, preferiblemente un grado de precisión mínimo, para cada modelo de escena "de base" de un grupo que incluye más de 10, más de 100, preferiblemente más de 1.000 modelos de escena base diferentes.

40 Ventajosamente, la configuración de observación así determinada se adapta a numerosos modelos de escena, denominados "modelos de escena de base". Si el grupo incluye una muestra de modelos de escena de base representativos de las arcadas dentales de una población, la configuración de observación puede ser ventajosamente adecuada para cualquier modelo de escena, es decir para cualquier paciente de esta población.

Por supuesto, la invención no se limita a los modos de realización descritos y representados anteriormente.

En particular, el paciente no se limita a un ser humano. Un procedimiento según la invención se puede utilizar para otro animal.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento de corte de un modelo tridimensional de una escena dental, o "modelo de escena", incluyendo dicho procedimiento las siguientes etapas:

- a) adquisición de una vista de dicho modelo de escena, denominada "vista de análisis";
- 5 b) análisis de la vista de análisis mediante una red neuronal entrenada para
  - identificar, en dicha vista de análisis, al menos una zona elemental que representa un elemento de la escena dental, y
  - determinar un valor para al menos un atributo de dicha zona elemental;
- 10 c) identificación de una región del modelo de escena representada por dicha zona elemental en dicha vista de análisis, y asignación, a dicha región, de un valor de un atributo de dicho modelo de escena, o "atributo de modelo", siendo dependiente dicho valor del atributo de modelo del valor de dicho atributo de la zona elemental,
- d) modificación de la vista de análisis y luego reanudación en la etapa b),

incluyendo el procedimiento, después de más de 10 ciclos de etapas b) a d), la siguiente etapa:

- 15 e) reagrupamiento de las regiones del modelo de escena que tienen el mismo valor para un atributo de dicho modelo de escena, para crear un modelo elemental,

la vista de análisis adquirida en la etapa a) y/o una o más de las vistas de análisis modificadas en la etapa d), preferiblemente la vista de análisis adquirida en la etapa a) y todas las vistas de análisis modificadas en la etapa d), siendo obtenidas las vistas de análisis de base según las siguientes etapas:

- 1) determinación de una orientación predeterminada del modelo de escena, denominada "orientación de base";
- 20 2) determinación de un conjunto de diferentes condiciones de observación del modelo de escena posicionado en dicha orientación de base, denominadas "condiciones de observación de base";
- 3) adquisición de un conjunto de vistas de análisis de base, siendo adquirida cada vista de análisis de base en condiciones de observación de base respectivas

25 procedimiento en el que, en la etapa 2), se determina el conjunto de dichas condiciones de observación de base de tal manera que se minimice el número de dichas condiciones de observación de base, y se mantenga, en un valor superior a un umbral predeterminado, para cada modelo de escena de base de un grupo de modelos de escena de base, la relación de la superficie total del conjunto de modelos elementales, determinados en la etapa e), sobre la superficie del modelo de escena.

2. Procedimiento según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que dicho grupo de modelos de escena de base incluye más de 10, preferiblemente más de 100, preferiblemente más de 1.000 modelos de escena de base, modelando cada modelo de escena de base al menos una parte de una arcada de un paciente respectivo.

3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye, al final de la etapa e), la etapa consistente en asignar cada uno de al menos algunos de los vóxeles huérfanos del modelo de escena, preferiblemente de cada uno de los vóxeles huérfanos, a los modelos elementales creados en la etapa e), no pudiendo un vóxel huérfano ser asignado a más de un modelo elemental, siendo un vóxel huérfano un vóxel no reagrupado dentro de un modelo elemental durante la etapa e).

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa c), el atributo de dicho modelo de escena es idéntico al atributo de la zona elemental.

40 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa b), el atributo de la zona elemental se elige de entre un número de diente, un tipo de diente, un parámetro de forma de diente, un índice de desviación mesial y distal del incisivo de borde, o un nivel de abrasión, un parámetro de apariencia del diente, un parámetro relativo al estado del diente y un parámetro relativo a un aparato dental llevado por el diente.

6. Procedimiento según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que el atributo de la zona elemental se elige de entre un número de dientes y un tipo de diente.

45

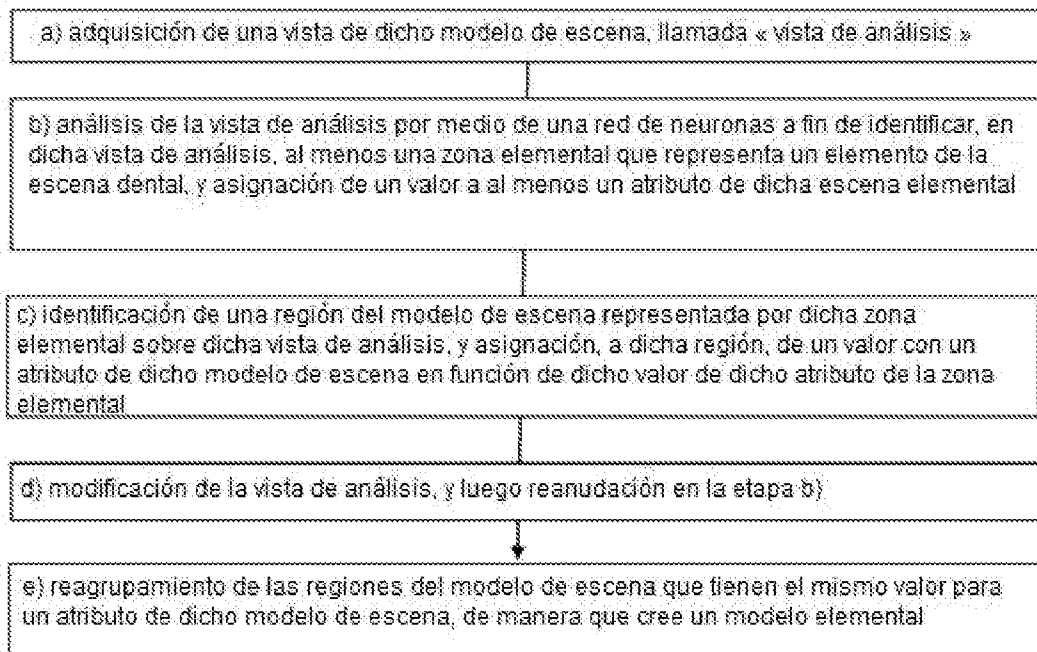


Fig. 1

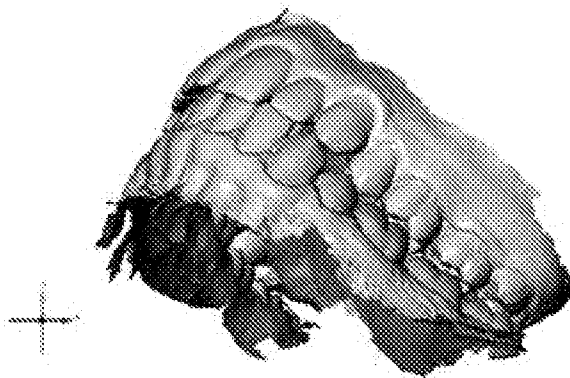


Fig. 2

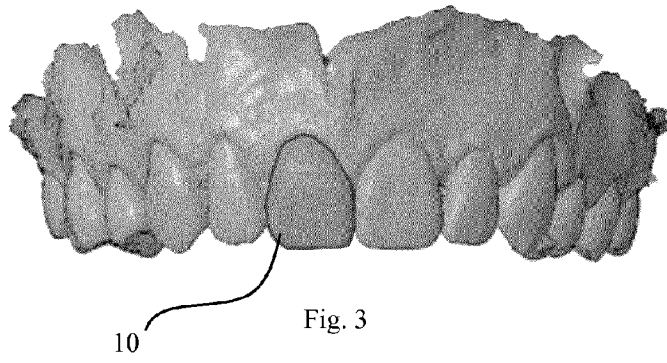


Fig.4

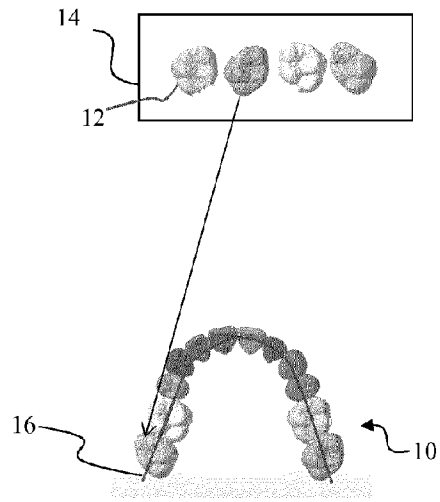
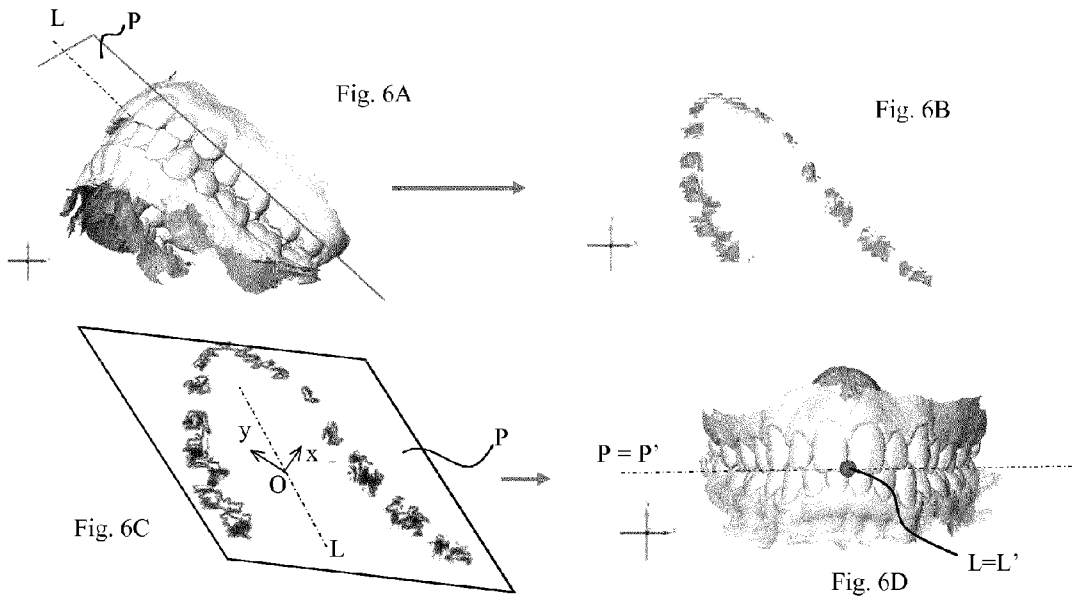


Fig. 5



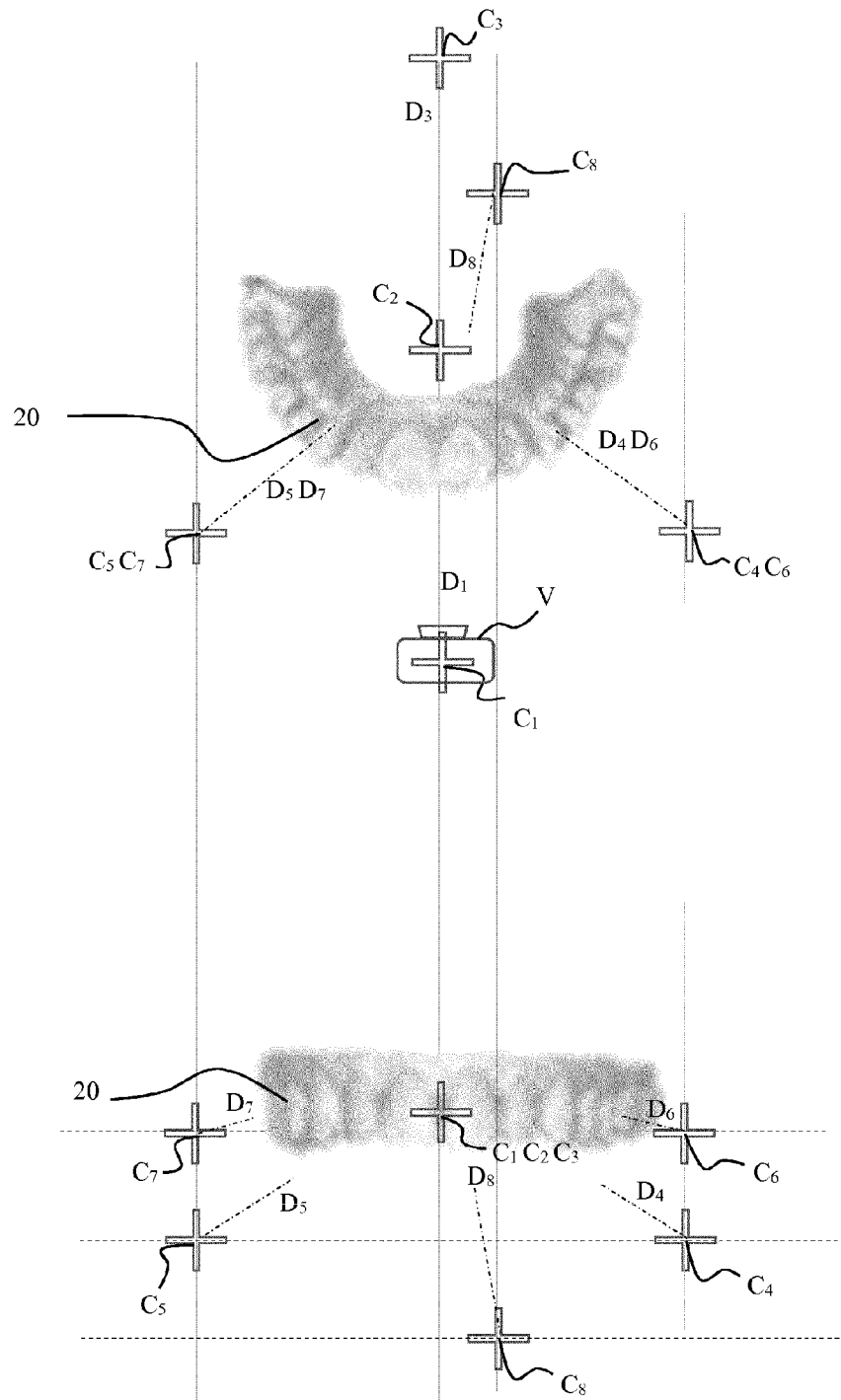


Fig. 7

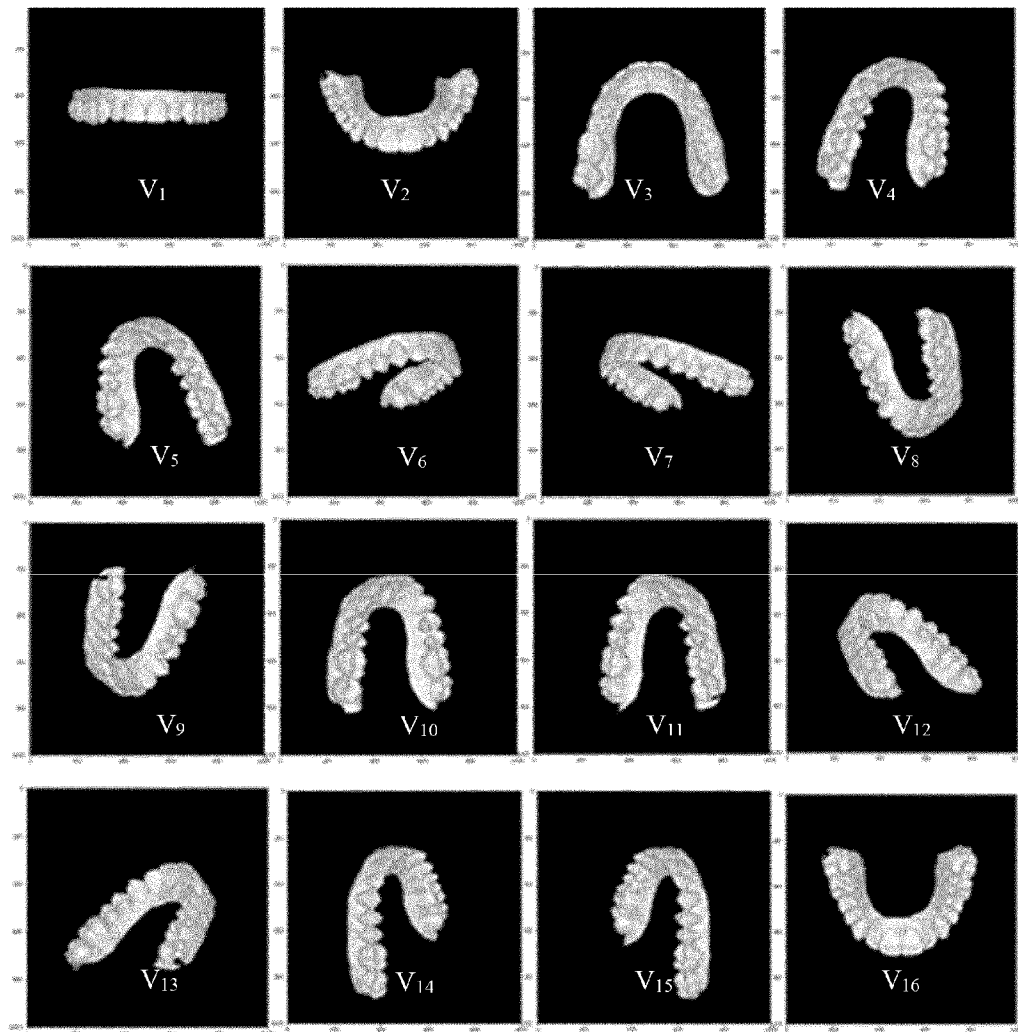


Fig. 8