

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 836 677**

51 Int. Cl.:

A61C 7/00 (2006.01)

A61C 7/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2017 PCT/US2017/034217**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.11.2017 WO17205484**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2017 E 17803494 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 3463172**

54 Título: **Modelado virtual de adaptaciones de la encía para la corrección ortodóncica progresiva**

30 Prioridad:

24.05.2016 US 201662340960 P

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

28.06.2021

73 Titular/es:

**CLEARCORRECT OPERATING, LLC (100.0%)
21 Cypress Blvd. Suite 1010
Round Rock, TX 78665, US**

72 Inventor/es:

**JANZADEH, HAMED y
GUENTERBERG, ERIC TYNDALL**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 836 677 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

Modelado virtual de adaptaciones de la encía para la corrección ortodóncica progresiva

Antecedentes

Los alineadores ortodóncicos proporcionan una alternativa a los brackets tradicionales, que típicamente emplean brackets conectados por alambres para la realineación de los dientes. Los alineadores son adecuados para pacientes con apiñamiento medio o moderado de los dientes o problemas menores de separación entre los dientes. Un paciente que usa alineadores para el tratamiento ortodóncico reemplaza periódicamente el alineador por un alineador nuevo y progresivamente diferente para mover gradualmente los dientes desde una primera posición a una segunda posición y, en última instancia, hacia la posición final deseada. El curso del tratamiento puede durar de varios meses a un par de años, en función de la gravedad de la desalineación de los dientes. Los alineadores pueden estar hechos de materiales plásticos como acrílico, como los fabricados por el cesionario actual, ClearCorrect® LLC de Round Rock, Texas.

Las tecnologías actuales disponibles para producir los alineadores plásticos utilizados durante el tratamiento ortodóncico son principalmente en base a un escaneo en 3D de la dentición actual del paciente, planificando un curso de tratamiento a partir de que se define el movimiento de los dientes en un sistema informático, imprimiendo los modelos de dientes futuros o anticipados correspondientes a cada etapa del tratamiento, y usando los modelos para la fabricación de alineadores de plástico mediante el termoformado de los modelos impresos y/o mediante otras tecnologías de fabricación, como la impresión en 3D.

Uno de los mayores desafíos en la generación de modelos de dientes es predecir e incluir un modelo en 3D realista de la encía del paciente ("encías") para cada etapa del tratamiento. Al reposicionar y mover los dientes durante las diversas etapas del tratamiento en el sistema informático, la forma geométrica de los dientes no cambia, ya que es solo un objeto sólido movido en direcciones finitas. Sin embargo, los huesos y la encía cambian de forma y evolucionan durante el tratamiento. Los alineadores de plástico cubren partes de la encía y los dientes; por lo tanto, para poder crear alineadores que se ajusten correctamente a la boca del paciente, es fundamental predecir con precisión y generar formas y dimensiones precisas de la encía al crear los modelos en 3D de los dientes.

Actualmente existen varias tecnologías de software que ayudan a generar los modelos de la encía cuando se mueven los dientes para crear un plan de tratamiento. Algunas de las tecnologías existentes generan formas virtuales de la encía sin arrugas ni deformaciones en la superficie, pero no representan con precisión la forma realista de la encía en la boca del paciente; ni para las etapas iniciales ni para las etapas futuras del tratamiento. Ejemplos de tales sistemas incluyen ClinCheck® de Align Technology de San José, California. Otros sistemas utilizan las formas reales de la encía del paciente como punto de partida del tratamiento, lo que hace que los modelos iniciales encajen perfectamente, pero a medida que los dientes comienzan a moverse, las actualizaciones de las formas de la encía no son precisas y provocan arrugas en la forma de la encía. Ejemplos de tales sistemas incluyen el Ortho Analyzer de 3 Shape® de Copenhagen, Dinamarca.

Estos sistemas conocidos tratan las geometrías de la encía y de los dientes como una sola malla que está estrictamente cosida y unida. En consecuencia, estos sistemas actualizan la forma de la encía de una manera que no coincidirá con los cambios de la encía reales en la boca del paciente a medida que se reposicionan los dientes. Como resultado, aunque los alineadores de las etapas iniciales del tratamiento se ajustan correctamente, las actualizaciones inexactas de las formas de la encía harán que los alineadores de las etapas posteriores del tratamiento se deterioren progresivamente.

Un documento que ejemplifica la técnica es US 2009/208897 A1.

Sumario

Una de las etapas más importantes en el tratamiento ortodóncico cuando se utilizan alineadores es la predicción y generación de modelos dentales en 3D precisos para cada etapa del plan de tratamiento. Para generar tales modelos, es necesario predecir con precisión la ubicación futura de los dientes y la dimensión/forma futura de la encía en adaptación. Una realización ejemplar de la presente invención proporciona un sistema y una metodología asociada para la generación de modelos digitales que dan cuenta de la adaptación de la forma de la encía del paciente en base al plan de tratamiento, registros del paciente y morfología dental. El sistema ejemplar utiliza un escaneo inicial de la encía del paciente como modelo de base, teniendo en cuenta el tipo y morfología de los dientes, la forma, orientación y movimientos de las raíces dentro de la encía, y otros factores para una predicción más precisa de los cambios en la forma de la encía a lo largo de cada etapa del tratamiento. En particular, el sistema determina de manera proactiva las áreas del modelo que serán cubiertas por el alineador y evita cambios en dichas áreas, mientras que la forma del modelo fuera de estas áreas se altera como una manera de minimizar el tamaño del modelo y agregar cualquiera de las características necesarias para la fabricación de los alineadores.

La metodología genera y actualiza la dimensión/forma de la encía, dando como resultado modelos más precisos de la encía. La capacidad de tener en cuenta la adaptación de la forma de la encía durante el tratamiento ortodóncico mejora el ajuste del alineador, lo que reduce la repetición de trabajos en partes de la dentición.

En el sistema inventivo actual, los dientes individuales se tratan como objetos separados que flotan dentro de la encía. Información como el tipo y la ubicación de los dientes, la morfología de las raíces y el tipo de movimientos de la raíz dentro del hueso se utiliza para crear un vector del campo de fuerza entre los modelos de la raíz y la encía. A continuación, se utilizan procedimientos de análisis de elementos finitos para calcular la forma actualizada de la encía. Los datos estadísticos también se evalúan y utilizan para ajustar los parámetros relacionados con las fuerzas definidas entre las raíces y la encía. Como resultado, se crea un modelo realista de cómo los movimientos de los dientes afectan los cambios en la dimensión/forma de la encía. Además, los alineadores correspondientes generados a partir de cada uno de estos modelos se ajustan correctamente tanto en las etapas iniciales como en las posteriores del tratamiento.

El procedimiento de acuerdo con la invención se define en la reivindicación 1, mientras que la reivindicación 8 define un medio legible por ordenador que contiene instrucciones almacenadas en él que provocan que un procesador lleve a cabo el procedimiento de la reivindicación 1.

Los aspectos de una realización ejemplar de la presente invención incluyen: a) la recepción de un perfil inicial oral, que incluye información espacial de los dientes y de la encía, de un paciente, b) la generación de un perfil inicial del molde a partir del perfil oral, en el que el perfil inicial del molde incluye representaciones numéricas de la información espacial de los dientes y de la encía del paciente, c) la asignación de una pluralidad de puntos de control del diente y una pluralidad de puntos de control de la encía al perfil inicial del molde, d) la identificación de un primer vector del campo de fuerza para un primer punto de control de la encía en base a un movimiento de un punto de control vecino en un primer grupo de puntos de control vecinos de la encía y del diente, en el que el primer punto de control de la encía es un miembro de la pluralidad de puntos de control de la encía, e) la repetición de la etapa d) para la identificación de los vectores del campo de fuerza restantes para el primer punto de control de la encía en base a los movimientos de los puntos de control restantes en el primer grupo de puntos de control vecinos de la encía y del diente, f) la repetición de las etapas d) y e) para los puntos de control restantes de la encía en la pluralidad de puntos de control de la encía, g) la recepción de los movimientos de los puntos de control del diente para la pluralidad de puntos de control del diente, h) la realización de un análisis de elementos finitos para calcular los movimientos de la pluralidad puntos de control de la encía en respuesta a los movimientos recibidos de los puntos de control del diente, e i) la generación de un nuevo perfil del molde.

El área de la encía que será cubierta por el alineador se detecta y se conserva con precisión, mientras que la forma del modelo fuera de esta área se altera de manera que se minimice el tamaño del modelo y se agreguen las características necesarias para la fabricación de los alineadores. Entre las diferentes posibilidades para la creación del modelo de base se incluye el uso de un algoritmo de optimización, se selecciona uno que minimice el volumen del modelo en 3D respetando criterios sobre la altura de la base en diferentes áreas del modelo. Esto conduce a un consumo mínimo de materiales de impresión durante la impresión de los modelos de dientes en 3D.

Con modelos más precisos para predecir el cambio de forma de la encía durante el tratamiento ortodóncico, se pueden fabricar alineadores que cubran algunas áreas de la encía y que se ajusten correctamente a la boca del paciente. Esto conducirá a alineadores estructuralmente robustos y a el éxito en el movimiento de dientes mientras se realiza un tratamiento ortodóncico con alineadores de plástico transparente.

Breve descripción de las distintas vistas de los dibujos

La Figura 1 muestra una realización ejemplar de un sistema para generar modelos digitales que tienen en cuenta la adaptación de la forma de la encía del paciente;

La Figura 2 es un diagrama de flujo de una realización ejemplar de un procedimiento para generar modelos digitales que tienen en cuenta la adaptación de la forma de la encía del paciente;

La Figura 3 ilustra una vista en sección transversal ejemplar de un perfil del diente y de la encía;

La Figura 4 ilustra una vista en perspectiva de un molde fabricado usando el procedimiento descrito en la Figura 2; y

La Figura 5 ilustra vistas frontales de alineadores ejemplares.

Descripción detallada

La presente solicitud describe un sistema y procedimiento para generar modelos digitales que dan cuenta de la adaptación de la forma de la encía del paciente durante el tratamiento ortodóncico. El perfil inicial de los dientes y de la encía se obtiene a partir de un escaneo en 3D de la réplica de los dientes y de la encía del paciente, o un escaneo por CT de los dientes y la impresión de la encía del paciente. El perfil inicial, junto con los movimientos dentales deseados, se envía al software que produce un nuevo perfil de los dientes y de la encía. El software asigna, en base a datos estadísticos y anatómicos recopilados, vectores de fuerza entre varios puntos de control de la encía y puntos de control del diente. Cada vector de fuerza representa el impacto del movimiento de un punto de control de diente/encía en un punto de control vecino de la encía. Al integrar los movimientos dentales deseados con el perfil inicial, el software es capaz de producir un nuevo perfil que incluye los movimientos dentales deseados y una nueva topología de la encía. El nuevo perfil puede enviarse a una impresora 3D para fabricar un nuevo molde.

La Figura 1 muestra un sistema ejemplar 100 para generar modelos digitales que dan cuenta de la adaptación de la forma de la encía del paciente durante el tratamiento ortodóncico. El sistema 100 incluye un servidor central 102, una base de datos 104, un portal médico 106, un ordenador de escaneo 110 y un ordenador de impresión 120. El portal médico 106 puede estar conectado a Internet 108. El sistema 100 puede implementarse en múltiples ordenadores o integrarse en un solo ordenador.

En alguna implementación, el servidor central 102 puede estar conectado a la base de datos 104, al portal médico 106, al ordenador de escaneo 110 y al ordenador de impresión 120. El servidor central 102 proporciona una interfaz para que los sistemas restantes accedan de manera adecuada y segura a la base de datos 104. El servidor central 102, la base de datos 104, el portal médico 106, el ordenador de escaneo 110 y el ordenador de impresión 120 pueden colocarse geográficamente en la misma ubicación. Alternativamente, algunos o todos los componentes pueden comunicarse de forma remota a través de una red privada virtual.

En determinadas realizaciones, el portal médico 106 puede proporcionar a los usuarios externos una interfaz para enviar y recibir archivos digitales al servidor central 102. El portal médico 106 puede incluir un servidor proxy o un cortafuegos para regular el acceso remoto y proteger el sistema 100 de intrusiones hostiles en la red. Los usuarios externos pueden transmitir archivos digitales al portal médico 106 a través de Internet 108. Con la autorización y autenticación adecuada, el portal médico 106 puede otorgar a ciertos usuarios externos acceso limitado al ordenador de escaneo 110 y al ordenador de impresión 120.

En realizaciones ejemplares, la base de datos 104 puede almacenar datos digitales usados dentro del sistema 100. Los datos almacenados se pueden proporcionar a través del servidor central 102. La base de datos 104 puede implementar características de respaldo de rutina locales y/o remotas para los datos almacenados.

En algunas realizaciones, el ordenador de escaneo 110 puede estar conectado a un dispositivo de captura de imágenes 112 y un dispositivo de salida de imágenes 114. El dispositivo de captura de imágenes 112 puede escanear un molde 118 que representa una réplica del perfil de los dientes y de la encía de un paciente colocado en un posicionador 116. El dispositivo de salida de imágenes 114, tal como una pantalla, un monitor, un visualizador, un proyector o una impresora, por ejemplo, puede visualizar la imagen escaneada del molde 118. El dispositivo de captura de imágenes 112 puede incluir una cámara en 3D, dos o más cámaras 2D, escáner CT o rayos X. Son posibles otros dispositivos para obtener imágenes.

En implementaciones ejemplares, el posicionador 116 incluye una guía de referencia visual que comprende líneas que están sobre o dentro del posicionador. La guía de referencia visual puede utilizarse para rastrear ubicaciones del molde dentro del posicionador 116.

En ciertas implementaciones, el ordenador de impresión 120 puede estar conectado a un dispositivo de fabricación de moldes 122 y un dispositivo de fabricación de alineadores 124. El dispositivo de fabricación de moldes 122 y el dispositivo de fabricación de alineadores 124 pueden ser impresoras 3D, por ejemplo.

La Figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento ejemplar 200 para generar modelos digitales que tienen en cuenta la adaptación de la forma de la encía del paciente durante el tratamiento ortodóncico, que puede usarse para producir alineadores ortodóncicos. El servidor central 102 primero recibe (202) el perfil de los dientes y de la encía del paciente desde el ordenador de escaneo o una fuente remota. Por ejemplo, el ordenador de escaneo 110 puede depender del dispositivo de captura de imágenes 112 para recopilar fotogramétricamente información espacial sobre el molde 118. En ciertas realizaciones, el ordenador de escaneo 110 puede utilizar un escáner 3D para capturar información espacial relacionada con el molde 118. El escáner 3D puede ser por contacto o basado en principios ópticos. Alternativamente, el ordenador de escaneo 110 puede utilizar un escáner CT de tomografía computarizada (CT) para escanear por partes una impresión de los dientes y de la encía del paciente. El ordenador de escaneo 110 integra una pluralidad de imágenes de rayos X obtenidas del escaneo por CT para construir el perfil de los dientes y de la encía del paciente. Una vez completado el escaneo en 3D o por CT, se puede realizar un procesamiento previo en la imagen escaneada para asegurar la compatibilidad con el servidor central 102.

En otras realizaciones, el servidor central 102 puede recibir (202) el perfil de los dientes y de la encía del paciente en formato digital desde un sistema remoto a través del portal médico 106. El perfil puede ser enviado al portal médico 106 a través de Internet 108 por un ortodoncista que extrajo directamente el perfil del paciente. El perfil puede almacenarse en la base de datos 104. Alternativamente, el servidor central 102 puede obtener el perfil de la base de datos 104. Son posibles otros procedimientos para recibir los datos del perfil de los dientes y de la encía.

En ciertas implementaciones, después de recibir el perfil de los dientes y de la encía del paciente, el servidor central 102 puede generar (204) el perfil inicial del molde. El perfil inicial del molde incluye suficiente información espacial para que el sistema 100, si es necesario, produzca un molde de reproducción idéntico al molde que representa el perfil de los dientes y de la encía del paciente. El perfil inicial del molde generado puede ser almacenado digitalmente por el sistema 100 ya sea localmente (en la base de datos 104) o remotamente.

La Figura 3 ilustra una vista en sección transversal ejemplar de un perfil del diente y de la encía 300. Con referencia a las Figuras 2 y 3, en algunas realizaciones, el servidor central 102 asigna (206) numerosos puntos de control sobre los dientes y la encía del perfil inicial del molde. Cada punto de control representa un punto espacial en la superficie

de los dientes o la encía. El número de puntos de control asignados para el perfil inicial del molde puede ser 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, 10000, 20000, 50000 o 100000. Son posibles otros números de puntos de control dependiendo del tratamiento específico y la precisión deseada.

En algunas implementaciones, el servidor central 102 puede asignar puntos de control de la encía a superficies de una pared interior 306a y una pared exterior 306b de una encía 306. En otras realizaciones, el servidor central 102 puede asignar puntos de control de la encía a las superficies de la pared interior 306a y la pared exterior 306b de la encía 306 y dentro de la encía 306.

El servidor central 102 puede proporcionar un sistema de coordenadas para representar numéricamente cada punto de control. Los sistemas de coordenadas ejemplares incluyen coordenadas cartesianas, coordenadas cilíndricas y coordenadas esféricas. Se pueden utilizar otros sistemas de coordenadas.

Todavía con referencia a las Figuras 2 y 3, en realizaciones ejemplares, el servidor central 102 identifica (208) un primer vector del campo de fuerza $f(g_1, t_1)$ para un primer punto de control de la encía g_1 relacionado con un primer punto de control del diente t_1 . El primer punto de control de la encía g_1 está cerca de la pared interior 306a de la encía 306. El primer punto de control del diente t_1 puede representar un punto espacial en la superficie de una porción inferior de un primer diente. Alternativamente, el primer punto de control del diente t_1 puede representar un punto espacial en otras porciones del primer diente. El primer vector del campo de fuerza representa un movimiento del primer punto de control de la encía g_1 en respuesta a un movimiento del primer punto de control del diente t_1 . Por ejemplo, si una parte superior del primer diente se mueve hacia adentro 302 (es decir, hacia el centro del molde), la parte inferior del primer diente puede moverse hacia afuera 304 (es decir, alejándose del centro del molde). En consecuencia, el primer punto de control del diente se mueve t_1 externamente. Este movimiento hacia afuera del primer punto de control del diente t_1 puede causar que el primer punto de control de la encía g_1 se mueva hacia afuera. El primer vector del campo de fuerza representa el movimiento del primer punto de control de la encía g_1 en respuesta al movimiento del primer punto de control del diente t_1 . En otras realizaciones ejemplares, el servidor central 102 puede identificar (208) un vector del campo de fuerza diferente al primer punto de control de la encía g_1 relacionado con un punto de control vecino del diente diferente, como los puntos de control del diente t_2 , t_3 , o t_4 .

Todavía con referencia a las Figuras 2 y 3, en algunas realizaciones, el servidor central 102 también puede identificar (208) un vector del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 que representa el movimiento del primer punto de control vecino de la encía g_1 en respuesta al movimiento de un punto de control vecino de la encía. Para el primer punto de control de la encía g_1 , el servidor central 102 puede identificar vectores del campo de fuerza $f(g_1, g_2)$, $f(g_1, g_3)$ relacionados con los movimientos de los puntos de control de la encía g_2 y g_3 , o, alternativamente, identificar los vectores del campo de fuerza $f(g_1, g_2)$, $f(g_1, g_3)$, $f(g_1, g_4)$ relacionados con los movimientos de los puntos de control de la encía g_2 , g_3 , y g_4 . En el primer escenario, el servidor central 102 identifica los vectores del campo de fuerza relacionados con los puntos de control vecinos de la encía en la pared interior 306a de la encía 306. En el segundo escenario, el servidor central 102 identifica vectores del campo de fuerza relacionados con los puntos de control vecinos de encía en la pared interior 306a y la pared exterior 306b de la encía 306. Son posibles otros criterios para seleccionar los puntos de control vecinos de la encía.

Como se muestra en las Figuras 2 y 3, en ciertas implementaciones, el servidor central 102 puede identificar (210) más vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 . Un conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_2)$, $f(g_1, t_3)$, $f(g_1, t_4)$, $f(g_1, g_2)$ y $f(g_1, g_3)$. Otro conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_2)$, $f(g_1, t_3)$, $f(g_1, t_4)$, $f(g_1, g_2)$, $f(g_1, g_3)$ y $f(g_1, g_4)$. Otro conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_4)$ y $f(g_1, g_3)$. Otro conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_4)$, $f(g_1, g_3)$ y $f(g_1, g_4)$. Un conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_4)$, $f(g_1, g_2)$ y $f(g_1, g_3)$. Otro ejemplo de conjunto de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_4)$, $f(g_1, g_2)$, $f(g_1, g_3)$ y $f(g_1, g_4)$. Otro conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_2)$, $f(g_1, t_3)$, ... $f(g_1, t_N)$, $f(g_1, g_2)$, $f(g_1, g_3)$ y $f(g_1, g_4)$, donde N es un número entero positivo. Otro conjunto ejemplar de vectores del campo de fuerza para el primer punto de control de la encía g_1 puede incluir $f(g_1, t_1)$, $f(g_1, t_2)$, ... $f(g_1, t_N)$, $f(g_1, g_2)$, $f(g_1, g_3)$, ... y $f(g_1, g_M)$, donde M es un número entero positivo que puede ser igual o diferente a N . Son posibles otras combinaciones para el conjunto.

A continuación, con referencia a las Figuras 2 y 3, el servidor central 102 puede identificar (212) vectores del campo de fuerza para otros puntos de control de la encía. Por ejemplo, para los puntos de control de la encía g_2 , g_3 , g_4 , ... g_M y los puntos de control del diente t_1 , t_2 , t_3 , ... t_N , el servidor central 102 identifica los vectores de fuerza $f(g_2, t_1)$, $f(g_2, t_2)$, $f(g_2, t_3)$, ... $f(g_2, t_N)$ y $f(g_2, g_1)$, $f(g_2, g_3)$, $f(g_2, g_4)$, ... $f(g_2, g_M)$ al punto de control de la encía g_2 , $f(g_3, t_1)$, $f(g_3, t_2)$, $f(g_3, t_3)$, ... $f(g_3, t_N)$ y $f(g_3, g_1)$, $f(g_3, g_2)$, $f(g_3, g_4)$, ... $f(g_3, g_M)$ al punto de control de la encía g_3 , $f(g_4, t_1)$, $f(g_4, t_2)$, $f(g_4, t_3)$, ... $f(g_4, t_N)$ y $f(g_4, g_1)$, $f(g_4, g_2)$, $f(g_4, g_3)$, ... $f(g_4, g_M)$ al punto de control de la encía g_4 , ... y $f(g_M, t_1)$, $f(g_M, t_2)$, $f(g_M, t_3)$, ... $f(g_M, t_N)$, y $f(g_M, g_1)$, $f(g_M, g_2)$, $f(g_M, g_3)$, ... $f(g_M, g_{M-1})$ al punto de control de la encía g_M , donde los subíndices M y N son números enteros positivos iguales o diferentes. En otras realizaciones, el servidor central 102 puede identificar subconjuntos de los vectores del campo de fuerza para los puntos de control de la encía como se explicó anteriormente.

Para cada punto de control de la encía $g_1, g_2, g_3, \dots, g_M$, el servidor central 102 identifica un conjunto de L vectores que representan el movimiento de cada punto de control de la encía en respuesta a los movimientos de los puntos de control del diente $t_1, t_2, t_3, \dots, t_N$, y los puntos de control de la encía $g_1, g_2, g_3, g_4, \dots, g_M$, donde $L \leq M+N$. En determinadas formas de realización, algunos de los vectores pueden expresarse como ecuaciones algebraicas. Son posibles otras expresiones matemáticas.

En determinadas formas de realización, los vectores del campo de fuerza pueden identificarse usando datos estadísticos almacenados en la base de datos 104. Los datos estadísticos pueden estar relacionados con operaciones de ortodoncia anteriores, datos de investigación de ortodoncia, registro anatómico de pacientes y simulaciones por ordenador.

Con referencia a la Figura 2, en implementaciones ejemplares, el servidor central 102 recibe (214) movimientos de los puntos de control del diente para los puntos de control del diente t_1, t_2, t_3, t_N . Un operador puede introducir manualmente los movimientos de los puntos de control del diente en el servidor central 102 a través de la interfaz gráfica de usuario. Otro procedimiento ejemplar para que el servidor central 102 reciba (214) los movimientos de los puntos de control del diente es recibir los movimientos de los puntos de control del diente desde un sistema remoto a través del portal médico 106. Un ortodoncista en el sistema remoto puede ingresar los movimientos deseados de los puntos de control del diente en un archivo digital. Los movimientos pueden representar las ubicaciones deseadas para los dientes del paciente asociados con el perfil inicial de los dientes y de la encía. La distancia entre dos puntos cualquiera de control del diente para un mismo diente puede permanecer constante (es decir, cada diente se mueve como una unidad sólida fija). El servidor central 102 alternativo puede permitir pequeños cambios en la forma del diente en respuesta a los movimientos de los puntos de control del diente.

En ciertas realizaciones, después de recibir los movimientos de los puntos de control del diente, el servidor central 102 realiza (216) análisis de elementos finitos (FEA) usando los vectores del campo de fuerza identificados. En base a los movimientos individuales de los puntos asociados de control del diente y los vectores del campo de fuerza identificados, el servidor central 102 puede calcular el movimiento global de cada punto de control de la encía. Usando el FEA, el servidor central 102 puede estimar el movimiento de una encía, o una porción de la encía, en base a los movimientos de los puntos de control sobre o dentro de la encía. Por ejemplo, el servidor central 102 puede aproximar el movimiento de la pared interior 306a usando los movimientos promedio de los puntos de control de la encía g_1, g_2 , y g_3 . En otro ejemplo, el servidor central 102 puede aproximarse al movimiento de una primera porción de la pared interior 306a entre los puntos de control de la encía g_1 y g_3 usando los movimientos promedio de los puntos de control de la encía g_1 y g_3 . Alternativamente, el servidor central 102 puede estimar la primera porción de la pared interior 306a entre g_1 y g_3 asumiendo que un punto entre g_1 y g_3 se mueve de acuerdo con un promedio ponderado de g_1 y g_3 . Por ejemplo, suponiendo una distancia de x desde g_1 hasta g_3 , y el punto es $0,4x$ de g_1 , entonces el movimiento del punto puede ser $0,6$ (movimiento de g_1) + $0,4$ (movimiento de g_3). En otro ejemplo más, el movimiento de una segunda porción de la encía 306 bordeada por puntos de control de la encía g_1, g_3 y g_4 puede aproximarse promediando los movimientos de g_1, g_3 y g_4 . Son posibles otros procedimientos de aproximaciones.

Con referencia ahora a las Figuras 2, 4 y 5, después de realizar el análisis de elementos finitos de los puntos asignados de control de la encía, en realizaciones ejemplares, el servidor central 102 genera (218) un nuevo perfil del molde que incluye los movimientos de los dientes y encía. El nuevo perfil del molde puede usarse para generar un nuevo molde 400, que a su vez puede usarse para producir un nuevo alineador para el paciente asociado con el perfil inicial de los dientes y de la encía. El nuevo alineador, si lo usa el paciente, puede mover gradualmente sus dientes a ubicaciones similares a las ubicaciones de los dientes en el nuevo perfil del molde. Un plan de tratamiento completo puede incluir 5, 10, 20, 50 y 100 alineadores. Son posibles otros números de alineadores.

En realizaciones ejemplares, el servidor central 102 puede enviar el nuevo perfil del molde al ordenador de impresión 120 para generar el nuevo molde 400. El ordenador de impresión 120 puede ordenar al dispositivo de fabricación de moldes 122 que produzca el nuevo molde 400 en base a el nuevo perfil del molde.

En algunas realizaciones, el nuevo perfil del molde puede almacenarse en la base de datos 104. Alternativamente, el sistema 100 puede enviar el nuevo perfil del molde, a través del portal médico 106, a un sistema remoto.

El nuevo molde 400 producido por el dispositivo de fabricación de moldes 122 del sistema 100 que utiliza el nuevo perfil del molde puede incluir réplicas de los dientes y de la encía. En algunas implementaciones, la encía puede extenderse 2 milímetros desde una línea de la encía 402. Alternativamente, la encía puede extenderse 1 milímetro, 3 milímetros, 5 milímetros, 10 milímetros o 15 milímetros desde la línea de la encía 402.

Con referencia ahora a la Figura 5, el nuevo molde 400 puede ser utilizado por el sistema 100 para producir un nuevo alineador usando el dispositivo de fabricación de alineadores 124. En algunas realizaciones, se puede producir un primer alineador 502 usando el nuevo molde 400, donde el primer alineador incluye un borde contorneado 502a. Alternativamente, se puede producir un segundo alineador 504 usando el nuevo molde 400, donde el segundo alineador incluye un borde a ras de los dientes 504a. En otro ejemplo, el sistema puede producir un tercer alineador 506 usando el nuevo molde 400, donde el tercer alineador incluye un borde extendido 506a. Son posibles otros diseños para el borde del alineador.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento que comprende las siguientes etapas ejecutadas por un procesador de ordenador (102):

- a) recibir un perfil oral que incluye información espacial de los dientes y las encías de un paciente;
- b) generar un perfil inicial del molde a partir del perfil oral, en el que el perfil inicial del molde incluye representaciones numéricas de los dientes y la información espacial de la encía del paciente;
- c) asignar una pluralidad de puntos de control del diente y una pluralidad de puntos de control de la encía al perfil inicial del molde, en el que:

la pluralidad de puntos de control de la encía se asigna a las superficies de las paredes de la encía del perfil inicial del molde, y
una primera porción de la pluralidad de puntos de control del diente está dispuesta en un primer diente del perfil inicial del molde,

d) identificar un primer vector del campo de fuerza para un primer punto de control de la encía en base a un movimiento de un punto de control vecino en un primer grupo de puntos de control vecinos de la encía y del diente;

en el que el primer punto de control de la encía es un miembro de la pluralidad de puntos de control de la encía;
e) repetir la etapa d) para identificar los vectores del campo de fuerza restantes para el primer punto de control de la encía en base a los movimientos de los puntos de control restantes en el primer grupo de puntos de control vecinos de la encía y del diente;

f) repetir las etapas d) y e) para los puntos de control restantes de la encía en la pluralidad de puntos de control de la encía;

g) recibir los movimientos de los puntos de control del diente para la pluralidad de puntos de control del diente, en el que una distancia entre cualquier punto de control del diente en la primera porción de la pluralidad de puntos de control del diente y todos los demás puntos de control del diente en la primera porción de la pluralidad de puntos de control del diente se mantiene sin cambios;

h) realizar un análisis de elementos finitos para calcular los movimientos de la pluralidad de puntos de control de la encía en respuesta a los movimientos recibidos de los puntos de control del diente; y

i) generar un nuevo perfil del molde.

2. El procedimiento de la reivindicación 1, que comprende además la producción de un molde (400) usando el nuevo perfil del molde.

3. El procedimiento de la reivindicación 2, en el que el molde (400) incluye la encía a 2 milímetros de una línea de la encía del paciente y/o que comprende además la producción de un alineador usando el molde (400), en el que el alineador incluye un borde extendido de al menos 2 milímetros de una línea de la encía del paciente.

4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la recepción del perfil oral comprende además recibir el perfil oral desde un ordenador remoto, y/o en el que la recepción del perfil oral comprende además el escaneo en 3D de un molde inicial (400) del paciente, y/o que comprende además repetir las etapas de la a) a la i) al menos seis veces para producir seis perfiles diferentes del molde.

5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:

repetir las etapas de la a) a la i) al menos seis veces para provocar la producción de seis perfiles diferentes del molde,
provocar la producción de seis moldes (400) a partir de los seis perfiles diferentes de los moldes, y
provocar la producción de los seis alineadores de los seis moldes (400).

6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la realización del análisis de elementos finitos comprende además la estimación de un movimiento de una porción de la encía del paciente mediante:

el cálculo de los movimientos de un conjunto de puntos de control de la encía que bordean la porción de la encía del paciente, en el que la pluralidad de puntos de control de la encía incluye el conjunto de puntos de control de la encía, y
el promedio de los movimientos del conjunto de los puntos de control de la encía.

7. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la realización del análisis de elementos finitos comprende además la estimación de un movimiento de una porción de la encía del paciente mediante:

el cálculo de los movimientos de un conjunto de puntos de control de la encía que bordean la porción de la encía del paciente, en el que la pluralidad de puntos de control de la encía incluye el conjunto de puntos de control de la encía; y
el cálculo de los movimientos promedio ponderados de los puntos de muestreo dentro de la porción de la encía usando los movimientos del conjunto de puntos de control de la encía.

8. Un medio no transitorio legible por ordenador que contiene instrucciones almacenadas en el mismo, en el que las instrucciones, cuando se ejecutan por un procesador (102), provocan que el procesador (102) lleve a cabo las etapas de:
- a) recibir un perfil oral que incluye información espacial sobre los dientes y las encías de un paciente;
 - b) generar un perfil inicial del molde a partir del perfil oral, en el que el perfil inicial del molde incluye representaciones numéricas de los dientes y la información espacial de la encía del paciente;
 - c) asignar una pluralidad de puntos de control del diente y una pluralidad de puntos de control de la encía al perfil inicial del molde, en el que:
 - la pluralidad de puntos de control de la encía se asigna a las superficies de las paredes de la encía del perfil inicial del molde, y
 - una primera porción de la pluralidad de puntos de control del diente está dispuesta en un primer diente del perfil inicial del molde,
 - d) identificar un primer vector del campo de fuerza para un primer punto de control de la encía en base a un movimiento de un punto de control vecino en un primer grupo de puntos de control vecinos de la encía y del diente;
 - e) repetir la etapa d) para identificar los vectores del campo de fuerza restantes para el primer punto de control de la encía en base a los movimientos de los puntos de control restantes en el primer grupo de puntos de control vecinos de la encía y del diente;
 - f) repetir las etapas d) y e) para los puntos de control restantes de la encía en la pluralidad de puntos de control de la encía;
 - g) recibir los movimientos de los puntos de control del diente para la pluralidad de puntos de control del diente en los que una distancia entre cualquier punto de control del diente en la primera porción de la pluralidad de puntos de control del diente y todos los demás puntos de control del diente en la primera porción de la pluralidad de puntos de control del diente permanece sin cambios;
 - h) realizar un análisis de elementos finitos para calcular los movimientos de la pluralidad de puntos de control de la encía en respuesta a los movimientos recibidos de los puntos de control del diente; y
 - i) generar un nuevo perfil del molde.
9. El medio legible por ordenador de la reivindicación 8, que comprende además instrucciones, que cuando son ejecutadas por el procesador (102), provocan que el procesador (102) reciba el perfil oral desde un ordenador remoto, y/o que comprende además instrucciones, que cuando son ejecutadas por el procesador (102), provocan que el procesador (102) reciba el perfil oral de un escaneo en 3D de un molde inicial (400) del paciente, que comprende además instrucciones, que cuando son ejecutadas por el procesador (102), provocan que el procesador (102) repita las etapas de la a) a la i) al menos seis veces para producir seis perfiles diferentes del molde.
10. El medio legible por ordenador de las reivindicaciones 8 o 9, que comprende además instrucciones, que cuando son ejecutadas por el procesador (102), provocan que el procesador (102) estime un movimiento de una porción de la encía del paciente mediante:
- el cálculo de los movimientos de un conjunto de puntos de control de la encía que bordean la porción de la encía del paciente, en el que la pluralidad de puntos de control de la encía incluye el conjunto de puntos de control de la encía; y
 - el promedio de los movimientos del conjunto de los puntos de control de la encía.
11. El medio legible por ordenador de cualquiera de las reivindicaciones de la 8 a la 10, que comprende además instrucciones, que cuando son ejecutadas por el procesador (102), provocan que el procesador (102) estime un movimiento de una porción de la encía del paciente mediante:
- el cálculo de los movimientos de un conjunto de puntos de control de la encía que bordean la porción de la encía del paciente, en el que la pluralidad de puntos de control de la encía incluye el conjunto de puntos de control de la encía; y
 - el cálculo de los movimientos promedio ponderados de los puntos de muestreo dentro de la porción de la encía usando los movimientos del conjunto de puntos de control de la encía.

Figura 1

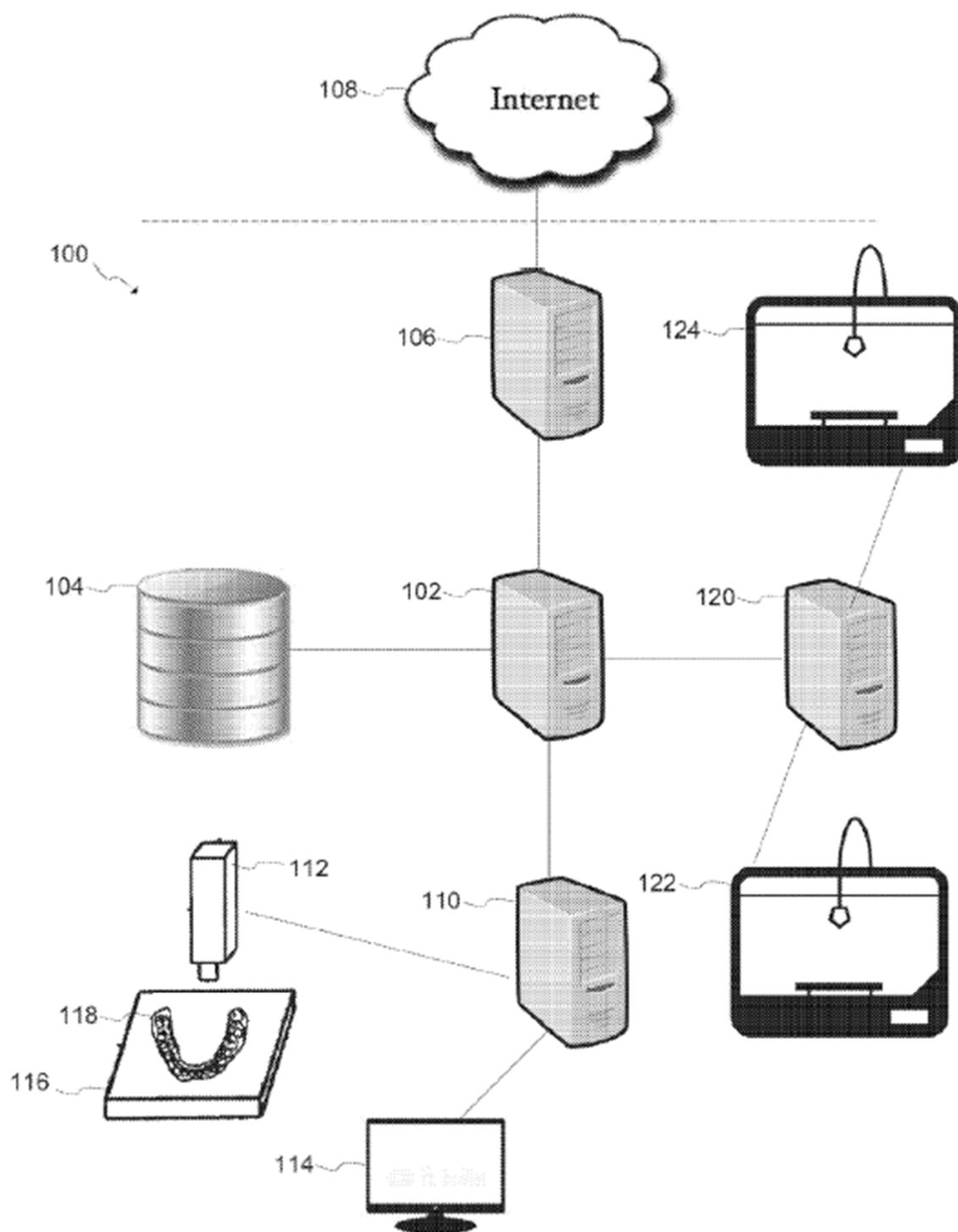


Figura 2

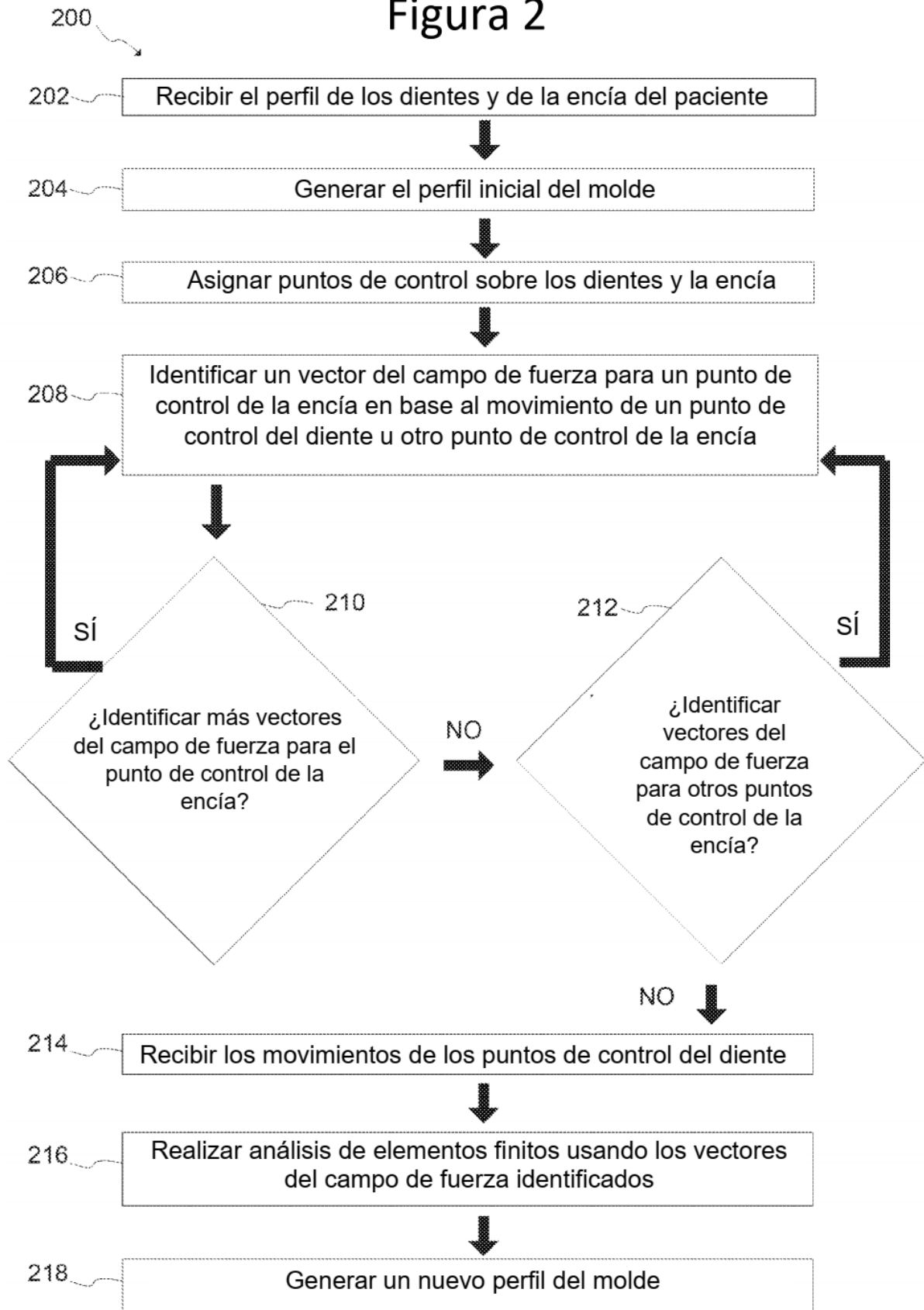


Figura 3

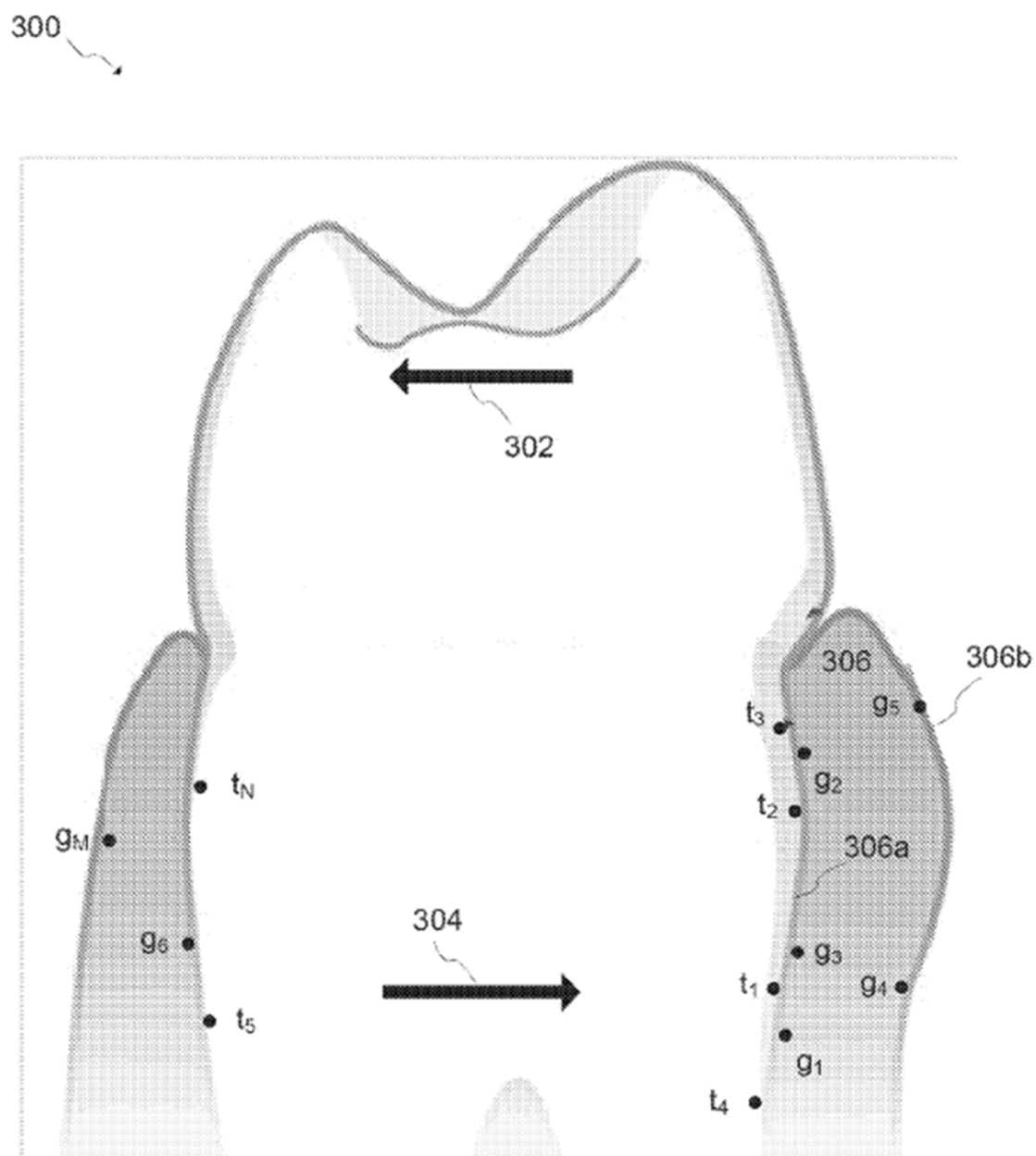


Figura 4

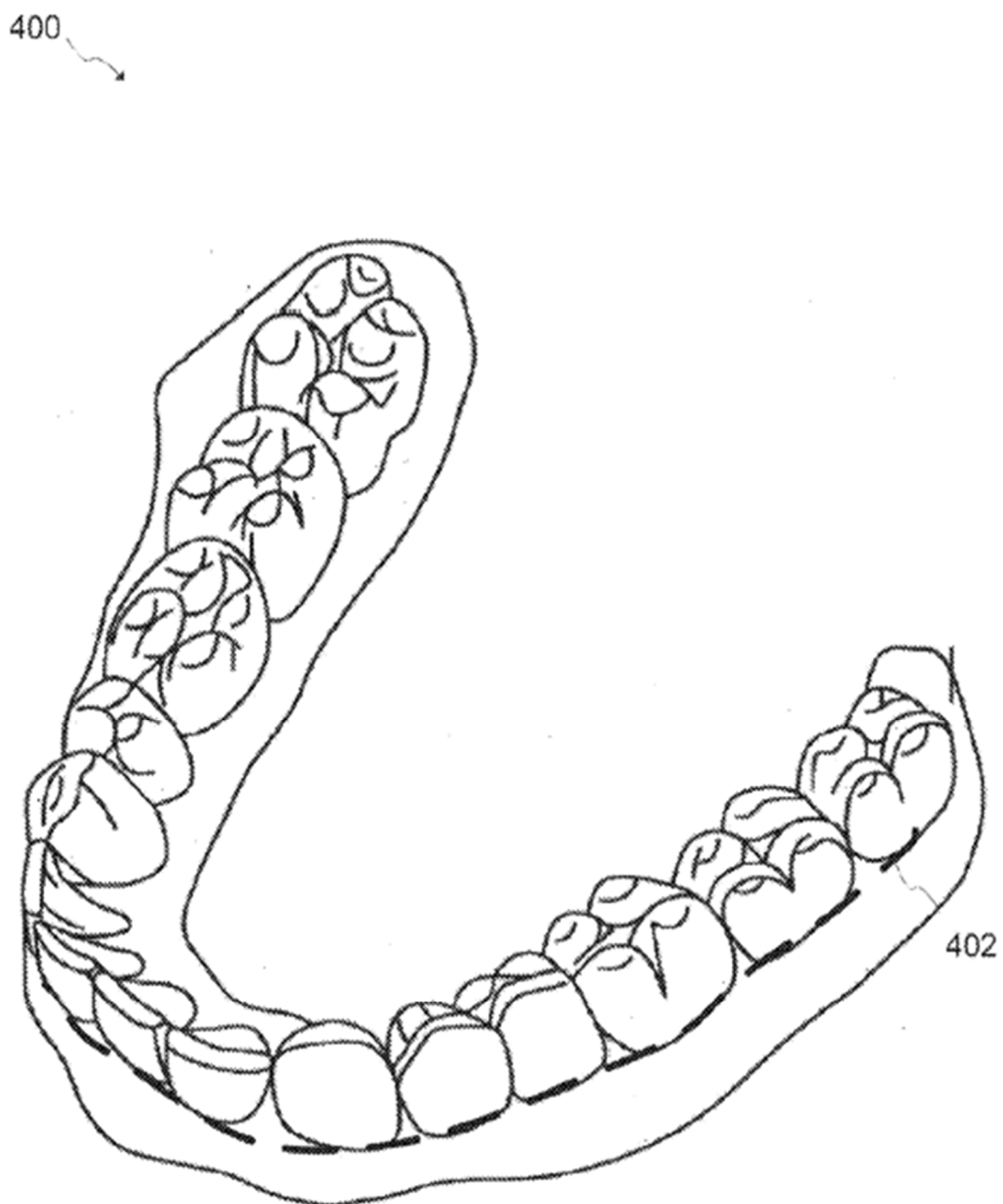


Figura 5

