

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 785 035**

51 Int. Cl.:

A61C 7/08 (2006.01)

A61C 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.06.2018** **E 18175829 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2020** **EP 3412245**

54 Título: **Procedimiento de evaluación de un alineador ortodóntico**

30 Prioridad:

09.06.2017 FR 1755187

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

05.10.2020

73 Titular/es:

**DENTAL MONITORING (100.0%)
47, avenue Hoche
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 785 035 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 evaluación de un alineador ortodóntico

Ámbito técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de evaluación de la forma de un alineador ortodóntico, o «aligneur», llevado por un paciente, en particular para evaluar la conformidad de la forma del alineador ortodóntico en el posicionamiento de los dientes de dicho paciente. La descripción describe también un procedimiento de adaptación de un tratamiento por medio de alineadores ortodónticos. La descripción describe por último un programa informático para la realización de estos procedimientos.

Estado de la técnica

10 Clásicamente, al comienzo de un tratamiento ortodóntico, el ortodoncista determina el posicionamiento de los dientes que desea obtener en un momento del tratamiento, llamado “set-up”. El set-up puede definirse por medio de una impresión o a partir de un escaneado tridimensional de los dientes del paciente. El ortodoncista fabrica entonces, en consecuencia, un aparato ortodóntico adaptado a este tratamiento. El documento WO2016/066637 describe un
15 procedimiento de control de un tratamiento ortodóntico y un programa informático para la realización de este procedimiento.

El aparato ortodóntico puede ser un alineador ortodóntico («aligner» en inglés). Un alineador se presenta clásicamente bajo la forma de un aparato monobloque amovible, clásicamente de un material polímero transparente, que comprende un canal conformado para que varios dientes de un arco, generalmente todos los dientes de un arco, puedan alojarse en él.

20 La forma del canal está adaptada para mantener en posición el alineador sobre los dientes, ejerciendo una acción de corrección del posicionamiento de algunos dientes.

Se determinan clásicamente, al comienzo del tratamiento, la formas que deben tomar los diferentes alineadores en diferentes momentos del tratamiento, luego se fabrica el conjunto de alineadores correspondientes. En momentos predeterminados, el paciente cambia de alineador.

25 El tratamiento por medio de alineadores es ventajosamente menos pesado para el paciente. En particular, el número de visitas al ortodoncista es limitado. Además, el dolor es menor que con un arco ortodóntico metálico enganchado a los dientes.

El mercado de los alineadores ortodónticos está por consiguiente en crecimiento.

30 A intervalos regulares, el paciente va al ortodoncista para un control visual, particularmente para comprobar si el desplazamiento de los dientes es conforme a lo esperado y si el alineador llevado por el paciente es todavía adecuado para el tratamiento.

35 Si el ortodoncista diagnostica una inadaptación en el tratamiento, realiza una nueva impresión de los dientes, o, de forma equivalente, un nuevo escaneado tridimensional de los dientes, luego pide una nueva serie de alineadores configurados consecuentemente. Se considera que, por término medio, el número de alineadores finalmente fabricados es de aproximadamente 45, en lugar de los 20 alineadores clásicamente previstos al comienzo del tratamiento.

La necesidad de tener que desplazarse al ortodoncista es una pesadez para el paciente. La confianza del paciente en su ortodoncista puede ser igualmente cuestionada. La inadaptación puede ser inestética. Por último, esto produce un coste suplementario.

40 El número de visitas de control al ortodoncista debe por consiguiente ser limitado.

Existe una necesidad para dar soluciones que respondan a estos problemas.

Un fin de la invención es responder, al menos parcialmente, a esta necesidad.

Resumen de la invención

45 La invención proporciona un procedimiento de evaluación de la forma de un alineador ortodóntico llevado por un paciente, comprendiendo el indicado procedimiento las etapas siguientes:

- 1) adquisición de al menos una imagen bidimensional de los dientes de dicho paciente, llamada «imagen actualizada», en condiciones de adquisición actuales,

al menos una imagen actualizada, llamada «imagen del alineador», que representa al menos parcialmente el alineador en una posición de servicio en la cual es llevada por los indicados dientes;

al menos una imagen actualizada, llamada «imagen de dentición» idéntica o diferente de la imagen del alineador, que representa los indicados dientes,

5 2) si la imagen de dentición es diferente de la imagen del alineador, transformación de la imagen de dentición de forma que la misma represente los indicados dientes (representados en la imagen de dentición) como se han observado en las condiciones de adquisición realizadas en la adquisición de la imagen del alineador en la etapa 1);

10 3) determinación para cada uno de una pluralidad de dientes representados en las imágenes de dentición y del alineador, de contornos de dientes interior y exterior representando el contorno del extremo libre del indicado diente en las imágenes de dentición y del alineador, respectivamente;

4) comparación de los contornos de dientes interior y exterior, luego determinación de al menos un marcador en función de la indicada comparación.

15 Como se verá con más detalle en lo que sigue de la descripción, un procedimiento según la invención facilita considerablemente la evaluación de la correcta adecuación del alineador en el tratamiento, haciendo esta evaluación particularmente fiable. En particular, el procedimiento puede ser realizado a partir de simples fotografías o películas, tomadas sin precaución particular, por ejemplo, por el paciente. El número de visitas al ortodoncista puede por consiguiente ser limitado.

20 De preferencia, un procedimiento de evaluación según la invención presenta todavía una o varias de las características opcionales siguientes:

- el procedimiento comprende, después de la etapa 4), la etapa siguiente:

5) comparación del marcador con un umbral de aceptabilidad y emisión de una información en función del resultado de la comparación;

- las imágenes de dentición y del alineador son diferentes y el procedimiento comprende las etapas siguientes:

25 (a) antes de la etapa 1), de preferencia al comienzo del tratamiento o antes del comienzo del tratamiento, realización de un modelo tridimensional digital de al menos una parte de un arco que lleva los indicados dientes, o «modelo de referencia inicial», y para cada diente del modelo de referencia inicial, definición de un modelo de referencia tridimensional digital del indicado diente, o «modelo de diente»;

30 (b) modificación del modelo de referencia inicial por desplazamiento de los modelos de diente, hasta la obtención de un modelo de referencia final compatible con la imagen de dentición;

(c) búsqueda de una vista bidimensional del modelo de referencia final compatible con la imagen del alineador;

(d) transformación de la imagen de dentición en la indicada vista;

- alternativamente, las imágenes de dentición y del alineador son una misma imagen;

- la etapa 4) comprende las etapas siguientes:

35 para cada una de una pluralidad de dientes para las cuales contornos de diente interior y exterior han sido determinados;

i) determinación de una distancia entre los contornos de diente interior y exterior;

ii) determinación de un umbral de distancia, de preferencia a partir de las distancias determinadas en la etapa i);

40 iii) para cada uno de los indicados dientes, determinación de un marcador en distancia, en función

- de la distancia entre los contornos de diente interior y exterior y

- del umbral de distancia;

- las indicadas distancias son medidas en píxeles;

- en la etapa ii) el umbral de distancia va en función de la más pequeña de las distancias determinadas en la etapa i);

45 - alternativamente, la etapa 4) comprende las etapas siguientes:

i') para cada par de un diente izquierdo y de un diente derecho adyacentes de al menos un triplete del primero, segundo y tercer dientes adyacentes para cada uno de los cuales los contornos de diente interior y exterior han sido determinados, siendo los primero y tercer dientes adyacentes al segundo diente,

determinación de unadiferencia entre el contorno de diente interior del mencionado diente izquierdo y el contorno de diente interior del mencionado diente derecho, llamada «diferencia interior», y determinación de unadiferencia entre el contorno de diente exterior del indicado diente izquierdo y el contorno de diente exterior del indicado diente derecho, llamada «diferencia exterior», luego

5 determinación de la diferencia entre el desplazamiento interior y el desplazamiento exterior, llamada «diferencia de desplazamientos»;

ii') determinación de un umbral de diferencia de desplazamientos, de preferencia a partir de las diferencias de desplazamiento determinadas en la etapa i');

10 iii') determinación, para al menos uno, de preferencia para cada diente de dicho triplete, de al menos un marcador de desplazamiento, en función de la diferencia de desplazamientos con un diente adyacente y del umbral de diferencia de desplazamientos;

- los desplazamientos interiores y exteriores son medidos en píxeles;

- en la etapa iii'), el umbral de diferencia de desplazamientos es función de la más pequeña de las diferencias de desplazamiento determinadas en la etapa i').

15 La invención se refiere también a un procedimiento de adaptación de un tratamiento ortodóntico, procedimiento en el cual se pone en práctica un procedimiento de evaluación según la invención, luego, en función del resultado de la indicada evaluación, se realiza un nuevo alineador.

La descripción describe igualmente:

- 20
- un programa de ordenador, y en particular una aplicación especial para teléfono móvil, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de una o varias, de preferencia todas las etapas 1) a 4), de preferencia 1) a 5), cuando el indicado programa se ejecuta por un ordenador,
 - un soporte informático en el cual está grabado dicho programa, por ejemplo, una memoria o un CD-ROM, y
 - un aparato personal, en particular un teléfono móvil o una Tablet, en la cual está cargado dicho programa.

La descripción describe también un sistema que comprende:

- 25
- un escáner tridimensional apto para poner en práctica la etapa (a) descrita a continuación, y
 - un aparato personal, de preferencia un teléfono móvil, cargado con un programa según la invención.

Definiciones

Por «dentición», se entiende un conjunto de dientes.

30 Por «paciente», se entiende cualquier persona para la cual un procedimiento según la invención es puesto en práctica, esté o no esta persona enferma.

35 Las «condiciones de adquisición» precisan la posición y la orientación en el espacio de un aparato de adquisición de imágenes con relación a los dientes del paciente (condiciones de adquisición actuales) o a un modelo tridimensional de los dientes del paciente (condiciones de adquisición virtuales), y de preferencia la calibración de este aparato de adquisición de imágenes, y particularmente los valores de la apertura de diafragma, del tiempo de exposición, de la distancia focal y de la sensibilidad. Las condiciones de adquisición se denominan «virtuales», o «teóricas», cuando corresponden a una simulación en la cual el aparato de adquisición estaría en las indicadas condiciones de adquisición (posicionamiento y de preferencia calibración teóricas del aparato de adquisición).

Un escáner 3D es un aparato que permite obtener una representación en tres dimensiones de un objeto.

Por «imagen», se entiende una imagen en dos dimensiones, como una fotografía. Una imagen está formada por píxeles.

40 Un modelo digital tridimensional de un conjunto de dientes de un paciente es «compatible» con una imagen cuando existe una vista de este modelo que corresponde a la indicada imagen, es decir tal que los elementos de dicho modelo, por ejemplo, los contornos de los modelos de dientes, están posicionados, los unos con relación a los otros, como los elementos reales que modelizan, por ejemplo, los contornos de los indicados dientes, en la mencionada imagen. Así, un modelo de referencia final es compatible con una imagen de dentición si una vista del modelo de referencia final

45 permite observar los contornos de los modelos de dientes de forma que se puedan superponer a los contornos de los indicados dientes en la mencionada imagen de dentición.

La mencionada vista puede ser observada por un aparato de adquisición de imágenes virtual, en condiciones de adquisición virtuales que son igualmente calificadas de «compatibles» con la imagen.

Cuando un modelo digital tridimensional es compatible con una imagen, el posicionamiento de los modelos de dientes en este modelo es igualmente calificado de «compatible» con la imagen.

La «posición de servicio» es la posición en la cual el alineador es llevado por el paciente.

«Comprender», «incluir» o «presentar» deben interpretarse de forma amplia, no limitativa, salvo indicación contraria.

5 Breve descripción de las figuras

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

- las figuras 1 y 2 representan un alineador ortodóntico;
- la figura 3 representa una imagen actualizada de un arco central que lleva un canal ortodóntico como el de las figuras 1 y 2;
- la figura 4 representa el contorno de dentición definido a partir de la imagen de la figura 3;
- la figura 5 representa los contornos de canal definidos a partir de la imagen de la figura 3 y susceptibles de ser utilizados según la invención;
- la figura 6 representa el contorno del alineador definido a partir de la imagen de la figura 3 y utilizado en las figuras 7 y 8 para ser comparado con un contorno de dentición;
- las figuras 7 y 8 representan los contornos de dentición y del alineador de las figuras 4 y 6 tales como se han representado en la imagen actualizada de la figura 3;
- la figura 9 ilustra esquemáticamente un procedimiento según la invención;
- la figura 10 ilustra esquemáticamente la etapa 2) de un procedimiento según la invención.

20 Descripción detallada

Como se ha representado en la figura 1, un alineador 10 se extiende con el fin de seguir los dientes D sucesivos del arco en el cual está fijado. El mismo define un canal en forma general de «U».

Se llama «canal» 12 a la superficie interior del alineador. La forma del canal se determina para asegurar la fijación del alineador sobre los dientes, pero igualmente en función de un posicionamiento blanco deseado para los dientes. Más precisamente, la forma se determina de manera que, cuando el alineador se encuentra en su posición de servicio, el mismo ejerza fuerzas tendentes a desplazar los dientes tratados hacia su posición blanco.

Por «contorno de diente», se entiende una línea que presenta la forma de un extremo libre 22 de un diente sobre una imagen.

Bien entendido, una línea de este tipo puede delimitar el extremo libre de este diente. El contorno de diente es entonces calificado de «contorno de diente interior» 14. Un «contorno de dentición» 16 está constituido por el conjunto de contornos de diente interiores de un conjunto de dientes (figura 4).

La indicada línea puede igualmente delimitar una parte del alineador. El contorno de diente se califica entonces de «contorno de diente exterior» 18. En particular, el fondo 20 del canal presenta una forma sustancialmente complementaria a la de los extremos libres 22 de los dientes. En consecuencia, sobre una imagen que representa el fondo del canal, el contorno del fondo del canal define un conjunto de contornos de dientes exteriores 18.

El material del alineador que separa la superficie exterior 24 del alineador y el canal 12 define el espesor del alineador ortodóntico. Este espesor se puede apreciar en la figura 5. Clásicamente, el alineador presenta un espesor sustancialmente constante. La superficie exterior 24 del alineador, que se extiende frente al fondo 20 del canal, es por consiguiente igualmente sustancialmente de la misma forma que el fondo del canal. En consecuencia, en una imagen, el contorno de la superficie exterior 24 del alineador define igualmente un conjunto de contornos de dientes exteriores 18.

Un «contorno de alineador» 28 está constituido por un conjunto de contornos de diente exteriores 18. Por consiguiente, puede ser definido por el fondo 20 del canal o por la superficie exterior 24 del alineador.

Cuando un diente se posiciona en el canal de forma que su extremo libre 22 esté en contacto con el fondo del canal, su contorno de diente interior se confunde sustancialmente con el contorno de diente exterior correspondiente si el contorno de diente exterior 18 está definido por el fondo 20 del canal, o está separado y sustancialmente paralelo al contorno de diente exterior correspondiente si el contorno de diente exterior está definido por la superficie exterior 24 del alineador.

De preferencia, los contornos de diente exteriores utilizados para definir el contorno de alineador 28 están definidos por la superficie exterior 24 del alineador, más visible.

El procedimiento de la invención tiene por objeto detectar las situaciones en las cuales el extremo libre 22 de un diente no está ya en contacto con el fondo del canal, y medir la amplitud de esta separación (figura 9).

En la etapa 1), se toma al menos una imagen de los dientes, llamada «imagen actualizada», por medio de un aparato de adquisición de imágenes.

5 De preferencia, al menos un recordatorio informando al paciente de la necesidad de crear una imagen actualizada es enviado al paciente. Este recordatorio puede ser por escrito o, de preferencia, en forma electrónica, por ejemplo, en forma de un correo electrónico, de una alerta automática de una aplicación especial para móvil o de un SMS. Un recordatorio de este tipo puede ser enviado por la consulta o el laboratorio ortodóntico o por el dentista o por la aplicación especial para móvil del paciente, por ejemplo.

10 La etapa 1) se realiza en el momento en que la evaluación de la forma de un alineador es deseada, por ejemplo, más de 4 semanas después del comienzo del tratamiento con el alineador.

El aparato de adquisición de imágenes es de preferencia un teléfono móvil, una cámara fotográfica llamada «conectada», un reloj llamado «inteligente», o «smartwatch», una Tablet o un ordenador personal, fijo o portátil, que comprende un sistema de adquisición de imágenes, como una webcam o una cámara fotográfica.

15 La adquisición se realiza de preferencia por el paciente o una persona próxima al paciente, pero puede ser realizada por cualquier otra persona, particularmente un dentista o un ortodoncista, de preferencia sin imponer un posicionamiento preciso del aparato de adquisición de imágenes con relación a los dientes.

De preferencia, la imagen actualizada es una fotografía o es una imagen obtenida de una película. La misma es de preferencia en color, de preferencia en colores reales.

20 De acuerdo con la invención, se evalúa la forma del alineador comparando un contorno de este alineador, en su posición de servicio, con un contorno de los dientes que lo llevan.

En la etapa 1), es por consiguiente necesario adquirir suficientes imágenes actualizadas para permitir esta comparación, es decir al menos una imagen del alineador en su posición de servicio, o «imagen de alineador», y al menos una imagen de dientes que llevan este alineador en la posición de servicio, o «imagen de dentición».

25 En un modo de realización, la imagen de dentición es la imagen de alineador. Dicho de otro modo, la misma imagen actualizada permite no solamente ver el contorno de alineador 28, sino también el contorno de dentición 16, a través del alineador (figura 3). Esta única imagen permite por consiguiente comparar contornos del alineador y de dentición. Ventajosamente, la etapa 2) de reajuste, descrita ulteriormente, no es necesaria.

30 En otro modo de realización, la imagen de dentición es una imagen de los dientes en ausencia del alineador ortodóntico, llamada «imagen de dentición desnuda». Este modo de realización es necesario si el contorno de dentición 16 no se ve claramente, a través del alineador, sobre la imagen del alineador. El operario toma entonces una primera imagen del alineador en posición de servicio, y, en otro instante, después de haber retirado el alineador, toma una segunda imagen de dientes que llevan la parte del alineador representada en la primera imagen, es decir la imagen de dentición desnuda.

35 Las imágenes actualizadas al ser de preferencia realizadas sin cuidados particulares, la imagen de dentición desnuda no es normalmente adquirida en las mismas condiciones de adquisición que la imagen de alineador. En particular, las posiciones en el espacio del aparato de adquisición con relación a los dientes y/o su ajuste («calibración» del aparato de adquisición), por ejemplo, el nivel de zoom, pueden ser diferentes para adquirir estas dos imágenes. Los contornos de alineador y de dentición definidos a partir de las imágenes de dentición desnuda y de alineador, respectivamente,
40 no son por consiguiente normalmente inmediatamente comparables. La etapa 2) está destinada para hacer estos contornos comparables redefiniendo la imagen de dentición.

En un modo de realización particular preferido, la etapa 2) (figura 10) comprende las etapas (a) a (d):

La etapa (a) es anterior a la etapa 1).

45 La misma se realiza de preferencia al comienzo del tratamiento o antes del comienzo del tratamiento ortodóntico. La misma puede ser igualmente realizada al comienzo del tratamiento o antes del comienzo del tratamiento con el alineador.

La etapa (a) consiste en la realización de un modelo tridimensional digital de un arco que lleva los dientes tratados, o «modelo de referencia inicial».

50 El modelo de referencia inicial es por ejemplo del tipo .stl u .Obj., DXF 3D, IGES, STEP, VDA, o Nubes de puntos. Ventajosamente, dicho modelo, llamado «3D», puede ser observado según un ángulo cualquiera.

El modelo de referencia inicial puede ser preparado a partir de mediciones realizadas sobre los dientes del paciente o sobre un modelo físico de sus dientes, por ejemplo, un modelo en yeso.

5 El modelo de referencia inicial es de preferencia creado por medio de un aparato profesional, por ejemplo, por medio de un escáner de 3D, de preferencia utilizado por un profesional de la salud, por ejemplo, por un ortodontista o un laboratorio ortodóntico. En una clínica de ortodoncia, el paciente o el modelo físico de sus dientes pueden estar ventajosamente dispuestos en una posición precisa y el aparato profesional puede ser perfeccionado. Esto produce un modelo de referencia inicial muy preciso. El modelo de referencia inicial proporciona de preferencia una información sobre el posicionamiento de los dientes con un error inferior a 5/10 mm, de preferencia inferior a 3/10 mm, de preferencia inferior a 1/10 mm.

10 En el modelo de referencia inicial, una parte que corresponde a un diente se denomina «modelo de diente». Los modelos de dientes pueden definirse como se ha descrito, por ejemplo, en la solicitud internacional PCT/EP2015/074896.

La etapa (b) comprende una modificación del modelo de referencia inicial, por desplazamiento de los modelos de dientes, hasta encontrar un posicionamiento de los modelos de dientes compatible con la imagen de dentición.

15 De preferencia, la etapa (b) se realiza menos de 4 semanas, menos de 2 semanas, menos de una semana, de preferencia sustancialmente inmediatamente después de la adquisición de la imagen de dentición.

20 La misma consiste de preferencia en un proceso iterativo según el cual, en cada iteración, uno o varios modelos de dientes son desplazados, luego se determinan las condiciones de adquisición óptimas del modelo inicial así modificado (llamado «modelo de referencia a ensayar», siendo las condiciones óptimas definidas como las condiciones que permiten observar el modelo de referencia a ensayar de forma que la vista de dicho modelo sea la más próxima posible de la imagen de dentición.

Las etapas c) a e) descritas en el documento PCT/EP2015/074896 son de preferencia realizadas:

c) análisis de la imagen de dentición (imagen actualizada en el documento PCT/EP2015/074896) y realización de un mapa actualizado relacionado con una información discriminante;

25 d) opcionalmente, determinación, para la imagen de dentición de condiciones de adquisición virtuales aproximadas que acercan a las condiciones de adquisición actuales de la indicada imagen de dentición;

30 e) búsqueda, a partir del mapa actualizado, de un modelo de referencia final que corresponde al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen de dentición, siendo la búsqueda de preferencia realizada por medio de un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado.

Todas las características de las etapas c) a e) descritas en el documento PCT/EP2015/074896 son aplicables.

De acuerdo con la etapa c), la imagen de dentición se analiza con el fin de realizar un mapa actualizado relacionado con al menos una información discriminante.

35 Una «información discriminante» es una información característica que puede ser extraída de una imagen («*image feature*»), clásicamente por un tratamiento informático de esta imagen.

Una información discriminante puede presentar un número variable de valores. Por ejemplo, una información de contorno puede ser igual a 1 o 0 según que un píxel pertenezca o no a un contorno. Una información de brillo puede tomar un gran número de valores. El tratamiento de la imagen permite extraer y cuantificar la información discriminante.

40 El mapa actualizado representa una información discriminante en el referencial de la imagen de dentición. La información discriminante es de preferencia seleccionada entre el grupo constituido por una información de contorno, una información de color, una información de densidad, una información de distancia, una información de brillo, una información de saturación, una información sobre los reflejos y combinaciones de estas informaciones.

45 En la etapa opcional d), se evalúa, de forma aproximada, las condiciones de adquisición actuales de la imagen de dentición en la etapa 1), es decir la posición y la orientación en el espacio del aparato de adquisición con relación a los dientes y su calibración. La etapa d) permite ventajosamente limitar el número de ensayos en condiciones de adquisición virtuales durante la etapa e), y permite por consiguiente acelerar considerablemente la etapa e).

50 Se utiliza de preferencia una o varias reglas heurísticas. Por ejemplo, de preferencia, se excluyen las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser sometidas a ensayo en la etapa e), las condiciones que corresponden a una posición del aparato de adquisición de imágenes detrás de los dientes o a una distancia de los dientes superior a 1 m. En un modo de realización preferido, se utilizan marcas de señalizado representadas en la imagen de dentición para

determinar una zona del espacio sustancialmente cónica que delimita las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser sometidas a ensayo en la etapa e), o “cono de ensayo”.

5 El objetivo de la etapa e) es modificar el modelo de referencia inicial hasta obtener un modelo de referencia final que corresponda a la imagen de dentición. Idealmente, el modelo de referencia final es por consiguiente un modelo de referencia tridimensional digital a partir del cual la imagen de dentición hubiera podido ser tomada si este modelo hubiera sido actual.

10 Por consiguiente, se somete a ensayo una sucesión de modelos de referencia «a ensayar», dependiendo la elección de un modelo de referencia a ensayar de preferencia del nivel de correspondencia de los modelos de referencia «a ensayar» anteriormente sometidos a ensayo con la imagen de dentición. Esta elección es de preferencia realizada siguiendo un procedimiento de optimización conocido, en particular seleccionado entre los procedimientos de optimización metaheurísticos, de preferencia evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado.

De preferencia, la etapa e) comprende las etapas siguientes:

e1) definición de un modelo de referencia a ensayar como siendo el modelo de referencia inicial luego,

15 e2) siguiendo las etapas siguientes, ensayo de condiciones de adquisición virtuales con el modelo de referencia a ensayar con el fin de aproximar con precisión las indicadas condiciones de adquisición actuales;

e21) determinación de condiciones de adquisición virtuales a ensayar;

e22) realización de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a ensayar en las indicadas condiciones de adquisición virtuales a ensayar;

20 e23) tratamiento de la imagen de referencia para realizar al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, la indicada información discriminante;

25 e24) comparación de los mapas actualizados y de referencia con el fin de determinar un valor para una primera función de evaluación, dependiendo el indicado valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre los indicados mapas actualizados y de referencia y que corresponden a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que aproximan las indicadas condiciones de adquisición actuales de la imagen de dentición con más exactitud que las indicadas condiciones de adquisición virtuales a ensayar determinadas en el último caso de la etapa e21);

e25) si el indicado valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar la indicada búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales a ensayar, luego continuado en la etapa e22);

30 e3) determinación de un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo el indicado valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas de dentición y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que aproximan mejor las indicadas condiciones de adquisición reales y que resultan del último caso de la etapa e2), correspondiendo el indicado valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o de detener la búsqueda de un modelo de referencia que aproxime el posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen de dentición con más exactitud que el indicado modelo de referencia a ensayar utilizado en el último caso de la etapa e2), y si el indicado valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar la indicada búsqueda, modificación del modelo de referencia a ensayar por desplazamiento de uno o varios modelos de dientes, luego continuado en la etapa e2).

Las etapas e1) a e3) se describen con detalle en los documentos PCT/EP2015/074896, o WO2016066651.

40 El modelo de referencia final obtenido al término de la etapa e) es un modelo tridimensional que resulta de las modificaciones sucesivas del modelo de referencia inicial, muy preciso. Ventajosamente, es así el mismo muy preciso, aunque haya sido obtenido a partir de simples fotografías tomadas sin cuidados particulares.

45 En la etapa (c) se busca una vista de modelo de referencia final que corresponde a la imagen del alineador. Más precisamente, la imagen del alineador ha sido adquirida en condiciones de adquisición actuales en las cuales los dientes no eran lo suficientemente visibles. La etapa (c) tiene por objetivo determinar una vista del modelo de referencia final compatible con la imagen del alineador, es decir una vista que representa los dientes tales como hubieran sido representados en la imagen del alineador si hubiesen sido lo suficientemente visibles.

50 En particular, esta búsqueda conduce a desplazar virtualmente un aparato de adquisición de imágenes virtual alrededor del modelo de referencia final hasta encontrar una posición «recadrée» (reajustada) compatible con la imagen del alineador, es decir en la cual se pueden observar los dientes o las partes de dientes como si hubieran sido representadas en la imagen del alineador si el alineador hubiese sido transparente.

De preferencia, la búsqueda de la vista del modelo de referencia final que corresponde mejor a la imagen del alineador es realizada por iteración, de preferencia por medio de un método heurístico, de preferencia aún por medio de uno de los métodos descritos a continuación. Estos métodos permiten ventajosamente guiar el desplazamiento virtual del aparato de adquisición de imágenes virtual alrededor del modelo de referencia final con el fin de acelerar la determinación de la indicada posición reajustada.

Para reajustar el aparato de adquisición de imágenes virtual, es necesario identificar en la imagen del alineador marcaciones de las cuales se conocía la posición en el modelo de referencia final. Tales marcaciones pueden generalmente ser identificadas. En su defecto, es necesario adquirir una nueva imagen del alineador y repetir la búsqueda de tales marcaciones. Las marcaciones pertenecen de preferencia a dientes que se saben inmóviles, por ejemplo, por que no son tratados (si tales dientes se aprecian en la imagen del alineador) o con partes del alineador en contacto con tales dientes, y por consiguiente igualmente inmóviles. Los dientes inmóviles pueden ser fácilmente identificados durante la etapa (c), ya que se trata de dientes cuyo modelo de diente no ha sido desplazado durante la etapa (b).

El reajustado necesita utilizar como marcaciones al menos tres puntos no alineados.

Se observa seguidamente el modelo de referencia final según diferentes condiciones de adquisición virtuales hasta obtener una vista del modelo de referencia final compatible con la imagen del alineador, es decir con la cual las marcaciones tienen posiciones relativas idénticas. El aparato de adquisición de imágenes virtual se encuentra entonces en la posición reajustada.

En la etapa (d), se sustituye la imagen de dentición por la vista del modelo de referencia final observado en la posición reajustada, es decir en las condiciones de adquisición virtuales determinadas en la etapa (c).

El modelo de referencia final representa en efecto, en tres dimensiones, los dientes en su posicionamiento en el momento en que la imagen de dentición ha sido adquirida, en la etapa 1). Por otro lado, las condiciones de adquisición virtuales determinadas en la etapa (c) son sustancialmente idénticas a las condiciones de adquisición reales en el momento en que la imagen del alineador ha sido adquirida, en la etapa 1). Observando el modelo de referencia final en las condiciones de adquisición virtuales determinadas en la etapa (c), se observa por consiguiente los dientes en el momento en que la imagen de dentición ha sido adquirida, en las condiciones de adquisición de la imagen del alineador. La vista del modelo de referencia final en estas condiciones de adquisición virtuales es por consiguiente comparable con la imagen del alineador y sustituye por consiguiente la imagen de dentición adquirida en la etapa 1). En un intento de claridad, esta vista se denomina igualmente «imagen de dentición», es decir que la vista es transformada en la imagen de dentición.

Las formas y las dimensiones de los contornos en la imagen de dentición así definida son por consiguiente comparables con las de los contornos en la imagen del alineador.

En la etapa 3), se determina para cada una de una pluralidad de dientes representados en las imágenes de dentición y del alineador, los contornos de diente interior y exterior.

El experto en la materia sabe cómo tratar una imagen para aislar un contorno. Este tratamiento comprende por ejemplo la aplicación de máscaras o de filtros bien conocidos, proporcionados con logicales de tratamiento de imágenes. Tales tratamientos permiten por ejemplo detectar las zonas de fuerte contraste.

Estos tratamientos comprenden particularmente uno o varios de los métodos conocidos y preferidos siguientes, a saber:

- por aplicación de un filtro Canny, particularmente para buscar contornos utilizando el algoritmo de Canny;
- por aplicación de un filtro Sobel, particularmente para calcular las derivadas por medio del operador extendido de Sobel;
- por aplicación de un filtro de Laplace, para calcular la transformada de Laplace de una imagen;
- por detección de manchas en una imagen («Blobdetector»);
- por aplicación de un umbral («Threshold») para aplicar un umbral fijo a cada elemento de un vector;
- por redimensionamiento, utilizando las relaciones entre las zonas de píxeles («Resize(Area)») o interpolaciones bi-cúbicas en el entorno de los píxeles;
- por erosión de la imagen por medio de un elemento específico estructurante;
- por expansión de la imagen por medio de un elemento específico estructurante;
- por retoque, en particular utilizando zonas en las proximidad de la zona restaurada;
- por aplicación de un filtro bilateral;
- por aplicación de un desenfoque Gausiano;
- por aplicación de un filtro de Otsu, para buscar el umbral que minimiza la diferencia entre clases;
- por aplicación de un filtro A^* , para buscar un paso entre puntos;

- por aplicación de un umbral adaptativo («Adaptive Threshold») para aplicar un umbral adaptativo a un vector;
- por aplicación de un filtro de igualación de un histograma de una imagen en tonos grises en particular;
- por detección de manchas («BlurDetection»), para calcular la entropía de una imagen utilizando su transformada de Laplace;
- 5 - por detección de contornos («FindContour») de una imagen binaria;
- por relleno de colores («FloodFill»), particularmente para rellenar un elemento conectado con un color determinado.

Los métodos no limitativos siguientes, aunque no sean preferidos, pueden ser igualmente utilizados:

- por aplicación de un filtro «MeanShift», con el fin de encontrar un objeto en una proyección de la imagen;
- 10 - por aplicación de un filtro «CLAHE», para «Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization»;
- por aplicación de un filtro «Kmeans», para determinar el centro de asociaciones y de grupos de muestras alrededor de asociaciones;
- por aplicación de un filtro DFT, con el fin de realizar una transformada de Fourier discreta, directa o inversa de un vector;
- 15 - por cálculo de momentos;
- por aplicación de un filtro «HuMoments» para calcular las invariantes de Hu invariantes;
- por cálculo de la integral de una imagen;
- por aplicación de un filtro Scharr, que permite calcular una derivada de la imagen utilizando un operador de Scharr;
- 20 - por búsqueda de la cubierta convexa de puntos («ConvexHull»);
- por búsqueda de puntos de convexidad de un contorno («ConvexityDefects»);
- por comparación de formas («MatchShapes»);
- por comprobación si los puntos están en un contorno («PointPolygonTest»); por detección de los contornos de Harris («CornerHarris»);
- 25 - por la búsqueda de valores propios mínimos de matrices de gradientes, para detectar los ángulos («CornerMinEigenVal»);
- por aplicación de una transformada de Hough para encontrar círculos en una imagen de tonalidades grises («HoughCircles»);
- por «Active contour modeling» (trazado del contorno de un objeto a partir de una imagen 2D potencialmente «ruidosa»);
- 30 - por cálculo de un campo de fuerzas llamadas GVF («gradient vector flow»), en una parte de la imagen;
- por clasificación en cascada («CascadeClassification»).

La determinación de los contornos de diente puede ser optimizada siguiendo las enseñanzas del documento PCT/EP2015/074900.

- 35 En la etapa 4) de comparación de los contornos, se procede de preferencia según uno de los dos modos de realización particulares indicados a continuación que corresponden a las figuras 7 y 8, respectivamente:

En un primer modo de realización particular, la etapa 4) comprende las etapas i) a iii) para cada una de una pluralidad de dientes para los cuales los contornos de diente interior y exterior han sido determinados.

- 40 En la etapa i), se determina una distancia d entre los contornos de diente interior y exterior de cada uno de los indicados dientes (figura 7).

La distancia entre los contornos de diente interior 14 y exterior 18 de un diente puede ser por ejemplo la distancia media o la distancia máxima entre los píxeles de los indicados contornos que corresponden a un mismo punto del diente.

- 45 La distancia es de preferencia medida en píxeles, lo cual ventajosamente evita tener que establecer la escala de las imágenes de dentición y de alineador.

En la etapa ii) se determina un umbral de distancia S_d , de preferencia a partir de las distancias determinadas en la etapa i).

- 50 De preferencia, en la etapa ii), el umbral de distancia S_d es sustancialmente igual a la más pequeña de las distancias determinadas en la etapa i) (d_{min}). Clásicamente, en la etapa 1), al menos uno de los dientes tratados está en contacto con el fondo del canal en el cual se introduce. La distancia entre los contornos de diente interior y exterior de este diente es entonces igual a una distancia mínima d_{min} correspondiente a una situación normal. La misma puede por consiguiente servir de unidad de referencia para evaluar, en la etapa iii), las distancias entre los contornos de diente interior y exterior de los otros dientes.

En la etapa iii), se determina, para cada uno de los dientes, un marcador llamado «marcador en distancia» $S(d, Sd)$, en función

- de la distancia d entre los contornos de diente interior y exterior y
- del umbral de distancia Sd .

5 De preferencia, el marcador en distancia para un diente es igual a $(d - Sd)$, es decir a la diferencia entre la distancia entre los contornos de diente interior y exterior de este diente y el umbral de distancia. Cuanto más elevado es el marcador en distancia, mayor es la separación del diente en cuestión del canal.

La figura 7 ilustra un ejemplo de realización de las etapas i) a iii), en el cual un diente D1 se ha separado del fondo del alineador de forma tal que $d - d_{min} > Sd$.

10 En un segundo modo de realización particular, la etapa 4) comprende las etapas i') a iii').

En la etapa i'), se considera al menos un triplete constituido por el primero, segundo y tercer dientes, D1, D2 y D3, respectivamente, siendo los primero y tercer dientes adyacentes al segundo diente, es decir sucediéndose los primero, segundo y tercer dientes a lo largo de un arco.

15 Se determinan los contornos de dentición y de alineador que comprenden los contornos de diente interiores 14₁, 14₂ y 14₃, respectivamente, y exteriores 18₁, 18₂ y 18₃, respectivamente, de los dientes D1, D2 y D3, respectivamente.

Un «desplazamiento» interior o exterior, respectivamente, representa una distancia entre los contornos de diente interior o exterior, respectivamente, de dos dientes adyacentes.

Se determina

- un desplazamiento entre el contorno de diente interior del indicado primer dientes 14₁ y el contorno de diente interior del indicado segundo diente 14₂, llamado «primer desplazamiento interior», Δ_{1-2i} ;
- un desplazamiento entre el contorno de diente interior y el mencionado segundo diente 14₂ y el contorno de diente interior del mencionado tercer diente 14₃, llamado «segundo desplazamiento interior», Δ_{2-3i} ;
- un desplazamiento entre el contorno de diente exterior del mencionado primer diente 18₁ y el contorno de diente exterior del mencionado segundo diente 18₂, llamado «primer desplazamiento exterior», Δ_{1-2e} ;
- desplazamiento entre el contorno de diente exterior del mencionado segundo diente 18₂ y el contorno de diente exterior del mencionado tercer dientes 18₃, llamado «segundo desplazamiento exterior», Δ_{2-3e} .

El desplazamiento interior entre los contornos de diente interiores de dos dientes adyacentes es de preferencia igual a la mayor distancia entre los contornos de diente interiores de estos dos dientes sobre el contorno de dentición.

30 El desplazamiento exterior entre los contornos de diente exteriores de dos dientes adyacentes es de preferencia igual a la mayor distancia entre los contornos de diente exteriores de estos dos dientes sobre el contorno del alineador.

Los desplazamientos interiores y los desplazamientos exteriores son de preferencia medidos en píxeles, lo que evita ventajosamente tener que establecer la escala de las imágenes de dentición y del alineador.

Se determina a continuación:

- la diferencia entre el primer desplazamiento interior Δ_{1-2i} y el primer desplazamiento exterior Δ_{1-2e} , llamada «primera diferencia de desplazamientos» $\Delta_{1-2} (= \Delta_{1-2i} - \Delta_{1-2e})$;
- la diferencia entre el segundo desplazamiento interior Δ_{2-3i} y el segundo desplazamiento exterior Δ_{2-3e} , llamada «segunda diferencia de desplazamientos» $\Delta_{2-3} (= \Delta_{2-3i} - \Delta_{2-3e})$.

En el ejemplo de la figura 8, Δ_{1-2} es mucho más pequeño que Δ_{2-3} .

40 En la etapa ii'), se determina un umbral de diferencia de desplazamientos $S\Delta$, de preferencia a partir de las primera y segunda diferencias de desplazamientos Δ_{1-2} y Δ_{2-3} determinadas en la etapa i').

De preferencia, en la etapa ii'), el umbral de desplazamiento es sustancialmente igual a la más pequeña de las diferencias de desplazamientos determinadas en la etapa i').

45 Clásicamente, en la etapa 1), al menos dos dientes tratados adyacentes están en contacto con el fondo del canal en el cual están introducidos. La diferencia de desplazamientos entre estos dos dientes tratados es entonces sustancialmente nula. Esta diferencia de desplazamientos nula correspondiente a una situación normal, puede por consiguiente servir de punto de referencia para evaluar las diferencias de desplazamientos entre los dientes tratados adyacentes.

En la figura 8, la diferencia de desplazamientos entre los dos dientes D_1 y D_2 es sustancialmente nula.

En la etapa iii'), se determina para cada par de dientes de dicho triplete, al menos un marcador, llamado «marcador de desplazamiento», en función de la diferencia de desplazamientos con un diente adyacente al indicado diente y del umbral de diferencia de desplazamientos.

- 5 En particular, la diferencia de desplazamientos del primer diente con el segundo diente puede ser comparada con el umbral de diferencia de desplazamientos SA , por ejemplo, de cero. El umbral de diferencia de desplazamientos puede ser particularmente restado de la diferencia de desplazamiento del primer diente con el segundo diente para determinar un marcador en desplazamiento de los primero y segundo dientes.

- 10 Este marcador de desplazamiento indica, por ejemplo, si es positivo, que uno o cada uno de los primero y segundo dientes es susceptible de estar despegado del fondo del canal.

En la figura 8, la diferencia de desplazamientos entre los dos dientes D_2 y D_3 es positiva, lo cual constituye un índice de separación del segundo o del tercer diente.

En la figura 8, la diferencia de desplazamientos entre los dos dientes D_1 y D_2 al ser sustancialmente nula, la diferencia positiva de desplazamientos entre los dos dientes D_2 y D_3 indica por consiguiente una separación del tercer diente.

- 15 De manera general, cuando un primer marcador de desplazamiento para los primero y segundo dientes indica una separación de uno de estos dos dientes, se determina un segundo marcador de desplazamiento para el segundo diente y un tercer diente adyacente al segundo diente. Si el segundo marcador de desplazamiento es inferior al primer marcador de desplazamiento, es probable que sea el primer diente el que está separado del fondo del canal. Si no es así, es probablemente el segundo diente el que está separado.

- 20 En la etapa 5), una información, por ejemplo, un aviso, es enviado a un operario para informarle, llegado el caso, de que la situación es anormal. La información relacionada con un diente depende del o de los marcadores establecidos en la etapa 4). De preferencia, la información comprende un valor que permite cuantificar, para al menos un diente, el nivel de separación del alineador por encima de este diente, siendo este valor de preferencia establecido a partir del o de los marcadores calculados en la etapa 4) para este diente.

- 25 En un modo de realización, esta información se utiliza para establecer un diagnóstico y/o para modificar el tratamiento, en particular para preconizar un cambio de alineador y/o determinar características de un futuro alineador para el paciente.

- 30 Como aparece claramente ahora, un procedimiento según la invención permite, a partir de simples fotografías o de una simple película, determinar las regiones en las cuales el alineador se ha separado de los dientes y evaluar la amplitud de esta separación.

Bien entendido, la invención no se limita a los modos de realización descritos más arriba y representados, pero está limitada por las reivindicaciones siguientes.

Por último, el paciente no está limitado a un ser humano. En particular, un procedimiento según la invención puede ser utilizado para otro animal.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de evaluación de la forma de un alineador ortodóntico llevado por un paciente, comprendiendo el indicado procedimiento las etapas siguientes:

- 5 1) adquisición de al menos una imagen bidimensional de los dientes de dicho paciente, llamada «imagen actualizada», en condiciones de adquisición actuales, al menos una imagen actualizada, llamada «imagen del alineador», representando al menos parcialmente el alineador en una posición de servicio en la cual es llevada por los indicados dientes; al menos una imagen actualizada, llamada «imagen de dentición» idéntica o diferente de la imagen del alineador, que representa los indicados dientes,
- 10 2) si la imagen de dentición es diferente de la imagen del alineador, transformación de la imagen de dentición de forma que la misma represente los indicados dientes como se han observado en las condiciones de adquisición realizadas en la adquisición de la imagen del alineador en la etapa 1);
- 3) determinación para cada una de una pluralidad de dientes representadas en las imágenes de dentición y del alineador, de contornos de dientes interior y exterior que representan el contorno del extremo libre del indicado diente en las imágenes de dentición y del alineador, respectivamente;
- 15 4) comparación de los contornos de dientes interior y exterior, luego determinación de al menos un marcador en función de la indicada comparación.

2. Procedimiento según la reivindicación inmediatamente anterior, que comprende, después de la etapa 4) la etapa siguiente:

- 20 5) comparación del marcador con un umbral de aceptabilidad y emisión de una información en función del resultado de la comparación.

3. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual las imágenes de dentición y del alineador son diferentes, comprendiendo el procedimiento las etapas siguientes:

- 25 (a) antes de la etapa 1), realización de un modelo tridimensional digital de al menos una parte de un arco que lleva los indicados dientes, o «modelo de referencia inicial», y para cada diente del modelo de referencia inicial, definición de un modelo de referencia tridimensional digital del indicado diente, o «modelo de diente»;
- (b) modificación del modelo de referencia inicial por desplazamiento de los modelos de diente, hasta la obtención de un modelo de referencia final compatible con la imagen de dentición;
- (c) búsqueda de una vista bidimensional del modelo de referencia final compatible con la imagen del alineador;
- 30 (d) transformación de la imagen de dentición en la indicada vista;

4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el cual las imágenes de dentición y del alineador son una misma imagen.

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la etapa 4) comprende las etapas siguientes:

- 35 para cada una de una pluralidad de dientes para las cuales contornos de diente interior y exterior han sido determinados;
- i) determinación de una distancia entre los contornos de diente interior y exterior;
- ii) determinación de un umbral de distancia, de preferencia a partir de las distancias determinadas en la etapa inmediatamente anterior;
- 40 iii) para cada uno de los indicados dientes, determinación de un marcador de distancia, en función
 - de la distancia entre los contornos de diente interior y exterior y
 - del umbral de distancia.

6. Procedimiento según la reivindicación inmediatamente anterior, en el cual las distancias se miden en píxeles.

7. Procedimiento según una cualquiera de las dos reivindicaciones inmediatamente precedentes, en el cual en la etapa ii), el umbral de distancia es función de la más pequeña de las distancias determinadas en la etapa i).

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual la etapa 4) comprende las etapas siguientes:

- i') para cada par de un diente izquierdo y de un diente derecho adyacentes de al menos un triplete del primero, segundo y tercer dientes adyacentes para cada uno de los cuales los contornos de diente interior y exterior han sido determinados, siendo los primero y tercer dientes adyacentes al segundo diente,

determinación de un desplazamiento entre el contorno de diente interior del mencionado diente izquierdo y el contorno de diente interior del mencionado diente derecho, llamado «desplazamiento interior», y determinación de un desplazamiento entre el contorno de diente exterior del indicado diente izquierdo y el contorno de diente exterior del indicado diente derecho, llamado «desplazamiento exterior», luego

5 determinación de la diferencia entre el desplazamiento interior y el desplazamiento exterior, llamada «diferencia de desplazamientos»;

ii') determinación de un umbral de diferencia de desplazamientos, de preferencia a partir de las diferencias de desplazamientos determinadas en la etapa i');

10 iii') determinación, para cada diente de dicho triplete, de al menos un marcador de desplazamiento, en función de la diferencia de desplazamientos con un diente adyacente y del umbral de diferencia de desplazamientos.

9. Procedimiento según la reivindicación inmediatamente anterior, en el cual los desplazamientos interiores y exteriores son medidos en píxeles.

15 10. Procedimiento según una cualquiera de las dos reivindicaciones inmediatamente precedentes, en el cual en la etapa iii'), el umbral de diferencia de desplazamientos va en función de la más pequeña de las diferencias de desplazamientos determinadas en la etapa ii').

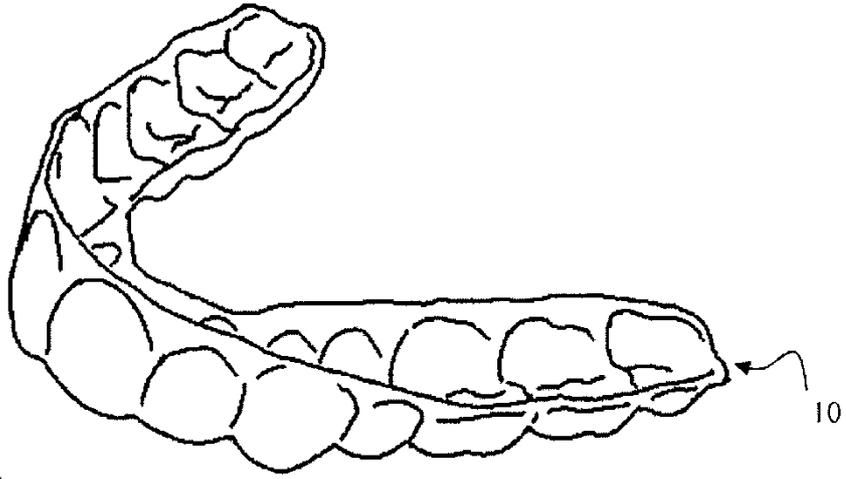


Fig. 1

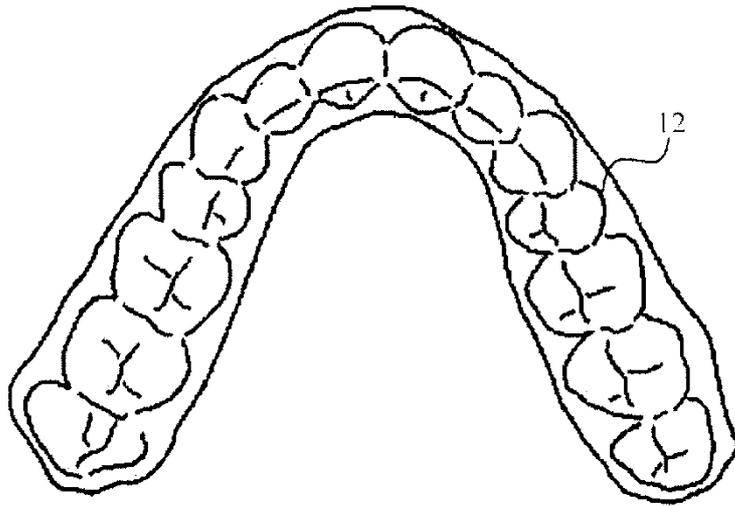


Fig. 2

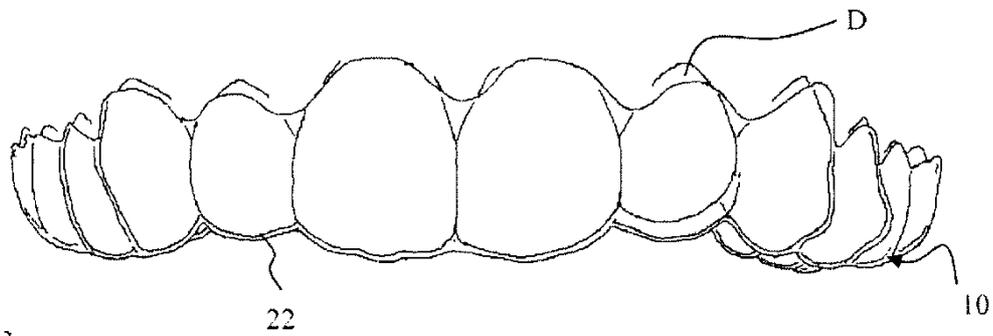


Fig. 3



Fig. 4

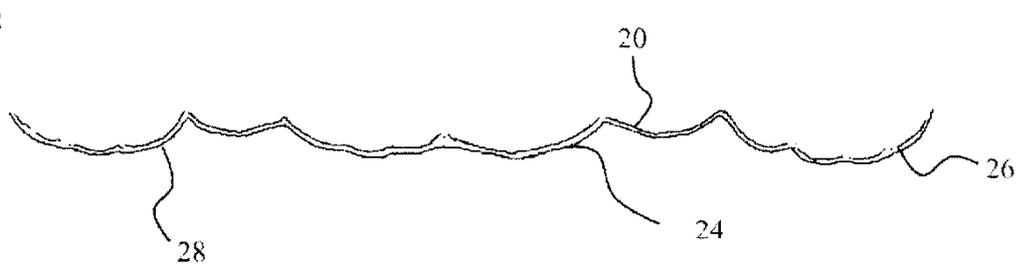


Fig. 5



Fig. 6

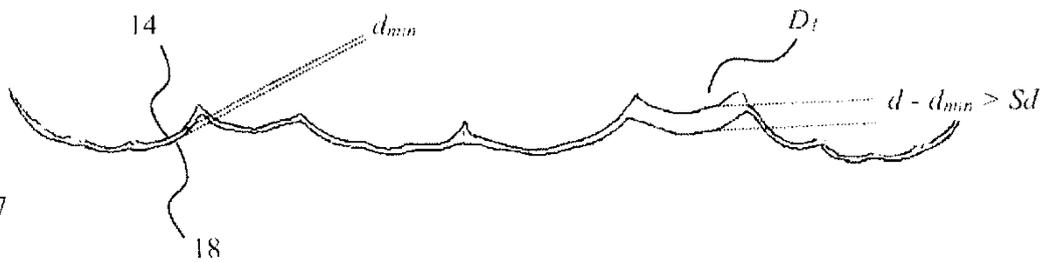


Fig. 7

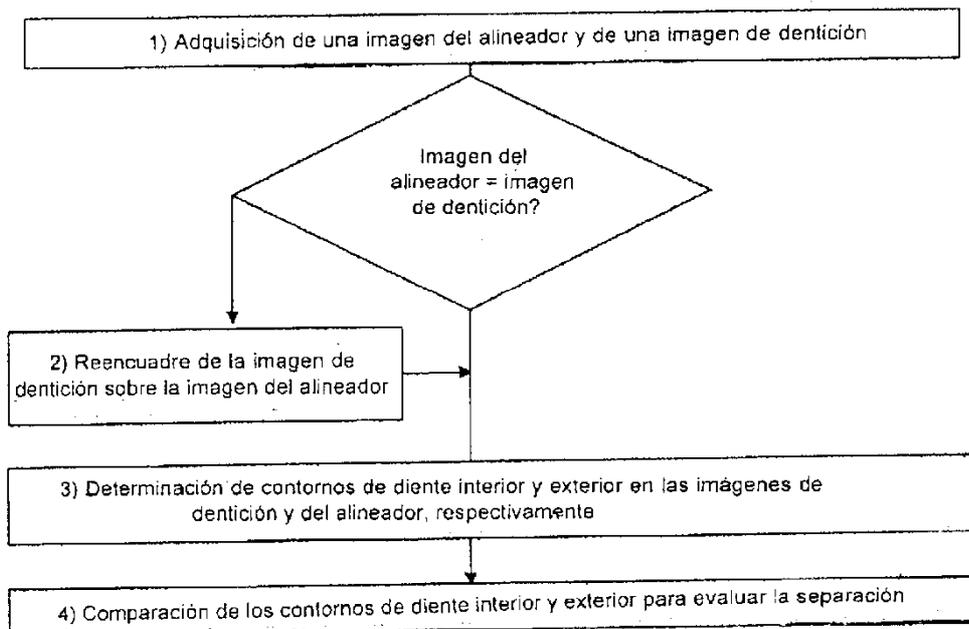
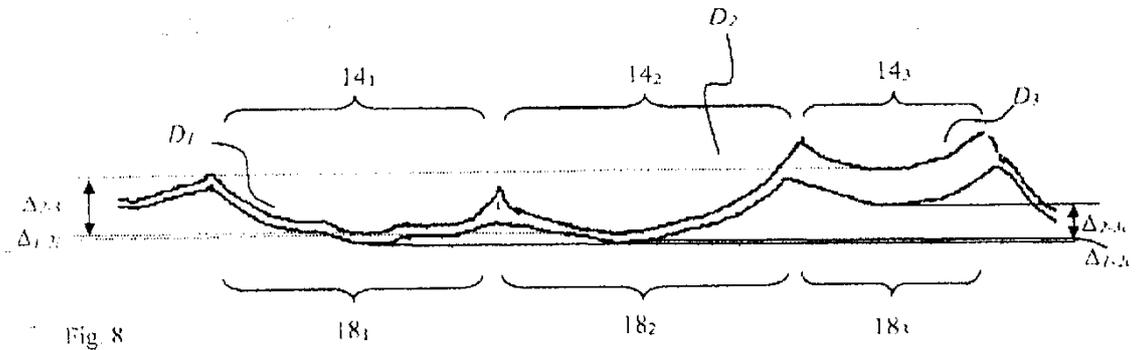


Fig 9

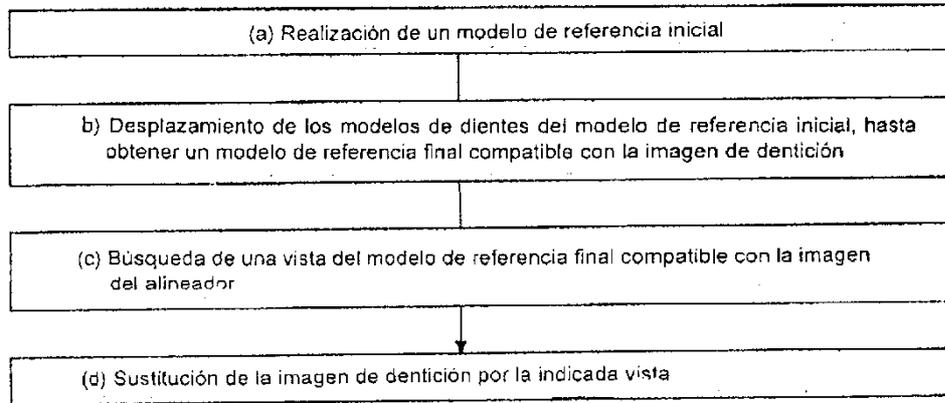


Fig. 10