

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 829 609**

51 Int. Cl.:

A61C 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2018** **E 18199739 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.08.2020** **EP 3470008**

54 Título: **Procedimiento para corregir un modelo digital dental**

30 Prioridad:

11.10.2017 EP 17306372

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

01.06.2021

73 Titular/es:

STRAUMANN HOLDING AG (100.0%)

Peter Merian-Weg 12

4002 Basel, CH

72 Inventor/es:

SALAH, PHILIPPE

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 829 609 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 para corregir un modelo digital dental

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento para corregir un modelo digital tridimensional de un arco de un paciente y a un aparato de adquisición adaptado para llevar a cabo este procedimiento.

10 Estado de la técnica

El documento US 2008/318179 A1 representa un ejemplo de la técnica.

15 Según los procedimientos más avanzados, la fabricación de un aparato de ortodoncia requiere que un ortodoncista escanee los arcos del paciente para generar un modelo digital tridimensional, o «modelo de referencia inicial». Con la ayuda de un ordenador, se segmenta el modelo de referencia inicial para crear, para cada diente, un modelo digital tridimensional de cada diente, o «modelo de diente». A continuación, el ortodoncista, o un laboratorio con la ayuda del ortodoncista, mueve uno o varios modelos de diente del modelo de referencia inicial para obtener un «modelo de referencia objetivo» o «montaje». Los modelos inicial y objetivo los utiliza el laboratorio para, de manera correspondiente, fabricar una o varias piezas de ortodoncia, por ejemplo, alineadores.

En el modelo de referencia inicial pueden surgir defectos, es decir, diferencias entre el modelo de referencia inicial y el arco del paciente modelado, por la resolución del escáner y/o por la manera en que se hace funcionar el escáner.

25 También pueden generarse defectos cuando el modelo de referencia inicial no se produce directamente a partir de un escaneo de los dientes, sino que se produce a partir de un molde de yeso de los dientes.

Finalmente, el documento WO 2016/066651 da a conocer la generación de un modelo de referencia actualizado mediante la deformación de un modelo de referencia inicial obtenido a partir de un escaneo de los dientes. Esta deformación también puede generar defectos.

Algunos defectos no tienen consecuencias perjudiciales para el aparato de ortodoncia fabricado. Por tanto, no se requiere la detección o corrección de estos defectos.

35 Algunos defectos tienen consecuencias perjudiciales para la pieza de ortodoncia fabricada y deberían corregirse siempre que puedan detectarse y sea posible una corrección. De lo contrario, el tratamiento de ortodoncia podría fracasar. Por tanto, el laboratorio habitualmente trata los modelos que recibe para detectar y corregir estos defectos. Estas operaciones requieren mucho tiempo y son costosas.

40 En algunos casos no puede corregirse un defecto. Por ejemplo, es tan grande que no es posible una interpolación. Entonces, el laboratorio debe rechazar el modelo defectuoso e informar al ortodoncista. El ortodoncista debe invitar al paciente a que realice una nueva adquisición mediante escáner. La mayor parte del tiempo y el dinero se pierde. Además, esta visita adicional es incómoda para el paciente y supone un estrés para el ortodoncista.

45 Finalmente, el modelo puede verse afectado por defectos que no pueden detectarse, pero son perjudiciales. Por tanto, el tratamiento de ortodoncia no se producirá con normalidad, el paciente se enfadará y producirá estrés al ortodoncista.

Un objetivo de la presente invención es abordar, al menos en parte, los problemas mencionados anteriormente.

50 Sumario de la invención

La invención proporciona un procedimiento de corrección de un modelo digital tridimensional de un arco de un paciente, o «modelo de referencia», comprendiendo dicho procedimiento las etapas siguientes:

55 1) adquisición de al menos una imagen bidimensional de dicho arco, denominada «imagen actualizada», en condiciones de adquisición reales;

60 2) búsqueda, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales que proporcionen una imagen bidimensional del modelo de referencia, que maximice la concordancia con la imagen actualizada, o «imagen de referencia»;

3) comparación de la imagen de referencia con la imagen actualizada para detectar diferencias;

65 4) corrección del modelo de referencia para reducir dichas diferencias para obtener un modelo de referencia corregido.

Como se observará en más detalle a continuación en la descripción, un procedimiento según la invención hace posible corregir un modelo de referencia con imágenes actualizadas simples, y en particular de fotografías.

- 5 Un procedimiento según la invención puede incluir, en particular, una o varias de las características adicionales de las reivindicaciones dependientes.

Preferiblemente, las etapas 2) a 4) se ejecutan para más de dos, más de cinco, preferiblemente más de diez o más de cincuenta imágenes actualizadas. El número de defectos restantes disminuye de manera correspondiente.

- 10 La etapa 2) comprende preferiblemente las etapas siguientes:

21) determinación de condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba;

- 15 22) producción de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia que va a someterse a prueba en dichas condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba;

23) procesamiento de la imagen de referencia para producir al menos un mapa de referencia que represente dicha información discriminativa;

- 20 24) comparación de los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una función de evaluación, dependiendo dicho valor para la función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión para continuar con o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales con mayor precisión que dichas condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba determinadas al producirse por última vez la etapa 21);

- 25 25) si dicho valor para la función de evaluación corresponde a una decisión para continuar con dicha búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba, a continuación, volver a la etapa 22).

El modelo de referencia puede generarse mediante una deformación de un modelo de referencia inicial, que en sí mismo se produjo al escanear un arco del paciente. El modelo de referencia puede ser, en particular, un modelo de referencia actualizado producido según el procedimiento dado a conocer en el documento WO 2016/066651.

- 35 Un modelo de referencia actualizado de este tipo puede utilizarse en particular para evaluar un tratamiento de ortodoncia y/o modificar un tratamiento de ortodoncia. En particular, cuando el aparato de ortodoncia es un alineador, puede utilizarse el modelo de referencia actualizado para diseñar alineadores nuevos. La invención también se refiere a un aparato de adquisición que comprende:

- 40 - un aparato de adquisición de imágenes, en particular una cámara digital, para adquirir imágenes actualizadas de un arco de un paciente según la etapa 1) del procedimiento según la invención;

- 45 - un escáner configurado para generar un modelo de referencia de dicho arco;

- un módulo de procesamiento configurado para corregir dicho modelo de referencia con dichas imágenes actualizadas para obtener un modelo de referencia corregido según las etapas 2) a 4) del procedimiento según la invención, y preferiblemente informar a un operario si no es posible corregir un defecto, y en particular si este defecto tiene un potencial efecto perjudicial.

- 50 Preferiblemente, el módulo de procesamiento está configurado de modo que la información al operario se produce en menos de cinco minutos, preferiblemente menos de un minuto, preferiblemente menos de treinta segundos, preferiblemente menos de diez segundos, preferiblemente menos de un segundo después de la corrección del modelo de referencia. Ventajosamente, si no puede utilizarse un modelo de referencia, se informa rápidamente al operario del aparato de adquisición e inmediatamente puede generar un modelo de referencia nuevo.

El modelo de referencia corregido puede utilizarse en particular para fabricar una pieza de ortodoncia.

- 60 La presente divulgación también se refiere a un procedimiento para fabricar una pieza de ortodoncia, comprendiendo dicho procedimiento, después de la producción de un modelo de referencia corregido según las etapas 1) a 4), las etapas siguientes:

5) validación del modelo de referencia corregido;

- 65 6) si el modelo de referencia corregido está validado, fabricación de dicha pieza de ortodoncia con la ayuda de dicho modelo de referencia corregido.

La fabricación se consigue preferiblemente por un laboratorio centralizado, es decir, un laboratorio que fabrica aparatos para una pluralidad de ortodoncias.

5 La presente divulgación también se refiere a:

- un programa informático, y en particular a una aplicación específicamente para teléfonos móviles, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de una o varias, preferiblemente todas, las etapas 2) a 4), cuando dicho programa lo ejecuta un ordenador, y

10

- un medio informático en el que está almacenado tal programa, por ejemplo, una memoria o un CD-ROM.

Definiciones

15 Se entenderá que un “paciente” es cualquier persona para la que se implementa un procedimiento para monitorizar sus dientes, esté esta persona enferma o no.

Una “pieza de ortodoncia” se refiere a cualquier pieza de un aparato de ortodoncia, o a un aparato de ortodoncia completo, por ejemplo, a un alineador.

20

Un «modelo» es un modelo digital tridimensional, por ejemplo, de tipo .stl u .Obj, .DXF 3D, IGES, ETAPA, VDA, o nube de puntos. Ventajosamente, un modelo, denominado “3D”, puede observarse desde cualquier ángulo.

25

Un “defecto” es una parte de un modelo de un arco dental que no representa correctamente este arco. Por ejemplo, el modelo puede representar asperezas o huecos que, en realidad, es decir, en el arco dental, no existen. Preferiblemente, la longitud de un defecto es menor de 5 mm, 3 mm, 2 mm o 1 mm.

Túneles o puentes son ejemplos habituales de defectos de escaneos en 3D.

30

Un defecto puede ser, en particular, un exceso de material en 3D, un borde incisal distorsionado, un agujero o una distorsión en la malla, una doble piel, un desplazamiento o una definición insuficiente, una autointersección.

Un exceso de material en 3D puede tener su origen en artefactos. Por ejemplo, una parte de la lengua puede estar representada en el modelo.

35

Un borde incisal distorsionado también es un defecto común. En efecto, los bordes incisales son difíciles de escanear y los bordes de las caras vestibulares pueden no coincidir perfectamente con los bordes de las caras linguales.

40

Un modelo es comúnmente una malla de líneas. Localmente puede presentar agujeros o distorsiones de modo que no represente correctamente los dientes reales. En particular, la malla puede ser irregular o puede tener regiones en las que no sea conexa, es decir, que no comprendan una línea común a diferentes triángulos del modelo. Una malla no desplegable también es un defecto, es decir, cuando más de dos triángulos definen una línea común de modelo 3D.

45

Localmente, un modelo también puede comprender un solapamiento, es decir, una superposición de dos capas, o “dobles pieles”, que deberían evitarse.

50

Finalmente, un modelo puede tener una precisión que localmente sea demasiado baja, es decir, una definición insuficiente.

Se entiende que una “imagen” es una imagen bidimensional, como una fotografía. Una imagen está formada por píxeles.

55

Una «imagen de un arco» y un «modelo de un arco» son representaciones de una parte o de un arco completo.

Las “condiciones de adquisición” especifican la posición y la orientación en el espacio de un aparato de adquisición de imágenes en relación con los dientes del paciente o con un modelo de diente del paciente, y preferiblemente la calibración de este aparato de adquisición de imágenes. Las condiciones de adquisición se denominan “virtuales” cuando corresponden a una simulación en la que el aparato de adquisición estaría en dichas condiciones de adquisición (posicionamiento teórico y preferiblemente calibración del aparato de adquisición).

60

La “calibración” de un aparato de adquisición está constituida por todos los valores de los parámetros de calibración. Un “parámetro de calibración” es un parámetro intrínseco al aparato de adquisición (a diferencia de su posición y su orientación), cuyo valor influye en la imagen adquirida. Preferiblemente, los parámetros de calibración se eligen del grupo formado por la apertura del diafragma, el tiempo de exposición, la distancia focal y la sensibilidad.

65

Un “escáner” es un aparato que hace posible obtener una representación tridimensional de un objeto.

Una “información discriminadora” es una información característica que puede extraerse de una imagen (*“propiedad de imagen”*), convencionalmente mediante un procesamiento por ordenador de esta imagen.

Una información discriminadora puede tener un número variable de valores. Por ejemplo, una información de contorno puede ser igual a uno o cero dependiendo de si un píxel pertenece o no pertenece a un contorno. Una información de brillo puede adoptar un gran número de valores. El procesamiento de la imagen hace posible extraer y cuantificar la información discriminadora.

La información discriminadora puede estar representada como un “mapa”. Un mapa es por tanto el resultado del procesamiento de una imagen para que la información discriminadora sea más visible.

Un punto de una imagen, por ejemplo, un punto de un contorno de un diente, resulta de la proyección de un punto del arco dental del paciente a lo largo de la dirección de observación durante la adquisición de la imagen (dirección del objetivo del aparato de adquisición de imágenes).

El punto del modelo de referencia que representa este punto del arco dental se denomina “punto primario” del punto de imagen.

La “concordancia” entre dos objetos es una medida de la diferencia entre estos objetos. Un objeto “concuere mejor” con otro objeto cuando resulta de un tratamiento de optimización para reducir dicha diferencia por debajo de un umbral determinado. La búsqueda de una imagen de referencia que concuerde mejor con el modelo de referencia se consigue buscando condiciones de adquisición virtuales que concuerden mejor con las condiciones de adquisición reales.

Dos imágenes que concuerdan mejor entre sí representan sustancialmente el mismo objeto, de la misma manera. Dicho de otra manera, las representaciones del objeto en las dos imágenes son sustancialmente superponibles.

Una imagen actualizada también concuerda mejor con un modelo de referencia cuando una vista del modelo de referencia proporciona una imagen de referencia que concuerda mejor con la imagen actualizada.

Los procedimientos metaheurísticos comprenden en particular:

- los algoritmos evolucionistas, elegidos preferiblemente de entre: estrategias de evolución, algoritmos genéticos, algoritmos de evolución diferencial, algoritmos de estimación de distribución, sistemas de inmunidad artificial, recomposición de la ruta Shuffled Complex Evolution, recocido simulado, algoritmos de colonias de hormigas, algoritmos de optimización de enjambres de partículas, búsqueda de tabúes y el procedimiento GRASP;

- el algoritmo del canguro,

- el procedimiento de Fletcher y Powell,

- el procedimiento del ruido,

- tunelización estocástica,

- escalada de colinas con reinicios aleatorios,

- el procedimiento de entropía cruzada, e

- híbridos de los procedimientos metaheurísticos descritos anteriormente.

Se entenderá que “comprender un/una” o “incluir un/una” o “tener un/una” significarán “incluir al menos un/una” a menos que se indique lo contrario.

Breve descripción de las figuras

Tras la lectura de la siguiente descripción detallada y el estudio del dibujo adjunto resultarán más evidentes otras características y ventajas de la invención. En el dibujo:

- las figuras 1 (1a, 1b, 1c) y 2 representan un dibujo y un diagrama de flujo, respectivamente, que ilustran la implementación de un procedimiento de corrección según la invención,

- la figura 3 es un ejemplo de una imagen de referencia,

- la figura 4 (4a-4b) ilustra la generación de un mapa de referencia a partir de una imagen de referencia,

5 - la figura 5 ilustra la generación de una imagen actualizada con un separador (5a-5b), y la generación de un mapa actualizado a partir de una imagen actualizada (5c-5d),

- la figura 6 ilustra esquemáticamente la posición relativa de marcas de registro 12 en las imágenes actualizadas 14₁ y 14₂ de un separador 10, dependiendo de la dirección de observación (línea discontinua).

10 Descripción detallada

Un procedimiento según la invención comprende las etapas 1) a 4) mencionadas anteriormente.

15 El modelo de referencia puede prepararse a partir de mediciones realizadas en los dientes del paciente o en un molde físico de sus dientes, por ejemplo, un molde de yeso.

20 El modelo de referencia se crea preferiblemente por medio de un aparato profesional, por ejemplo, por medio de un escáner 3D, preferiblemente implementado por un profesional de la salud, por ejemplo, por un ortodoncista o un laboratorio de ortodoncia. En una práctica de ortodoncia, el paciente o el modelo físico de sus dientes pueden disponerse ventajosamente en una posición precisa y puede mejorarse el aparato profesional. El resultado es un modelo de referencia muy preciso. El modelo de referencia inicial proporciona preferiblemente información sobre el posicionamiento de los dientes con un error de menos de 5/10 mm, preferiblemente menos de 3/10 mm, preferiblemente menos de 1/10 mm.

25 El modelo de referencia también puede ser un modelo de referencia actualizado preparado como se da a conocer en el documento WO 2016 066651.

30 En la etapa 1), se toma una imagen actualizada del arco por medio de un aparato de adquisición de imágenes, en condiciones de adquisición reales. El aparato de adquisición de imágenes es preferiblemente una cámara digital.

En una forma de realización preferida, la etapa 1) se produce en menos de 1 hora, preferiblemente menos de 10 minutos, preferiblemente de 5 minutos, preferiblemente menos de 1 minuto después de que el modelo de referencia se haya preparado a partir de mediciones realizadas en los dientes del paciente o en un molde físico de sus dientes.

35 Esto resulta particularmente útil cuando el aparato de adquisición de imágenes forma parte del escáner utilizado para preparar el molde de referencia y cuando se utilizan las imágenes actualizadas para corregir defectos de este modelo de referencia.

40 El aparato de adquisición de imágenes puede formar parte de un aparato de adquisición según la invención. Sin embargo, un procedimiento según la invención no requiere de un posicionamiento preciso del aparato de adquisición de imágenes con respecto a los dientes.

Preferiblemente, se utiliza un separador 10, como se representa en la figura 5a. La primera función del separador es separar los labios con el fin de mejorar la visibilidad de los dientes.

45 La etapa 1) puede comprender una o varias características de la etapa b) dada a conocer en el documento WO 2016 066651.

Una vista de un "modelo de referencia" se denomina "imagen de referencia".

50 En la etapa 2), se explora el modelo de referencia para hallar una imagen de referencia que concuerde mejor con la imagen actualizada. Las figuras 3 y 4a son ejemplos de imágenes de referencia.

55 La etapa 2) puede comprender una o varias características de las etapas c), d) y e) dadas a conocer en el documento WO 2016 066651, siempre que se refieran a la búsqueda de imágenes de referencia que concuerden mejor con las imágenes actualizadas.

Preferiblemente, se analiza la imagen actualizada para producir un mapa actualizado relativo a al menos una información discriminadora (figuras 5c y 5d).

60 Un mapa actualizado representa una información discriminadora en el marco de referencia de la imagen actualizada.

65 La información discriminadora se elige preferiblemente del grupo que consiste en información de contorno, información de color, información de densidad, información de distancia, información de brillo, información de saturación, información sobre la intensidad de la luz y combinaciones de estos tipos de información.

Un experto en la técnica sabe cómo procesar una imagen actualizada para mostrar la información discriminatoria. Este procesamiento comprende, por ejemplo, la aplicación de máscaras o filtros bien conocidos, que se suministran con el software de procesamiento de imágenes.

- 5 Por ejemplo, la figura 4b es un mapa actualizado relativo al contorno de los dientes obtenido a partir de la imagen actualizada de la figura 4a.

Preferiblemente, se determinan condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a las condiciones de adquisición reales. Dicho de otro modo, se determina al menos la posición relativa del aparato de adquisición de
10 imágenes en el momento en el que se tomó la imagen actualizada (la posición del aparato de adquisición en el espacio y la orientación de este aparato). Esta evaluación aproximada hace posible ventajosamente determinar un conjunto restringido de condiciones de adquisición virtuales que probablemente se correspondan con las condiciones de adquisición reales, y, en este conjunto, las condiciones de adquisición virtuales que constituyen el mejor punto de partida para las siguientes operaciones. Por tanto, hace posible acelerar considerablemente estas
15 operaciones.

Preferiblemente se utilizan una o varias reglas heurísticas. Por ejemplo, preferiblemente, de las condiciones de adquisición virtuales que probablemente van a someterse a prueba en las siguientes operaciones, se excluyen las condiciones que corresponden a una posición del aparato de adquisición de imágenes detrás de los dientes o a una
20 distancia con respecto a los dientes mayor de 1 m.

En una forma de realización preferida, como se ilustra en la figura 6, se utilizan marcas de registro que se representan en la imagen actualizada, y en particular marcas de registro 12 del separador, para determinar una región del espacio sustancialmente cónica que delimite las condiciones de adquisición virtuales que probablemente
25 van a someterse a prueba en las siguientes operaciones, o “cono de prueba”.

Específicamente, hay preferiblemente al menos tres marcas de registro no alineadas 12 en el separador 10, por ejemplo, y sus posiciones relativas se miden con precisión en el separador.

- 30 A continuación, se identifican las marcas de registro en la imagen actualizada, como se describió anteriormente. Unos cálculos trigonométricos simples hacen posible determinar aproximadamente la dirección desde la cual se ha tomado la imagen actualizada.

A continuación, para cada imagen actualizada, se busca una imagen de referencia con la mejor concordancia, preferiblemente según las etapas 21) a 25). Para esta búsqueda pueden utilizarse procedimientos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolucionistas, particularmente en los procedimientos de recocido simulado.

En la etapa 21), se determinan las condiciones de adquisición virtuales “que van a someterse a prueba”, es decir, una posición virtual y una orientación virtual que probablemente coincidirán con la posición y orientación reales del
40 aparato de adquisición durante la captura de la imagen actualizada, pero también, preferiblemente, una calibración virtual que probablemente coincidirá con la calibración real del aparato de adquisición durante la captura de la imagen actualizada.

Las primeras condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba pueden ser aleatorias.
45 Preferiblemente, se eligen del conjunto restringido que se determinó anteriormente de manera aproximada, y en particular de las condiciones de adquisición virtuales correspondientes a las condiciones de adquisición virtuales más prometedoras, es decir, aquellas que constituyen el mejor trampolín para aproximarse, lo más rápido posible, a las condiciones de adquisición reales.

A continuación, en la etapa 22), se configura virtualmente el aparato de adquisición de imágenes en las condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba para adquirir una imagen de referencia del modelo de referencia en estas condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba. Por tanto, la imagen de referencia corresponde a la imagen que habría tomado el aparato de adquisición de imágenes si se hubiera colocado, en relación con el modelo de referencia que va a someterse a prueba, y opcionalmente calibrado, en las
50 condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba.
55

Si la imagen actualizada se adquiere sustancialmente en el mismo momento que cuando se produce el modelo de referencia, y si las condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba son exactamente las condiciones de adquisición reales, por tanto, la imagen de referencia puede superponerse exactamente a la imagen
60 actualizada. Las diferencias entre la imagen actualizada y la imagen de referencia resultan de errores en la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales si no corresponden exactamente a las condiciones de adquisición reales.

En la etapa 23), para comparar las imágenes actualizada y de referencia, se compara la información discriminatoria en estas dos imágenes. Más específicamente, a partir de la imagen de referencia, se produce un mapa de referencia que representa la información discriminatoria (figuras 4a y 4b).
65

A continuación, en la etapa 24), se comparan los mapas actualizado y de referencia, refiriéndose ambos a la misma información discriminatoria, y por medio de una puntuación se evalúa la diferencia entre estos dos mapas. Por ejemplo, si la información discriminatoria es el contorno de los dientes, es posible comparar la distancia media entre los puntos del contorno de los dientes que aparece en la imagen de referencia y los puntos del contorno correspondiente que aparece en la imagen actualizada, siendo la puntuación más alta a medida que se acorta esta distancia.

La puntuación puede ser, por ejemplo, un coeficiente de correlación.

Preferiblemente, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. La puntuación es más alta a medida que los valores de los parámetros de calibración sometidos a prueba se acercan más a los valores de los parámetros de calibración del aparato de adquisición utilizado en la etapa 1). Por ejemplo, si la apertura del diafragma sometida a prueba está muy alejada de la del aparato de adquisición utilizado en la etapa 1), la imagen de referencia muestra regiones borrosas y regiones nítidas que no corresponden a las regiones borrosas y a las regiones nítidas de la imagen actualizada. Por tanto, si la información discriminatoria es el contorno de los dientes, los mapas actualizado y de referencia no representan los mismos contornos y la puntuación será baja.

A continuación, se evalúa la puntuación por medio de una función de evaluación. La función de evaluación permite decidir si debe continuarse con o detenerse el ciclo para la búsqueda de las condiciones de adquisición virtuales con la mejor concordancia (etapas 21) a 25)). La función de evaluación puede ser, por ejemplo, igual a 0 si el ciclo debe detenerse o ser igual a 1 si el ciclo debe continuarse.

El valor de la función de evaluación puede depender de la puntuación alcanzada. Por ejemplo, puede decidirse continuar con el ciclo si la puntuación no supera un umbral. Por ejemplo, si una coincidencia exacta entre las imágenes actualizada y de referencia lleva a una puntuación del 100%, el umbral puede ser, por ejemplo, del 95%. Evidentemente, cuanto mayor sea el umbral, mejor será la precisión de la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales si la puntuación llega a superar este umbral.

El valor de la función de evaluación también puede depender de puntuaciones obtenidas con condiciones de adquisición virtuales sometidas a prueba anteriormente.

El valor de la función de evaluación también puede depender de parámetros aleatorios y/o del número de ciclos ya realizados.

En particular, a pesar de la repetición de los ciclos, es posible que no se consiga hallar condiciones de adquisición virtuales lo suficientemente cercanas a las condiciones de adquisición reales para que la puntuación alcance dicho umbral. A continuación, la función de evaluación puede llevar a la decisión de dejar el ciclo, aunque la mejor puntuación obtenida no haya alcanzado dicho umbral. Esta decisión puede resultar, por ejemplo, de un número de ciclos mayor de un número máximo predeterminado.

Un parámetro aleatorio en la función de evaluación también puede autorizar la continuación de pruebas de condiciones de adquisición virtuales nuevas, aunque la puntuación parezca satisfactoria.

Pueden utilizarse las funciones de evaluación utilizadas convencionalmente en los procedimientos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolucionistas, particularmente en los procedimientos de recocido simulado, para la función de evaluación.

En la etapa 25), si el valor de la función de evaluación indica que se decide continuar con el ciclo, se modifican las condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba y se recomienda un ciclo que consiste en producir una imagen de referencia y un mapa de referencia, a continuación, en la comparación de este mapa de referencia con el mapa actualizado para determinar una puntuación.

La modificación de las condiciones de adquisición virtuales corresponde a un movimiento virtual en el espacio y/o a una modificación de la orientación y/o, preferiblemente, a una modificación de la calibración del aparato de adquisición. Esta modificación puede ser aleatoria. La modificación se guía preferiblemente por reglas heurísticas, por ejemplo, favoreciendo las modificaciones que, según un análisis de las puntuaciones anteriores obtenidas, parecen ser más favorables para aumentar la puntuación.

Se continúa con el ciclo hasta que el valor de la función de evaluación indica que se decide salir de este ciclo, por ejemplo, si la puntuación alcanza o supera dicho umbral.

La optimización de las condiciones de adquisición virtuales se realiza preferiblemente utilizando un procedimiento metaheurístico, preferiblemente evolucionista, preferiblemente un algoritmo de recocido simulado. Este algoritmo se conoce bien para la optimización no lineal.

Si se deja el ciclo sin haber podido obtener una puntuación satisfactoria, por ejemplo, sin que la puntuación haya podido alcanzar dicho umbral, puede detenerse el procedimiento (situación de fracaso) o puede reiniciarse con información discriminadora nueva y/o con una imagen actualizada nueva. El procedimiento también puede continuar con las condiciones de adquisición virtuales correspondientes a la mejor puntuación alcanzada. Puede emitirse un aviso para informar al usuario del error en el resultado.

Si se deja el ciclo al haber obtenido una puntuación satisfactoria, por ejemplo, porque la puntuación alcanzó, incluso superó, dicho umbral, las condiciones de adquisición virtuales corresponden sustancialmente a las condiciones de adquisición reales.

Preferiblemente, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. Así, el procedimiento realizado permite evaluar los valores de estos parámetros sin que sea necesario conocer la naturaleza del aparato de adquisición o su configuración. Por tanto, puede realizarse la etapa 1) sin tener que tomar precauciones particulares.

Además, la búsqueda de la calibración real se realiza comparando una imagen actualizada con vistas de un modelo de referencia inicial en condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba. Ventajosamente, no requiere que la imagen actualizada muestre un instrumento de calibración estándar, es decir, un instrumento cuyas propiedades se conozcan con precisión haciendo posible determinar la calibración del aparato de adquisición.

El ciclo da como resultado condiciones de adquisición virtuales que concuerdan mejor con las condiciones de adquisición reales.

La observación del modelo de referencia en las condiciones de adquisición virtuales proporciona una imagen de referencia que concuerda mejor con la imagen actualizada.

En la etapa 3), se compara la imagen de referencia con la imagen actualizada. Las diferencias corresponden a los defectos a corregir.

Preferiblemente, para comparar las imágenes de referencia y actualizada, se comparan los mapas de referencia y actualizado correspondientes. Una superposición de estos dos mapas hace que las diferencias, es decir, los defectos, sean visibles puesto que los defectos aparecen en el mapa de referencia, pero no en el mapa actualizado.

En la etapa 4), de manera correspondiente, se corrige el modelo de referencia.

La corrección puede realizarse manualmente, con un ordenador que permita la modificación del modelo de referencia.

Preferiblemente, la corrección se realiza con al menos una segunda imagen actualizada, como se ilustra en la figura 1 y se describe a continuación.

En la figura 1, la información discriminadora es información de contorno.

Como se representa en la figura 1a, el modelo de referencia 20 comprende un defecto 22. La primera imagen de referencia I_{r1} se ha adquirido mediante la observación del modelo de referencia 20 en las primeras condiciones de adquisición virtuales que simulan las condiciones de adquisición reales en las que se ha adquirido la primera imagen actualizada I_{a1} . El tratamiento de la primera imagen de referencia I_{r1} da como resultado un primer mapa de referencia Cr_1 que muestra un primer contorno de "referencia" 31_1 con el defecto 22.

El primer mapa actualizado Ca_1 , obtenido a partir de la primera imagen actualizada I_{a1} , representa un primer contorno "actualizado" 30_1 , en el que el defecto 22 no es visible (porque no estaba en el arco).

Para comparar la primera imagen actualizada con la primera imagen de referencia, se superpone el primer mapa actualizado Ca_1 al primer mapa de referencia Cr_1 .

La superposición hace que el defecto 22 sea visible.

La superposición también proporciona una primera parte de contorno correcta, que debería sustituir al defecto 22, es decir, los puntos del primer contorno actualizado que no eran visibles en el primer mapa de referencia.

Sin embargo, los primeros puntos de contorno 32_1 de la primera parte de contorno correcta no son suficientes para determinar la posición de los respectivos puntos primarios de contorno 34 en el modelo de referencia actualizado 20. En particular, para un primer punto de contorno 32_1 , no es posible identificar con precisión la posición del punto primario de contorno 34 a lo largo de una línea recta Δ_1 que incluye el primer punto de contorno y en paralelo a la dirección de observación.

Para determinar la posición del punto primario de contorno 34, puede utilizarse una segunda imagen actualizada la_2 que represente el defecto 22, pero adquirida bajo un ángulo de observación diferente con respecto a la primera imagen actualizada.

La segunda imagen actualizada la_2 se trata de la misma manera que la primera imagen actualizada la_1 .

La segunda imagen de referencia lr_2 se ha adquirido mediante la observación del modelo de referencia 20 en segundas condiciones de adquisición virtuales que simulan las condiciones de adquisición reales en las que se ha adquirido la segunda imagen actualizada la_2 . El tratamiento de la segunda imagen de referencia lr_2 da como resultado un segundo mapa de referencia Cr_2 que muestra un segundo contorno de referencia 31_2 con el defecto 22.

El segundo mapa actualizado Ca_2 , obtenido a partir de la segunda imagen actualizada la_2 , representa un segundo contorno actualizado 30_2 , en el que el defecto 22 no es visible.

Para comparar la segunda imagen actualizada con la segunda imagen de referencia, se superpone el segundo mapa actualizado Ca_2 al segundo mapa de referencia Cr_2 .

La superposición hace que el defecto 22 sea visible.

La superposición también proporciona una segunda parte de contorno correcta, realizada a partir de segundos puntos de contorno 32_2 , que debería sustituir al defecto 22, es decir, los puntos del segundo contorno actualizado que no eran visibles en el segundo mapa de referencia.

La transición entre las primeras condiciones de adquisición virtuales y las segundas condiciones de adquisición virtuales transforma una pluralidad de primeros puntos de la primera imagen de referencia o del primer mapa de referencia en respectivos segundos puntos de referencia de la segunda imagen de referencia o del segundo mapa de referencia, respectivamente.

Por tanto, los segundos puntos de referencia de la segunda imagen de referencia o del segundo mapa de referencia correspondientes a la mayor parte de dichos primeros puntos de referencia de la primera imagen de referencia o del primer mapa de referencia pueden determinarse fácilmente considerando el efecto de dicha transición en dichos primeros puntos de referencia.

Dicho de otra manera, la representación, en la segunda imagen de referencia o el segundo mapa de referencia, de un sistema de referencia 33 representado en la primera imagen de referencia o el primer mapa de referencia puede determinarse por la simulación de dicha transición. Un mismo punto del arco se representa, en las imágenes de referencia primera y segunda o en los mapas de referencia primero y segundo, por primeros y segundos puntos de referencia que tienen las mismas coordenadas en el sistema de referencia 33, tal como se representa en las imágenes de referencia primera y segunda o en los mapas de referencia primero y segundo, respectivamente.

En particular, para cada primer punto de contorno 32_1 , se determina un segundo punto de contorno 32_2 que tiene las mismas coordenadas que el primer punto de contorno. De este modo, se asocian primeros y segundos puntos de contorno para definir parejas, definiendo cada una un punto primario de contorno 34 del modelo de referencia.

A continuación, se añaden los puntos primarios de contorno al modelo de referencia, estando la posición en el espacio de un punto primario de contorno en la intersección de las líneas rectas Δ_1 y Δ_2 que incluyen los primeros y segundos puntos de contorno, respectivamente, y en paralelo a las direcciones de observación del modelo de referencia para adquirir las imágenes de referencia primera y segunda, respectivamente.

Preferiblemente, se añade un punto primario de contorno 34 para cada pareja de primeros y segundos puntos de contorno.

Además, se borra el defecto.

Pueden identificarse unos puntos de "defecto" primero y segundo en los mapas de referencia primero y segundo Cr_1 y Cr_2 , respectivamente, mediante la superposición a los mapas actualizados primero y segundo Ca_1 y Ca_2 , respectivamente, como se explicó anteriormente. A continuación, se juntan, como se explicó anteriormente para los primeros y segundos puntos de contorno.

Posteriormente, se borran los puntos primarios de defectos del modelo de referencia, estando la posición en el espacio de un punto primario de defecto en la intersección de las líneas rectas que incluyen los puntos de defectos primero y segundo de una pareja, respectivamente, y en paralelo a las direcciones de observación del modelo de referencia para adquirir las imágenes de referencia primera y segunda, respectivamente.

En la etapa 5), se valida el modelo de referencia corregido. En particular, pueden haberse detectado algunos defectos y pueden no haberse corregido porque las imágenes actualizadas no se habían configurado para una corrección. Por ejemplo, si sólo una imagen actualizada muestra un defecto, no es posible borrar ni corregir este defecto.

5 El defecto no corregido puede ser aceptable o no, dependiendo de su efecto perjudicial.

La evaluación de si un defecto que no puede corregirse es aceptable o no puede realizarla un ortodoncista o un ordenador, con la ayuda de reglas implementadas.

10 Si un defecto no corregido no es aceptable, no se valida el modelo de referencia corregido, y se envía información sobre el rechazo del modelo de referencia, por ejemplo, para que aparezca en la pantalla de un ordenador. En particular, las etapas 1) a 5) tardan preferiblemente menos de 5 minutos, preferiblemente menos de 1 minuto, de modo que al operario de un escáner utilizado para crear el modelo de referencia se le puede informar sobre el rechazo antes de que se vaya el paciente. Entonces inmediatamente puede crearse y corregirse un modelo de referencia nuevo.

Si persisten defectos inaceptables no detectados, se valida el modelo de referencia corregido.

20 En la etapa 6), se utiliza el modelo de referencia corregido para fabricar una pieza de ortodoncia, por ejemplo, un alineador.

Anteriormente, puede deformarse el modelo de referencia corregido, dependiendo la deformación del tratamiento de ortodoncia a aplicar. Para esta deformación pueden aplicarse procedimientos convencionales.

25 Como se deduce, un procedimiento según la invención permite una corrección precisa y eficaz de los modelos de referencia.

Evidentemente, la invención no está limitada a las formas de realización descritas y representadas anteriormente.

30 En particular, el procedimiento puede implementarse sucesivamente para cada uno de los dos arcos o simultáneamente para los dos arcos del paciente.

35 Finalmente, el paciente no está limitado a un ser humano. En particular, puede utilizarse un procedimiento según la invención para otro animal.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de corrección de un modelo digital tridimensional de un arco de un paciente, o "modelo de referencia" (20), comprendiendo dicho procedimiento las etapas siguientes:
 - 1) adquisición de al menos una imagen bidimensional de dicho arco, denominada «imagen actualizada» ($I_{a1}; I_{a2}$), en condiciones de adquisición reales;
 - 2) búsqueda, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales que proporcionen una imagen bidimensional del modelo de referencia, que maximice la concordancia con la imagen actualizada, o "imagen de referencia" ($I_{r1}; I_{r2}$);
 - 3) comparación de la imagen de referencia con la imagen actualizada para detectar diferencias (22);
 - 4) corrección del modelo de referencia para reducir dichas diferencias para obtener un modelo de referencia corregido.
2. Un procedimiento según la reivindicación anterior, en el que la búsqueda en la etapa 2) utiliza un procedimiento metaheurístico.
3. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa 2) comprende las etapas siguientes:
 - 21) determinación de condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba;
 - 22) producción de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia que va a someterse a prueba en dichas condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba;
 - 23) procesamiento de la imagen actualizada y de la imagen de referencia para producir al menos un mapa actualizado y un mapa de referencia que representen dicha información discriminativa, respectivamente;
 - 24) comparación de los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una función de evaluación, dependiendo dicho valor para la función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión para continuar con o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales con mayor precisión que dichas condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba determinadas al producirse por última vez la etapa 21);
 - 25) si dicho valor para la función de evaluación corresponde a una decisión para continuar con dicha búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales que van a someterse a prueba, a continuación, volver a la etapa 22).
4. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se utiliza dicho modelo de referencia corregido para fabricar una pieza de ortodoncia.
5. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se identifican defectos no corregidos de dicho modelo de referencia corregido, y, al menos si dichos defectos no corregidos son potencialmente perjudiciales para un tratamiento de ortodoncia del paciente, se rechaza el modelo de referencia y, preferiblemente, se proporciona información sobre el rechazo.
6. Un procedimiento según la reivindicación 4, en el que dicha pieza de ortodoncia es un alineador.
7. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se ejecutan las etapas 2) a 4) para más de 10 imágenes actualizadas.
8. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se genera el modelo de referencia mediante una deformación de un modelo de referencia inicial, que se ha producido al escanear dicho arco del paciente.
9. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelo de referencia se genera en menos de 1 hora antes de la etapa 1).
10. Un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas diferencias proceden de la resolución de un escáner utilizado para generar el modelo de referencia y/o de la manera en que se hace funcionar el escáner, o se generan cuando el modelo de referencia se produce a partir de un molde de yeso de los dientes.

11. Un aparato de adquisición que comprende:

- 5 - un aparato de adquisición de imágenes para adquirir imágenes actualizadas de un arco de un paciente según la etapa 1) de un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7;
- 10 - un escáner configurado para generar un modelo de referencia de dicho arco;
- 10 - un módulo de procesamiento configurado para corregir dicho modelo de referencia con dichas imágenes actualizadas para obtener un modelo de referencia corregido, según las etapas 2) a 4) de un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

12. Un aparato de adquisición según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que dicho módulo de procesamiento está configurado para informar a un operario si no puede corregirse un defecto que tiene un potencial efecto perjudicial.

13. Un aparato de adquisición según cualquiera de las dos reivindicaciones inmediatamente anteriores, en el que el aparato de adquisición de imágenes está integrado en dicho escáner, y en el que las imágenes actualizadas las utiliza dicho módulo de procesamiento para corregir defectos del modelo de referencia generado en menos de 1 hora antes de la adquisición de dichas imágenes actualizadas.

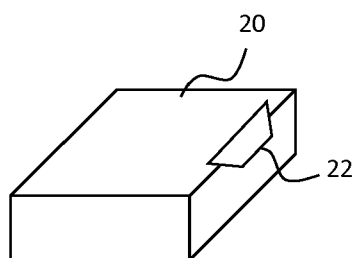


Fig. 1a

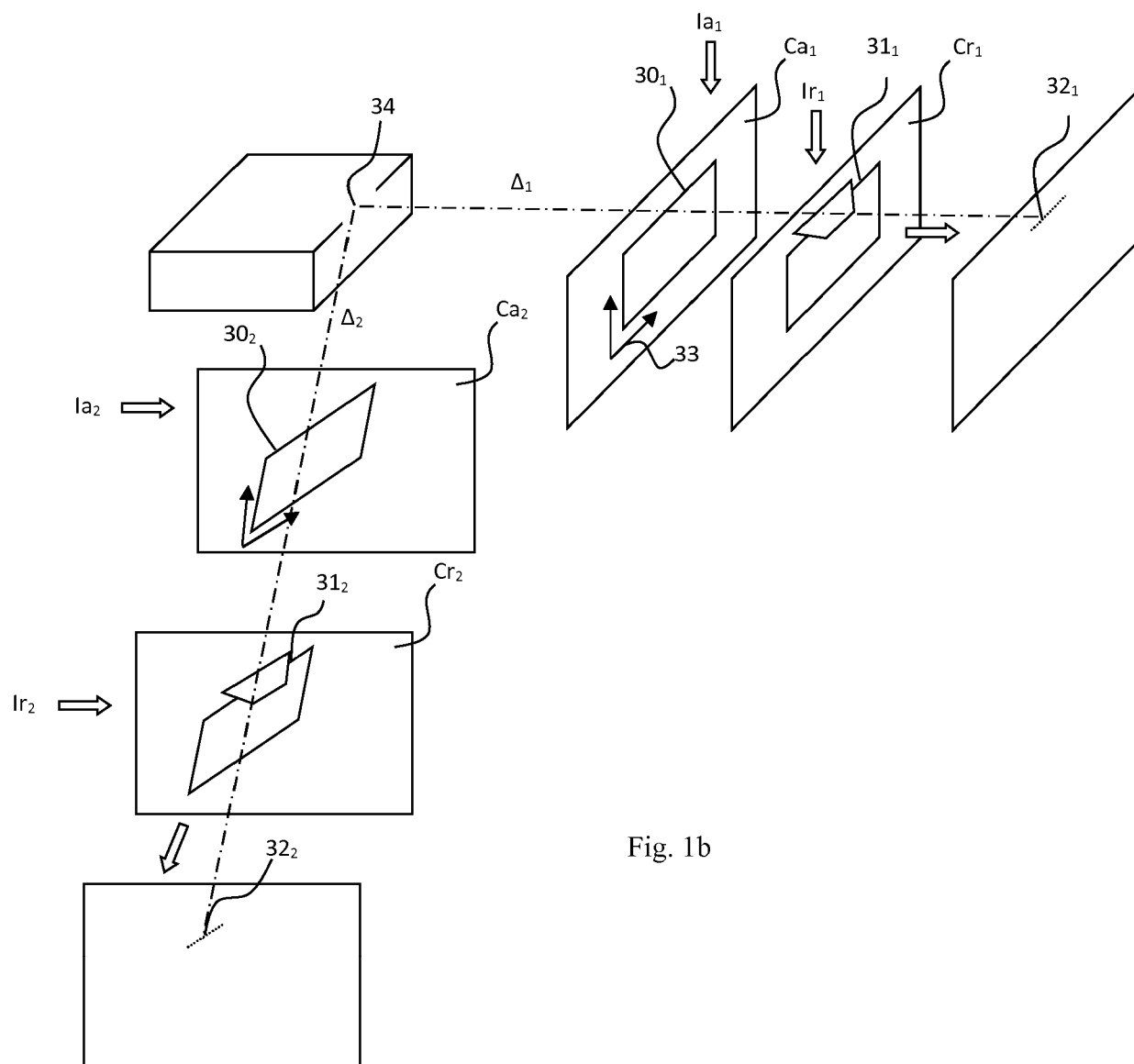


Fig. 1b

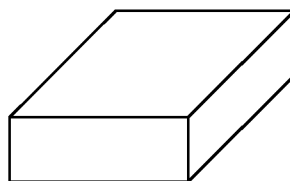


Fig. 1c

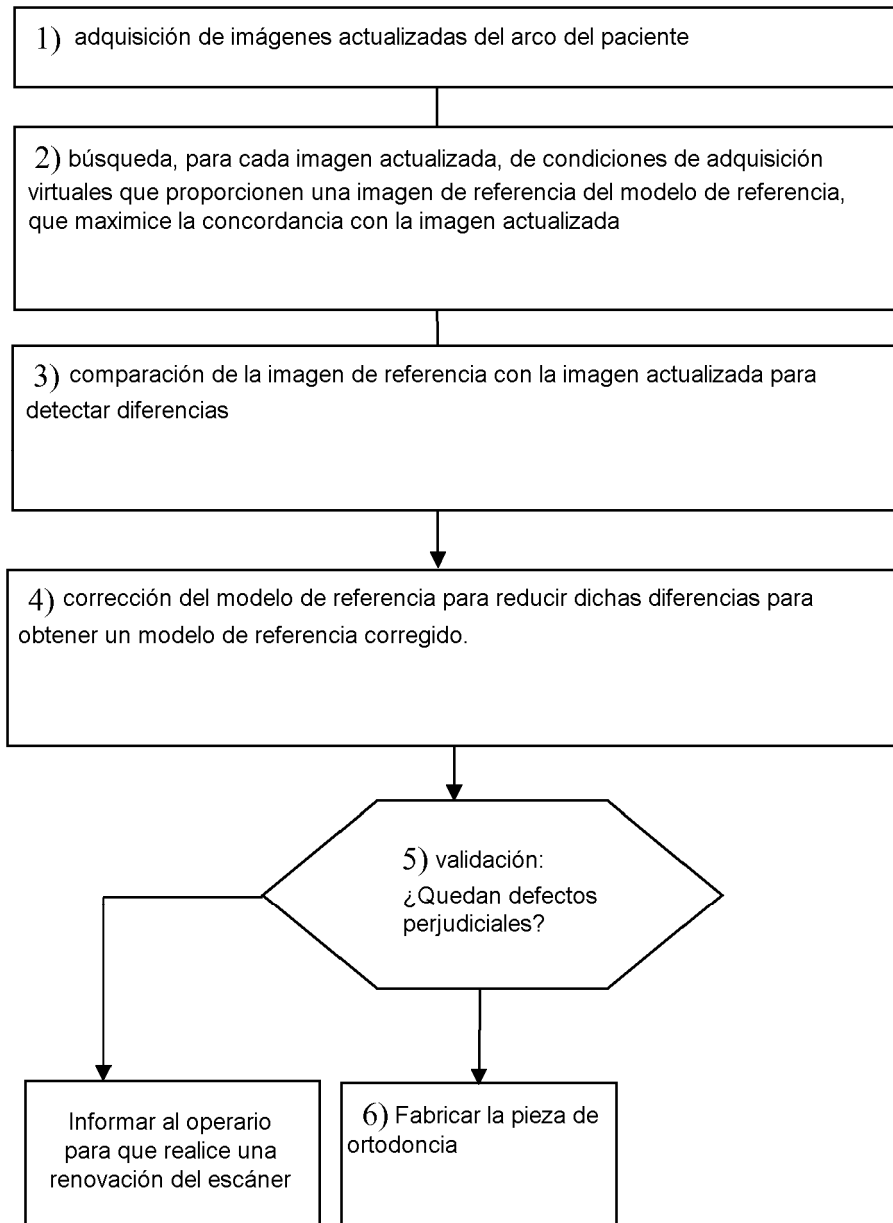


Fig. 2

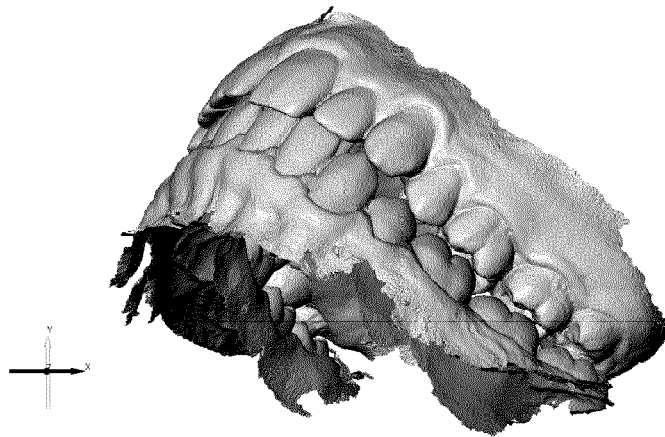


Fig.3

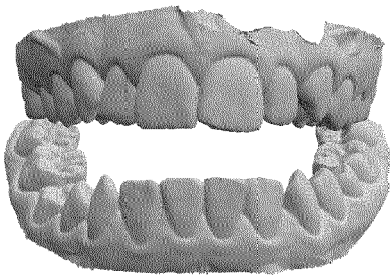


Fig. 4a

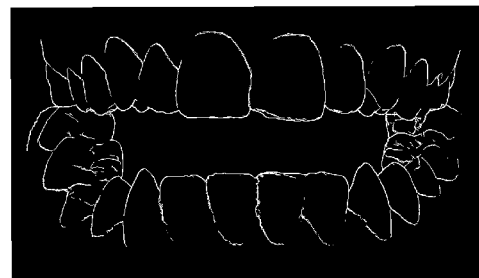


Fig. 4b

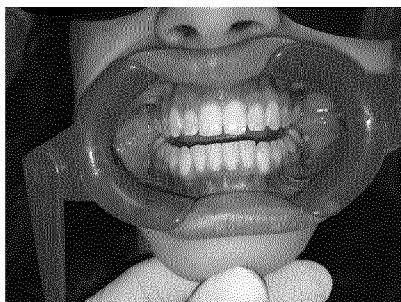


Fig. 5a

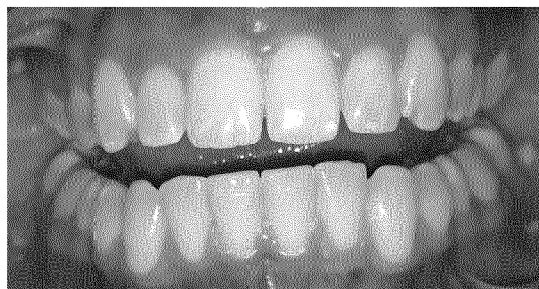


Fig. 5b

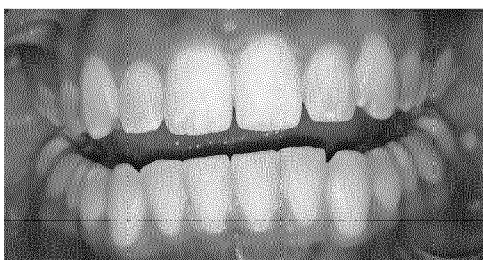


Fig. 5c

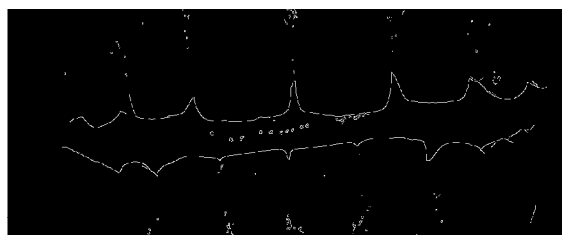


Fig. 5d

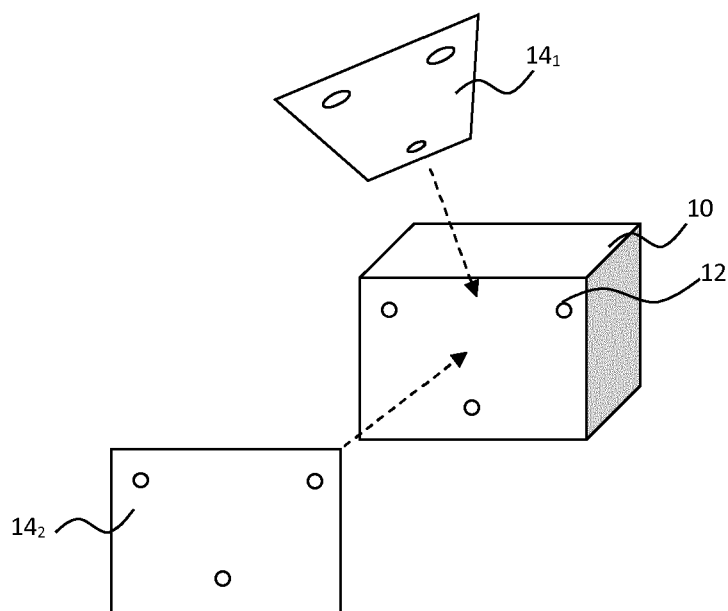


Fig. 6