

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 945 421**

51 Int. Cl.:

A61B 34/10 (2006.01)

A61B 34/20 (2006.01)

A61B 34/30 (2006.01)

A61B 90/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.02.2020 PCT/IB2020/051263**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.08.2020 WO20165856**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.02.2020 E 20708641 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2023 EP 3923846**

54 Título: **Método de registro de una exploración de imágenes con un sistema de coordenadas y sistemas asociados**

30 Prioridad:

15.02.2019 US 201962806025 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.07.2023

73 Titular/es:

**NEOCIS INC. (100.0%)
2800 Biscayne Blvd., Suite 600
Miami, FL 33137, US**

72 Inventor/es:

**MOZES, ALON y
BELLETTRE, ALEXANDRA**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 945 421 T3

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

DESCRIPCIÓN

Método de registro de una exploración de imágenes con un sistema de coordenadas y sistemas asociados

5 ANTECEDENTES

Campo de la invención

La presente invención se *refiere* a procedimientos de formación de imágenes y, más particularmente, a métodos y sistemas para registrar una exploración de imágenes con un sistema de coordenadas para permitir que la exploración de imágenes se implemente en la guía de un robot tal como un robot quirúrgico.

Descripción de la técnica relacionada

El documento US 2013/172731 A1 describe un sistema de visualización de imágenes médicas para recopilar y visualizar imágenes médicas, el sistema que comprende: un programa de software configurado para permitir la manipulación y superposición de una pluralidad de imágenes digitales; un ordenador configurado para ejecutar dicho programa de software; una pantalla en comunicación con dicho ordenador; un dispositivo de exploración de imágenes radiográficas en comunicación con dicho ordenador; un dispositivo de exploración de imágenes no radiográficas en comunicación con dicho ordenador; una base de datos de información médica de pacientes para almacenar imágenes médicas de pacientes generadas por dicho dispositivo de exploración de imágenes radiográficas y dicho dispositivo de exploración de imágenes no radiográficas, en donde dicha base de datos de información médica de pacientes es accesible por dicho ordenador; una base de datos de implantes médicos para almacenar información dimensional para al menos un implante médico, en donde dicha base de datos de implantes médicos es accesible por dicho ordenador; y en donde dicho programa de software es ejecutable por dicho ordenador para superponer y alinear una pluralidad de imágenes tridimensionales en dicha pantalla, las imágenes tridimensionales que incluyen (i) una primera imagen tridimensional de una parte anatómica de un paciente que ha sido recogida por dicho dispositivo de exploración de imágenes radiográficas, (ii) una segunda imagen tridimensional de la parte anatómica del paciente que ha sido recogida por dicho dispositivo de exploración de imágenes no radiográficas, y (iii) una imagen tridimensional de al menos un implante médico.

La formación de imágenes preoperatorias, particularmente en el espacio quirúrgico, y más particularmente en el espacio quirúrgico dental, puede implicar varios procesos diferentes. Por ejemplo, un proceso de formación de imágenes preoperatorio implica la planificación por adelantado, pero también requiere que el paciente se someta a dos tomografías computarizadas. La primera tomografía computarizada generalmente se toma semanas por adelantado de la cirugía programada, y las imágenes resultantes del paciente se usan para planificar el procedimiento (es decir, el plan para el procedimiento quirúrgico se planifica en relación con y usando la primera tomografía computarizada). Luego, se toma la segunda tomografía computarizada el día del procedimiento quirúrgico con un marcador fiduciario (o una matriz o cuentas fiduciarias) colocado en el paciente durante la segunda tomografía computarizada. La imagen de la segunda tomografía computarizada (incluyendo el marcador fiduciario / matriz en la imagen) luego se empareja/registra con la imagen de la primera tomografía computarizada, por ejemplo, en base a una alineación de las características de la imagen (por ejemplo, características anatómicas) entre las imágenes de ambas exploraciones de imágenes. El plan avanzado para el procedimiento quirúrgico asociado con la imagen de la primera tomografía computarizada se importa luego en asociación con la imagen de la segunda tomografía computarizada. La imagen de la segunda tomografía computarizada también incluye el marcador fiduciario (o matriz) en la misma. Como tal, una vez que las características de la imagen (por ejemplo, características anatómicas) se alinean teóricamente entre las dos imágenes, de manera que las dos tomografías computarizadas estén registradas, el plan avanzado para el procedimiento quirúrgico en el paciente y/o las ubicaciones de las características de la imagen (por ejemplo, características anatómicas) del paciente también estarán registrados con el marcador fiduciario (o matriz) adherido al paciente y, por tanto, se traducirán a un espacio de coordenadas del paciente.

Sin embargo, tal procedimiento puede estar sujeto a imprecisiones. Por ejemplo, si la anatomía del paciente cambia o se desplaza entre la primera y la segunda tomografía computarizada, puede ser difícil alinear las características de las imágenes entre las imágenes y/o el marcador fiduciario puede terminar registrado en relación con una aproximación anatómica en el Espacio de Coordenadas del Paciente real. Por tanto, existe la necesidad de un procedimiento simplificado para crear un plan basado en imágenes para un procedimiento quirúrgico que minimice el número de tomografías computarizadas requeridas. Además, existe la necesidad de tal procedimiento que minimice el riesgo de cambio en la anatomía del paciente entre la etapa de planificación y la etapa del procedimiento quirúrgico. Además, existe la necesidad de tal procedimiento que registre de manera fiable y consistente la imagen o imágenes de la anatomía del paciente (características de las imágenes) y el marcador fiduciario en el Espacio de Coordenadas del Paciente real, de manera que el plan quirúrgico se pueda ejecutar con mayor precisión.

COMPENDIO DE LA INVENCION

La invención se define en la reivindicación independiente del método y en la reivindicación independiente del sistema. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

Por tanto, los métodos según aspectos de la presente invención proporcionan estas y otras ventajas, como se detalla más adelante en la presente memoria. Es importante destacar que estas ventajas incluyen la reducción o eliminación de la necesidad de una segunda exploración radiográfica como parte de un proceso preoperatorio para un procedimiento quirúrgico robótico. Es decir, tomando una exploración óptica tridimensional de la superficie de la característica de interés (por ejemplo, una exploración intraoral) e incluyendo la matriz de marcadores fiduciales (por ejemplo, montada en la férula, con la férula acoplada al paciente) en la exploración intraoral, la matriz de marcadores fiduciales de la imagen en la exploración se utiliza para registrar la exploración de la superficie tridimensional óptica con el paciente y/o las ubicaciones de las características (por ejemplo, características anatómicas). Una vez que la exploración de la superficie tridimensional óptica se registra con el sistema de coordenadas asociado con la matriz de marcadores fiduciales acoplada con el paciente, las características de la imagen (por ejemplo, la imagen tridimensional de la superficie de la anatomía) de la exploración intraoral se pueden registrar con las características de la imagen (por ejemplo, la imagen radiográfica de la estructura de la anatomía) de la tomografía computarizada original/primera. El plan para el procedimiento y otra información asociada con el mismo, desarrollado a partir de la primera/origina tomografía computarizada, se puede aplicar entonces en referencia al paciente y/o las ubicaciones de las características anatómicas del paciente (por ejemplo, dentro del sistema de coordenadas asociado con la matriz de marcadores fiduciales).

En otros aspectos, la exploración óptica tridimensional de la superficie (por ejemplo, exploración intraoral) puede obviar la necesidad tanto de la primera como de la segunda tomografías computarizadas. Por ejemplo, en algunos casos, el cirujano puede no necesitar una CT (por ejemplo, imágenes radiográficas de las características anatómicas) para realizar el procedimiento previsto. Esto podría ser aplicable a procedimientos robóticos más allá, por ejemplo, de implantes dentales, y extenderse, por ejemplo, a un procedimiento de preparación de dientes que implique taladrar o raspar la superficie de un diente (por ejemplo, para eliminar áreas cariadas del diente) y preparar la parte restante del diente para recibir una corona (por ejemplo, un diente protésico) sobre el mismo. En tales casos, la exploración intraoral por sí sola puede ser suficiente con el propósito de planificar el procedimiento, y la matriz de marcadores fiduciales incluida en la exploración intraoral se puede usar para registrar la exploración intraoral con el paciente y/o las ubicaciones de las características del paciente (por ejemplo, dentro del sistema de coordenadas asociado con la matriz de marcadores fiduciales), y para implementar la guía del robot.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

Habiendo descrito por tanto la invención en términos generales, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en donde:

La FIGURA 1 ilustra esquemáticamente un escáner óptico dispuesto para realizar una exploración óptica de la superficie del objeto, en donde el objeto se puede alojar dentro de un alojamiento que incluye la boca o la estructura maxilofacial de un paciente, en un sistema para relacionar un objeto con un sistema de coordenadas, así como para controlar un robot con respecto a un objeto en un sistema de coordenadas, según un aspecto de la presente descripción;

la FIGURA 1A ilustra esquemáticamente un escáner óptico dispuesto para realizar una exploración óptica de la superficie del objeto, en donde el objeto se puede alojar dentro de un alojamiento que incluye la boca o la estructura maxilofacial de un paciente, en un sistema para relacionar un objeto con un sistema de coordenadas, así como para controlar un robot con respecto a un objeto en un sistema de coordenadas, según un aspecto de la presente descripción;

la FIGURA 2 ilustra esquemáticamente un objeto soportado por un elemento de soporte, en donde el objeto incluye un diente y el elemento de soporte incluye una mandíbula y/o encías correspondientes, y en donde un elemento de registro está adaptado para acoplarse con el objeto o el elemento de soporte, según un aspecto de la presente descripción;

las FIGURAS 3 y 4 ilustran esquemáticamente un escáner óptico dispuesto para realizar una exploración óptica de la superficie del objeto, en donde el objeto se puede alojar dentro de un alojamiento que incluye la boca o la estructura maxilofacial de un paciente, según un aspecto de la presente descripción;

la FIGURA 5 ilustra esquemáticamente un dispositivo de tomografía computarizada dispuesto para realizar una exploración radiográfica del alojamiento, y el objeto y el elemento de soporte alojado en él, para formar una imagen radiográfica del mismo, según un aspecto de la presente descripción;

la FIGURA 6 ilustra esquemáticamente una imagen radiográfica del objeto cuya imagen se empareja con una imagen tridimensional de la superficie del objeto, según un aspecto de la presente descripción;

la FIGURA 7 ilustra esquemáticamente un método para relacionar un objeto con un sistema de coordenadas, según un aspecto de la presente descripción; y

la FIGURA 8 ilustra esquemáticamente un método para controlar un robot con respecto a un objeto en un sistema de coordenadas, según un aspecto de la presente descripción.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA DESCRIPCIÓN

La presente descripción se describirá ahora más completamente de aquí en adelante con referencia a realizaciones ejemplares de la misma. Estas realizaciones ejemplares se describen de modo que esta descripción sea exhaustiva y completa, y transmita completamente el alcance de la descripción a los expertos en la técnica. De hecho, la invención se incorpora de muchas formas diferentes y no se debería interpretar como limitada a las realizaciones expuestas en la presente memoria; más bien, estas realizaciones se proporcionan para que esta descripción

satisfaga los requisitos legales aplicables. Los diversos aspectos de la presente descripción mencionados anteriormente, así como muchos otros aspectos de la descripción, se describen con mayor detalle en la presente memoria.

Los aspectos de la presente descripción, como se muestra, por ejemplo, en la FIGURA 1-4, implican un sistema 100 para relacionar un objeto 200 con un sistema de coordenadas 300, así como controlar un robot 800 con respecto a un objeto 200 en un sistema de coordenadas 300, en donde el objeto 200 está soportado por un elemento de soporte 220, y en donde el objeto 200 y el elemento de soporte 220 están alojados dentro de un alojamiento 240. En un ejemplo, el objeto 200 puede incluir un diente, el elemento de soporte 220 puede incluir la mandíbula y/o las encías correspondientes, y el alojamiento 240 puede incluir el boca o estructura maxilofacial de un paciente. En un aspecto particular, tal sistema 100 comprende un elemento de registro 170 adaptado para acoplarse con el objeto 200 o el elemento de soporte 220 (véase, por ejemplo, la FIGURA 2). Un escáner óptico 400 está dispuesto para realizar una exploración óptica de la superficie del objeto 200 (véanse, por ejemplo, las FIGURAS 3 y 4) y el elemento de registro 170 y para formar una imagen tridimensional de la superficie (véase, por ejemplo, la FIGURA 6, imagen del lado derecho) del objeto 200. El escáner óptico 400 está dispuesto para ser sostenido en la mano y manipulado manualmente por un operador (véase, por ejemplo, la FIGURA 1), o de lo contrario se puede acoplar operativamente con un extremo distal 520 de un brazo de seguimiento del robot 500 (véase, por ejemplo, la FIGURA 1A). La imagen tridimensional de la superficie tiene el sistema de coordenadas 300 asociado con la misma, y el elemento de registro 170 está asociado con el sistema de coordenadas 300. El elemento de registro 170 adaptado para ser acoplado con el objeto 200 o el elemento de soporte 220 (véase, por ejemplo, la FIGURA 2) puede comprender, por ejemplo, uno o más marcadores fiduciales 175 dispuestos para definir o estar en una relación conocida con el sistema de coordenadas 300. Más particularmente, en algunos casos, el uno o más marcadores fiduciales 175 se pueden disponer de manera que al menos la ubicación y la orientación de uno o más marcadores fiduciales 175 se conozcan o sean fácilmente determinables en relación con el sistema de coordenadas 300 o su registro con él. Un controlador 190 tiene un procesador y está dispuesto para estar en comunicación con el escáner óptico 400 y, en algunos casos, con el brazo de seguimiento del robot 500. El controlador 190 está dispuesto además para correlacionar el objeto 200 con el elemento de registro 170 en la imagen tridimensional de la superficie para registrar el objeto 200 con el sistema de coordenadas 300. Es decir, dado que el elemento de registro 170 tiene uno o más marcadores fiduciales 175 que definen ellos mismos una posición/orientación conocida o referencia o registro en el sistema de coordenadas 300, la exploración óptica de la superficie del objeto 200/elemento de soporte 220 que incluye el elemento de registro 170 permite que el objeto 200 se correlacione espacialmente con el elemento de registro 170 en base a la imagen tridimensional de la superficie. Cuando se conoce la correlación espacial del objeto 200 en relación con el elemento de registro 170 y con respecto al sistema de coordenadas 300, el objeto 200 queda por tanto registrado en el espacio de coordenadas 300 con respecto al elemento de registro 170.

En algunos casos, el sistema 100 puede incluir además un dispositivo de tomografía computarizada 700 (véase, por ejemplo, la FIGURA 5) dispuesto para realizar una exploración radiográfica del alojamiento 240, y el objeto 200 y el elemento de soporte 220 alojados en él, para formar una imagen radiográfica del mismo (véase, por ejemplo, la FIGURA 6, imagen del lado izquierdo), antes de que el elemento de registro 170 se acople con el objeto 200 o el elemento de soporte 220. En tales casos, el controlador 190 está dispuesto para estar en comunicación con el dispositivo de tomografía computarizada 700 para recibir los datos de formación de imágenes, que representan la exploración radiográfica/imagen radiográfica, del mismo. Tras la recepción de los datos de formación de imágenes, el controlador 190 está dispuesto además para emparejar la imagen radiográfica del objeto 200 con la imagen tridimensional de la superficie del objeto 200 (véase, por ejemplo, la FIGURA 6) para formar una imagen correlacionada del objeto 200 en relación con el elemento de registro 170. Una vez que la imagen radiográfica y la imagen tridimensional de la superficie están correlacionadas, el controlador 190 está dispuesto para correlacionar el objeto 200 con el elemento de registro 170 en la imagen correlacionada para registrar el objeto 200 con el sistema de coordenadas 300.

El controlador 190 está dispuesto para permitir la formación de un plan de un procedimiento sobre el objeto 200 en relación con su imagen tridimensional de la superficie del mismo antes de que el objeto 200 se correlacione con el elemento de registro 170 en su imagen tridimensional de la superficie. Si el escáner óptico 400 está acoplado con el brazo de seguimiento del robot 500, el controlador 190 se puede disponer además para rastrear una posición del brazo de seguimiento del robot 500 y el escáner óptico 400 acoplado operativamente con el extremo distal 520 del mismo en relación con el sistema de coordenadas 300. En cualquier caso, una vez que el objeto 200 se correlaciona con el elemento de registro 170, como se determina con respecto al sistema de coordenadas 300 asociado con el elemento de registro 170 en la imagen tridimensional de la superficie de la exploración óptica de superficie, el plan del procedimiento, que se determinó y desarrolló con respecto a la exploración tridimensional de la superficie, se puede usar posteriormente para guiar un robot 800, tal como un robot quirúrgico, que tiene un instrumento quirúrgico 820 acoplado con él (y acoplado operativamente con el brazo de seguimiento del robot 500 en comunicación con el elemento de registro 170 fijado al paciente) para ejecutar el plan del procedimiento por el instrumento quirúrgico 820 en el objeto 200 en relación con el registro del objeto 200 con el sistema de coordenadas 300.

En un aspecto de la presente invención, un método para relacionar un objeto 200 con un sistema de coordenadas 300 implica una disposición en donde el objeto 200 está soportado por un elemento de soporte 220, y en donde el

objeto 200 y el elemento de soporte 220 están alojados dentro de un alojamiento 240. En un ejemplo, tal disposición puede incluir un diente como el objeto, la mandíbula y/o las encías correspondientes como el elemento de soporte, y la boca o estructura maxilofacial como el alojamiento. Por tanto, el método puede incluir acoplar un elemento de registro 170 con el objeto o el elemento de soporte (FIGURA 7, bloque 900). En algunos casos, el elemento de registro 170 está dispuesto o existe de otro modo en una relación conocida en o con el sistema de coordenadas 300, como se describe en la presente memoria. Luego, se realiza una exploración óptica de la superficie del objeto y el elemento de registro, dentro del alojamiento, usando un escáner óptico 400 (en algunos casos, el escáner óptico 400 puede ser de mano y manipulado manualmente, o el escáner óptico 400 se puede acoplar operativamente con un extremo distal 520 de un brazo de seguimiento del robot 500), para formar una imagen tridimensional de la superficie del objeto en relación con el elemento de registro 170 (FIGURA 7, bloque 920). La exploración óptica de la superficie por el escáner óptico 400 digitaliza la imagen del objeto y el elemento de registro 170, en forma de imagen tridimensional de la superficie, y la imagen tridimensional de la superficie del objeto se correlaciona luego con el elemento de registro, de manera que el objeto se registre luego con el sistema de coordenadas (por ejemplo, traducir la imagen de un Espacio de Coordenadas de Imagen (espacio de coordenadas interno a la imagen) a un Espacio de Coordenadas del Paciente (espacio de coordenadas en relación con el paciente o el elemento de registro 170)) (FIGURA 7, bloque 940).

Otro aspecto de la presente descripción, que no forma parte de la invención reivindicada, se dirige a un método para controlar un robot 800 con respecto a un objeto 200 en un sistema de coordenadas 300, en donde tal método implica una disposición que tiene el objeto 200 soportado por un elemento de soporte 220, y tanto con el objeto 200 como con el elemento de soporte 220 que están alojados dentro de un alojamiento 240. En un ejemplo, tal disposición puede incluir un diente como el objeto, la mandíbula y/o las encías correspondientes como el elemento de soporte y la boca o estructura maxilofacial como el alojamiento. Por tanto, el método puede incluir acoplar un elemento de registro 170 con el objeto 200 o el elemento de soporte 220 (FIGURA 8, bloque 1000) y luego realizar una exploración óptica de la superficie del objeto y el elemento de registro, usando un escáner óptico 400 (en algunos casos, el escáner óptico 400 puede ser de mano y manipulado manualmente, o el escáner óptico 400 se puede acoplar operativamente con un extremo distal 520 de un brazo de seguimiento del robot 500), para formar una imagen tridimensional de la superficie del objeto, en donde la imagen tridimensional de la superficie tiene el sistema de coordenadas 300 asociado con la misma, y en donde el elemento de registro 170 está asociado con el sistema de coordenadas 300 (FIGURA 8, bloque 1020). Se forma un plan de un procedimiento sobre el objeto (FIGURA 8, bloque 1040), por ejemplo, a partir de la imagen tridimensional de la superficie, antes de correlacionar el objeto con el elemento de registro en la imagen tridimensional de la superficie para registrar el objeto con el sistema de coordenadas (por ejemplo, traducir la imagen de un Espacio de Coordenadas de Imagen (espacio de coordenadas interno a la imagen) a un Espacio de Coordenadas del Paciente (espacio de coordenadas en relación con el paciente o el elemento de registro 170)) (FIGURA 8, bloque 1060). Un robot 800 que tiene un instrumento quirúrgico 820 acoplado con él se puede guiar entonces para ejecutar el plan del procedimiento por el instrumento quirúrgico 820 en el objeto 200 en relación con el registro del objeto 200 con el sistema de coordenadas 300 (FIGURA 8, bloque 1080).

En algunos aspectos, particularmente en relación con los dos aspectos del método descritos anteriormente, se puede realizar una exploración radiográfica del alojamiento y el objeto y el elemento de soporte alojados en él para formar una imagen radiográfica del alojamiento, el objeto y el elemento de soporte, antes de que el elemento de registro se acople con el objeto o el elemento de soporte (FIGURA 7, bloque 960, FIGURA 8, bloque 1100). Luego, la imagen radiográfica del objeto se empareja con la imagen tridimensional de la superficie del objeto para formar una imagen correlacionada del objeto en relación con el elemento de registro (FIGURA 7, bloque 970, FIGURA 8, bloque 1120). Luego, el objeto se correlaciona con el elemento de registro en la imagen correlacionada para registrar el objeto con el sistema de coordenadas (por ejemplo, traducir la imagen correlacionada de un Espacio de Coordenadas de Imagen (espacio de coordenadas interno a la imagen correlacionada) a un Espacio de Coordenadas del Paciente (espacio de coordenadas en relación con el paciente o el elemento de registro 170)) (FIGURA 7, bloque 980, FIGURA 8, bloque 1140).

En algunos aspectos, el emparejamiento de imágenes de la imagen radiográfica con la imagen tridimensional de la superficie puede implicar el emparejamiento de imágenes de una representación estructural tridimensional del objeto y el elemento de soporte proporcionado por la exploración radiográfica con la imagen tridimensional de la superficie del objeto, el elemento de soporte y el elemento de registro proporcionado por la exploración óptica de la superficie. De esta manera, el plan para el procedimiento se puede formar entonces en base a y teniendo en cuenta tanto los aspectos estéticos del procedimiento vistos en la imagen tridimensional de la superficie de la exploración óptica de la superficie (por ejemplo, una exploración intraoral que muestra, por ejemplo, la encía y el tejido blando alrededor del diente), así como estructuras anatómicas particulares de interés vistas en la representación estructural tridimensional de la exploración radiográfica (por ejemplo, una tomografía computarizada (CT) que muestra, por ejemplo, los nervios, las raíces de los dientes, maxilares y/o estructura relacionada).

En algunos casos, dado que el elemento de registro está asociado con la exploración óptica de la superficie, no es necesario que el elemento de registro sea radiopaco, pero puede ser radiopaco si es necesario o se desea. Según la invención, el elemento de registro 170 incluye uno o más marcadores fiduciales, cuentas de referencia, etc., acoplados con un marco de referencia (por ejemplo, una férula), antes de que el marco de referencia se acople con

el objeto o el elemento de soporte. El acoplamiento con el objeto (por ejemplo, diente) o el elemento de soporte (por ejemplo, encías o mandíbula) con el marco de referencia (por ejemplo, férula) se puede lograr, por ejemplo, por medio de un adhesivo adecuado (por ejemplo, un epoxi) dispuesto entre los mismos. En otros casos, por ejemplo, en el caso de un paciente desdentado, se puede implantar un anclaje de implante en un hueso maxilar y el marco de referencia (por ejemplo, una férula) se puede unir de forma segura al mismo mediante un sujetador extraíble.

En otros casos más, el elemento de registro se puede disponer/configurar para estar en una relación conocida con el sistema de coordenadas. Por ejemplo, el dispositivo óptico de exploración de la superficie (por ejemplo, el dispositivo de exploración intraoral, el escáner intraoral o cualquier otro escáner/digitalizador tridimensional de la superficie basado en luz u óptica adecuado) se puede acoplar operativamente con el extremo distal de un brazo de seguimiento del robot. El brazo de seguimiento del robot, a su vez, se puede seguir por un controlador en comunicación con el mismo, y la posición conocida o seguida del brazo de seguimiento del robot puede incluir el extremo distal del mismo. Dado que el escáner intraoral se acopla con el extremo distal del brazo de seguimiento del robot en tales casos, también se puede conocer la posición de la parte de formación de imágenes del escáner intraoral por el controlador. La posición o posiciones conocidas del brazo de seguimiento del robot, así como el escáner intraoral acoplado con el extremo distal del brazo de seguimiento del robot, permite al controlador asociar un sistema de coordenadas con la posición o posiciones del brazo de seguimiento del robot y el escáner intraoral. Además, el escáner intraoral se puede configurar y disponer de manera que la imagen digitalizada del elemento de registro (y/o, por ejemplo, uno o más marcadores fiduciaros acoplados con el mismo) incluya o sea indicativa de una relación de rango (por ejemplo, distancia entre el generador de imágenes del escáner intraoral y un punto en la superficie de la imagen) entre el escáner intraoral y el objeto de la imagen. Con tal relación de rango, la relación del elemento de registro con el sistema de coordenadas se conoce por el controlador después de ser formada la imagen por el escáner intraoral acoplado con el extremo distal del brazo de seguimiento del robot.

En otros casos, la relación del elemento de registro con el sistema de coordenadas se puede conocer o ser determinable de diferentes maneras además de o como alternativa a la relación entre el escáner intraoral y el elemento de registro. Por ejemplo, se puede proporcionar una disposición de emisor-detector en comunicación entre el elemento de registro y el escáner intraoral y/o el brazo de seguimiento del robot. En otros casos, se puede implementar una disposición de transceptor-transceptor, una disposición de transceptor-reflector, una disposición de transmisor-receptor o una disposición de sensor, según sea apropiado, de manera que el elemento de registro esté en comunicación y en una posición conocida con respecto al brazo de seguimiento del robot/escáner intraoral, y por lo tanto dispuesto en una relación conocida con respecto al sistema de coordenadas.

Una vez que se completa la exploración óptica de la superficie, se planifica entonces el procedimiento sobre el objeto en relación con la imagen tridimensional de la superficie del objeto antes de que se correlacione el objeto con el elemento de registro en la imagen tridimensional de la superficie del mismo. Según la invención, el procedimiento sobre el objeto se planifica en relación con la imagen tridimensional de la superficie del objeto antes de que el objeto se correlacione con el elemento de registro en la imagen tridimensional de la superficie del mismo para registrar el objeto y el procedimiento planificado con el sistema de coordenadas. En los casos en que se planifica un procedimiento quirúrgico robótico, un robot (o un brazo robótico que soporta una herramienta quirúrgica para llevar a cabo el procedimiento quirúrgico) se puede guiar por el controlador para ejecutar el plan del procedimiento en el objeto utilizando la herramienta quirúrgica en relación con el registro del objeto con el sistema de coordenadas. Tal planificación de procedimientos y guía del robot basada en la exploración óptica de la superficie puede ser ventajosa, por ejemplo, en los casos en que el procedimiento planificado está en el objeto en sí mismo (por ejemplo, un diente) o de otro modo involucra una característica de la superficie relacionada o asociada con el objeto. En un caso, tal procedimiento puede implicar la abrasión del objeto (diente) en preparación para recibir una corona.

En los casos en que también se realiza una exploración radiográfica (por ejemplo, una tomografía computarizada (CT)) antes de la exploración óptica de la superficie, la imagen radiográfica se puede correlacionar con la imagen tridimensional de la superficie, por ejemplo, utilizando un procedimiento de emparejamiento de imágenes implementado por el controlador u otro dispositivo informático adecuado en la recepción de los datos tanto para la exploración radiográfica como para la exploración óptica de la superficie. Es decir, en algunos aspectos, una representación estructural tridimensional del objeto y el elemento de soporte proporcionada por la exploración radiográfica se puede emparejar en imágenes (por ejemplo, en base a las características anatómicas comunes a ambas imágenes) con la imagen tridimensional de la superficie del objeto, el elemento de soporte y el elemento de registro proporcionado por la exploración óptica de la superficie para formar una imagen correlacionada. Una vez que se forma la imagen correlacionada, el objeto se puede correlacionar entonces con el elemento de registro en la imagen correlacionada para registrar el objeto con el sistema de coordenadas. Según la invención, el procedimiento sobre el objeto se planifica en relación con la imagen tridimensional de la superficie del mismo a partir de la exploración óptica de la superficie.

De esta manera, el procedimiento sobre el objeto también se puede planificar antes de que el objeto se correlacione con el elemento de registro en la imagen correlacionada del mismo.

Los métodos y sistemas descritos reducen o eliminan por tanto la necesidad de una segunda exploración radiográfica (por ejemplo, exploración por CT) como parte de un proceso preoperatorio para un procedimiento

quirúrgico robótico, y puede ser ventajoso reducir la exposición a rayos X del paciente quitando esta segunda exploración radiográfica. Tomando una exploración óptica tridimensional de la superficie de la característica de interés (por ejemplo, una exploración intraoral) e incluyendo la matriz de marcadores fiduciarios (por ejemplo, montada en la férula, con la férula acoplada al paciente) en la exploración intraoral, la matriz de marcadores fiduciarios de la imagen en la exploración se utiliza para registrar la exploración óptica tridimensional de la superficie con el paciente y/o las ubicaciones de las características (por ejemplo, características anatómicas). Una vez que la exploración óptica tridimensional de la superficie se registra con el sistema de coordenadas asociado con la matriz de marcadores fiduciarios acoplada con el paciente, las características de la imagen (por ejemplo, la imagen tridimensional de la superficie de la anatomía) de la exploración intraoral se pueden registrar con las características de la imagen (por ejemplo, la imagen radiográfica de la estructura de la anatomía) de la tomografía computarizada original/primer. El plan para el procedimiento y otra información asociada con el mismo, desarrollado a partir de la primera/original tomografía computarizada, se puede aplicar entonces en referencia al paciente y/o las ubicaciones de las características anatómicas del paciente (por ejemplo, dentro del sistema de coordenadas asociado con la matriz de marcadores fiduciarios) en base a la relación con el sistema de coordenadas proporcionado por la exploración intraoral.

En aspectos adicionales, la exploración óptica tridimensional de la superficie (por ejemplo, exploración intraoral) puede eliminar la necesidad tanto de la primera como de la segunda tomografías computarizadas. Por ejemplo, en algunos casos, el cirujano puede no necesitar una tomografía computarizada (por ejemplo, formación de imágenes radiográficas de las características anatómicas) para realizar el procedimiento previsto. Esto podría ser aplicable a procedimientos robóticos más allá, por ejemplo, de implantes dentales, y extenderse, por ejemplo, a un procedimiento de preparación de dientes que implique taladrar o raspar la superficie de un diente (por ejemplo, para eliminar áreas cariadas del diente) y preparar la parte restante del diente para recibir una corona (por ejemplo, un diente protésico) sobre el mismo. En tales casos, la exploración intraoral por sí sola puede ser suficiente con el propósito de planificar el procedimiento, y la matriz de marcadores fiduciarios incluida en la exploración intraoral se puede usar para registrar la exploración intraoral con el paciente y/o las ubicaciones de las características del paciente (por ejemplo, dentro del sistema de coordenadas asociado con la matriz de marcadores fiduciarios).

La implementación de la exploración óptica de la superficie utilizando, por ejemplo, un escáner intraoral, permite escanear y formar imágenes de la boca (o los dientes en la misma) y el marcador fiduciario durante la cirugía mientras que el paciente está inconsciente, mientras que el paciente a menudo debe estar despierto y consciente durante una tomografía computarizada con el marcador o marcadores fiduciarios en su lugar. La imagen de la exploración intraoral (con el marcador o marcadores fiduciarios en su lugar) se puede correlacionar entonces con la imagen de la tomografía computarizada anterior (sin el marcador o marcadores fiduciarios en su lugar) emparejando la geometría anatómica o las características entre las imágenes. Dado que las imágenes capturadas por el escáner intraoral ya están relacionadas con el marcador o marcadores fiduciarios y, por tanto, se integran y registran en el Espacio de Coordenadas del Paciente a través de la interacción con el marcador o marcadores fiduciarios, la exploración/imagen intraoral (y la tomografía computarizada/imagen, si se implementa), incluyendo el objeto y el marcador o marcadores fiduciarios, se puede relacionar fácilmente por tanto con el brazo de seguimiento mecánico (robot) en el registro con la referencia del Espacio de Coordenadas del Paciente y, por tanto, se puede integrar fácilmente en el sistema robótico en general para guiar al robot en el procedimiento.

Muchas modificaciones y otros aspectos de la descripción expuesta en la presente memoria vendrán a la mente de un experto en la técnica a la que pertenece esta invención que tiene el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Por lo tanto, se ha de entender que la descripción no se ha de limitar a los aspectos específicos descritos y que las modificaciones y otros aspectos se pretende que se incluyan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Aunque en la presente memoria se emplean términos específicos, se utilizan únicamente en un sentido genérico y descriptivo y no con propósitos de limitación.

Se debería entender que aunque los términos primero, segundo, etc. se pueden usar en la presente memoria para describir varios pasos o cálculos, estos pasos o cálculos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos solo se utilizan para distinguir una operación o cálculo de otro. Por ejemplo, un primer cálculo se puede denominar segundo cálculo y, de manera similar, un segundo paso se puede denominar primer paso, sin apartarse del alcance de esta descripción. Como se usa en la presente memoria, el término "y/o" y el símbolo "j" incluyen todas y cada una de las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

Como se usa en la presente memoria, las formas singulares "un", "una", "el" y "la" también se pretende que incluyan las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se usan en la presente memoria, especifican la presencia de características, números enteros, pasos, operaciones, elementos y/o componentes establecidos, pero no excluyen la presencia o adición de una o más de otras características, números enteros, pasos, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos. Por lo tanto, la terminología utilizada en la presente memoria es con el propósito de describir realizaciones particulares únicamente y no se pretende que sea limitativa.

REIVINDICACIONES

1. Un método para relacionar un objeto (200) con un sistema de coordenadas (300), el objeto (200) que se soporta por la mandíbula de un paciente, el objeto (200) y la mandíbula que están alojados dentro de la cabeza del paciente, el método que comprende:

acoplar un elemento de registro (170), que comprende uno o más marcadores fiduciaros (175), con el objeto (200) o la mandíbula;
realizar una exploración óptica de la superficie del objeto (200) y el elemento de registro (170), utilizando un escáner óptico (400), para formar una imagen tridimensional de la superficie del objeto (200), la imagen tridimensional de la superficie que tiene el sistema de coordenadas (300) asociado con el mismo, de manera que el elemento de registro (170) esté asociado con el sistema de coordenadas (300);
correlacionar el objeto (200) con el elemento de registro (170) en la imagen tridimensional de la superficie, usando un controlador (190) que tiene un procesador y que está en comunicación con el escáner óptico (400), para determinar una relación entre el objeto (200) y el elemento de registro (170), el objeto (200) que se registra así con el sistema de coordenadas (300) a través de la relación determinada con el elemento de registro (170); y
planificar un procedimiento sobre el objeto (200), usando el controlador (190), en relación con la imagen tridimensional de la superficie del mismo antes de correlacionar el objeto (200) con el elemento de registro (170) en la imagen tridimensional de la superficie.

2. El método de la reivindicación 1, que comprende:

realizar una exploración radiográfica de la cabeza del paciente, y el objeto (200) y la mandíbula alojados en él, para formar una imagen radiográfica, antes de que se acople el elemento de registro (170) con el objeto (200) o la mandíbula;
emparejar la imagen radiográfica del objeto (200) con la imagen tridimensional de la superficie del objeto (200) para formar una imagen correlacionada del objeto (200) en relación con el elemento de registro (170); y
correlacionar el objeto (200) con el elemento de registro (170) en la imagen correlacionada según la relación entre el objeto (200) y el elemento de registro (170), de manera que el objeto (200) se registra con el sistema de coordenadas (300) a través de la relación determinada con el elemento de registro (170).

3. El método de la reivindicación 2, en donde el emparejamiento de imágenes de la imagen radiográfica con la imagen tridimensional de la superficie comprende el emparejamiento de imágenes de una representación estructural tridimensional del objeto (200) y la mandíbula proporcionada por la exploración radiográfica con la imagen tridimensional de la superficie del objeto (200), la mandíbula y el elemento de registro (170) proporcionado por la exploración óptica de la superficie.

4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el escáner óptico (400) se acopla operativamente con un extremo distal (520) de un brazo de seguimiento del robot (500) registrado con el sistema de coordenadas (300).

5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende determinar una distancia entre el elemento de registro (170) y el escáner óptico (400) según una relación de rango entre el escáner óptico (400) y el objeto (200), para determinar una relación entre el elemento de registro (170) y el sistema de coordenadas (300).

6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde acoplar el elemento de registro (170) con el objeto (200) o la mandíbula comprende:

acoplar el elemento de registro (170) con un marco de referencia; y
acoplar el marco de referencia con el objeto (200) o la mandíbula.

7. Un sistema (100) para relacionar un objeto (200) con un sistema de coordenadas (300), el objeto (200) que está soportado por la mandíbula de un paciente, el objeto (200) y la mandíbula que están alojados dentro de la cabeza del paciente, el sistema (100) que comprende:

un elemento de registro (170), que comprende uno o más marcadores fiduciaros (175), adaptados para ser acoplados con el objeto (200) o la mandíbula;
un escáner óptico (400) dispuesto para realizar una exploración óptica de la superficie del objeto (200) y el elemento de registro (170) y para formar una imagen tridimensional de la superficie del objeto (200), la imagen tridimensional de la superficie que tiene el sistema de coordenadas (300) asociado con el mismo, de manera que el elemento de registro (170) está asociado con el sistema de coordenadas (300); y
un controlador (190) que tiene un procesador y que está en comunicación con el escáner óptico (400), el controlador (190) que está dispuesto para correlacionar el objeto (200) con el elemento de registro (170) en la imagen tridimensional de la superficie para determinar una relación entre el objeto (200) y el elemento de registro (170), el objeto (200) que se registra así con el sistema de coordenadas (300) a través de la relación

determinada con el elemento de registro (170), y para permitir la formación de un plan de un procedimiento sobre el objeto (200) en relación con la imagen tridimensional de la superficie del mismo antes de correlacionar el objeto (200) con el elemento de registro (170) en la imagen tridimensional de la superficie.

- 5 8. El sistema (100) de la reivindicación 7, que comprende un dispositivo de tomografía computarizada (700) dispuesto para realizar una exploración radiográfica de la cabeza del paciente, y el objeto (200) y la mandíbula alojados en él, para formar una imagen radiográfica, antes del elemento de registro (170) que está acoplado con el objeto (200) o la mandíbula, en donde el controlador (190) está dispuesto para estar en comunicación con el dispositivo de tomografía computarizada (700), para emparejar la imagen radiográfica del objeto (200) con la imagen tridimensional de la superficie del objeto (200) para formar una imagen correlacionada del objeto (200) en relación con el elemento de registro (170), y para correlacionar el objeto (200) con el elemento de registro (170) en la imagen correlacionada según la relación entre el objeto (200) y el elemento de registro (170), de manera que el objeto (200) se registre con el sistema de coordenadas (300) a través de la relación determinada con el elemento de registro (170).
- 15 9. El sistema (100) de la reivindicación 8, en donde el controlador (190) está dispuesto para emparejar la imagen de una representación estructural tridimensional del objeto (200) y la mandíbula proporcionada por la exploración radiográfica con la imagen tridimensional de la superficie del objeto (200), la mandíbula y el elemento de registro (170) proporcionado por la exploración óptica de la superficie.
- 20 10. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde el escáner óptico (400) está acoplado operativamente con un extremo distal (520) de un brazo de seguimiento del robot (500) registrado con el sistema de coordenadas (300) y dispuesto para estar en comunicación con el controlador (190), opcionalmente en donde el controlador (190) está dispuesto para hacer el seguimiento de una posición del brazo de seguimiento del robot (500) y el escáner óptico (400) acoplado operativamente con el extremo distal (520) del mismo en relación al sistema de coordenadas (300).
- 25 11. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en donde el controlador (190) está dispuesto para determinar una distancia entre el elemento de registro (170) y el escáner óptico (400) según una relación de rango entre el escáner óptico (400) y el objeto (200), para determinar una relación entre el elemento de registro (170) y el sistema de coordenadas (300).
- 30 12. El sistema (100) de una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, que comprende un marco de referencia que tiene el elemento de registro (170) acoplado con él, el marco de referencia que está configurado para ser acoplado con el objeto (200) o la mandíbula.
- 35 13. Un sistema (100) para guiar un robot (800) en relación con un objeto (200), el objeto (200) que se sostiene por una mandíbula de un paciente, el objeto (200) y la mandíbula que están alojados dentro de la cabeza del paciente, el sistema (100) que comprende:
40 un sistema (100) para relacionar un objeto (200) con un sistema de coordenadas (300) según una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en donde el controlador (190) está en comunicación con el escáner óptico (400) y el robot (800), y en donde el controlador (190) está dispuesto para guiar al robot (800) para ejecutar el plan del procedimiento sobre el objeto (200) en relación con el registro del objeto (200) con el sistema de coordenadas (300).
- 45 14. El sistema (100) de la reivindicación 13, en donde el controlador (190) está dispuesto para permitir la formación del plan del procedimiento en el objeto (200) en relación con la imagen radiográfica del mismo, o la imagen correlacionada del mismo, incluyendo la imagen tridimensional de la superficie y la imagen radiográfica.
- 50 15. El sistema (100) de la reivindicación 13 o 14, en donde el escáner óptico (400) está acoplado operativamente con un extremo distal (520) de un brazo de seguimiento del robot (500) registrado con el sistema de coordenadas (300) y dispuesto para estar en comunicación con el robot (800).

FIG. 1

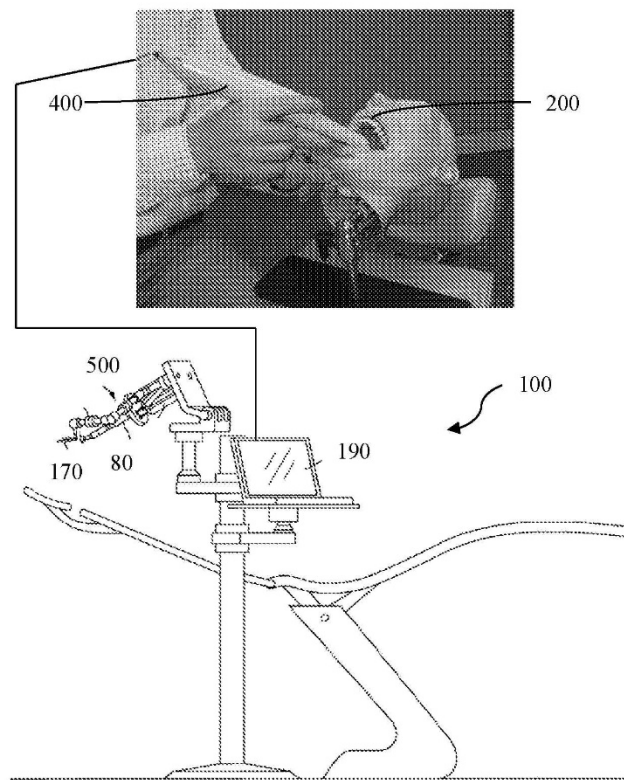
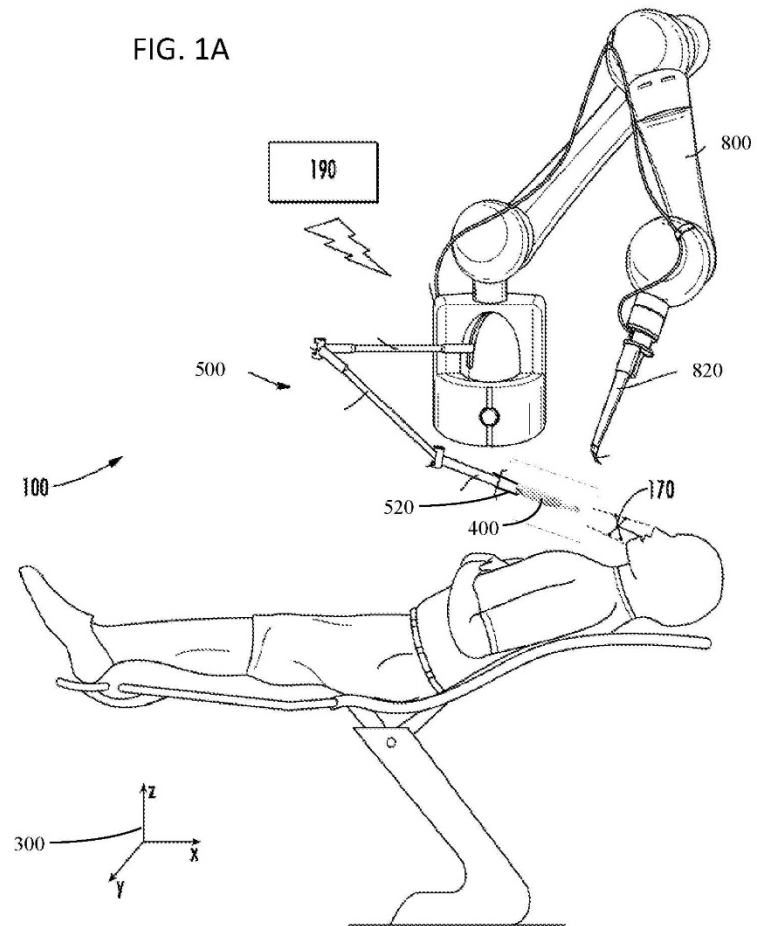
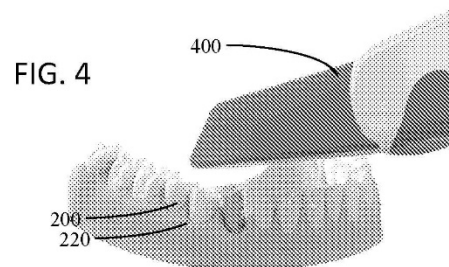
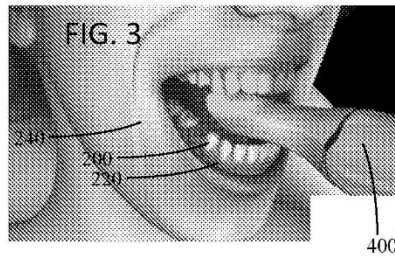
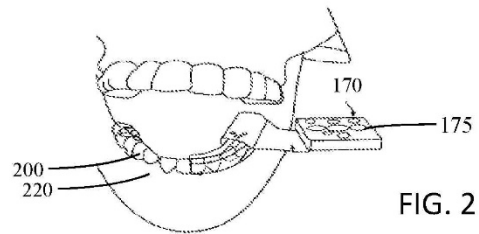


FIG. 1A





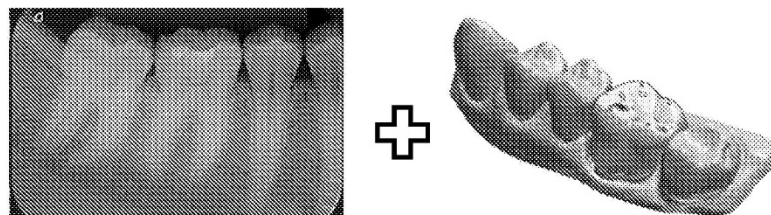
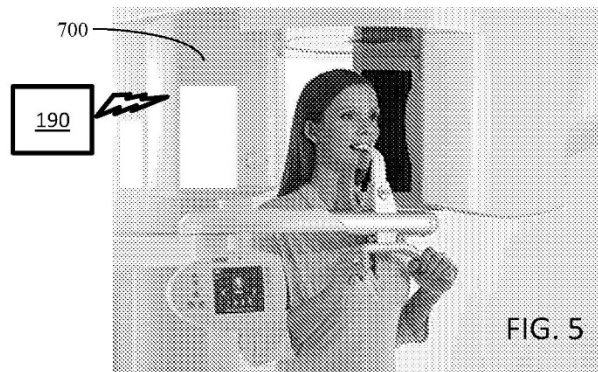


FIG. 6

FIG. 7

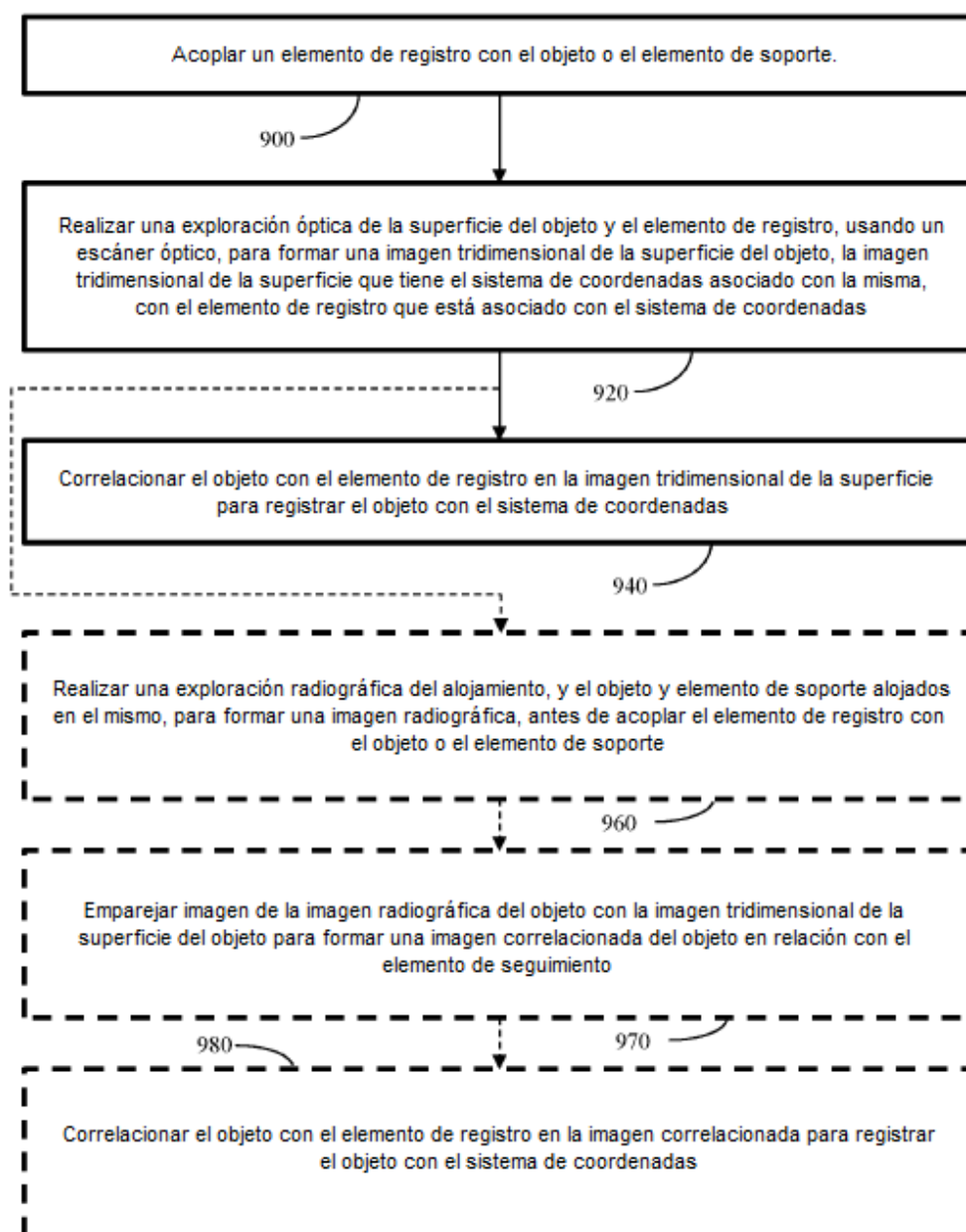


FIG. 8

