

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 899 202**

51 Int. Cl.:

A61B 1/00 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

A61B 90/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.11.2015 PCT/IL2015/051160**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.06.2016 WO16084093**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.11.2015 E 15862561 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.09.2021 EP 3223677**

54 Título: **Sistema y método de alineación de modelo**

30 Prioridad:

30.11.2014 IL 23600314

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

10.03.2022

73 Titular/es:

**ELBIT SYSTEMS LTD (100.0%)
Advanced Technology Center, P.O.B. 539
3100401 Haifa, IL**

72 Inventor/es:

**BEN-YISHAI, RANI y
BARAK, LIOR**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 899 202 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

Sistema y método de alineación de modelo

Sector de la técnica divulgada

5 La técnica divulgada se refiere a sistemas de seguimiento, en general, y al sistema y métodos para alinear un modelo de un objeto con un sistema de coordenadas de referencia asociado con un sistema de seguimiento, en particular.

Antecedentes de la técnica divulgada

10 La alineación del sistema de coordenadas asociado con una imagen del paciente, con el sistema de coordenadas asociado con un sistema de seguimiento médico, permite la visualización de información intraoperatoria (por ejemplo, una representación de un instrumento médico, información de navegación) en la imagen de una parte de interés del cuerpo de un paciente, en las respectivas posiciones y orientaciones del mismo. De este modo, el usuario puede ver dicha información intraoperatoria junto con la parte de interés del cuerpo del paciente.

15 El documento de Publicación de Solicitud de Patente estadounidense U.S. 2011/0098553 de Robbins et. al. está dirigido a una alineación automática de una imagen de resonancia magnética (MR – Magnetic Resonance, en inglés) con un sistema de guía de imagen. La alineación se consigue colocando marcadores visibles de MR en posiciones conocidas con respecto a los marcadores visibles en un sistema de seguimiento con cámara. Los marcadores son fijados a un accesorio común que es unido a una abrazadera de cabezal junto con un marcador de referencia (utilizado cuando los marcadores son cubiertos o retirados). El sistema de seguimiento incluye una cámara, con una matriz de detección para detectar la luz visible, y un procesador, dispuesto para analizar la salida de la matriz. Cada objeto a detectar lleva un único marcador con un patrón de zonas con contraste de luz y oscuridad que se cruzan en un punto característico único específico sobre el mismo, con una matriz alrededor de la ubicación específica. Esto permite al procesador detectar un ángulo de rotación del patrón y distinguir cada marcador de los otros marcadores.

20 El documento de Publicación de Solicitud de Patente estadounidense 2012/0078236 de Schoepp, está dirigido a un método para alinear de manera automática el sistema de coordenadas asociado con un sistema de navegación, con un sistema de coordenadas asociado con una imagen escaneada. Inicialmente, un conjunto de cámara de un sistema de navegación, que incluye marcadores de referencia, es unido de manera fija al paciente (por ejemplo, mediante un adhesivo). A continuación, se obtiene una imagen escaneada del paciente mediante la cámara. La imagen de escaneo incluye la cámara con los marcadores de referencia. El módulo de alineación reconoce e identifica automáticamente los marcadores de referencia visibles en la imagen escaneada y determina la posición del conjunto de la cámara a partir de ellos (es decir, la posición de los marcadores de referencia con respecto al sistema de coordenadas de la cámara y la geometría focal de la cámara son conocidas). El módulo de alineación alinea de manera automática el espacio de la cámara con respecto a la posición del paciente en la imagen escaneada, identificando la posición del sistema de coordenadas de la cámara dentro de la imagen escaneada. Tras la alineación automática de la cámara, el seguimiento de un instrumento quirúrgico está inmediatamente disponible a través de las relaciones conocidas entre el instrumento quirúrgico, el sistema de coordenadas de la cámara y el sistema de coordenadas de la imagen de escaneo. El documento US2014049629 se refiere a un sistema de seguimiento y navegación. El sistema incluye un dispositivo de tratamiento o de formación de imágenes, un dispositivo de seguimiento y un marcador de referencia. Al menos parte del dispositivo de tratamiento o de formación de imágenes puede ser desplazado con respecto a un paciente. El dispositivo de seguimiento está montado en el dispositivo de tratamiento o de formación de imágenes y puede ser desplazado con el mismo con respecto al paciente. El marcador de referencia puede ser fijo con respecto al paciente, para definir un sistema de coordenadas del paciente. El marcador de referencia es detectable por el dispositivo de seguimiento, para mantener sustancialmente la alineación entre el dispositivo de seguimiento y el sistema de coordenadas del paciente. También se puede proporcionar un kit de seguimiento y navegación que incluye el dispositivo de seguimiento y al menos un marcador de referencia, por ejemplo, para adaptarlo a los dispositivos existentes de tratamiento o de formación de imágenes.

45 Compendio de la presente técnica divulgada

La invención está definida por el sistema de la reivindicación independiente 1 y por el método de la reivindicación independiente 17. Las realizaciones preferidas están definidas por las reivindicaciones dependientes.

Un objetivo de la técnica descrita es divulgar un método y un sistema novedosos para alinear un modelo de un objeto con un sistema de coordenadas de referencia asociado con un sistema de seguimiento.

50 Breve descripción de los dibujos

La técnica divulgada se comprenderá y apreciará más completamente a partir de la siguiente descripción detallada tomada junto con los dibujos, en los que:

las figuras 1A, 1B y 1C son ilustraciones esquemáticas de un método, a modo de ejemplo, para determinar la ubicación de los marcadores de referencia situados en un objeto, según una realización de la técnica divulgada;

la figura 2 es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento óptico, a modo de ejemplo, para alinear un sistema de coordenadas asociado con un modelo de una parte del cuerpo del paciente, con un sistema de coordenadas asociado con un sistema de seguimiento médico, según otra realización de la técnica divulgada;

5 la figura 3 es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento electromagnético, a modo de ejemplo, empleado para alinear un sistema de coordenadas modelo con un sistema de coordenadas de referencia, construido y operativo según una realización adicional de la técnica divulgada;

la figura 4 es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento óptico que realiza un seguimiento de la ubicación de la unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia, construido y operativo según otra realización de la técnica divulgada;

10 la figura 5 es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento óptico, que realiza un seguimiento de la ubicación de la unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia, construido y operativo según una realización adicional de la técnica divulgada

15 las figuras 6A, 6B, 6C y 6D son ilustraciones esquemáticas de un proceso de alineación, a modo de ejemplo, en donde se muestra al usuario información relacionada con la alineación, durante el proceso de alineación, según otra realización de la técnica divulgada;

la figura 7 es una ilustración esquemática de un método para mostrar a un usuario información relacionada con la alineación, según una realización adicional de la técnica divulgada:

la figura 8 es una ilustración esquemática de un método para alinear un sistema de coordenadas modelo y un sistema de coordenadas de referencia, según otra realización de la técnica divulgada;

20 las figuras 9A y 9B son ilustraciones esquemáticas de un marcador estándar, a modo de ejemplo;

las figuras 9C-9E son ilustraciones esquemáticas de un marcador de alineación activo, a modo de ejemplo, construido y operativo según una realización adicional de la técnica divulgada;

la figura 10 es una ilustración esquemática de una vista, en sección transversal, de un marcador de alineación pasivo, construido y operativo según otra realización de la técnica divulgada; y

25 las figuras 11A y 11B son ilustraciones esquemáticas de dos marcadores de referencia, a modo de ejemplo, que pueden ser empleados tanto para la obtención como para la alineación del modelo, otra una realización adicional de la técnica divulgada.

Descripción detallada de las realizaciones

30 La técnica divulgada supera los inconvenientes de la técnica anterior, proporcionando un sistema y un método novedosos para alinear un modelo de un objeto con un sistema de coordenadas de referencia asociado con un sistema de seguimiento. El sistema de seguimiento puede ser un sistema de seguimiento óptico, un sistema de seguimiento electromagnético, un sistema de seguimiento ultrasónico, un sistema óptico de seguimiento de tiempo de vuelo. Según la técnica divulgada, el sistema de seguimiento realiza un seguimiento de la posición y orientación de una unidad portátil en el sistema de coordenadas de referencia. La unidad portátil incluye un conjunto de detección óptica (por ejemplo, una cámara de matriz de sensores, un dispositivo sensible a la posición (PSD – Position Sensitive Device, en inglés), una cámara estereoscópica o una cámara de tiempo de vuelo). Antes del proceso de alineación, se determina un modelo del objeto (por ejemplo, una imagen 2D o 3D de la cabeza del paciente). Además, las ubicaciones de al menos tres marcadores (es decir, referencias o puntos de referencia anatómicos) se determinan en el sistema de coordenadas asociado con el modelo.

40 Durante el proceso de alineación, para determinar la ubicación de los marcadores de referencia en el sistema de coordenadas de referencia, la unidad portátil es mantenida a una distancia del objeto. El usuario desplaza la unidad portátil alrededor del objeto a través de al menos una posición de alineación. Cada posición de alineación está asociada con un ángulo de visión respectivo de la referencia. Por ejemplo, cuando el conjunto de detección óptica de la unidad portátil incluye un detector óptico (por ejemplo, una cámara de matriz de sensores o un PSD), entonces, el número de posiciones de alineación es al menos dos. Cuando el conjunto de detección óptica de la unidad portátil incluye una cámara estereoscópica o una cámara de TOF (Time of Flight, en inglés), el número de posiciones de alineación es al menos una. Para cada posición de alineación, el sistema de seguimiento determina la posición y la orientación (P&O) de la unidad portátil en el sistema de coordenadas de referencia. Sustancialmente de manera simultánea con ello, para cada posición de alineación, el sistema de seguimiento determina la información relacionada con la posición respectiva de cada referencia según la imagen obtenida de la referencia. Cuando la unidad portátil incluye un detector óptico (por ejemplo, una cámara CCD (dispositivo acoplado cargado – Charged Coupled Device, en inglés) o una cámara de CMOS (semiconductor de óxido metálico complementario – Complementary Metal Oxide Semiconductor, en inglés) o un PSD), la información relacionada con la posición incluye direcciones respectivas hacia cada uno de los al menos uno marcadores de referencia situados en el objeto. Cada dirección define una línea en el sistema de coordenadas de referencia. La intersección de las al menos dos líneas asociadas con cada referencia (es

decir, una línea para cada posición de alineación) define la ubicación de esa referencia en el sistema de coordenadas de referencia. Cuando la unidad portátil incluye, por ejemplo, una cámara estereoscópica o una cámara de TOF, la información relacionada con la posición puede estar relacionada directamente con la posición de la referencia en el sistema de coordenadas de referencia (por ejemplo, dos direcciones desde los dos detectores en la cámara estereoscópica o información de la profundidad de píxel de la cámara de TOF). Asimismo, la ubicación de los marcadores (es decir, ya sea de los marcadores de referencia o de los puntos de referencia anatómicos) se puede determinar con un puntero al que se realiza un seguimiento en el sistema de coordenadas de referencia. Puesto que se conocen las coordenadas de los marcadores en el sistema de coordenadas asociado con el modelo, el sistema puede determinar la correspondencia entre la ubicación de los marcadores en el sistema de coordenadas referenciado y la ubicación de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo. De este modo, se consigue la alineación entre el sistema de coordenadas asociado con el modelo y el sistema de coordenadas asociado con el sistema de seguimiento. Además, la unidad portátil puede incluir un visualizador. Asimismo, en el presente documento, el término “marcador localizado” se refiere a un marcador cuya posición en el sistema de coordenadas de referencia fue determinada.

Cuando el sistema de seguimiento es un sistema de seguimiento óptico, el sistema de seguimiento puede presentar una configuración de entrada - salida, una configuración de entrada - salida - salida - entrada o una configuración de salida - entrada. En la configuración de entrada - salida, la unidad portátil incluye al menos un detector óptico, y una unidad de referencia, que está en una posición y orientación fijas con respecto al objeto cuyo seguimiento se está realizando, incluye al menos tres emisores de luz. En la configuración de salida - entrada, la unidad portátil incluye al menos tres emisores de luz, y una unidad de referencia incluye al menos un detector óptico. En la configuración de entrada - salida - salida - entrada, el sistema de seguimiento óptico incluye al menos dos detectores ópticos, uno situado en la unidad portátil y el otro en una unidad de referencia. Además, en la configuración de entrada - salida - salida - entrada, al menos un emisor de luz está situado en una de las unidades portátiles, y la unidad de referencia y al menos dos emisores de luz están situados en el otro de la unidad portátil y la unidad de referencia (es decir, se emplean un total de al menos tres emisores de luz). Tanto en la configuración de entrada - salida como en la configuración de entrada - salida - salida - entrada, un detector óptico puede estar situado en la unidad portátil y ser empleado tanto para el seguimiento como para la detección de los marcadores (es decir, durante el proceso de alineación).

En un sistema de seguimiento empleado para la alineación según la técnica divulgada, la posición y la orientación de la unidad de referencia son fijas con respecto a una parte del cuerpo del paciente. Por ejemplo, la unidad de referencia es fijada directamente a la parte del cuerpo del paciente. Según otro ejemplo, la parte del cuerpo del paciente está fija y la unidad de referencia también está fija, por lo que la unidad de referencia está en una posición y orientación fijas con respecto a la parte del cuerpo del paciente sin estar unida a la misma. La técnica divulgada también puede ser empleada en otros escenarios de realidad aumentada.

Inicialmente, antes del procedimiento de alineación, se determina un modelo del paciente. Este modelo puede ser, por ejemplo, una imagen bidimensional o tridimensional de una región de interés del cuerpo del paciente (por ejemplo, una imagen de rayos X, una imagen de tomografía computarizada (CT – Computed Tomography, en inglés), una imagen de resonancia magnética (MRI - Magnetic Resonance Imaging, en inglés, una imagen de ultrasonidos, una imagen de tomografía por emisión de protones (PET – Proton Emission Tomography, en inglés) y similares). El modelo puede ser obtenido de manera preoperatoria o intraoperatoria. El modelo incluye representaciones de los al menos tres marcadores, que se emplean como puntos de ubicación de referencia durante la alineación de los sistemas de coordenadas. Tal como se mencionó anteriormente, estos marcadores pueden ser marcadores artificiales (es decir, referencias) que son adheridos al paciente antes de la obtención del modelo, y permanecen adheridos al paciente hasta el procedimiento de alineación y durante el mismo, y, opcionalmente, durante el procedimiento médico que sigue. Alternativa o adicionalmente, los marcadores pueden ser puntos de referencia anatómicos que son visibles en el modelo (por ejemplo, el puente de la nariz o el trago en la oreja). Las coordenadas de ubicación de estos marcadores en el sistema de coordenadas del modelo se determinan empleando técnicas de procesamiento de imágenes, o mediante localización manual en la imagen (por ejemplo, con la ayuda de un cursor).

Posteriormente, y antes del procedimiento médico, se determinan las ubicaciones de los marcadores en el sistema de coordenadas de referencia asociado con el sistema de seguimiento. A continuación, se hace referencia a las figuras 1A, 1B y 1C, que son ilustraciones esquemáticas de un método, a modo de ejemplo, para determinar la ubicación de los marcadores de referencia situados en un objeto, con el propósito de alinear el sistema de coordenadas asociado con un modelo del objeto, con un sistema de coordenadas asociado con un sistema de seguimiento, referenciado con 100, de manera general, según una realización de la técnica divulgada. El sistema de seguimiento 100 en las figuras 1A, 1B y 1C es un sistema de seguimiento óptico que presenta una configuración de entrada - salida - salida - entrada. El sistema 100 incluye una unidad de referencia 108 y una unidad portátil 101. La unidad portátil 101 incluye un detector óptico 102 desplazable, asociado con dos emisores de luz 104₁ y 104₂. La unidad de referencia 101 está situada, por ejemplo, en la cabeza de un usuario 106. La unidad de referencia 108 incluye un detector óptico 109 de referencia asociado con un emisor de luz 110. La unidad de referencia 108 y, por lo tanto, el emisor de luz 110 y el detector óptico 109 están en una posición y una orientación fijas con respecto a una parte del cuerpo del paciente 112. En las figuras 1A-1C, la unidad de referencia 108 está situada en la cabeza del paciente 112. En general, la unidad de referencia 108 puede ser fija con respecto a la parte del cuerpo del paciente, sin estar físicamente unida al mismo. En otras palabras, la unidad de referencia 108 y la parte del cuerpo del paciente 112 no se desplazan una con respecto a la

otra. En el ejemplo expuesto en las figuras 1A-1C, el detector óptico 109 es una cámara de matriz de sensores o un PSD. Por lo tanto, se requieren al menos dos posiciones de alineación.

Para alinear el sistema de coordenadas asociado con el modelo, con el sistema de coordenadas asociado con el sistema de seguimiento, se deben determinar las ubicaciones de los marcadores en el sistema de coordenadas asociado con el sistema de seguimiento. Con ese fin, el sistema de seguimiento determina la ubicación de los marcadores en un sistema de coordenadas de referencia. Por consiguiente, haciendo referencia a la figura 1A, el usuario 106 ve al paciente 112 desde una primera posición de alineación. El detector óptico 102 desplazable detecta el emisor de luz 110 y los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄. El detector óptico de referencia 109 detecta los emisores de luz 104₁ y 104₂. El procesador determina la posición relativa y la orientación entre el detector óptico 102 desplazable y el detector óptico de referencia 109 en esta primera posición de alineación y, por tanto, la posición relativa y la orientación entre la unidad portátil 101 y la unidad de referencia 108 en el sistema de coordenadas de referencia 116. El sistema de coordenadas de referencia 116 está asociado con la unidad de referencia 108. Además, el procesador determina una primera dirección desde el detector óptico 102 desplazable hacia cada uno de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, relativos al detector óptico 102 desplazable, según las representaciones de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, detectado mediante el detector óptico 102 desplazable, tal como se explica a continuación.

Haciendo referencia a la figura 1B, el usuario 106 ve al paciente 112 desde una segunda posición de alineación. El detector óptico 102 desplazable detecta el emisor de luz 110 y los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄ desde esta segunda posición de alineación y el detector óptico de referencia 108 detecta de nuevo emisores de luz 104₁ y 104₂. El procesador determina la posición relativa y la orientación entre el primer detector 102 y la unidad de referencia 108 en esta segunda posición de alineación, y por tanto la posición relativa y la orientación entre la unidad portátil 101 y la unidad de referencia 108, en el sistema de coordenadas de referencia 116. Además, el procesador determina una segunda dirección desde el detector óptico 102 desplazable hacia cada uno de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, con respecto al detector óptico 102 desplazable, según las representaciones de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, detectada por el detector óptico 102 desplazable.

Haciendo referencia a la figura 1C, el usuario 104 ve al paciente 112 desde una tercera posición de alineación. El detector óptico 102 desplazable detecta aún el emisor de luz 110 y los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄ desde esta tercera posición de alineación y el detector óptico de referencia 108 detecta emisores de luz 104₁ y 104₂ una vez más. El procesador determina la posición relativa y la orientación entre el primer detector 102 y la unidad de referencia 108 en esta tercera posición de alineación y, por lo tanto, la posición relativa y la orientación entre la unidad portátil 101 y la unidad de referencia 108, en el sistema de coordenadas de referencia 116. Además, el procesador determina una tercera dirección desde el detector óptico 102 desplazable hacia cada uno de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, con respecto al detector óptico 102 desplazable, según las representaciones de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, detectada por el detector óptico 102 desplazable.

El procesador determina la ubicación de cada uno de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄ en el sistema de coordenadas de referencia 116, según las tres direcciones asociadas con cada uno de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄. Por ejemplo, cada dirección define una línea en el sistema de coordenadas de referencia 116 y la intersección de estas tres líneas, asociadas con cada marcador, define la ubicación de ese marcador en el sistema de coordenadas de referencia 116. En la práctica, las tres líneas pueden no cruzarse debido a errores de medición y ruido. De este modo, por ejemplo, el punto en el espacio que muestra la suma mínima de distancias desde las tres líneas se determina como la ubicación del marcador. Alternativamente, por ejemplo, cada dirección determinada puede estar asociada con una figura de mérito (FOM) y cada dirección es ponderada según la FOM de la misma.

La descripción anterior junto con las figuras 1A-1C describe la alineación del sistema de coordenadas asociado con el modelo, con el sistema de coordenadas asociado con el sistema de seguimiento, mediante el empleo de tres posiciones diferentes de alineación. Sin embargo, en general, dos posiciones de alineación son suficientes para determinar la posición de los marcadores en el sistema de coordenadas de referencia. No obstante, en la práctica, se emplean más de dos posiciones de alineación. Por ejemplo, el sistema de alineación selecciona de manera automática una pluralidad de puntos discretos en el tiempo (por ejemplo, según la rapidez con la que se desplaza el usuario), determina en el tiempo la posición y orientación del usuario en esos puntos, y determina una dirección para cada referencia identificada tal como se ha descrito anteriormente. También se observa que la unidad portátil puede incluir dos detectores ópticos dirigidos sustancialmente hacia el mismo campo de visión (por ejemplo, una cámara estereoscópica). En consecuencia, detectar una referencia con cada uno de los dos detectores es suficiente desde una única posición de usuario (es decir, suponiendo que las referencias se detectan sustancialmente de manera simultánea). Entonces, el sistema puede triangular la referencia detectada para determinar la ubicación de la misma en el sistema de coordenadas referenciado.

Además, la descripción anterior junto con las figuras 1A-1C se refiere a marcadores de referencia (es decir, al menos uno de los marcadores es una referencia pasiva o activa, tal como se explica más adelante), y la referencia emite luz (es decir, la referencia incluye ya sea una fuente de luz o un reflector de luz) que puede ser detectado por el detector óptico, además de ser detectado por la máquina de formación de imágenes, tal como se explica con más detalle a continuación.

La ubicación de todos o algunos de los marcadores (es decir, marcadores de referencia o puntos de referencia anatómicos) también puede ser determinada empleando un puntero de seguimiento, tal como se explica con más detalle a continuación. Por ejemplo, el usuario coloca la punta del puntero en el marcador y el sistema de seguimiento determina la ubicación de la punta del puntero en el sistema de coordenadas de referencia (es decir, de manera similar a como se realiza en la alineación manual). Se observa que, si solo se emplea un puntero de seguimiento para determinar la ubicación de los marcadores, entonces la unidad portátil no necesita incluir un conjunto de detección óptica. Puesto que se conocen las ubicaciones de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo, el sistema puede determinar la correspondencia entre la ubicación del marcador en el sistema de coordenadas referenciado y la ubicación de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo. Cuando se emplea un puntero de seguimiento, la unidad portátil no necesita ser desplazada a través de las posiciones de alineación, tal como se explicó anteriormente.

A continuación, se hace referencia a la figura 2, que es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento óptico, a modo de ejemplo, referenciado con 200, de manera general, para alinear un sistema de coordenadas asociado con un modelo de una parte del cuerpo del paciente, con un sistema de coordenadas asociado con un sistema de seguimiento médico, según otra realización de la técnica divulgada. El sistema 200 puede ser empleado, además, para realizar un seguimiento de un instrumento médico en un sistema de coordenadas de referencia. El instrumento puede ser superpuesto a un modelo de un paciente 226. El sistema 200 incluye un primer detector óptico 202, un segundo detector óptico 204 y una unidad de referencia 210. La unidad de referencia 210 incluye, además, emisores de luz 212₁, 212₂ y 212₃ de referencia. El sistema 200 incluye, además, un procesador 214, una base de datos 216 y un visualizador tal como la HMD 218. La HMD 218 incluye un visualizador 220. La HMD 218 también puede tener la forma de un visualizador de visión cercana. La HMD 218 y el primer detector óptico 202 definen la unidad portátil. La HMD 218 también puede ser reemplazada con un visualizador convencional (por ejemplo, una tableta de mano).

El procesador 214 está acoplado con la base de datos 216, el primer detector óptico 202, la HMD 218 y el segundo detector óptico 204. Cuando los emisores de luz 206₁ y 206₂, o los emisores de luz 212₁, 212₂ y 212₃ de referencia son LED, el procesador 214 está opcionalmente acoplado con ellos. La HMD 218 junto con el primer detector óptico 202 y los emisores de luz 206₁ y 206₂ es colocado por un médico 224. El segundo detector óptico 204 es conectado a el instrumento médico 222. La unidad de referencia 210, junto con los emisores de luz 212₁, 212₂ de referencia y 212₃ son unidos todos ellos a la ubicación del cuerpo de un paciente 226 (por ejemplo, la cabeza, la columna vertebral, el fémur), o son fijos con respecto a la misma. El paciente 226 está acostado en la cama de tratamiento 228. En la figura 2, la ubicación del cuerpo del paciente 226 es la cabeza del paciente 226. El sistema 200 está asociado con un sistema de coordenadas de referencia 230 que, en el sistema 200, es también el sistema de coordenadas asociado con la unidad de referencia 210. En la figura 2, la unidad portátil y la unidad de referencia 210 presentan una configuración de entrada - salida. Además, la HMD 218 está asociada con un sistema de coordenadas 234 respectivo. Asimismo, los marcadores, tales como los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃, pueden ser unidos al paciente 226. Aunque solo se representan tres marcadores en la figura 2, en general, de manera similar a como se describe en las figuras 1A-1C, se pueden emplear más de tres marcadores. Además, al menos uno de los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃ es un marcador de referencia. Además, los restantes de los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃ pueden ser puntos de referencia anatómicos.

El procesador 214 puede estar integrado dentro de la HMD 218 o acoplado al usuario (por ejemplo, con la ayuda de un cinturón o en el bolsillo del usuario). El instrumento médico 222 es, por ejemplo, un puntero, empleado para determinar la ubicación de los marcadores empleados para la alineación. El instrumento médico 222 también puede ser un generador de imágenes de ultrasonidos, un bisturí médico, una guía de catéter, un laparoscopio, un endoscopio, un estilete médico o cualquier otro instrumento utilizado por un médico 224 durante una intervención realizada en un paciente 226. Además, el término "acoplado", en el presente documento, se refiere a acoplado por cable o acoplado de manera inalámbrica.

En general, el sistema 200 puede ser empleado para alinear los sistemas de coordenadas asociados con un modelo de paciente 226, con el sistema de coordenadas de referencia 230, así como para realizar un seguimiento del instrumento médico 222. De manera similar a como se describió anteriormente, antes de la alineación, se determina un modelo del paciente que incluye marcadores, tales como los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃. Los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃ se emplean como puntos de referencia de ubicación durante el procedimiento de alineación y se determinan las coordenadas de ubicación de estos marcadores en el sistema de coordenadas del modelo (es decir, empleando técnicas de procesamiento de imágenes o mediante localización manual en el modelo). Este modelo, junto con las coordenadas de ubicación de los marcadores, es almacenado en la base de datos 216.

A continuación, el médico 224 se desplaza a través de al menos dos posiciones de alineación. Para cada posición de alineación, el primer detector óptico 202 detecta los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃ y los emisores de luz 212₁, 212₂ y 212₃. Para cada posición de alineación, el procesador 214 determina la posición y orientación de la HMD 218 (es decir, en el sistema de coordenadas de referencia 230), según las direcciones detectadas de los emisores de luz 212₁, 212₂ y 212₃ y las ubicaciones conocidas de los emisores de luz 212₁, 212₂ y 212₃ en la unidad de referencia 210 (por ejemplo, estas ubicaciones se almacenan en la base de datos 216). Además, para cada posición de alineación, el procesador 214 determina una dirección respectiva desde la HMD 218 hacia cada uno de los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃. El procesador 214 determina la ubicación de cada uno de los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃ según sus

respectivas direcciones en cada posición de alineación (por ejemplo, la intersección de las líneas definidas por cada dirección respectiva, define un punto de ubicación en el sistema de coordenadas de referencia 230).

Asimismo, el médico 224 puede emplear un puntero para localizar los marcadores (es decir, los marcadores de referencia o los puntos de referencia anatómicos). En dicho caso, el instrumento médico 222 adopta la forma de un puntero. Para determinar la ubicación de los marcadores, el médico 224 coloca la punta del puntero sobre los marcadores. El segundo detector óptico 204 también obtiene una imagen de los emisores de luz 212₁, 212₂ y 212₃ y el procesador 214 determina la ubicación del puntero (es decir, del instrumento médico 222), y, por lo tanto, del marcador, en el sistema de coordenadas de referencia 230. De manera similar a lo mencionado anteriormente, una vez que el procesador 214 determina la posición de los marcadores 232₁, 232₂ y 232₃ (es decir, de las referencias y la marca anatómica) en el sistema de coordenadas de referencia 230, el procesador 214 puede alinear el sistema de coordenadas asociado con el modelo de la parte del cuerpo del paciente 226 con el sistema de coordenadas de referencia 230.

Cuando el procesador 214 determina al menos una alineación inicial (por ejemplo, una alineación con un error relativamente grande) del sistema de coordenadas asociado con el modelo de la parte del cuerpo del paciente 226, con el sistema de coordenadas de referencia 230, el procesador 214 puede mostrar en el visualizador 220 información relacionada con la alineación tal como se explica con más detalle a continuación. Una vez que el sistema de coordenadas asociado con el modelo de la parte del cuerpo del paciente 226 está alineado con el sistema de coordenadas de referencia 230, el sistema de seguimiento 200 puede ser empleado para realizar un seguimiento de otro instrumento médico (por ejemplo, el instrumento médico 222 adopta la forma de una aguja) en el sistema de coordenadas de referencia 230. Además, el sistema de seguimiento puede superponer una representación de dicho instrumento médico en el modelo del paciente 222. Asimismo, según las posiciones relativas y las orientaciones determinadas entre el instrumento médico 222, la HMD 218 y el paciente 226, y la alineación entre el modelo del paciente 226 y el sistema de coordenadas de referencia 230, el procesador 214 puede representar el modelo del paciente 226 en la perspectiva correcta, y proporcionar el modelo representado a la HMD 218. Además, la información de navegación (por ejemplo, una marca que representa la ubicación del objetivo, una línea que representa la trayectoria y la trayectoria proyectada del instrumento) asociada con el instrumento médico 222, puede ser superpuesta en el modelo. Como ejemplo adicional, cuando el instrumento médico 222 es un generador de imágenes por ultrasonidos, el sistema 200 puede ser empleado para presentar los datos obtenidos por el instrumento médico 222 en la ubicación desde la que fueron obtenidos esos datos.

Los emisores de luz descritos anteriormente junto con las figuras 1A-1C y 2 pueden ser emisores de luz activos (por ejemplo, LED) o emisores de luz pasivos, que reflejan la luz ambiental o la luz dedicada dirigida a ellos (por ejemplo, la luz de los LED situados en la unidad portátil). Los emisores de luz pasivos pueden ser reflectores (por ejemplo, esferas reflectantes) o catadióptricos, que reflejan la luz hacia la dirección desde la que incide sobre ellos. Los marcadores de referencia descritos anteriormente en el presente documento junto con las figuras 1A-1C y 2 también pueden ser referencias pasivas o referencias activas. La referencia pasiva también refleja la luz que incide sobre ella. La referencia activa incluye un LED y una batería, y se activa justo antes de que comience el proceso de alineación, tal como se explica con más detalle a continuación junto con las figuras 9C-9E y 11A.

Tal como se mencionó anteriormente, el sistema de seguimiento empleado para la alineación también puede ser un sistema de seguimiento electromagnético, que realiza un seguimiento de la ubicación de la unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia. A continuación, se hace referencia a la figura 3, que es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento electromagnético, a modo de ejemplo, referenciado con 250 de manera general, empleado para alinear un sistema de coordenadas modelo con un sistema de coordenadas de referencia, construido y operativo según una realización adicional de la técnica divulgada. El sistema 250 incluye una unidad de referencia 252, una unidad portátil 254 y un procesador 256. La unidad de referencia 252 incluye un generador de corriente 260 y elementos transmisores de campo magnético (por ejemplo, bobinas) 262₁, 262₂ y 262₃. La unidad portátil 254 incluye un conjunto de detección óptica 264 y receptores de campo magnético 266₁ y 266₂. La unidad portátil 254 también incluye un visualizador 268. La unidad portátil 254 puede estar realizada como una HMD similar a la HMD 218 (figura 2) o una unidad portátil (por ejemplo, una tableta portátil). El conjunto de detección óptica 264 es, por ejemplo, una cámara de matriz de sensores, un PSD, una cámara estereoscópica o una cámara de TOF.

El procesador 256 está acoplado con el generador de corriente magnética 260, con el conjunto de detección óptica 264, con los receptores de campo magnético 266₁ y 266₂ y con el visualizador 268. El sistema 250 tiene como objetivo alinear el sistema de coordenadas asociado con un modelo de objeto 258 con el sistema de coordenadas de referencia 272. El objeto 258 incluye al menos tres marcadores 270₁, 270₂ y 270₃. Al menos uno de los marcadores 270₁, 270₂ y 270₃ es un marcador de referencia. En el sistema 250, la posición y la orientación de la unidad de referencia 252 son fijas con respecto al objeto 258. Por ejemplo, la unidad de referencia 252 está fijada directamente al objeto 258. Alternativamente, el objeto 258 es fijo y la unidad de referencia 258 también es fija. Por tanto, la unidad de referencia 252 está en una posición y orientación fijas con respecto al objeto 258 sin estar unida al mismo. Alternativamente, al menos dos receptores de campo magnético adicionales (no mostrados) están unidos al objeto 258. Por tanto, el procesador 256 puede determinar la posición y orientación relativas entre la unidad de referencia 252 y el objeto 258.

De manera similar a como se describió anteriormente junto con las figuras 1A-1C y 2, un usuario (no mostrado) desplaza la unidad portátil 254 a través de al menos dos posiciones de alineación. Para cada posición de alineación,

el procesador 256 determina la posición y la orientación de la unidad portátil 254 en el sistema de coordenadas de referencia 272, según el campo magnético transmitido por los elementos de transmisión 262₁, 262₂ y 262₃ y recibido por los receptores de campo magnético 266₁ y 266₂. Para cada posición de alineación, el conjunto de detección óptica 264 obtiene una imagen de las referencias de los marcadores 270₁, 270₂ y 270₃. Para cada posición de alineación, el procesador 256 determina una dirección respectiva hacia cada una de las referencias de los marcadores 270₁, 270₂ y 270₃, con respecto al conjunto de detección óptica 264, según la imagen obtenida por el conjunto de detección óptica 264. Cada dirección define una línea en el sistema de coordenadas de referencia 272 y la intersección de las tres líneas, asociadas con cada marcador, define la ubicación de ese marcador en el sistema de coordenadas de referencia. Un usuario también puede emplear un puntero de seguimiento (no mostrado) para determinar la ubicación de los marcadores 270₁, 270₂ y 270₃. Puesto que las coordenadas de los marcadores 270₁, 270₂ y 270₃ en el sistema de coordenadas asociado con el modelo son conocidas, el sistema 250 puede determinar la correspondencia entre la ubicación de los marcadores 270₁, 270₂ y 270₃ en el sistema de coordenadas de referencia 272 y la ubicación de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo. Por tanto, se consigue la alineación entre el sistema de coordenadas del modelo y el sistema de coordenadas de referencia 272. Cuando el procesador 256 determina al menos una alineación inicial entre el sistema de coordenadas asociado con el modelo del objeto 258 con el sistema de coordenadas de referencia 272, el procesador 256 puede mostrar en el visualizador 268 información relacionada con la alineación, tal como se explica más adelante.

A continuación, se hace referencia a la figura 4, que es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento óptico, referenciado con 300, en general, que realiza un seguimiento de la ubicación de la unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia, construido y operativo según otra realización de la técnica divulgada. El sistema 300 incluye un módulo de seguimiento óptico 302, una unidad portátil 304 y un procesador 306 que presenta la configuración de salida - entrada. La unidad portátil 304 incluye un conjunto de detección óptica 310 y al menos tres emisores de luz 314₁, 314₂ y 314. La unidad portátil 304 también incluye un visualizador 312. En la figura 4, los emisores de luz 314₁, 314₂ y 314 adoptan la forma de esferas reflectantes que reflejan la luz que incide sobre ellas. El conjunto de detección óptica 310 es, por ejemplo, una cámara de matriz de sensores, un PSD, una cámara estereoscópica o una cámara de TOF.

El procesador 306 está acoplado con el módulo de seguimiento óptico 302, con el conjunto de detección óptica 310 y con el visualizador 312. El sistema 300 tiene como objetivo alinear el sistema de coordenadas asociado con un modelo del objeto 308 con el sistema de coordenadas de referencia 318. El objeto 308 incluye al menos tres marcadores 316₁, 316₂ y 316₃. Al menos uno de los marcadores 316₁, 316₂ y 316₃ es un marcador de referencia. En el sistema 300, la posición y orientación del módulo de seguimiento óptico 302 de la unidad de referencia son fijas con respecto al objeto 308.

El módulo de seguimiento óptico 302 puede ser realizado como una cámara estereoscópica (es decir, dos cámaras, dirigidas sustancialmente hacia el mismo campo de visión y que muestran una posición y orientación relativa fijas y conocidas entre las dos cámaras). Alternativamente, el módulo de seguimiento óptico 302 puede ser realizado como una cámara de tiempo de vuelo (TOF) que incluye un emisor de luz que emite luz modulada (por ejemplo, luz modulada de onda continua o luz modulada pulsada) y un detector óptico. Cuando el módulo de seguimiento óptico 302 es incorporado como una cámara estereoscópica, el procesador 306 determina la ubicación de cada uno de los emisores de luz 314₁, 314₂ y 314₃ utilizando triangulación. Por lo tanto, el procesador 306 puede determinar la posición y orientación de la unidad portátil 304 en el sistema de coordenadas de referencia 318. Cuando el módulo de seguimiento óptico 302 está incorporado como una cámara de TOF, cada imagen incluye la información de profundidad de cada píxel (es decir, la distancia entre la cámara de TOF y el objeto del que se está formando la imagen) y cada píxel proporciona la dirección desde la cámara de TOF hacia el objeto del que se está creando la imagen. De este modo, una imagen de los emisores de luz 314₁, 314₂ y 314₃ incluye información relativa a la ubicación de estos emisores de luz en el sistema de coordenadas de referencia 318. Por tanto, el procesador 306 puede determinar la posición y orientación de la unidad portátil 304 en el sistema de coordenadas de referencia 318.

De manera similar a como se describió anteriormente junto con las figuras 1A-1C y 2, un usuario (no mostrado) desplaza la unidad portátil 304 a través de al menos dos posiciones de alineación. Para cada posición de alineación, el procesador 306 determina la posición y orientación de la unidad portátil 304 en el sistema de coordenadas de referencia 318 según las imágenes obtenidas por el módulo de seguimiento óptico 302. Para cada posición de alineación, el detector óptico 304 obtiene una imagen de las referencias de los marcadores 316₁, 316₂ y 316₃. Para cada posición de alineación, el procesador 306 determina una dirección respectiva hacia las referencias de los marcadores 316₁, 316₂ y 316₃, con respecto al conjunto de detección óptica 310, según la imagen obtenida por el conjunto de detección óptica 310. Cada dirección define una línea en el sistema de coordenadas de referencia 318 y la intersección de las dos líneas, asociadas con cada marcador, define la ubicación de ese marcador en el sistema de coordenadas de referencia. El usuario puede emplear alternativamente un puntero de seguimiento hasta la ubicación determinada de los marcadores 316₁, 316₂ y 316₃. Puesto que las coordenadas de los marcadores 316₁, 316₂ y 316₃ en el sistema de coordenadas asociado con el modelo son conocidas, el sistema 30 puede determinar la correspondencia entre la ubicación de los marcadores 316₁, 316₂ y 316₃ en el sistema de coordenadas de referencia 318 y la ubicación de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo. Por tanto, se consigue la alineación entre el sistema de coordenadas del modelo y el sistema de coordenadas de referencia 318. Cuando el procesador 306 determina al menos una alineación inicial entre el sistema de coordenadas asociado con el modelo del objeto 308

con el sistema de coordenadas de referencia 318, el procesador 306 puede mostrar en el visualizador 268 la información relacionada con la alineación, tal como se explica más adelante.

A continuación, se hace referencia a la figura 5, que es una ilustración esquemática de un sistema de seguimiento óptico, referenciado con 350, en general, que realiza un seguimiento de la ubicación de la unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia, construido y operativo según una realización adicional de la técnica descrita. El sistema 350 incluye una unidad portátil 352, una unidad de referencia 354 y un procesador 356. La unidad portátil 352 incluye un módulo de seguimiento óptico 362 acoplado con el procesador 356. La unidad portátil 352 incluye, además, un visualizador, también acoplado con el procesador 356. La unidad de referencia 354 incluye al menos tres emisores de luz 360₁, 360₂ y 360₃ y está unida al objeto 358. En el ejemplo presentado en la figura 5, los emisores de luz 360₁, 360₂ y 360₃ son LED. El objeto 358 incluye tres marcadores 366₁, 366₂ y 366₃, uno de los cuales es una referencia. Además, la posición relativa entre la unidad de referencia 354 y el objeto 358 es fija.

De manera similar al módulo de seguimiento óptico 302 (figura 4), el módulo de seguimiento óptico 362 puede ser realizado como una cámara estereoscópica o una cámara de TOF. Cuando el módulo de seguimiento óptico incluye una cámara estereoscópica o una cámara de TOF, una sola posición de alineación es suficiente para determinar la ubicación de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ en el sistema de coordenadas de referencia 368 (es decir, suponiendo que todas las referencias de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ están dentro del campo de visión del módulo de seguimiento óptico 362).

En consecuencia, el módulo de seguimiento óptico 362 obtiene una imagen o imágenes de los emisores de luz 360₁, 360₂ y 360₃ y el procesador 356 determina la ubicación de la unidad de seguimiento óptico 362 y, en consecuencia, de la unidad portátil 352 en el sistema de coordenadas de referencia 368. Además, el módulo de seguimiento óptico 362 obtiene una imagen o imágenes de las referencias de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ y el procesador 356 determina la ubicación de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ con respecto al módulo de seguimiento óptico 362. Puesto que el procesador 356 determinó la ubicación de la unidad de seguimiento óptico 362 en el sistema de coordenadas de referencia 368, el procesador 356 puede determinar la ubicación de las referencias de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ en el sistema de coordenadas de referencia 368. El usuario puede emplear alternativamente un puntero de seguimiento (por ejemplo, seguido en un sistema de coordenadas asociado con la unidad portátil 352) hasta la ubicación determinada de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃. Puesto que las coordenadas de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ en el sistema de coordenadas asociado con el modelo son conocidas, el sistema 360 puede determinar la correspondencia entre la ubicación de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ en el sistema de coordenadas de referencia 368 y la ubicación de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo. Por tanto, se consigue la alineación entre el sistema de coordenadas del modelo y el sistema de coordenadas de referencia 368. Cuando el procesador 356 determina al menos una alineación inicial entre el sistema de coordenadas asociado con el modelo del objeto 358, con el sistema de coordenadas de referencia 368, el procesador 356 puede mostrar en el visualizador 268 la información relacionada con la alineación, tal como se explica más adelante.

En los ejemplos presentados anteriormente en el presente documento junto con las figuras 1A-1C, 2 y 5, el conjunto de detección óptica situado en la unidad portátil es empleado tanto para realizar un seguimiento a la unidad portátil como para la alineación. Sin embargo, la unidad portátil puede incluir dos conjuntos de detección óptica separados, uno empleado para realizar un seguimiento a la unidad portátil y el otro empleado para la alineación.

Con respecto a cualquiera de los sistemas de seguimiento descritos anteriormente junto con las figuras 1A-1C, 2, 3, 4 y 5, durante el proceso de alineación, la información relacionada con el proceso de alineación puede ser mostrada al usuario (es decir, en el visualizador respectivo asociado con cualquiera de los sistemas de seguimiento descritos anteriormente junto con las figuras 1A-1C, 2, 3, 4 y 5). Esta información relacionada con la alineación puede ser, por ejemplo, un identificador de marcador (por ejemplo, un número, un carácter), una indicación de que se ha identificado un marcador, una indicación de que se ha localizado un marcador, el error asociado con la ubicación determinada del marcador, una puntuación que indica la calidad de la alineación (por ejemplo, el error estimado de la alineación), instrucciones para el usuario y similares. Por ejemplo, una vez que se determina la ubicación de un marcador, se puede mostrar un indicador de marcador al usuario, por ejemplo, superponiendo el indicador (por ejemplo, un círculo, un cuadrado, una flecha y similares) en el marcador, proporcionando de este modo al usuario información sobre el progreso del proceso de alineación. Cada tipo de marcador (es decir, un hito de referencia o anatómico) puede tener un indicador correspondiente (por ejemplo, un círculo para las referencias y un cuadrado para los hitos anatómicos). Cuando se determinan las posiciones de un número suficiente de marcadores (es decir, al menos tres cuando se alinean sistemas de coordenadas tridimensionales) y se calcula la alineación, se puede mostrar al usuario una puntuación que indica la calidad de la alineación. La información relacionada con la alineación puede incluir, además, información relacionada con el usuario, tal como la selección del usuario o la guía del usuario. Por ejemplo, el usuario puede indicar al sistema de seguimiento si la puntuación es suficientemente buena o si debe continuar el proceso de alineación (por ejemplo, permitiendo que el sistema localice marcadores adicionales). Por ejemplo, cuando los marcadores están situados en ambos lados de la cabeza, entonces el sistema puede indicar al usuario que mire físicamente la cabeza del paciente desde el otro lado para permitir que el sistema identifique marcadores adicionales. Para mejorar la precisión de la alineación, el sistema puede guiar al usuario para que mire la cabeza del paciente desde el otro lado, incluso si la alineación ya tuvo éxito utilizando marcadores de solo un lado de la cabeza del paciente. Una vez que se determina una alineación inicial (por ejemplo, puede tener un gran error), el sistema también puede dirigir al usuario (por ejemplo, a través del visualizador) hacia marcadores de que la ubicación del mismo aún no ha

sido determinada, o que la ubicación del mismo se determinó con un gran error. El sistema también puede indicar al usuario el error con el que cada marcador contribuyó al cálculo final de la alineación. El usuario también puede descartar la utilización de marcadores específicos en el cálculo de la alineación. Los marcadores descartados pueden ser indicados con un indicador diferente al de los marcadores que se utilizaron para la alineación (por ejemplo, los marcadores descartados se marcarán con un cuadrado rojo). Por ejemplo, si el usuario sospecha que ciertos marcadores pueden haberse desplazado desde que se obtuvo la imagen preoperatoria. Además, el cirujano puede solicitar que se vuelva a calcular la alineación sin utilizar ciertos marcadores.

A continuación, se hace referencia a las figuras 6A, 6B, 6C y 6D, que son ilustraciones esquemáticas de un proceso de alineación, a modo de ejemplo, donde la información relacionada con la alineación es mostrada al usuario, por ejemplo, en un visualizador 400, durante el proceso de alineación, según otra realización de la técnica divulgada. El usuario observa al paciente 402 acostado en la cama de tratamiento 404. En el ejemplo expuesto en las figuras 6A-6D, una unidad de referencia 406 está en una posición y orientación fijas con respecto a la cabeza del paciente 402. La unidad de referencia 406 puede ser cualquiera de las unidades de referencia descritas anteriormente junto con las figuras 1A-1C, 2, 3, 4 y 5. En el ejemplo presentado en las figuras 6A-6D, la unidad de referencia 406 incluye tres LED 408₁, 408₂ y 408₃. Alternativamente, la unidad de referencia puede incluir transmisores o receptores de campo magnético, tal como se explicó anteriormente. Además, los marcadores 401₁, 410₂, 410₃, 410₄, 410₅, 410₆ y 410₇ están situados en el paciente 402 (es decir, referencias o puntos de referencia anatómicos o ambos).

Con referencia a la figura 6A, el usuario se encuentra en una primera posición de alineación. En esta primera posición de alineación, el usuario ve los marcadores 410₁, 410₂, 410₃ y 410₄. Un sistema de alineación según la técnica divulgada identifica los marcadores 410₁, 410₂, 410₃ y 410₄ (por ejemplo, los marcadores 410₁, 410₂, 410₃ y 410₄ están dentro del campo de visión de un detector óptico) e informa al usuario (por ejemplo, mostrando texto en el visualizador 400) que se han identificado cuatro marcadores. Además, el sistema (por ejemplo, cualquiera de los sistemas descritos anteriormente) indica al usuario que cambie el punto de observación del mismo. Se observa que cuando se emplea una cámara estereoscópica o una cámara de TOF con la unidad portátil, el sistema también puede determinar la ubicación de los marcadores 410₁, 410₂, 410₃ y 410₄ desde una única posición de alineación.

Con referencia a la figura 6B, el usuario está situado en una segunda posición de alineación. En esta segunda posición de alineación, el usuario ve los marcadores 410₂, 410₃, 410₄, 410₅ y 410₆. El sistema de alineación según la técnica descrita identifica, además, los marcadores 410₅ y 410₆ (por ejemplo, los marcadores 410₂, 410₃, 410₄, 410₅ y 410₆ están dentro del campo de visión de un detector óptico) e informa al usuario de que se han identificado 6 marcadores. Además, el sistema de alineación determina la ubicación de los marcadores 410₂, 410₃ y 410₄ y muestra los respectivos indicadores de marcador 412₂, 412₃ y 412₄ en el visualizador 400, superpuesto sobre el respectivo marcador del mismo, visto por el usuario a través del visualizador transparente. Puesto que el sistema según la técnica descrita realiza un seguimiento de una unidad portátil en el sistema de coordenadas de referencia, el sistema puede determinar la P&O del visualizador. Puesto que el sistema también determina la ubicación de los marcadores, el sistema puede superponer un indicador de marcador en la ubicación del visualizador que está relacionada con la posición de los marcadores tal como se ve en el visualizador o a través del mismo. En general, el sistema de alineación muestra la información relacionada con la alineación en una ubicación de visualización que corresponde a la posición y orientación de la unidad portátil. El sistema de alineación puede visualizar la información relacionada con la alineación en una ubicación de visualización que está relacionada con la posición de los marcadores. En las figuras 6B-6D, los indicadores de marcador 412₂, 412₃ y 412₄ adoptan la forma de círculos. El sistema de alineación también proporciona al usuario una indicación del error de la ubicación determinada del mismo. Por ejemplo, el sistema de alineación determinó la posición del marcador 410₂ con un error de 0,9 mm, del marcador 410₃ con un error de 0,3 mm y el marcador 410₄ es localizado con un error de 0,5 mm. Cabe señalar que el tamaño, el color o la forma del indicador de marcador pueden estar relacionados con el error asociado con la posición de ese marcador. Por ejemplo, el diámetro del círculo es proporcional a la ubicación del marcador sobre el que se superpone ese círculo. Puesto que se han identificado tres marcadores, el sistema puede estimar la alineación entre el sistema de coordenadas de referencia y el sistema de coordenadas asociado con el modelo del paciente. Sin embargo, esta alineación puede ser una alineación inicial con un error relativamente grande (por ejemplo, 2,5 milímetros en el ejemplo que se muestra en la figura 6B). Sin embargo, puesto que se conoce la relación espacial (es decir, la posición relativa) entre los marcadores, el sistema puede indicar al usuario que se desplace hacia los marcadores que aún no han sido detectados (es decir, en general, la información relacionada con la alineación incluye instrucciones para el usuario). En la figura 6B, el sistema informa al usuario de que se han identificado 6 marcadores y se han localizado 3. Además, el sistema muestra en el visualizador 400 instrucciones para que el usuario se desplace hacia la izquierda.

Con referencia a la figura 6C, el usuario se encuentra en una tercera posición de alineación. En esta tercera posición de alineación, el usuario ve los marcadores 410₄, 410₅, 410₆ y 414₇. El sistema de alineación según la técnica divulgada identifica, además, el marcador 410₇ (por ejemplo, los marcadores 410₄, 410₅, 410₆ y 410₇ están dentro del campo de visión de un detector óptico). El sistema de alineación según la técnica divulgada determina la ubicación de los marcadores 410₅ y marcador 410₆ y marca estos marcadores con un círculo 412₅ y 412₆ respectivo. El sistema determinó la posición del marcador 410₅ con un error de 0,4 mm y del marcador 410₆ con un error de 0,5 mm. Además, el sistema mejoró la estimación de la ubicación del marcador 410₄ y el error de ubicación asociado con el marcador 410₄ ahora es de 0,3 mm. El sistema no pudo determinar la ubicación de los marcadores 414₇ así como del marcador 410₁. El sistema también mejoró el error de alineación (por ejemplo, 0,66 milímetros en el ejemplo que se muestra en la figura 6C). Además, el sistema indica al usuario que se desplace hacia la izquierda.

Con referencia a la figura 6D, el sistema de alineación según la técnica divulgada, muestra en el visualizador 400 un resumen del proceso de alineación para el usuario, e indica que la alineación se ha completado y muestra el error de alineación (es decir, la información relacionada con la alineación incluye, por ejemplo, un resumen del proceso de alineación para el usuario e indica que la alineación se ha completado y muestra el error de alineación). El sistema muestra, además, la información relacionada con los marcadores empleados para la alineación y diversas opciones para que el usuario elija. En general, tal como se explicó anteriormente, el sistema muestra información relacionada con la alineación a un usuario en una ubicación de visualización relacionada con la posición y orientación de la unidad portátil. Se observa que, puesto que el sistema determina la posición de los marcadores, el sistema puede ajustar, en consecuencia, la información mostrada en el visualizador. Por ejemplo, los indicadores de marcador pueden ser mostrados en una ubicación de visualización correspondiente a la posición de los marcadores tal como se ve en el visualizador o a través del mismo, mientras que el error de alineación, las instrucciones para el usuario y similares pueden ser mostrados en una ubicación diferente seleccionada que no interfiere con los indicadores de marcador.

A continuación, se hace referencia a la figura 7, que es una ilustración esquemática de un método para mostrar la información relacionada con la alineación a un usuario, según una realización adicional de la técnica divulgada. En el procedimiento 420, se identifican marcadores dentro del campo de visión de un detector óptico. Los marcadores están fijados a un objeto. Estos marcadores pueden ser marcadores de referencia o puntos de referencia anatómicos. Con referencia a las figuras 6A-6D, se identifican los marcadores 410₁, 410₂, 410₃, 410₄, 410₅, 410₆ y 410₇, que se encuentran dentro del campo de visión de un detector óptico.

En el procedimiento 422, se determinan la posición de al menos alguno de los marcadores identificados, en un sistema de coordenadas de referencia. Además, también se determina el error de posición de los marcadores identificados. Con referencia a las figuras 6A-6D, un procesador (no mostrado) determina la posición de al menos algunos de los marcadores 410₁, 410₂, 410₃, 410₄, 410₅, 410₆ y 410₇ en el sistema de coordenadas de referencia 414. Cuando se identifican las posiciones de al menos tres marcadores, el método pasa al procedimiento 424. De lo contrario, el método vuelve al procedimiento 420.

En el procedimiento 424, el sistema de coordenadas asociado con un modelo del objeto es alineado con el sistema de coordenadas de referencia, según las posiciones respectivas de al menos tres de los marcadores identificados en ambos sistemas de coordenadas. Además, se determina el error de alineación. Con referencia a las figuras 6A-6D, un procesador alinea el sistema de coordenadas de referencia 414 con el sistema de coordenadas asociado con un modelo de paciente.

En el procedimiento 426, la información relacionada con la alineación es determinada y mostrada al usuario. Tal como se mencionó anteriormente, la información relacionada con la alineación puede incluir, además, información relacionada con el usuario, tal como la selección del usuario o la guía del usuario. Con referencia a las figuras 6A-6D, la información relacionada con la alineación se muestra en el visualizador 400.

En el procedimiento 428, se indica al usuario que se desplace en una dirección en la que estarían marcadores adicionales dentro del campo de visión del conjunto de detección óptica. Puesto que se determina al menos la alineación inicial, se puede estimar la ubicación de todos los marcadores en el sistema de coordenadas de referencia. De este modo, también se puede determinar la ubicación de estos marcadores con respecto a la ubicación de la unidad portátil. Se observa que dirigir al usuario en una dirección donde los marcadores adicionales estarían dentro del campo de visión del conjunto de detección óptica es opcional, y puede ocurrir cuando el proceso de alineación aún no se ha completado (por ejemplo, cuando el error de alineación está por encima de un umbral) o el usuario selecciona continuar con el proceso de alineación). Con referencia a la figura 6B, se indica al usuario que se desplace hacia la derecha para identificar y ubicar marcadores adicionales. Después del procedimiento 428, el método vuelve al procedimiento 420.

En general: existen tres tipos de estimaciones de error involucradas en el proceso de alineación. El primero es la estimación del error (en este documento "estimación del error de tipo uno"); está relacionado con el error de la posición de un único marcador en el sistema de coordenadas de referencia. Este error resulta del error residual del proceso de triangulación (es decir, la intersección de líneas), de la diferencia angular entre las líneas y del error de ubicación de la unidad portátil. Este error puede ser relativamente grande cuando el marcador estaba parcialmente oscurecido desde alguna dirección, manchado de sangre y similares, o cuando la diferencia angular entre las direcciones asociadas con el marcador es relativamente pequeña. En dicho caso, se puede indicar al usuario que se desplace a otra posición de alineación para que el marcador pueda ser muestreado desde una dirección adicional. El error también puede ser grande si el usuario se desplazó con relativa rapidez mientras se muestreaba el marcador (es decir, cuando se determinó la dirección desde la unidad portátil hacia el marcador). Dicho error puede ser detectado de manera automática y se puede indicar al usuario, por ejemplo, que se desplace más lentamente. El segundo tipo de estimación de error para cada marcador (en este documento, "estimación de error de tipo dos") está relacionado con la distancia entre la posición de los marcadores en el sistema de coordenadas del modelo alineado (es decir, el sistema de coordenadas de la imagen después de la rotación y traslación al sistema de coordenadas del rastreador según la alineación calculada) y la posición del marcador en el sistema de coordenadas de referencia. Es posible que se haya desplazado un marcador específico entre el momento en que se realizó la formación de imágenes y el momento en que se realizó la alineación, pero, aun así, puede ser situado con precisión. En dicho caso, este marcador mostrará un error estimado pequeño del primer tipo y un error estimado grande del segundo tipo, y el sistema puede descartarlo

de manera automática o recomendar al usuario que lo descarte de manera manual. En consecuencia, se puede mejorar la alineación. El tercer tipo de estimación de error (en este caso “estimación de error tipo tres”) es la figura de mérito del cálculo de alineación, que puede ser el promedio de los errores del segundo tipo para todos los marcadores, o cualquier otra función objetiva (es decir, el objetivo del cálculo de la alineación es minimizar este error). Todos los tipos de estimaciones de error anteriores pueden ser calculados y mostrados al usuario (por ejemplo, en milímetros).

A continuación, se hace referencia a la figura 8, que es una ilustración esquemática de un método para alinear un sistema de coordenadas de modelo y un sistema de coordenadas de referencia, según otra realización de la técnica divulgada. En el procedimiento 450, la posición de cada uno de los al menos tres marcadores se determina en un sistema de coordenadas asociado con un modelo de un objeto. Al menos uno de los al menos tres marcadores es un marcador de referencia. Cuando el modelo es, por ejemplo, una imagen, la ubicación de los marcadores puede ser determinada empleando técnicas de procesamiento de imágenes. Alternativamente, la ubicación de los marcadores puede ser marcada manualmente en un visualizador. Después del procedimiento 450, el método pasa al procedimiento 460.

En el procedimiento 452, la posición de al menos una marca anatómica se determina en el sistema de coordenadas de referencia, cuando se emplea al menos una marca anatómica como marcador. Con referencia a la figura 2, cuando al menos parte de los marcadores son puntos de referencia anatómicos, el médico 224 emplea un puntero. En dicho caso, el instrumento médico 222 adopta la forma de un puntero. El médico 224 coloca la punta del puntero en el punto de referencia anatómico. El procesador 214 determina la ubicación del puntero (es decir, del instrumento médico 222) y, por tanto, del marcador, en el sistema de coordenadas de referencia 230, tal como se describió anteriormente. Después del procedimiento 452, el método pasa al procedimiento 460.

En el procedimiento 454, para cada una de al menos una posición de alineación, se determina la posición y orientación de una unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia. La unidad portátil incluye un conjunto de detección óptica. Cuando el conjunto de detección óptica es un detector óptico (por ejemplo, una cámara de matriz de sensores o un PSD), el número de posiciones de alineación es al menos dos. Cuando el conjunto de detección óptica es una cámara estereoscópica o una cámara de TOF, el número de posiciones de alineación es al menos una. Con referencia a las figuras 1A-1C, un usuario 106 desplaza el detector óptico 102 desplazable (es decir, que, tal como se mencionó anteriormente, definió la unidad portátil junto con los emisores de luz 104₁ y 104₂) a través de al menos dos posiciones de alineación. El detector óptico 102 desplazable obtiene al menos una imagen del emisor de luz 110, y el detector óptico desplazable obtiene al menos una imagen de los emisores de luz 104₁ y 104₂. Un procesador (por ejemplo, el procesador 214 - figura 2) determina la posición y la orientación de la posición relativa entre el detector óptico de referencia, y se determina un detector óptico desplazable en el sistema de coordenadas de referencia 116 según las representaciones de los emisores de luz 104₁, 104₂, y 110. Haciendo referencia a la figura 5, el módulo de seguimiento óptico 362 puede ser realizado como una cámara de TOF o una cámara estereoscópica que obtiene una imagen o imágenes de los emisores de luz 360₁, 360₂ y 360₃. El procesador 356 determina la ubicación de la unidad de seguimiento óptico 362 y, en consecuencia, de la unidad portátil 352, en el sistema de coordenadas de referencia 368.

En el procedimiento 456, para cada una de las al menos una posiciones de alineación, se determina la información relacionada con la ubicación respectiva de cada una de las al menos una referencias que está dentro del campo de visión del conjunto de detección óptica. Cuando la unidad portátil incluye un detector óptico (por ejemplo, una cámara de matriz de sensores o un PSD), la información relacionada con la posición incluye direcciones respectivas hacia cada uno de los al menos uno marcadores de referencia situados en el objeto. Cuando la unidad portátil incluye, por ejemplo, una cámara estereoscópica o una cámara de TOF, la información relacionada con la posición puede estar relacionada directamente con la posición de la referencia en el sistema de coordenadas de referencia (por ejemplo, dos direcciones desde los dos detectores en la cámara estereoscópica o información de la profundidad de píxel de la cámara de TOF). Haciendo referencia a las figuras 1A-1C, cuando el detector óptico 102 desplazable obtiene la imagen o imágenes del emisor de luz 110, el detector óptico 102 desplazable también obtiene una imagen de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄. Para cada posición de alineación, el procesador determina la información relacionada con la posición de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄, con respecto al detector óptico 102 desplazable, según la imagen de los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄. Haciendo referencia a la figura 5, el módulo de seguimiento óptico 362 Haciendo referencia a 5, el módulo de seguimiento óptico 362 puede ser realizado como una cámara de TOF o una cámara estereoscópica, que obtiene una imagen o imágenes de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃. El procesador 356 determina la ubicación de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ y determina la ubicación de las referencias de los marcadores 366₁, 366₂ y 366₃ en el sistema de coordenadas de referencia 368.

En el procedimiento 458, la posición de cada uno de los al menos uno marcadores de referencia situados en el objeto es determinada en el sistema de coordenadas de referencia, según las posiciones y orientaciones de la unidad portátil en cada una de al menos dos posiciones de alineación y la información relativa a la posición respectiva de cada uno de los al menos uno marcadores de referencia. Por ejemplo, cada dirección define una línea en el sistema de coordenadas de referencia. La intersección de las al menos dos direcciones asociadas con cada referencia define la ubicación de esa referencia en el sistema de coordenadas de referencia. Tal como se mencionó anteriormente, en la práctica, estas líneas pueden no cruzarse. En dicho caso, el punto que presenta la distancia mínima a cada una de las líneas es determinado como la ubicación del marcador. Haciendo referencia a las figuras 1A-1C y 2, un procesador (por ejemplo, el procesador 214 - figura 2), determina la posición de cada uno de los al menos tres marcadores (por ejemplo, los marcadores 114₁, 114₂, 114₃ y 114₄ en la figura 2 o 232₁, 232₂, 233₃ en la figura 2) en el sistema de

coordenadas de referencia (por ejemplo, el sistema de coordenadas de referencia 116 en la figura 1 o el sistema de coordenadas de referencia 230 en la figura 2).

5 En el procedimiento 460, el sistema de coordenadas asociado al modelo del objeto es alineado con el sistema de coordenadas de referencia, según las posiciones respectivas de los al menos tres marcadores, en ambos sistemas de coordenadas. Haciendo referencia a la figura 2, el procesador 214 alinea el sistema de coordenadas asociado al modelo del objeto con el sistema de coordenadas de referencia 230, según las respectivas posiciones de los marcadores en ambos sistemas de coordenadas.

10 La descripción anterior en el presente documento se refiere a un proceso de alineación automática con un entorno de realidad aumentada, donde el sistema de alineación muestra información relacionada con la alineación superpuesta en el visualizador, en una ubicación del visualizador que corresponde a la posición y a la orientación de la unidad portátil y la ubicación de los marcadores en un sistema de coordenadas de referencia. En general, cada uno de los visualizadores descritos anteriormente puede ser de mano o estar montado en la cabeza, o formar parte de cualquier unidad portátil, en general, (por ejemplo, estar unido a un brazo móvil). Por ejemplo, una unidad portátil de video transparente incluye una tableta y una cámara. Una unidad portátil de video, transparente, puede incluir alternativamente una HMD con un visualizador de visión cercana no transparente y una cámara de video. En una unidad portátil de video, transparente, el video de la cámara es aumentado y mostrado al usuario en el visualizador. Cuando se emplea un sistema de seguimiento óptico para realizar el seguimiento de una unidad portátil de video, transparente, la cámara empleada para realizar el seguimiento y para el video transparente puede ser la misma. Una unidad portátil óptica transparente incluye, por ejemplo, una tableta con un visualizador transparente o un proyector y un espejo semi-plateado unido a un brazo móvil. Una unidad portátil óptica transparente puede incluir alternativamente una HMD con un visualizador que sobresale hacia el visualizador o un visualizador transparente para el ojo cercano.

25 Las descripciones anteriores en este documento ejemplifican el proceso de alineación estando el usuario en movimiento a través de al menos dos posiciones de alineación diferentes. Sin embargo, en la práctica, cuando la ubicación de los marcadores se determina con la ayuda de la unidad portátil, el usuario puede desplazar la unidad portátil sin restricciones alrededor del paciente, mientras mantiene al paciente dentro del campo de visión del detector óptico de la unidad portátil. El detector óptico detecta los marcadores durante el desplazamiento de la unidad portátil (por ejemplo, obtiene una imagen cuando se emplea un sensor de imágenes). El sistema de seguimiento determina la posición y orientación de la unidad portátil cada vez que se detecta un marcador, y determina la ubicación de los marcadores tal como se describió anteriormente, ambos a una frecuencia relativamente alta (por ejemplo, del orden de decenas de veces por segundo).

30 A continuación, se hace referencia a las figuras 9A-9E. Las figuras 9A y 9B son ilustraciones esquemáticas de un marcador estándar, a modo de ejemplo, referenciado con 500, en general. Se emplea un marcador 500 estándar durante la obtención del modelo (por ejemplo, durante la formación de imágenes por CT o MRI). Las figuras 9C-9E son ilustraciones esquemáticas de un marcador de alineación activo, a modo de ejemplo, referenciado con 510, en general, construido y operativo según una realización adicional de la técnica divulgada, que se puede unir a un marcador 500 estándar. El marcador 510 de alineación activo se emplea durante la alineación. La figura 9A es una vista superior de un marcador 500 estándar y la figura 9B es una vista, en sección transversal, de un marcador 500 estándar. En el ejemplo presentado en el presente documento, el marcador 500 estándar tiene la forma de un anillo que forma una cavidad 508. El marcador 500 estándar incluye un cuerpo de marcador 502 y una pegatina inferior 504. La pegatina inferior 504 se emplea para unir el marcador 350 al paciente. El cuerpo del marcador 502 está fabricado de un material que puede ser detectado en el modelo obtenido (por ejemplo, un material radiopaco para la formación de imágenes mediante CT). El marcador 500 también puede tener una cubierta 506 que protege al marcador de daños y que se retira antes del proceso de alineación.

45 Tal como se mencionó anteriormente, los marcadores descritos anteriormente junto con las figuras 1A-1C, 2, 3, 4, 5 y 6A-6D, pueden ser marcadores pasivos o marcadores activos. Un marcador pasivo refleja la luz que incide sobre él. Un marcador activo incluye un LED y una batería, y se activa justo antes de que comience el proceso de alineación. Con referencia a la figura 9C, el marcador de alineación activo 510 incluye una carcasa 512, un LED 514, una fuente de alimentación 516, un aislador 518 desmontable, un saliente 520 y una pegatina 522. El LED 514 está acoplado con la fuente de alimentación 516. El aislador 518 desmontable aísla el LED 514 de la fuente de alimentación 516. En general, la fuente de alimentación 516 adopta la forma de una batería. Sin embargo, la fuente de alimentación 516 también puede adoptar la forma de un condensador precargado. Haciendo referencia a la figura 9D, antes de que el marcador de alineación activo 510 sea adherido al marcador 500 estándar, se retira la pegatina 522, dejando al descubierto un adhesivo. A partir de entonces, el saliente 520 es introducido en la cavidad 508 y la carcasa 512 es unida de manera fija al cuerpo del marcador 502. Haciendo referencia a la figura 9E, una vez que el marcador de alineación activo 510 está unido al cuerpo del marcador 502, se retira el aislador 518 desmontable, conectando, por tanto, el LED 514 a la fuente de alimentación 516. De este modo, el LED 514 comienza a emitir luz.

60 Tal como se mencionó anteriormente, el marcador de alineación también puede ser un marcador de alineación pasivo. Dicho marcador de alineación pasivo puede ser un reflector o un catadióptrico. A continuación, se hace referencia a la figura 10, que es una ilustración esquemática de una vista, en sección transversal, de un marcador de alineación pasivo, referenciado con 550 de manera general, construido y operativo según otra realización de la técnica divulgada. El marcador de alineación pasivo 550 se ejemplifica en el presente documento como un catadióptrico de aristas

5 cúbicas. El marcador de alineación pasivo incluye una carcasa 552, un catadióptrico 554 de aristas cúbicas, un saliente 558 y una pegatina 560. El catadióptrico 554 de aristas cúbicas incluye tres espejos. Dos espejos 556₁ y 556₂, de los tres espejos incluidos en un catadióptrico de aristas cúbicas 554 se muestran en la figura 8. La luz que incide en el catadióptrico de aristas cúbicas es reflejada hacia la dirección desde la que llegó esa luz. De manera similar al marcador de alineación activo 510 (figuras 7C-7E), el marcador de alineación pasivo se puede unir de manera fija a un marcador estándar, tal como el marcador 500 (figuras 5A-5B), después del proceso de obtención del modelo y antes del proceso de alineación.

10 En general, el marcador de alineación pasivo 550 es iluminado con el LED situado en la unidad portátil (por ejemplo, los LED 104₁ y 104₂ de la figura 1 o los LED 206₁ y 206₂ de la figura 2). El detector óptico situado en la unidad portátil (por ejemplo, el detector óptico 102 de la figura 1 o el detector óptico 202 de la figura 2) obtiene una imagen de la luz reflejada por el marcador de alineación pasivo 550. Por lo tanto, cuando el marcador de alineación pasivo 550 es incorporado como un catadióptrico, es importante que los emisores de luz de la unidad portátil se sitúen lo suficientemente cerca del detector óptico, de tal manera que la luz que es retro-reflejada desde el marcador de alineación pasivo 550 puede ser detectada por el detector óptico.

15 Cabe señalar que, según la técnica divulgada, se puede emplear un único marcador de referencia tanto durante la obtención como de la alineación del modelo. A continuación, se hace referencia a las figuras 11A y 11B, que son ilustraciones esquemáticas de dos marcadores de referencia, a modo de ejemplo, referenciados con 600 y 620, en general, respectivamente, que pueden ser empleados tanto para la obtención como para la alineación del modelo, según una realización adicional de la técnica divulgada. El marcador de referencia 600 es un marcador de referencia activo y el marcador de referencia 620 es un marcador de referencia pasivo.

20 Haciendo referencia a la figura 11A, el marcador de referencia 600 incluye un cuerpo 602, que está fabricado de un material que puede ser detectado en el modelo obtenido (por ejemplo, un material radiopaco para obtención de imágenes mediante CT), una pegatina 604, un LED 606, una fuente de alimentación 608 (por ejemplo, una batería o un condensador) y un aislador 610 desmontable. El LED 606 está acoplado con la fuente de alimentación 608. El aislador 610 desmontable aísla el LED 606 de la fuente de alimentación 608. Se emplea una pegatina inferior 604 para fijar el marcador 600 al paciente. A partir de entonces, se obtiene el modelo del paciente. Antes del proceso de alineación, el aislador 610 desmontable es retirado, conectando por tanto el LED 606 a la fuente de alimentación 608. De este modo, El LED 606 comienza a emitir luz.

30 Haciendo referencia a la figura 11B, el marcador de referencia 620 incluye un cuerpo 622, fabricado de un material que puede ser detectado en el modelo obtenido, una pegatina 624 y un catadióptrico 626 de aristas cúbicas. El catadióptrico 626 de aristas cúbicas incluye tres espejos. Dos espejos 628₁ y 628₂, de los tres espejos incluidos en un catadióptrico de aristas cúbicas 626 se muestran en la figura 7B. La pegatina inferior 624 se emplea para unir el marcador 620 al paciente. A partir de entonces, se obtiene el modelo del paciente.

35 Los expertos en la materia apreciarán que la técnica descrita no está limitada a lo que se ha mostrado y descrito en particular anteriormente en el presente documento. Por el contrario, el alcance de la técnica divulgada está definido únicamente por las reivindicaciones que siguen.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para alinear un sistema de coordenadas asociado con un modelo obtenido previamente, de un objeto, con un sistema de coordenadas de referencia, comprendiendo el sistema:
- una unidad portátil, que incluye:
- 5 un visualizador; y
- un conjunto de detección óptica, para obtener al menos una imagen de al menos un marcador situado en dicho objeto;
- un sistema de seguimiento, para realizar un seguimiento de dicha unidad portátil en dicho sistema de coordenadas de referencia; y
- 10 un procesador, acoplado con dicha unidad portátil y con dicho sistema de seguimiento, estando configurado dicho procesador para determinar una posición y una orientación de dicha unidad portátil en dicho sistema de coordenadas de referencia, estando configurado, además, dicho procesador, para determinar una posición de dicho al menos un marcador situado en dicho objeto en dicho sistema de coordenadas de referencia, según la información relacionada con la posición determinada a partir de dicha al menos una imagen, estando configurado, además, dicho procesador, para mostrar información relacionada con la alineación en dicho visualizador, estando relacionada al menos una de
- 15 dicha información relacionada con la alineación y una ubicación de visualización de dicha información relacionada con la alineación, con la posición y la orientación de dicha unidad portátil en dicho sistema de coordenadas de referencia, en donde la posición de dicho al menos un marcador en dicho sistema de coordenadas asociado con un modelo obtenido previamente, de dicho objeto, está predeterminada.
2. El sistema según la reivindicación 1, en donde dicha información relacionada con la alineación incluye al menos uno de:
- 20 un indicador de marcador;
- un identificador de marcador;
- un error asociado con una ubicación determinada de un marcador;
- una puntuación de alineación;
- 25 instrucciones para un usuario; y
- opciones de selección de usuario.
3. El sistema según la reivindicación 2, en donde dichas instrucciones de usuario incluyen al menos uno de:
- una instrucción para cambiar el punto de observación; y
- una instrucción para desplazarse en una dirección especificada.
- 30 4. El sistema según la reivindicación 2, en donde al menos uno del tamaño de dicho indicador de marcador, la forma de dicho indicador de marcador y el color de dicho indicador de marcador está relacionado con al menos una estimación de error de tipo uno y una estimación de error de tipo dos, asociado con cada marcador.
5. El sistema según la reivindicación 1, en donde cuando al menos algunos de dichos marcadores son marcadores de referencia, dicho procesador está configurado para identificar al menos uno de dichos marcadores de referencia que se encuentra dentro de un campo de visión de dicho conjunto de detección óptica, estando acoplado dicho conjunto de detección óptica a dicha unidad portátil,
- 35 en donde, para cada una de al menos una posición de alineación, dicho procesador determina la información relacionada con la posición respectiva de cada uno de dicho al menos un marcador que se encuentra dentro del campo de visión de dicho conjunto de detección óptica; y
- 40 en donde dicho procesador está configurado para determinar la posición de cada uno de dicho al menos un marcador en dicho sistema de coordenadas de referencia, según la posición y orientación respectivas de dicha unidad portátil en cada una de dicha al menos una posición de alineación y dicha información relacionada con la posición respectiva de cada uno de dicho al menos un marcador.
6. El sistema según la reivindicación 5, en donde dicha información relacionada con la posición es una de las
- 45 siguientes:
- una dirección desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador;

al menos dos direcciones desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador; y

una dirección y una distancia desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador.

7. El sistema según la reivindicación 5, que indica, además, al usuario que se desplace en una dirección en la que estarían marcadores adicionales dentro del campo de visión de dicho conjunto de detección óptica.

5 8. El sistema según la reivindicación 5, en donde dicha unidad de referencia incluye al menos tres emisores de luz, y en donde dicho procesador está configurado para determinar la posición y la orientación de dicha unidad portátil, según al menos una imagen de dichos al menos tres emisores de luz obtenida por un detector óptico.

9. El sistema según la reivindicación 5, en donde dicha unidad de referencia incluye un detector óptico,
10 en donde, al menos un emisor de luz está situado en dicha unidad de referencia y al menos un emisor de luz está situado en dicha unidad portátil, y

en donde, un número total de dichos emisores de luz es al menos tres; y
en donde dicho procesador está configurado para determinar la posición y orientación de dicha unidad portátil según, al menos una imagen de dicho al menos un emisor de luz situado en una imagen de referencia y obtenida por dicho detector óptico, y al menos una imagen de dicho al menos un emisor de luz situado en dicha unidad portátil y obtenido por un segundo detector óptico.

10. El sistema según la reivindicación 1, en donde dicho conjunto de detección óptica es una cámara estereoscópica, y
en donde dicha información relacionada con la posición es al menos en dos direcciones desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador.

20 11. El sistema según la reivindicación 1, en donde dicho conjunto de detección óptica es una cámara de tiempo de vuelo, y
en donde dicha información relacionada con la posición es una dirección hacia dicho marcador y una distancia entre dicha unidad portátil y dicho marcador.

25 12. El sistema según la reivindicación 1, en donde dicho conjunto de detección óptica es uno de una cámara de matriz de sensores y un dispositivo sensible a la posición, y
en donde dicha información relacionada con la posición es al menos una dirección desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador.

13. El sistema según la reivindicación 1, en donde al menos algunos de dichos marcadores son puntos de referencia anatómicos.

30 14. El sistema según la reivindicación 13, en donde dicho procesador está configurado para determinar la posición de al menos algunos de dichos marcadores según la posición y la orientación de un puntero al que se realiza un seguimiento cuando dicho puntero toca cada uno de dichos puntos de referencia anatómicos.

15. El sistema según la reivindicación 1, en donde dicha unidad portátil es uno de un visualizador montado en la cabeza, una unidad unida a un brazo móvil y una unidad de mano.

35 16. El sistema según la reivindicación 15, en donde dicho visualizador es uno de:
un visualizador óptico transparente; y
un visualizador transparente de vídeo.

17. Un método para mostrar información relacionada con la alineación, que comprende los procedimientos de:
40 determinar una posición de los marcadores en un sistema de coordenadas asociado con un modelo obtenido previamente de un objeto, estando dichos marcadores situados en dicho objeto;

determinar una posición y una orientación de una unidad portátil en un sistema de coordenadas de referencia, incluyendo dicha unidad portátil un visualizador y un conjunto de detección óptica para obtener al menos una imagen de un marcador;

45 determinar la posición de al menos tres de dichos marcadores en un sistema de coordenadas de referencia a partir de dicha al menos una imagen y de dicha posición y orientación de dicha unidad portátil;

- alinear dicho sistema de coordenadas asociado con dicho modelo obtenido previamente del objeto, con dicho sistema de coordenadas de referencia según las respectivas posiciones determinadas de dichos al menos tres de dichos marcadores, en ambos sistemas de coordenadas; y
- 5 mostrar la información relacionada con la alineación en dicho visualizador, estando al menos una de dicha información, relacionada con la alineación y con una ubicación de la visualización de dicha información relacionada con la alineación relacionada con la posición y la orientación de dicha unidad portátil en dicho sistema de coordenadas de referencia.
18. El método según la reivindicación 17, en donde dicha información relacionada con la alineación incluye al menos uno de:
- un indicador de marcador;
- 10 un identificador de marcador;
- una estimación del error asociado con una ubicación determinada de un marcador;
- una estimación del error de alineación;
- instrucciones para un usuario; y
- opciones de selección de usuario.
- 15 19. El método según la reivindicación 18, en donde dichas instrucciones de usuario incluyen al menos uno de:
- una instrucción para cambiar el punto de observación; y
- una instrucción para desplazarse en una dirección especificada.
20. El método según la reivindicación 18, en donde al menos uno del tamaño de dicho indicador de marcador, la forma de dicho indicador de marcador y el color de dicho indicador de marcador está relacionado con al menos una estimación del error de tipo uno y una estimación del error de tipo dos, asociado con cada marcador.
- 20 21. El método según la reivindicación 17, en donde dicha determinación de la posición de al menos tres de dichos marcadores incluye, además, determinar una estimación del error de posición asociado con cada marcador situado, y en donde dicha alineación incluye, además, determinar una estimación del error de alineación.
- 25 22. El método según la reivindicación 17, en donde, cuando al menos algunos de dichos marcadores son marcadores de referencia, dicha determinación de la posición de al menos tres de dichos marcadores incluye, para al menos un marcador, los procedimientos secundarios de:
- identificar dicho al menos un marcador dentro de un campo de visión de dicho conjunto de detección óptica, estando unido dicho conjunto de detección óptica a dicha unidad portátil;
- 30 para cada una de al menos una posición de alineación, determinar la respectiva información relacionada con la posición de cada uno de dicho al menos un marcador que está dentro del campo de visión de dicho conjunto de detección óptica; y
- determinar la posición de cada uno de dicho al menos un marcador en dicho sistema de coordenadas de referencia, según la posición y la orientación respectivas de dicha unidad portátil en cada una de dicha al menos una posición de alineación y dicha información relacionada con la posición respectiva de cada uno de dicho al menos un marcador.
- 35 23. El método según la reivindicación 21, que incluye, además, el procedimiento de dirigir a un usuario para que se desplace en una dirección en la que marcadores adicionales estarían dentro del campo de visión de dicho conjunto de detección óptica.
24. El método según la reivindicación 21, en donde dicha información relacionada con la posición es una de las siguientes:
- 40 una dirección desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador;
- al menos dos direcciones desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador; y
- una dirección y una distancia desde dicha unidad portátil hacia dicho marcador.
25. El método según la reivindicación 17, en donde al menos algunos de dichos marcadores son puntos de referencia anatómicos.

26. El método según la reivindicación 25, en donde la determinación de la posición de al menos algunos de dichos marcadores anatómicos se realiza mediante un puntero de seguimiento.

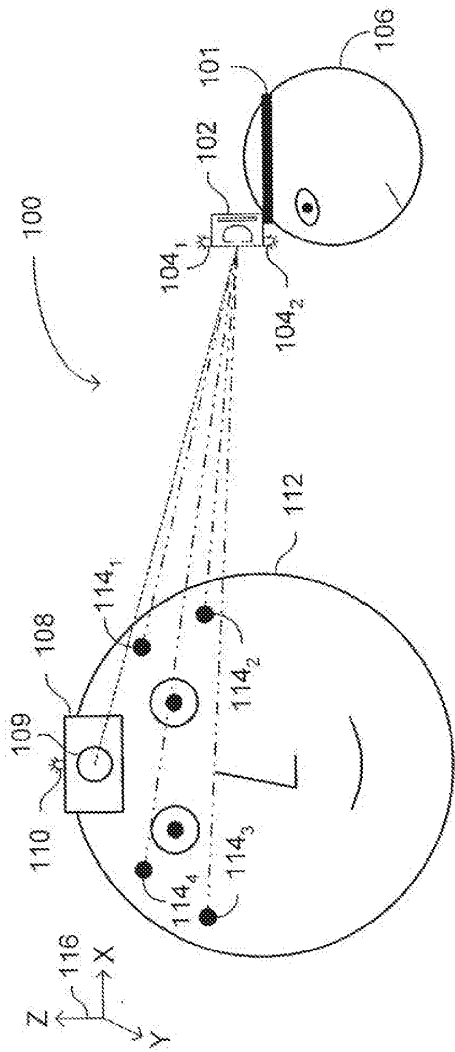


FIG. 1A

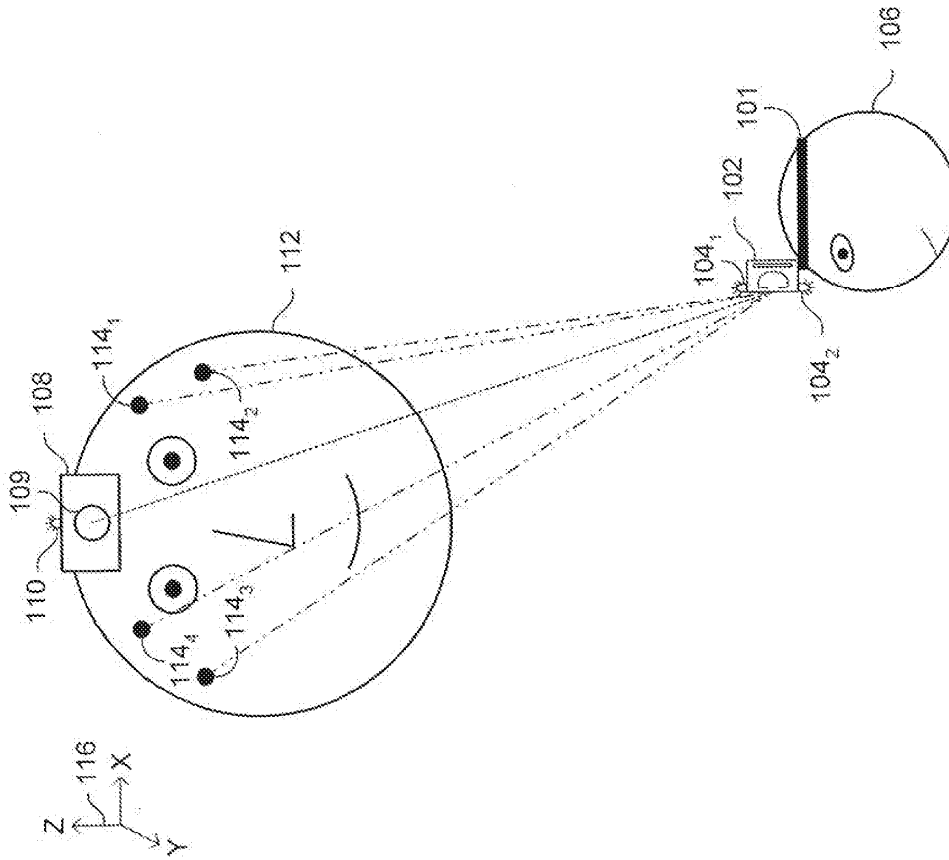


FIG. 1B

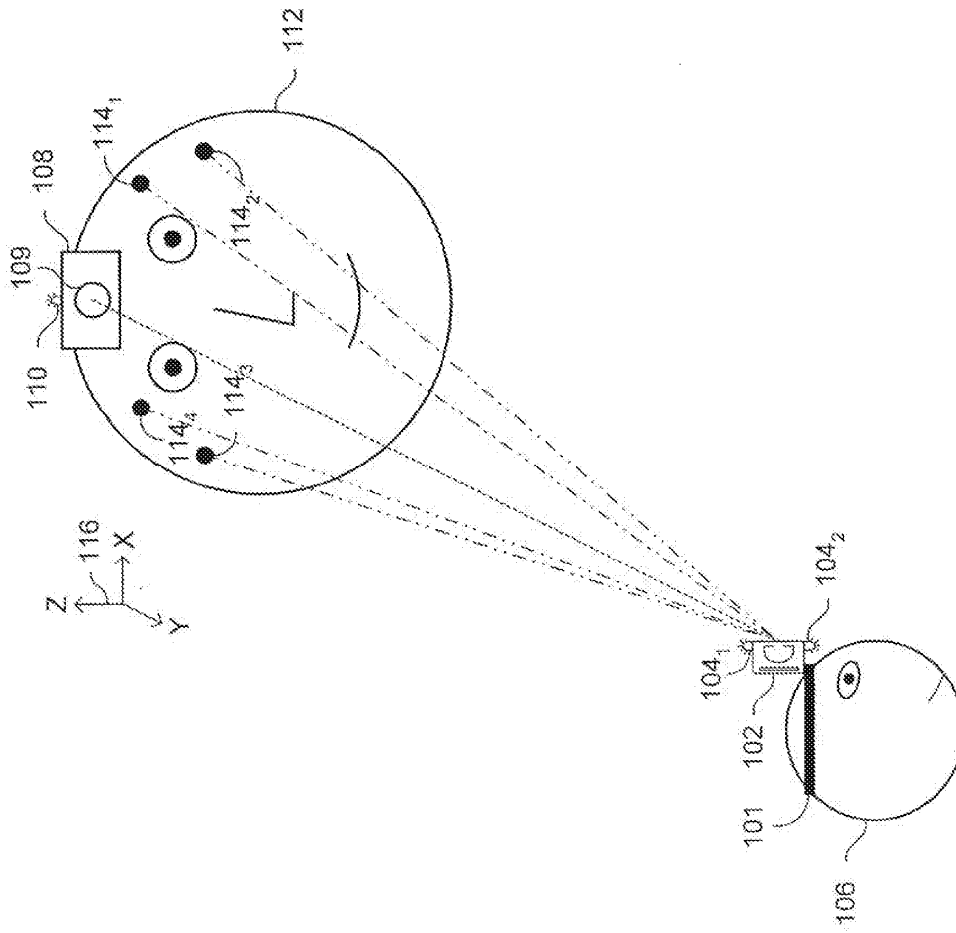


FIG. 1C

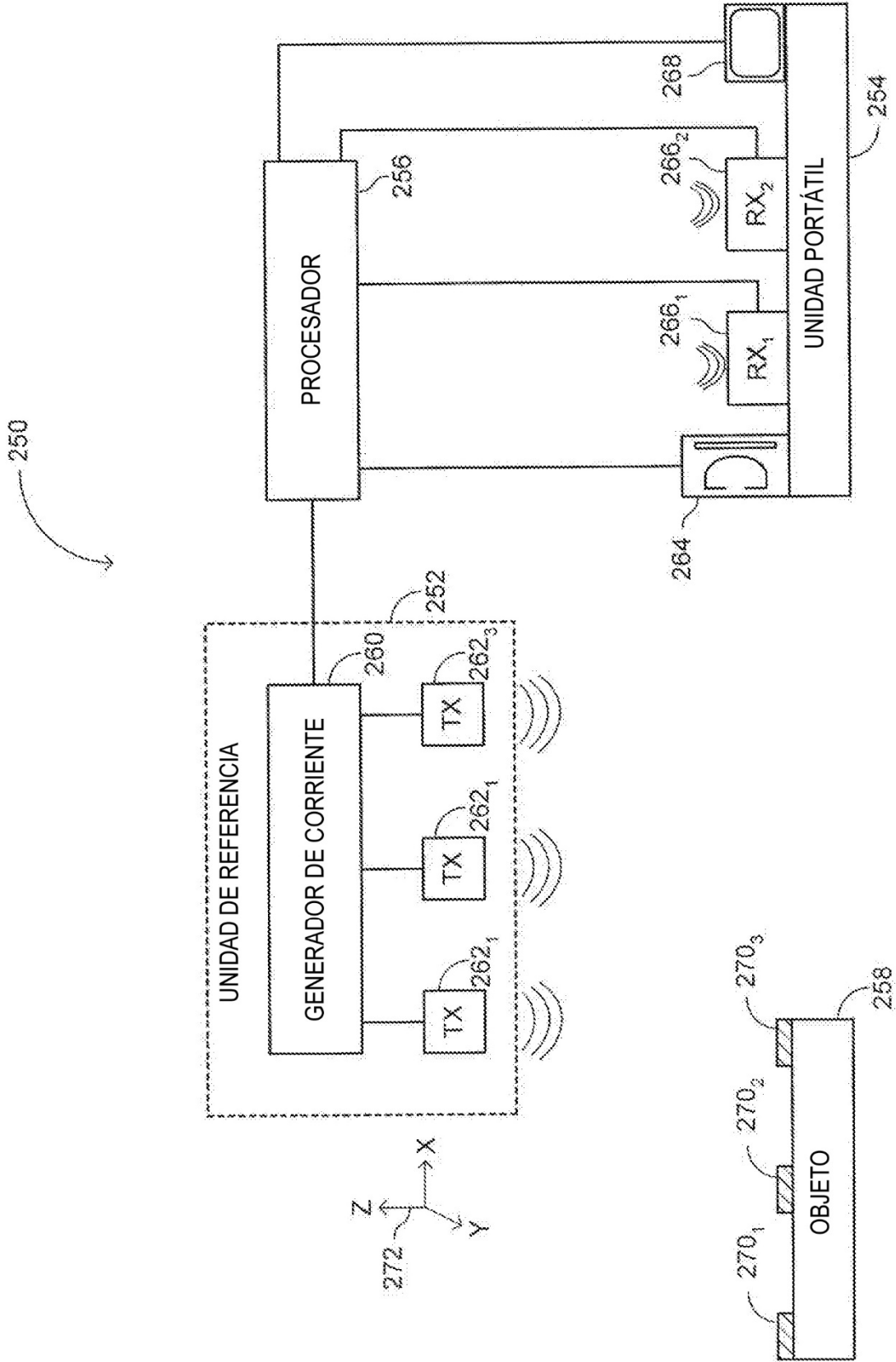


FIG.3

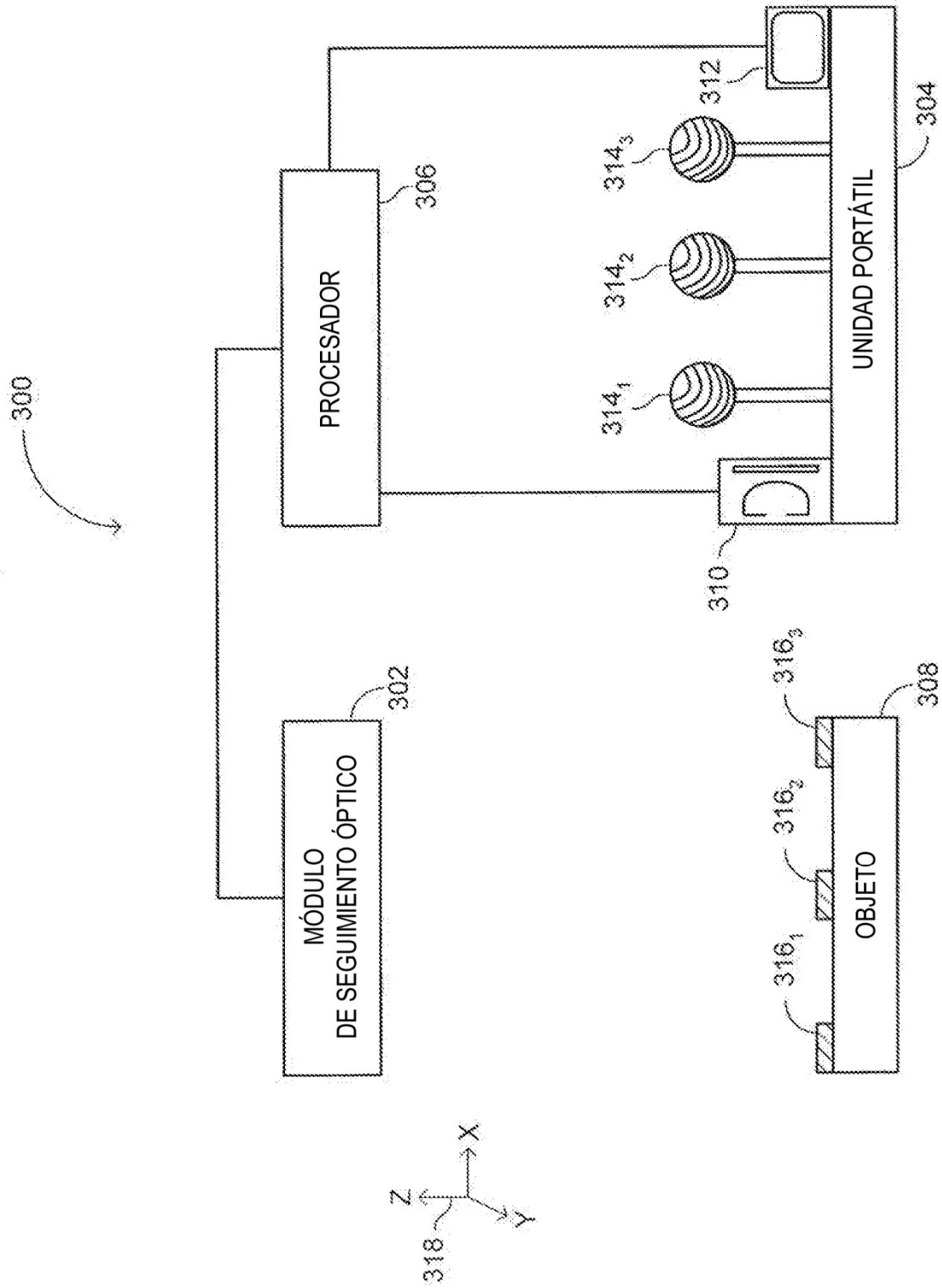


FIG.4

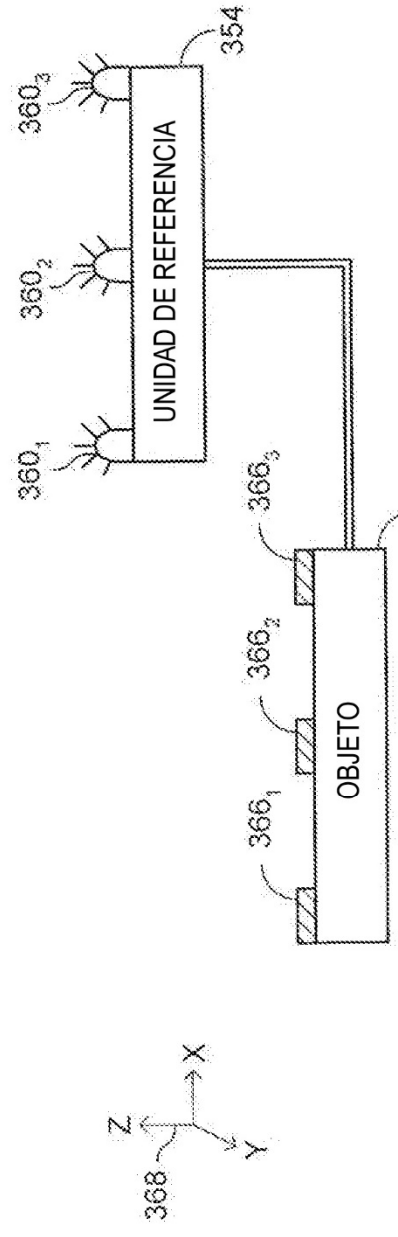
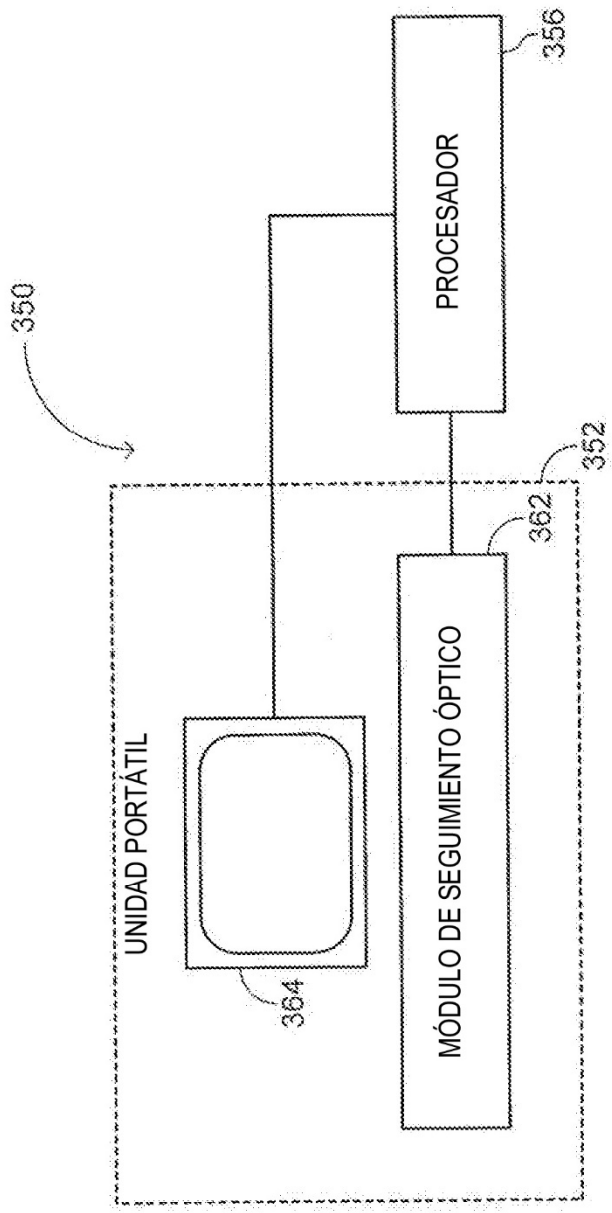


FIG.5

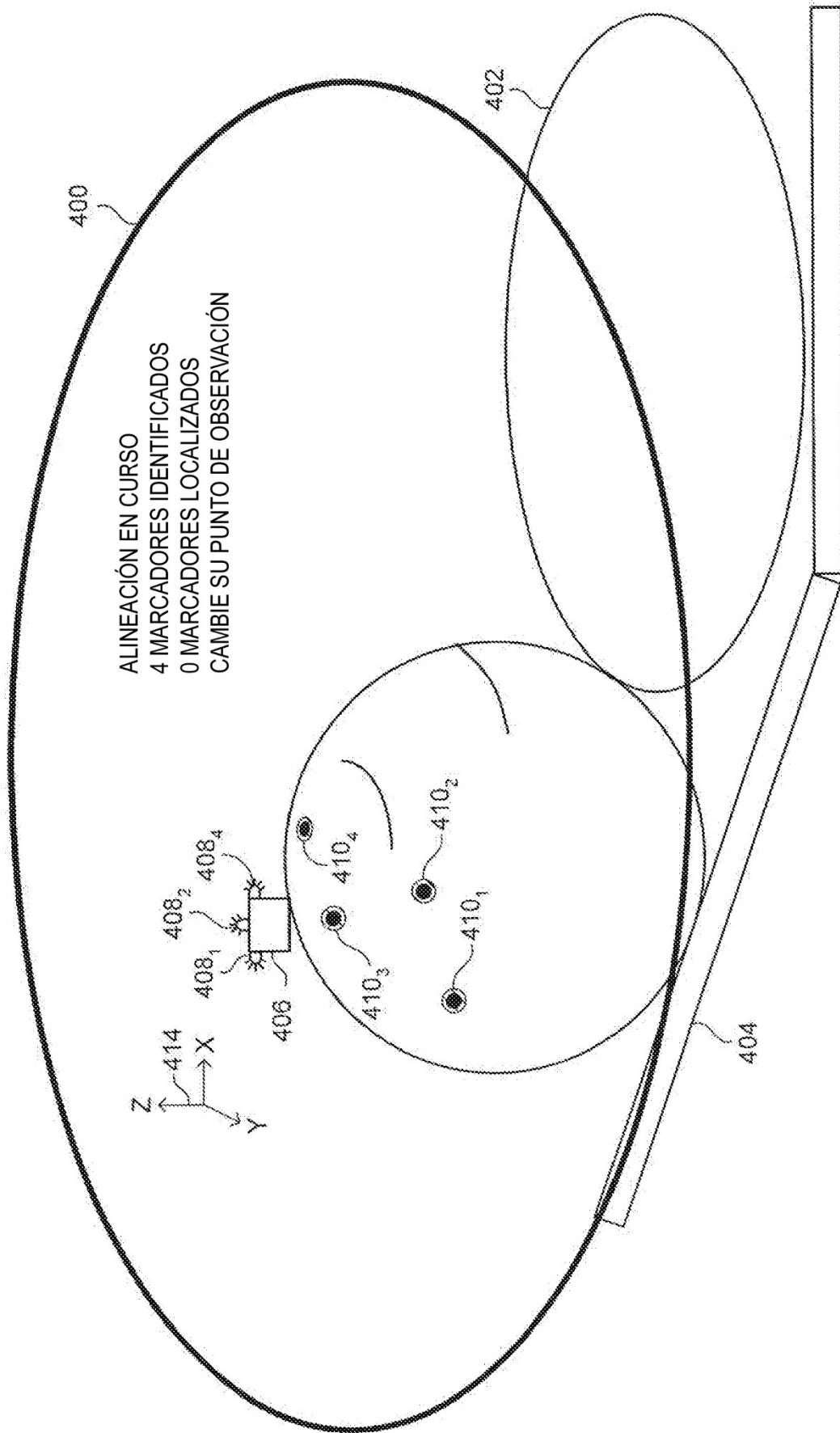


FIG. 6A

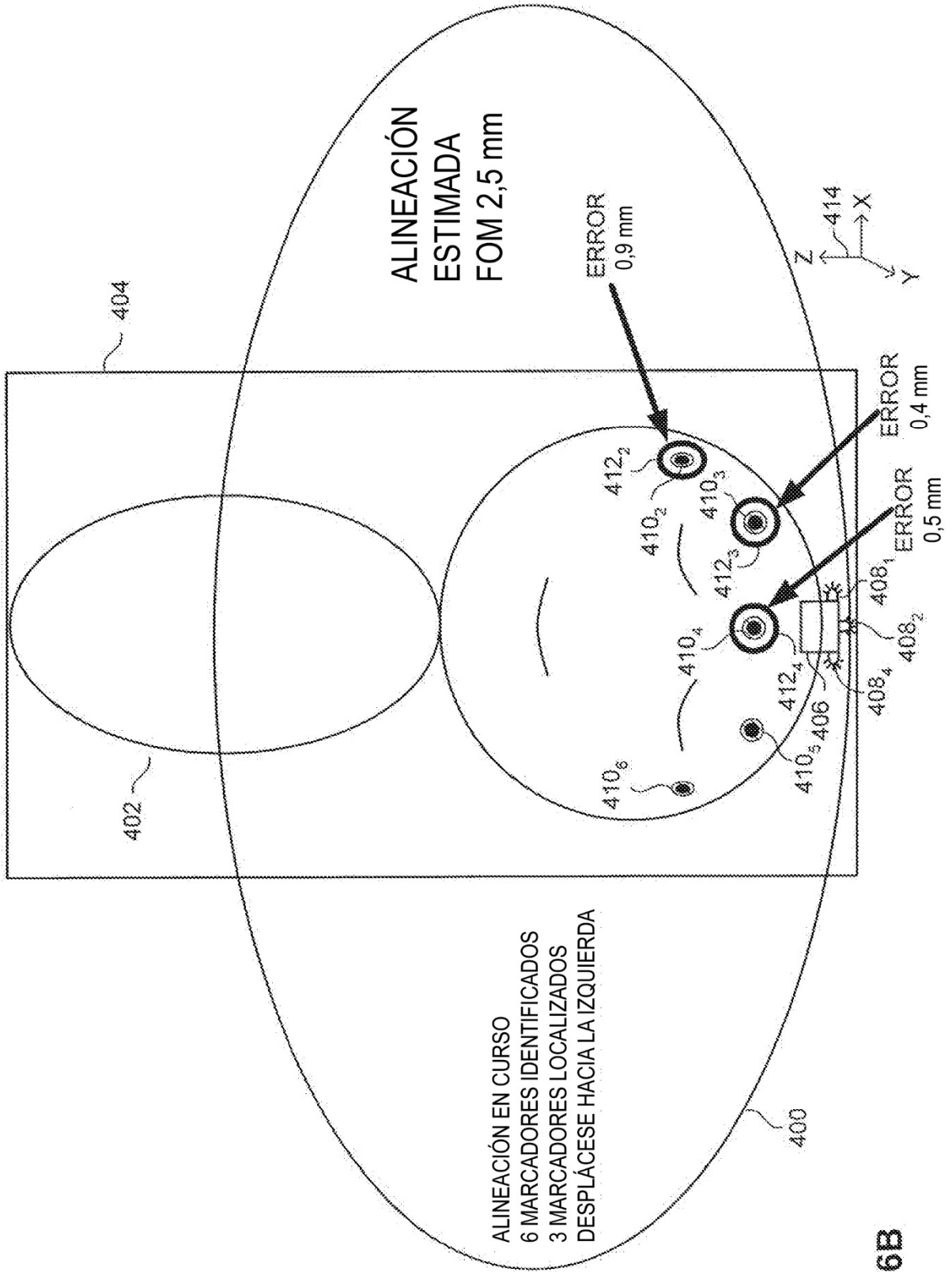


FIG. 6B

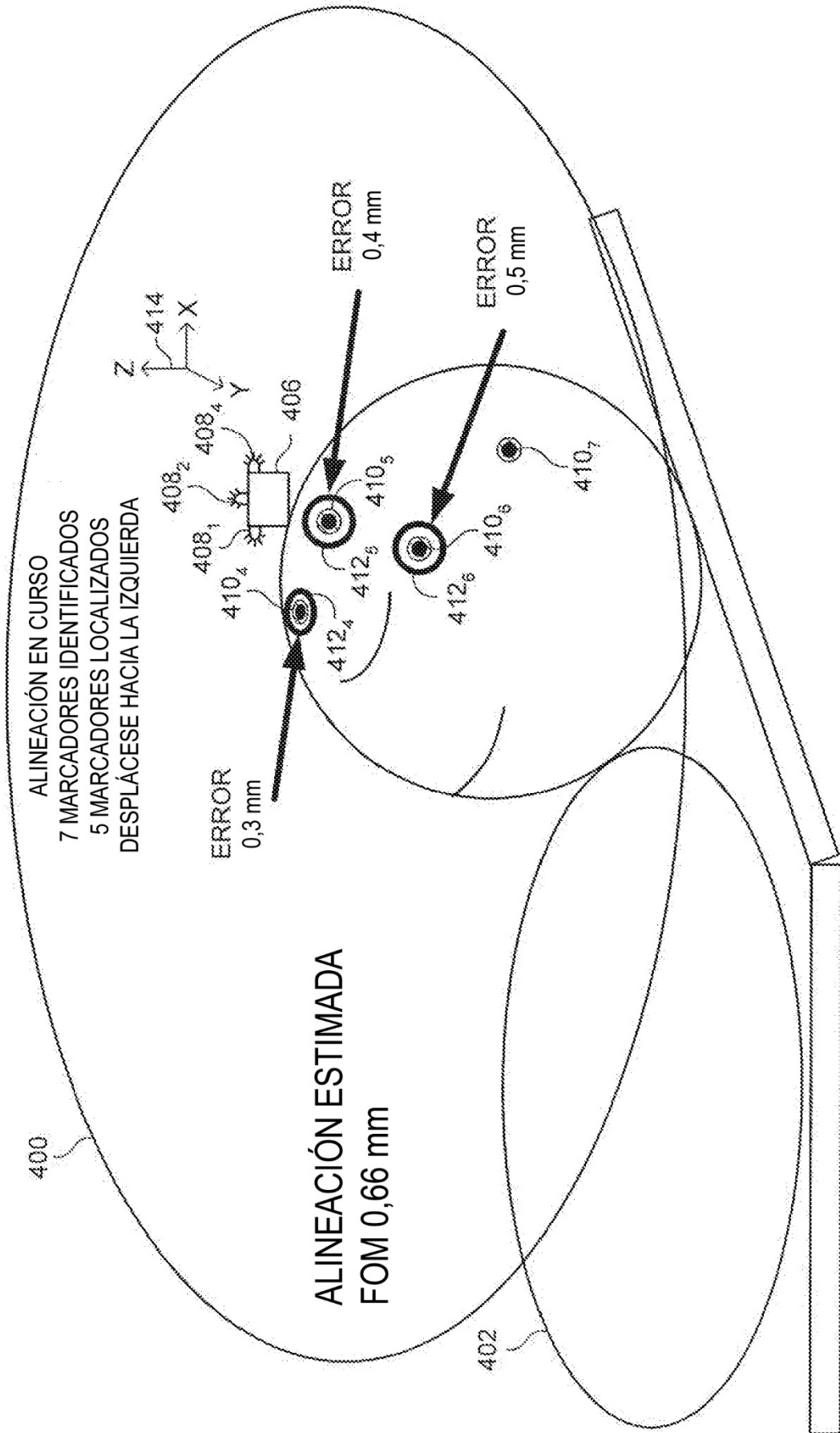


FIG. 6C

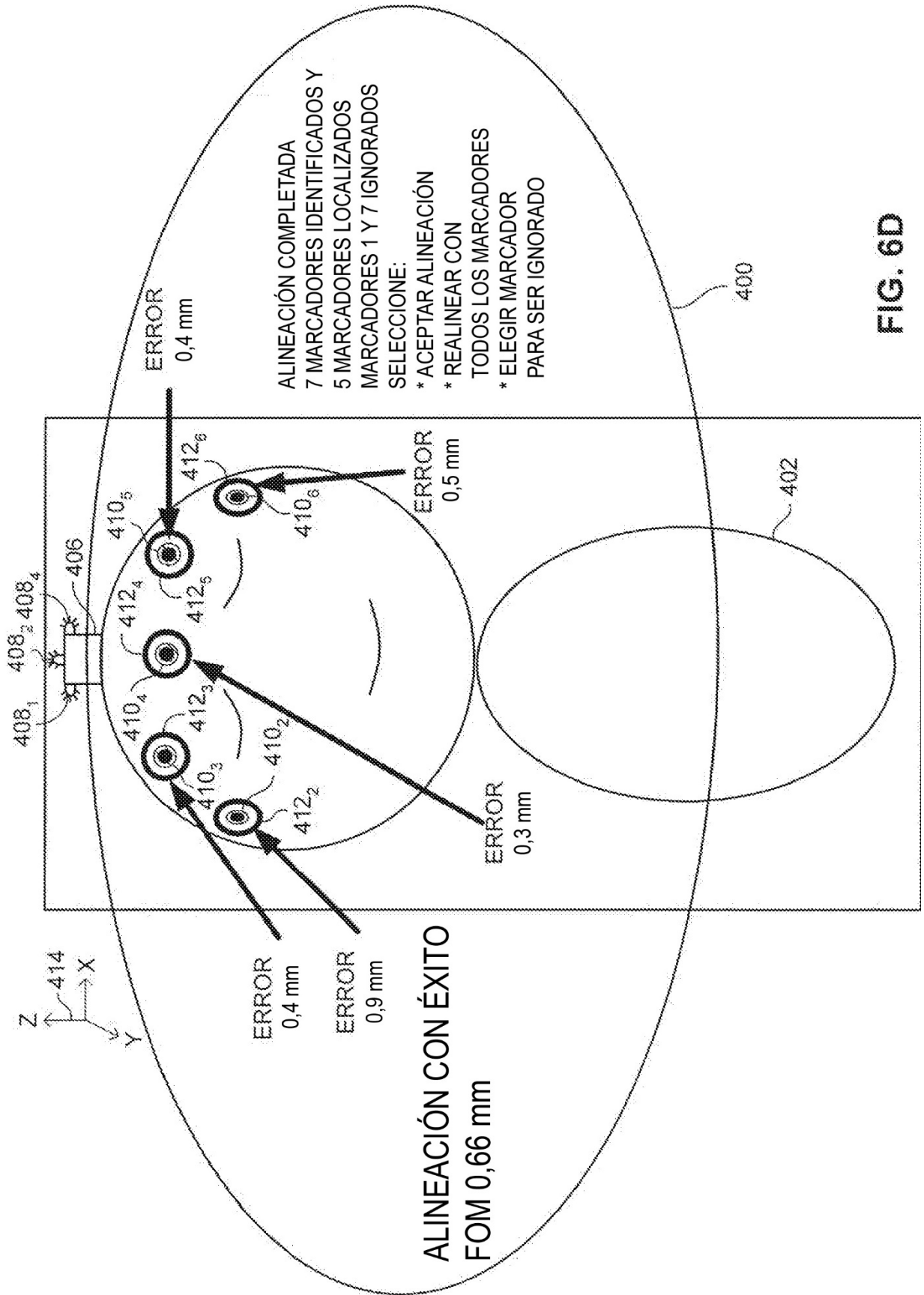


FIG. 6D

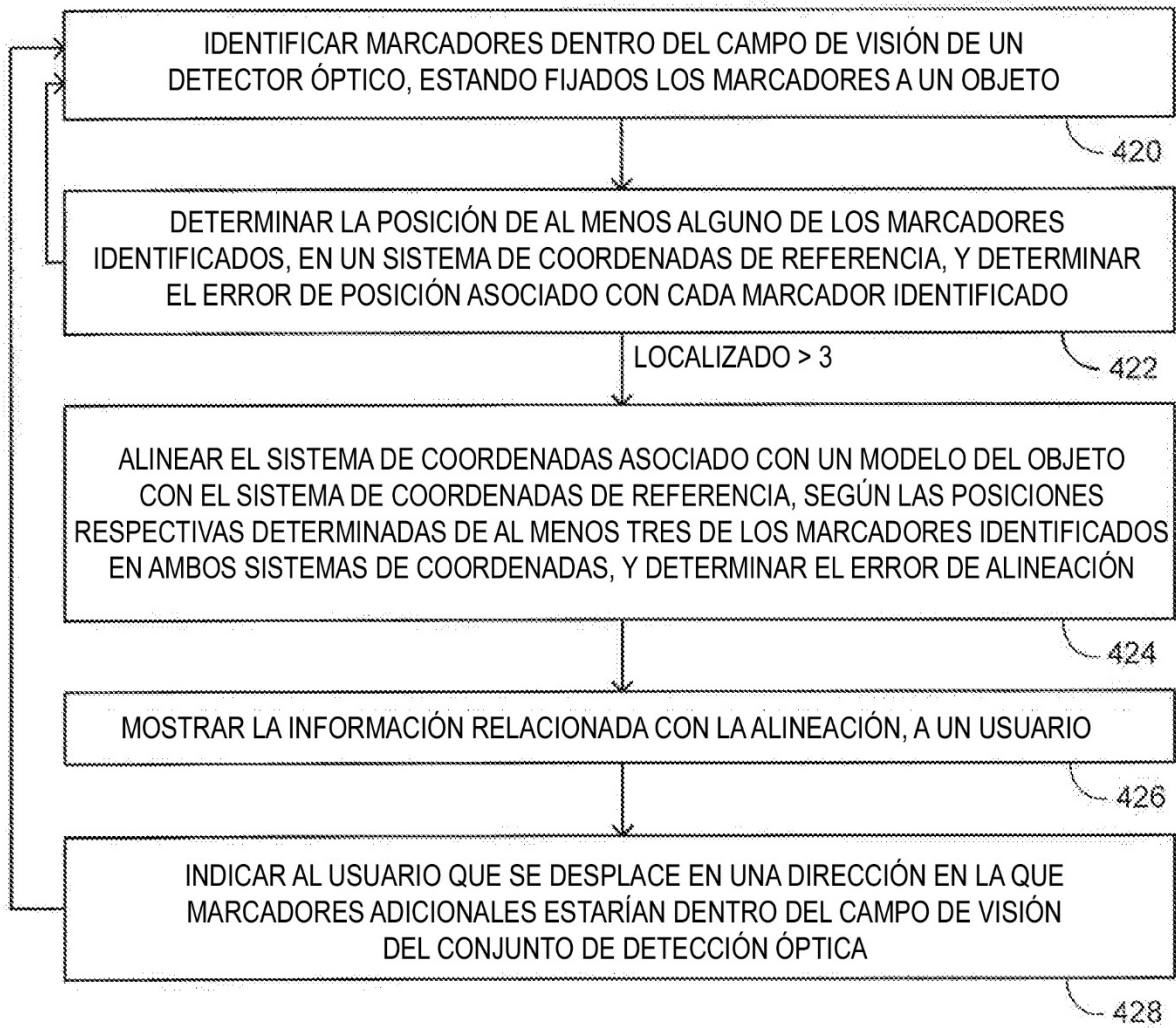


FIG. 7



FIG. 8

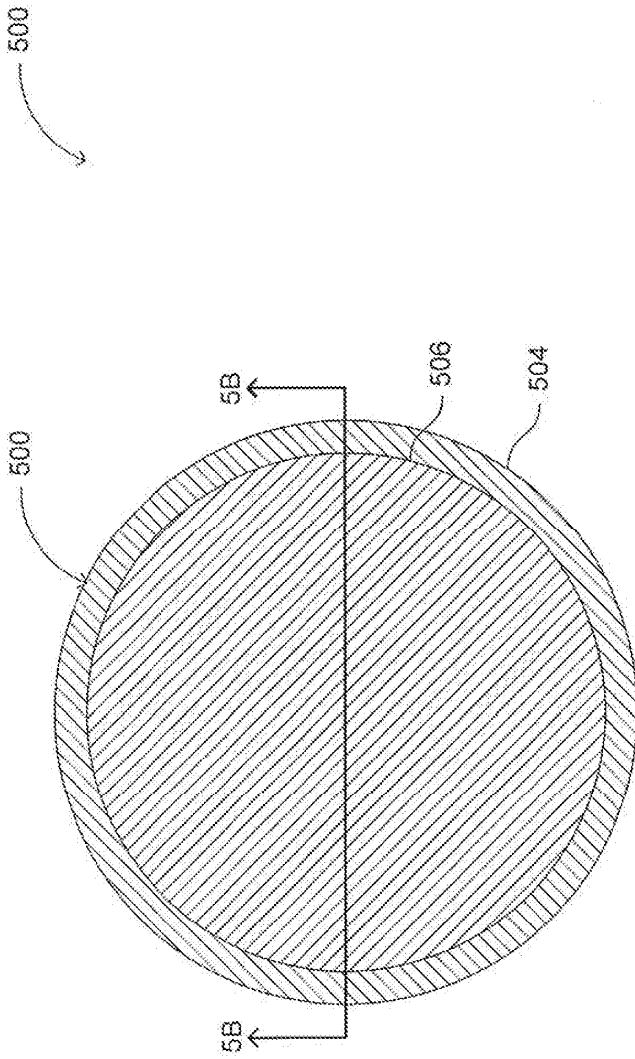


FIG. 9A

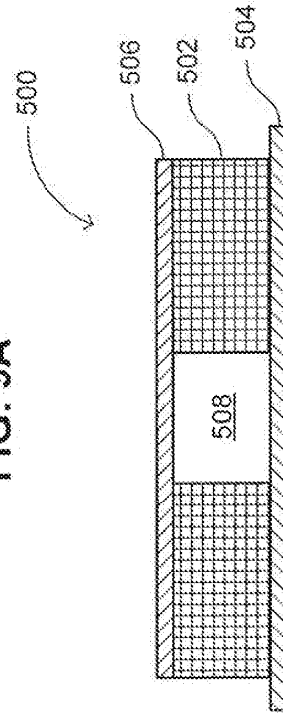


FIG. 9B

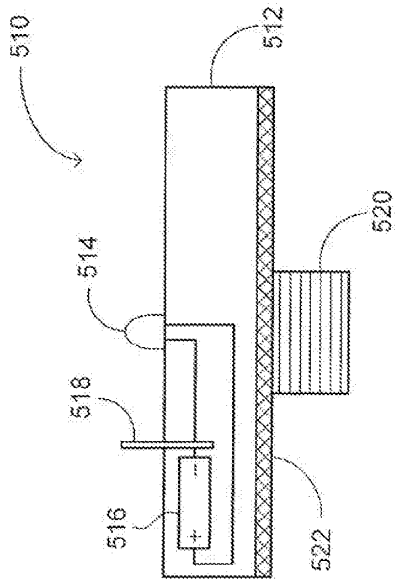


FIG. 9C

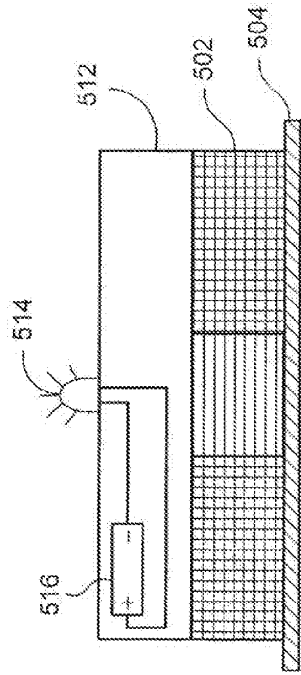


FIG. 9E

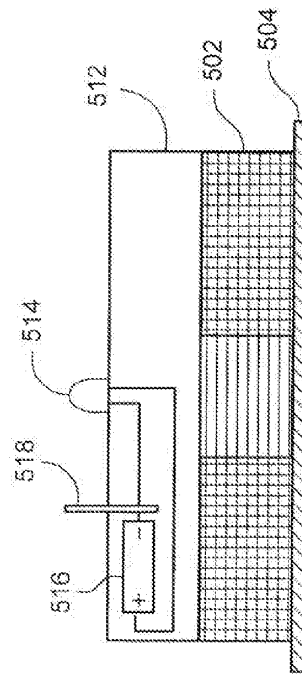


FIG. 9D

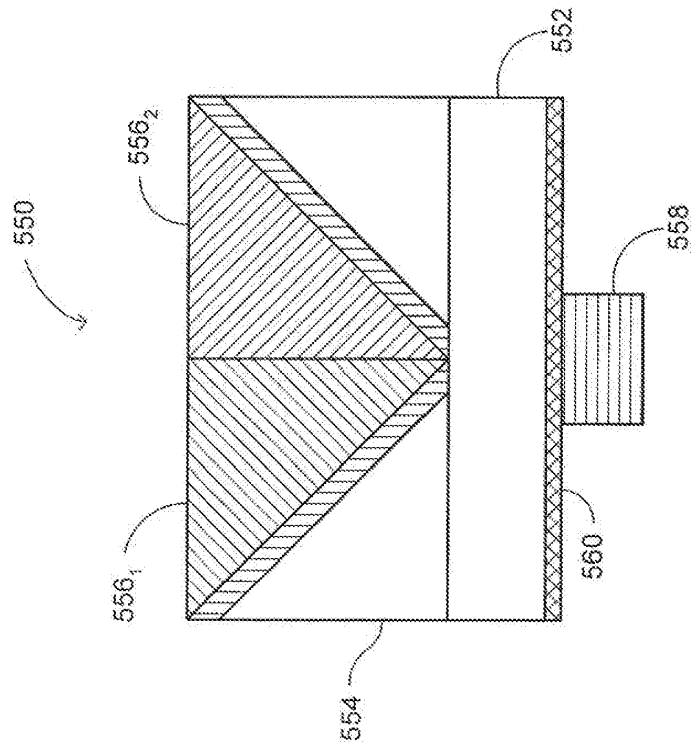


FIG. 10

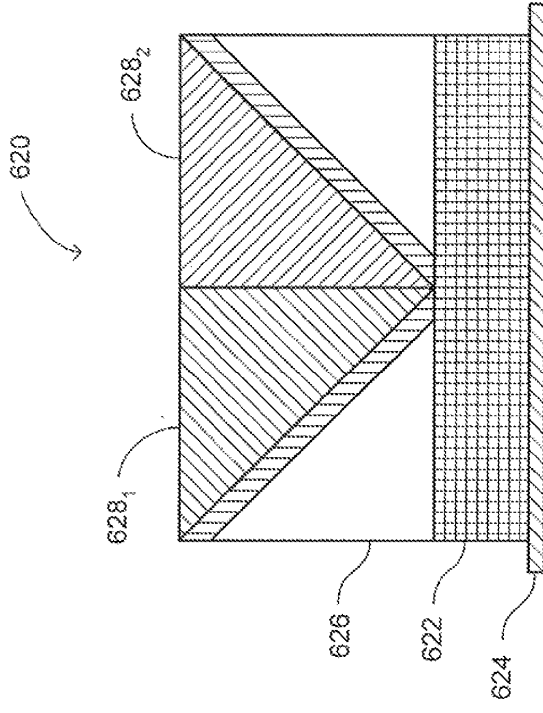


FIG. 11B

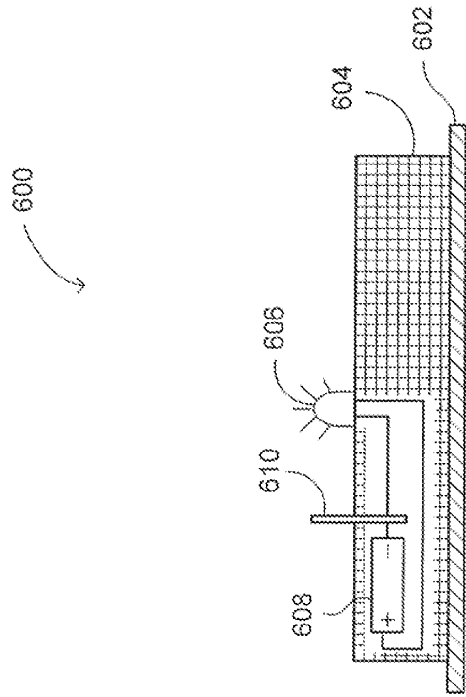


FIG. 11A