

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 006 657**

51 Int. Cl.:

A61B 34/32 (2006.01)

A61B 90/00 (2006.01)

A61B 34/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.07.2021 PCT/EP2021/068319**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.01.2022 WO22003154**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.07.2021 E 21735986 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2024 EP 4175581**

54 Título: **Dispositivo robótico para el guiado de un brazo robotizado**

30 Prioridad:

03.07.2020 FR 2007102

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

18.03.2025

73 Titular/es:

**SQUAREMIND (100.00%)
15 rue Yves Toudic
75010 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**SERRAT, TANGUY y
KHACHLOUF, ALI**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 3 006 657 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

Dispositivo robótico para el guiado de un brazo robotizado

5 CAMPO

El campo de la invención se refiere al de los dispositivos robotizados que permiten guiar en el espacio un brazo articulado para el tratamiento de una zona del cuerpo de un paciente. Más precisamente, el campo de la invención se refiere a un dispositivo que permite servocontrolar los movimientos de un brazo robotizado según un análisis de imágenes adquiridas en tiempo real.

ESTADO DE LA TÉCNICA

Actualmente existe la necesidad de definir un dispositivo que permita diagnosticar o tratar una zona del cuerpo de un paciente mediante análisis de imágenes o emisión de una señal, realizándose dicho tratamiento o dicho diagnóstico en tiempo real.

Un problema de las soluciones actuales es que implican o bien una importante instalación de equipos ópticos que permitan obtener imágenes desde diferentes puntos de vista para recomponer una imagen completa en 3D de un sujeto, o bien limitar el conjunto de tomas de imágenes limitando la instalación de un sistema óptico con la consecuencia de limitar la extensión del análisis para mantener el rendimiento del análisis en tiempo real.

En el primer caso, el sistema requiere la calibración de todas las ópticas y requiere la implementación de importantes medios de cálculo de las imágenes adquiridas para generar trayectorias en tiempo real.

En el segundo caso, el sistema no puede restaurar una vista completa y, por lo tanto, impone un protocolo complejo y más largo para diagnosticar o interactuar en la superficie de un cuerpo. Surge entonces el problema de restablecer una configuración de capturas de imagen que puedan ser compatibles con una configuración anterior cuando el análisis impone una segmentación del tratamiento en varias etapas de diferentes partes del sujeto.

El documento US2008033410 A1 divulga un dispositivo robótico con un sistema de adquisición de imágenes según el estado de la técnica.

Existe la necesidad de una solución compacta que permita la reconstrucción de un cuerpo humano de un paciente para interactuar en tiempo real con un dispositivo robotizado.

SUMARIO DE LA INVENCION

La invención que se detalla a continuación permite paliar los inconvenientes mencionados anteriormente. La invención está definida por la reivindicación 1, otras realizaciones se describen en las reivindicaciones dependientes.

Según un aspecto, la invención se refiere a un dispositivo robótico que asegura el guiado automático de un brazo robotizado, que comprende un bastidor que sujeta un brazo robotizado articulado según una pluralidad de ejes de libertad, incluyendo dicho brazo robotizado un dispositivo operador distal para generar una interacción hombre-máquina, incluyendo dicho dispositivo robótico, además, un sistema de adquisición de imágenes que incluye al menos dos dispositivos ópticos solidarios de dicho bastidor y dispuestos en al menos dos posiciones diferenciadas del bastidor, estando cada dispositivo óptico configurado para adquirir una imagen 3D, estando el sistema de adquisición de imágenes configurado para adquirir una pluralidad de imágenes 3D de un cuerpo humano de un paciente procedentes de al menos los dos dispositivos ópticos, incluyendo el dispositivo robótico una unidad de cálculo para generar en tiempo real un modelo de cuerpo humano de dicho paciente a partir de dichas imágenes 3D adquiridas y una trayectoria de guiado referenciada a la superficie de dicho modelo de cuerpo humano, estando servocontrolados los movimientos de dicho brazo robotizado a lo largo de dicha trayectoria de guiado.

Una ventaja es obtener un campo de visión suficiente para guiar un brazo robot en la superficie de un cuerpo humano. La disposición de un sistema de cámara 3D doble en un mismo bastidor permite obtener una referencia fiable para la calibración del sistema óptico y del brazo robot.

Según una realización, el sistema de adquisición de imágenes incluye al menos 4 dispositivos ópticos solidarios de dicho bastidor y dispuestos en al menos 4 posiciones diferenciadas de dicho bastidor. Según una realización, el sistema de adquisición de imágenes incluye al menos 6 dispositivos ópticos solidarios de dicho bastidor y dispuestos en al menos 6 posiciones diferenciadas de dicho bastidor. Según un ejemplo de realización, cada dispositivo óptico está configurado para adquirir una imagen 3D. Una ventaja de la multiplicación de dispositivos ópticos es generar una nube de puntos lo más completa posible de la superficie del cuerpo de un paciente. Una segunda ventaja se encuentra en la multiplicación de puntos de vista y, por tanto, la reducción de los efectos de oclusión de objetos que puedan encontrarse entre el robot y el sistema de captura, que pueden ser el propio robot, los brazos de un operador, etc. Según un ejemplo de realización, los dispositivos ópticos son desactivables individualmente o por parejas. Por ejemplo,

un actuador o una consigna táctil permiten desactivar los dispositivos ópticos inferiores situados en la parte inferior del bastidor cuando el paciente está en posición tumbada.

5 Según una realización, al menos un primer dispositivo óptico comprende una primera disposición lineal de al menos dos cámaras según primer eje. Según una realización, al menos un segundo dispositivo óptico comprende una segunda disposición lineal de al menos dos cámaras según un segundo eje, siendo dicho primer eje y dicho segundo eje no colineales entre sí. Una ventaja es permitir generar un campo de visión adaptado para generar una modelización de un cuerpo de un paciente de pie teniendo en cuenta la estatura del individuo y su envergadura. Según otra realización, no son colineales entre sí.

10 Según una realización, al menos un dispositivo óptico comprende un medio de orientación del eje de adquisición mediante el accionamiento de una unión de pivote.

Según una realización, cada dispositivo óptico comprende:

- 15
- al menos dos cámaras de infrarrojos; y/o
 - al menos una cámara en color; y/o
 - al menos un par de cámaras en color configuradas para generar las imágenes 3D por estereoscopía; y/o
 - al menos tres cámaras que comprenden dos cámaras de infrarrojos y una cámara en color; y/o

20

 - al menos un proyector de infrarrojos que proyecta un patrón y dos cámaras de infrarrojos que capturan dicho patrón proyectado en la superficie de un cuerpo humano.
 - al menos un proyector de luz que proyecta patrones de luz estructurada y al menos una cámara que captura dichos patrones; y/o
 - una cámara de tiempo de vuelo; y/o

25

 - un dispositivo emisor-receptor láser.

Según una realización, el sistema óptico incluye:

- 30
- un primer conjunto de dispositivos ópticos que incluyen un primer campo de visión comprendido entre 30° y 70° verticalmente y entre 50 y 100° horizontalmente y
 - un segundo conjunto de dispositivos ópticos que incluyen un segundo campo de visión comprendido entre 50° y 100° verticalmente y entre 30 y 70° horizontalmente.

35 Una ventaja es reducir la oclusión generada por los desplazamientos del brazo robot frente al sistema óptico que puede generar sombras. Según una realización, cada dispositivo óptico incluye un campo de visión rectangular.

40 Según una realización, los dispositivos ópticos están dispuestos para cubrir un campo de visión referido al sistema óptico que tiene un origen virtual desplazado fuera del plano que incluye los orígenes de los dispositivos ópticos. Así, al estar situado detrás de los orígenes ópticos, es decir, a una distancia mayor del sujeto, el origen del campo de visión virtual ofrece la posibilidad de optimizar la construcción de un campo óptico. Es posible obtener un campo de visión virtual que tenga una cobertura que permita una vista más amplia o más separada gracias a una disposición de los dispositivos ópticos distantes entre sí. Una ventaja es permitir adquirir imágenes de un paciente en posición de pie o tumbada.

45 Según una realización, al menos dos dispositivos ópticos están distanciados en un plano horizontal de una marca de referencia cartesiana una distancia comprendida en el rango [30 cm y 100 cm]. Según una realización, al menos dos dispositivos ópticos están distanciados según un eje vertical de una marca de referencia cartesiana una distancia comprendida en el rango [30 cm y 100 cm]. El interés es cubrir una amplia superficie, multiplicar los puntos de vista y reducir el ruido y las oclusiones que provocan adquisiciones incompletas.

50 Según una realización, los dispositivos ópticos están dispuestos para cubrir un campo de visión cubierto por un ángulo sólido de valor superior o igual a $3 \cdot \pi/2$.

55 Según una realización, el bastidor comprende una pantalla que permite visualizar una imagen 3D del cuerpo de un individuo a partir de al menos un dispositivo óptico. Una ventaja es posicionar a un paciente de manera óptima al tener información directa de su posición en la pantalla. Otra ventaja es realizar operaciones de calibraciones o ajustes de orientaciones de los dispositivos ópticos. Según una realización, esta visualización se realiza en tiempo real para representar la imagen del paciente y, por tanto, su posicionamiento en el espacio en la pantalla.

60 Según una realización, el bastidor comprende un cuerpo principal y una base, sujetando dicho cuerpo principal el sistema óptico y estando provista dicha base de medios de desplazamiento para hacer móvil el dispositivo robótico.

65 Según una realización, la base incluye un contrapeso, una pluralidad de ruedecillas y al menos un freno accionable para estabilizar dicho dispositivo robótico en una posición fija. Una ventaja es permitir una flexibilidad en el posicionamiento del dispositivo robótico en muchos lugares y que no requiere la preinstalación de un sistema óptico y de una consola de tratamiento.

Según una realización, el bastidor incluye medios de pivotamiento del cuerpo principal con respecto a la base y un medio para bloquear el pivotamiento de dicho cuerpo principal para orientar dicho cuerpo principal con respecto a la base en un ángulo deseado.

5 Según una realización, el cuerpo principal incluye aletas simétricas a ambos lados del eje vertical del cuerpo principal para sujetar los dispositivos de adquisición, incluyendo al menos una aleta un mango. Una ventaja es aumentar la envergadura del dispositivo robótico en cuanto al posicionamiento de las ópticas para ampliar el campo de visión del sistema óptico.

10 Según una realización, el dispositivo robótico comprende al menos un dispositivo electrónico para generar, a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición, una nube de puntos que representa una superficie tridimensional del cuerpo de un paciente. Una ventaja es generar datos que puedan ser procesados fácilmente por una red neuronal o cualquier otro algoritmo para que este último pueda generar una nube de puntos, una malla tridimensional o un modelo 3D de un cuerpo, fácilmente explotable para guiar un brazo robot.

15 Según una realización, el dispositivo electrónico genera una nube de puntos global a partir de una pluralidad de nubes de puntos generadas a partir de cada imagen 3D adquirida por cada dispositivo óptico, incluyendo dicha nube de puntos global una compilación de puntos de cada nube de puntos. Una ventaja es rellenar las porciones de nubes de puntos del cuerpo humano que no son adquiridas por un dispositivo óptico debido a una oclusión de su campo de visión en una porción del espacio. Otra ventaja es maximizar la porción del cuerpo del paciente que se modelizará.

20 Según una realización, el brazo robotizado comprende al menos 5 porciones, extendiéndose cada porción según un eje y pivotando con respecto a al menos un eje de otra porción por medio de una unión de pivote, llevando consigo los pivotamientos del conjunto de las uniones de pivote una cinemática del brazo robotizado. Una ventaja es permitir un amplio campo de aplicaciones, particularmente en dermatología o aplicaciones de tratamiento de los tatuajes y, más generalmente, aplicaciones en el campo médico no invasivo e invasivo.

25 Según una realización, el dispositivo electrónico genera, a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición, consignas de guiado de la cinemática del brazo robotizado.

30 Según una realización, el dispositivo electrónico genera un primer modelo 3D de una superficie de la totalidad o parte de un cuerpo humano, incluyendo dicho primer modelo 3D una malla, utilizándose dicho primer modelo 3D para calcular una primera trayectoria de guiado en la superficie del primer modelo 3D, y para calcular una primera cinemática del brazo robotizado. Una ventaja es generar un modelo del cuerpo de un paciente para planificar una trayectoria a efectos de un desplazamiento y de un guiado del brazo robot.

35 Según una realización, el dispositivo electrónico genera en tiempo real, a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición, un nuevo modelo 3D de una superficie de la totalidad o parte de un cuerpo humano, incluyendo dicho modelo 3D una malla, utilizándose dicho modelo 3D generado en momentos regulares para recalcular en tiempo real una nueva trayectoria de guiado en la superficie del modelo 3D, y para recalcular en tiempo real una nueva cinemática del brazo robotizado. Una ventaja es actualizar recurrentemente el cálculo de la trayectoria, particularmente en un intervalo de tiempo inferior a 30 ms.

40 Según una realización, el dispositivo electrónico comprende una autocalibración de los dispositivos ópticos del sistema de adquisición con respecto a un dispositivo óptico de referencia de dicho sistema de adquisición. Ventajosamente, el dispositivo de referencia puede elegirse como referencia de calibración para el posicionamiento del brazo robotizado. Así, las nubes de puntos se plasman en una misma marca de referencia común gracias a las diferentes transformaciones geométricas calculadas mediante un proceso de calibración.

50 **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Otras características y ventajas de la invención se desprenderán con la lectura de la descripción detallada que sigue, con referencia a las figuras adjuntas, que ilustran:

55 [Fig. 1]: figura 1: un dispositivo robótico según una realización de la invención sin brazo robotizado articulado;
[Fig. 2]: figura 2: un dispositivo robótico según una realización de la invención provisto de un brazo robotizado articulado.

60 [Fig. 3]: figura 3: una vista frontal de un dispositivo robótico según una realización de la invención sin brazo robotizado articulado;

[Fig. 4]: figura 4: un brazo robotizado adaptado para fijarse en un dispositivo robótico según una realización de la invención;

[Fig. 5]: figura 5: un ejemplo de disposición de un dispositivo robótico de una realización de la invención al lado de una mesa de intervención en la que está instalado un paciente;

65 [Fig. 6]: figura 6: un ejemplo de disposición del sistema de adquisición que permite obtener un campo de visión para adquirir la superficie de un cuerpo de un paciente de pie;

[Fig. 7]: figura 7: un primer ejemplo de cabeza de un brazo robotizado del dispositivo robótico de la invención;
 [Fig. 8]: figura 8: un segundo ejemplo de cabeza de un brazo robotizado del dispositivo robótico de la invención;
 [Fig. 9]: figura 9: un ejemplo de un dispositivo de la invención basculante para adaptar un campo de visión a una situación determinada;
 5 [Fig. 10]: figura 10: un ejemplo de un dispositivo óptico orientable según la invención;
 [Fig. 11]: figura 11: un ejemplo de trayectoria planificada en la superficie del cuerpo de un paciente que se recalcula en tiempo real para controlar los desplazamientos de un brazo robot de la invención;
 [Fig. 12]: figura 12: un ejemplo de disposición del dispositivo robótico de la invención que permite recorrer la superficie del cuerpo de un paciente en posición de pie,
 10 [Fig. 13]: figura 13: un ejemplo de disposición del dispositivo robótico de la invención que permite recorrer la superficie del cuerpo de un paciente en posición tumbada.

El dispositivo robótico 1 de la invención tiene como objetivo permitir una interacción de un brazo robotizado articulado 6 con un cuerpo humano 100. La interacción está asegurada por un dispositivo operador distal 8 del brazo robotizado 6 y corresponde, por ejemplo, a la emisión de una señal, a la toma de una imagen o también a la generación de un contacto háptico sobre la piel. Son posibles otras interacciones con la superficie o a una profundidad cercana a la superficie del cuerpo de un paciente. El dispositivo robótico de la invención permite guiar en el espacio los movimientos del brazo robotizado articulado 6 para permitir una interacción en la totalidad o parte del cuerpo humano según una planificación previamente definida.

Un objetivo de la invención es permitir adquirir imágenes de un cuerpo humano 100 según un campo de visión adaptado para generar un modelo de cuerpo humano con el fin de guiar el brazo robotizado 6 en tiempo real. Este objetivo lo consigue la invención gracias en particular a una disposición optimizada de un sistema de adquisición de imágenes 3'. Para ello, se describe un dispositivo robótico 1 compacto y móvil. Tal dispositivo robótico 1 comprende, por ejemplo, medios de estabilización del dispositivo robótico 1 para garantizar un punto de referencia fiable y movibilidades de componentes, tales como la óptica o un brazo articulado 6, de dicho dispositivo robótico 1, que ofrece una amplia variedad de configuraciones de uso.

Además, una ventaja de la invención es proporcionar un dispositivo robótico 1 amovible, que se puede desplegar rápidamente según diferentes configuraciones de uso y que ocupa un espacio reducido.

La figura 1 representa una realización de un dispositivo robótico 1 de la invención.

Según un ejemplo de realización, el bastidor 2 del dispositivo robótico 1 de la invención comprende una parte superior 21 que comprende un soporte de fijación 24 de un brazo robotizado 6, una pantalla 4, un sistema de adquisición de imágenes 3' que incluye al menos dos dispositivos ópticos 3. En la realización de la figura 1, se representan 6 dispositivos ópticos 31, 32, 33, 34, 35, 36. Además, el dispositivo robótico 1 comprende una parte inferior que forma una base 23 que soporta la parte superior 21 y la hace amovible.

Según una realización, el dispositivo robótico 1 de la invención comprende una pluralidad de brazos robotizados 6. En este caso, están fijados, por ejemplo, a diferentes soportes de fijación 24 de un mismo bastidor 2.

Base - Medio de desplazamiento

Según esta realización, el dispositivo robótico 1 comprende un bastidor 2 amovible en el espacio gracias a un medio de movimiento representado en la figura 1 por una pluralidad de ruedecillas 25 fijadas a una base 23 de dicho bastidor 2. Según otras variantes, el medio de desplazamiento puede ser, alternativamente, carriles guiados en ranuras predefinidas de una superficie de un suelo o de una pared o, a la inversa, ranuras que cooperan con carriles dispuestos en la superficie de un suelo o de una pared. Según un ejemplo de esta variante, unos carriles dispuestos horizontalmente a lo largo de una pared o de un tabique tienen un perfil curvado que permite sujetar el brazo robot 1 y hacerlo circular por una porción de ángulo de 90°. En el caso en que el dispositivo robótico 1 es desplazable a lo largo de una pared vertical, el dispositivo robótico 1 de la invención puede no comprender base y solo una parte superior 21. Por lo tanto, puede no estar en contacto con el suelo en ciertas realizaciones. Según una realización, el dispositivo robótico 1 se fija a la pared, por ejemplo, mediante un clip, tornillos o cualquier otro medio de fijación.

Según otro ejemplo, el medio de desplazamiento es un fieltro dispuesto en la superficie inferior de la base 23 para permitir que esta se deslice sobre un suelo liso. Según otra realización, el medio de desplazamiento es un cojín de aire propulsado mediante un mando durante un tiempo predefinido y que permite desplazar el dispositivo robótico 1. Finalmente, según otro ejemplo, el medio de desplazamiento es un conjunto de microesferas que permiten una rodadura del dispositivo robótico 1 limitando los rozamientos.

Frenos

Según una realización, la base 23 comprende un freno 26 que permite bloquear el desplazamiento de la base 23. El freno 26 permite en particular asegurar una sujeción fija de las ruedas 25. Preferiblemente, está posicionado en la base 23, en particular cuando el dispositivo robótico 1 es desplazable, por ejemplo gracias a un medio de

desplazamiento dispuesto en la base 23. El freno 26 también permite reducir la velocidad de desplazamiento del dispositivo robótico 1 cuando se acciona durante su movimiento. Según un ejemplo, la base 23 comprende una pluralidad de frenos 26 que permiten estabilizar el dispositivo robótico 1. Según un ejemplo de realización, para estabilizar el dispositivo robótico 1, la base 23 comprende un estabilizador. El estabilizador es activable cuando se acciona el freno 26. Permite, por ejemplo, anclar la base 23 al suelo. Este estabilizador puede realizarse mediante ventosas, el despliegue de una masa en contacto con el suelo, un elemento de contacto con la superficie de apoyo como un caballete o incluso un actuador que permita enclavar el bloqueo de las ruedas. Según una realización, unos pitones de estabilización desplegados permiten mantener el dispositivo robótico 1 de la invención en una posición fija.

5
10 Cuando el dispositivo robótico 1 se sujeta en una pared vertical, tal como una pared o un tabique, el freno 26 puede estar dispuesto en la base 23 o la parte superior 21. Permite enclavar la posición del dispositivo robótico 1 en una posición dada de la pared. El freno 26 puede tomar la forma de un tornillo de apriete, un clip que permite enclavar la posición del dispositivo robótico 1 dentro de una ranura u otras formas.

15 Soporte de fijación

La parte superior 21 del bastidor 2 comprende un soporte de fijación de un brazo robotizado 6. La figura 2 representa un ejemplo de un brazo robotizado 6 de la invención que está enchufado en un soporte de fijación 24.

20 El soporte de fijación 24 comprende una cavidad receptora de un extremo proximal del brazo robotizado 6. Según diferentes modos de fijación, el brazo robotizado 6 puede enchufarse, engarzarse elásticamente o atornillarse en la cavidad receptora. Según diferentes realizaciones, el soporte de fijación 24 comprende un medio de apriete y un medio de enclavamiento 241 del brazo robotizado 6. El medio de apriete permite obtener una solidaridad entre el brazo robotizado 6 y el bastidor 21 limitando el juego entre las piezas. También permite una mejor sujeción del brazo robotizado 6 por el bastidor 2. El medio de enclavamiento 241 permite asegurar la fijación para evitar una desvinculación accidental del brazo robotizado 6 del bastidor 2.

25
30 El soporte de fijación 24 se hace preferiblemente solidario según al menos un eje con el bastidor 2. Según una realización, el brazo robotizado 6 se fija en el bastidor 2 según un eje sustancialmente perpendicular al plano de la parte superior 21. Cuando el plano principal de la parte superior es vertical, el brazo robotizado 6 se sujeta según un eje horizontal al nivel del soporte de fijación 24.

35 El brazo robotizado 6 es un brazo que comprende una pluralidad de porciones, estando cada una articulada con respecto a otra según al menos un grado de libertad. La porción proximal 60 es la porción destinada a encajarse en el soporte de fijación 24. La porción distal 65 es la porción destinada a sujetar un dispositivo operador distal 8. Este último dispositivo operador distal 8 está destinado a navegar cerca de la piel de un paciente para permitir una interacción, como tomar una fotografía, emitir un haz láser, un contacto sensorial.

40 Según una realización, el soporte de fijación 24 comprende una unión de pivote que permite orientar el eje principal de la cavidad receptora o del eje proximal del brazo robotizado 6, es decir, de la porción proximal 60 de este último. Según una realización, el eje de la porción distal 60 del brazo robotizado 6 puede, por tanto, disponerse perpendicular al plano de la parte superior 21 cuando se introduce y luego puede inclinarse mediante una acción sobre el soporte de fijación 24. Para ello, el soporte de fijación 24 puede haberse hecho móvil según un grado de libertad. En este caso, puede comprender, por ejemplo, un mango de orientación y un dispositivo de enclavamiento de la orientación del brazo robotizado 6. Según otro caso, el ajuste de la orientación de la base del soporte de fijación 24 del brazo robotizado 6 es motorizado y controlable desde la interfaz o un botón. Así, después de desenclavar la orientación, un operador puede orientar el brazo robotizado 6 según una inclinación deseada y enclavar la nueva orientación del eje de la porción distal del brazo robotizado 6 sujetado en el soporte de fijación 24. Según un ejemplo, la unión de pivote es, por ejemplo, una unión de rótula, limitada en sus grados de libertad a porciones de ángulos. Una rótula de este tipo permite, por ejemplo, orientar el eje de la porción proximal en el plano $P_1(0, y_1, x_1)$ o en el plano $P_2(0, y_1, z_1)$ de la marca de referencia R_1 representada en la figura 1.

45
50
55 Las figuras 12 y 13 permiten representar dos posiciones diferentes del brazo robotizado 6 que está fijado al soporte de fijación 24. El soporte de fijación 24 se representa aquí según otro ejemplo. La porción proximal del brazo robot 6 ha cambiado de orientación entre la figura 12 y la figura 13 en aproximadamente 45°. En este caso de ejemplo, el soporte de fijación 24 comprende una unión de pivote que permite orientar la parte proximal del brazo robot 6 alrededor de un eje comprendido en el plano horizontal.

60 Sistema de adquisición de imágenes

65 El dispositivo robótico 1 de la invención comprende una pluralidad de dispositivos ópticos 3. Según el ejemplo de la figura 1, 6 dispositivos ópticos están dispuestos en la parte superior del bastidor 2. Según una realización, los dispositivos ópticos 3 están dispuestos en un mismo plano y por defecto están orientados según un mismo eje. Una ventaja de la invención es configurar un dispositivo robótico 1 de la invención que pueda ofrecer un amplio campo de visión para adquirir imágenes de un cuerpo humano en posición de pie o tumbada.

Para ello, son posibles diferentes configuraciones según diferentes variantes de realización que pueden combinarse entre sí en función del número de dispositivos ópticos 3 que se desee implementar.

Una primera variante consiste en espaciar dispositivos ópticos 3 una cierta distancia entre ellos para aumentar el campo de visión en anchura Fov_1 , en el plano $P_1(0, y_1, x_1)$ en la figura 1. Los diferentes dispositivos ópticos 3 están preferiblemente espaciados en anchura una distancia comprendida entre 10 cm y 2 m. Más concretamente, una distancia entre dos dispositivos ópticos 3 dispuestos sobre un mismo eje horizontal puede estar comprendida entre 30 cm y 150 cm. Para obtener un dispositivo robótico 1 lo más compacto posible, que pueda, por ejemplo, desplazarse de una sala a otra, una distancia entre dos dispositivos ópticos 3 dispuestos sobre un mismo eje horizontal puede estar comprendida entre 30 cm y 60 cm. Esta distancia entre dos dispositivos ópticos 3 permite aumentar el campo de visión horizontalmente para adquirir la imagen de un paciente con los brazos separados del cuerpo extendido según un eje horizontal.

Una segunda variante consiste en espaciar dispositivos ópticos una cierta distancia entre ellos para aumentar el campo de visión en altura Fov_2 , en el plano $P_2(0, y_1, z_1)$ en la figura 1. Los diferentes dispositivos ópticos 3 están preferiblemente espaciados a lo alto una distancia comprendida entre 10 cm y 2 m. Más concretamente, una distancia entre dos dispositivos ópticos dispuestos sobre un mismo eje vertical puede estar comprendida entre 30 cm y 150 cm. Según un rango más pequeño que ofrece una mejor compacidad del dispositivo robótico 1, la distancia que separa verticalmente dos dispositivos ópticos 3 está comprendida entre 30 y 60 cm. Esta distancia entre dos dispositivos ópticos 3 permite aumentar verticalmente el campo de visión para adquirir la imagen de un paciente de la cabeza a los pies cuando está posicionado de pie.

La figura 12 representa un caso de ejemplo en el que el dispositivo 1 está representado en una posición determinada donde el campo de visión vertical CH_{31} del dispositivo óptico 31 es de aproximadamente 45° .

Se denomina un "campo de visión virtual" una combinación o una unión de campos de visión reales de varios dispositivos ópticos 3. El campo de visión virtual corresponde a la asociación de varios campos de visión reales considerados desde diferentes posiciones. Así, el campo de visión virtual es el campo de visión del sistema óptico 3' considerando una fuente virtual desde la cual se podría considerar el campo de visión virtual.

Una tercera variante consiste en posicionar filas de dispositivos ópticos 3 sustancialmente alineados según un eje vertical o un eje horizontal en el dispositivo robótico 1. Así, en la figura 1, los dispositivos ópticos 32, 31 y 35 están sustancialmente alineados verticalmente, los dispositivos ópticos 33, 334 y 36 están sustancialmente alineados verticalmente, los dispositivos ópticos 32, 33 están sustancialmente alineados horizontalmente, los dispositivos ópticos 34, 31 están sustancialmente alineados horizontalmente, los dispositivos ópticos 36, 35 están sustancialmente alineados horizontalmente.

Esta configuración permite ofrecer una cobertura de adquisición que permite adquirir imágenes de un paciente de pie o tumbado sobre una mesa, ocupando al mismo tiempo un espacio reducido.

Según un ejemplo de realización, se pueden combinar varios dispositivos robóticos 1 de la invención para adquirir un campo de visión mayor o para obtener una exploración completa de un paciente incluyendo su cara frontal y su cara posterior sin que tenga que girarse. A continuación se lleva a cabo una calibración entre los dispositivos robóticos 1 para representar las nubes de puntos generadas a partir de las imágenes adquiridas en un mismo marco de referencia.

La figura 6 representa un ejemplo de posicionamiento de un paciente 100 que se mantiene de pie frente al dispositivo robótico 1 del cual solo está representado el sistema óptico 3'. En esta figura, se representan los campos de visión virtuales a lo ancho y alto FoV_1 y FoV_2 del sistema óptico 3'. Los campos de visión virtuales se construyen por asociación de los campos de visión reales de cada dispositivo óptico 31, 32, 33, 34, 35, 36. La distribución sobre una superficie determinada permite ampliar el campo de visión virtual del sistema óptico 3' para cubrir toda la superficie del cuerpo de un humano 100. Una ventaja de una disposición de una pluralidad de dispositivos ópticos 3 distanciados cada uno de ellos una distancia determinada es permitir aumentar el campo de visión global del sistema óptico 3', conservando al mismo tiempo una óptica con una profundidad de campo que permita generar un mapa de profundidad suficientemente preciso.

Otra ventaja es reducir la oclusión provocada por los desplazamientos del brazo robot 6 frente al sistema óptico 3'. Así, multiplicando los dispositivos ópticos 3, la generación de la nube de puntos global, a partir de diferentes nubes de puntos generadas desde diferentes puntos de vista, puede compensar los efectos de oclusión y enmascaramiento del cuerpo del paciente 100 por el brazo robot 6.

Dispositivo óptico

Cada dispositivo óptico 3 está configurado para generar una imagen 3D. En el contexto de la presente invención, una imagen 3D puede entenderse como un conjunto de imágenes de un mismo sujeto, al menos dos imágenes, que permiten generar información de profundidad sobre dicho sujeto. Según un ejemplo, la imagen 3D puede ser una imagen estereoscópica, es decir, un par de imágenes, como dos vistas denominadas izquierda y derecha, producidas

por dos sensores ópticos que toman una misma escena desde dos puntos de vista ligeramente alejados. El espectro de una imagen de este tipo puede ser en el visible o en el infrarrojo. En este caso, una imagen 3D puede ser un par de imágenes en color o infrarrojas. Según otro ejemplo, una imagen 3D también puede entenderse como una imagen que está directamente asociada a un mapa de profundidad, según otro ejemplo, una imagen 3D puede entenderse como una nube de puntos que representa un muestreo de una superficie tridimensional obtenida a partir de imágenes adquiridas de un sujeto. La imagen 3D también puede comprender otra información, además de puntos, como información de colores. Según una realización, la imagen 3D comprende una imagen 2D y una información de profundidad estimada mediante un algoritmo de estimación de profundidad. Según una realización, la imagen 3D comprende una imagen 2D y una malla tridimensional calculada según el procedimiento de la invención.

De manera más general, llamamos imagen 3D: una imagen 2D con la que se combina una información digital que permite construir una representación tridimensional de una superficie en el espacio. Esta información digital puede ser una segunda imagen, un mapa de profundidad o cualquier otro dato calculado que permita construir una nube de puntos en el espacio a partir de una imagen 2D.

Según una realización, cada dispositivo óptico 3 comprende un par de cámaras que permiten generar un mapa de profundidad de la imagen adquirida. Según un ejemplo de realización, las cámaras son cámaras de infrarrojos. Las cámaras de infrarrojos ofrecen resoluciones que permiten trazar un mapa de profundidad cuya precisión permite restaurar diferencias de relieve de la superficie del cuerpo de un paciente situado a una distancia de entre 30 cm y 3 m, o incluso 4 m, del dispositivo robótico 1 .

Según un método no reivindicado, se pueden combinar imágenes 2D adquiridas de un mismo objeto desde dos puntos de vista cuya disposición se conoce utilizando técnicas conocidas para obtener el llamado mapa de profundidad o de distancia.

Según un ejemplo de realización, cada dispositivo óptico 3 comprende 3 cámaras, entre ellas un par de cámaras de infrarrojos y una cámara en color.

Según un ejemplo, los dispositivos de adquisición pueden comprender un par de cámaras de infrarrojos 3D en color y al menos un proyector de infrarrojos. Según una realización, el dispositivo óptico 3 comprende un proyector de infrarrojos láser que permite proyectar una imagen que incluye patrones, también llamados "patterns", en particular en la superficie de un cuerpo humano. Luego, el patrón proyectado es adquirido por el par de cámaras de infrarrojos para reconstruir un mapa de profundidad en tiempo real mediante estereoscopia.

Según otro ejemplo, los dispositivos de adquisición pueden comprender un par de cámaras en color configuradas para estereo pasiva para generar imágenes 3D.

Según otro ejemplo, los dispositivos de adquisición pueden comprender una cámara en color y un proyector de luz que proyecta patrones de luz estructurada.

Luego, las imágenes adquiridas se pueden procesar para analizar la deformación del patrón proyectado. Esta técnica permite obtener un dato adicional y permite mejorar la reconstrucción 3D. En particular, la detección de una deformación de un patrón proyectado permite mejorar la precisión del mapa de disparidad entre dos imágenes utilizadas para generar el mapa de profundidad. Además, el proyector permite reducir el ruido al construir la nube de puntos para generar el primer grafo G_1 .

Según una realización, los patrones de la imagen son patrones regulares, que representan, por ejemplo, una forma regular. Según otra realización, los patrones se generan aleatoriamente.

Según variantes de realización, se pueden implementar otras tecnologías en la invención para reconstruir un mapa de profundidad, por ejemplo, a partir de una cámara de tiempo de vuelo. En este último caso, la cámara 3D se puede sustituir, por ejemplo, por una cámara de tiempo de vuelo, más conocida con el nombre anglosajón "Time-of-Flight", ToF. En este caso, se trata de un rayo láser o de luz visible o infrarrojo acoplado a una cámara o un receptor fotosensible que permite medir el tiempo de vuelo de diferentes rayos disparados en el espacio y así reconstruir una cartografía en 3D.

Se pueden utilizar otras técnicas de construcción de un mapa de profundidad, como un dispositivo emisor-receptor láser. La reflexión del haz láser permite generar un dato relativo a la geometría de la superficie de reflexión. Otra técnica puede estribar en un emisor-receptor ultrasónico. Un ejemplo de un sistema que podría implementarse es el sistema tipo LIDAR.

- Calibración

Se puede realizar una calibración, denominada "calibración estereoscópica" intercámaras, por ejemplo entre las dos cámaras de un mismo dispositivo óptico 3 para realizar una reconstrucción 3D de un sujeto. La calibración tiene como objetivo calcular una transformación entre dos imágenes adquiridas por cada una de las cámaras. Esta calibración

permite asegurar las transformaciones entre las marcas de referencia de las diferentes cámaras/proyectores de un mismo sistema óptico 3', por ejemplo, las transformaciones entre los 3 cámaras/proyector 331, 332, 333 representados en la figura 10 del dispositivo óptico 33.

5 Finalmente, esta calibración permite asegurar las transformaciones entre un dispositivo óptico 3 y otro dispositivo óptico 3. La calibración puede comprender la definición de una cámara de referencia de un dispositivo óptico 3 para que las transformaciones se realicen en cadena hacia cualquier marca de referencia del dispositivo en el que se define la cámara de referencia.

10 Una calibración del brazo robot 6 permite conocer la transformación entre la marca de referencia común de todos los dispositivos ópticos, por ejemplo elegida arbitrariamente entre todas las marcas de referencia de cada dispositivo óptico 3, y la del brazo robot 6 que puede definirse en el origen del brazo.

15 Se definen las siguientes marcas de referencia: R_0 : marco de referencia mundo en el que desarrolla el dispositivo robótico 1 su misión

R_1 : marco de referencia relacionado con el dispositivo robótico 1 en un punto del bastidor;

R_2 : marco de referencia relacionado con la parte fija del brazo robot 6 con respecto al bastidor del dispositivo robótico 1;

20 R_3 : marco de referencia relacionado con la cabeza del brazo robot 6;

R_{31} : marco de referencia relacionado con el dispositivo óptico 31;

R_{32} : marco de referencia relacionado con el dispositivo óptico 32;

R_{33} : marco de referencia relacionado con el dispositivo óptico 33;

R_{34} : marco de referencia relacionado con el dispositivo óptico 34;

25 R_{35} : marco de referencia relacionado con el dispositivo óptico 35,

R_{36} : marco de referencia relacionado con el dispositivo óptico 36.

30 El procedimiento de la invención permite, por tanto, calibrar el brazo robotizado 6 con respecto al sistema de adquisición 3' o al bastidor 2 y, por tanto, realizar las transformaciones de las imágenes en los marcos de referencia $R_3 \rightarrow R_1$. Cuando un marco de referencia R_3 está asociado con la cabeza 8 del brazo robotizado 6, una transformación de $R_3 \rightarrow R_1$ se conoce porque la cinemática de articulación de cada parte del brazo robot 6 es conocida por un computador y una memoria del sistema que comanda dicho brazo robot 6.

35 Según un ejemplo, se determina como referencia un dispositivo óptico 3. Una ventaja es, por un lado, calibrar todas las cámaras del sistema óptico 3' con respecto a un solo dispositivo óptico 3 y, por otro lado, calibrar la posición del brazo robot 6 con respecto a este mismo dispositivo óptico 3. Así, esta calibración con respecto a una única cámara o a un único dispositivo óptico 3 de referencia asegura que los desplazamientos del brazo robot 6 estén bien referenciados en una marca de referencia común al sistema óptico 3'.

40 El cálculo de las transformaciones también se puede realizar mediante un proceso de alineamiento iterativo de las diferentes nubes de puntos generadas por los diferentes sistemas ópticos. Este algoritmo se denomina " iterative closest points" en terminología anglosajona.

45 Según otra realización, la calibración también puede realizarse estudiando la transformación que existe entre un par de imágenes en color.

50 La calibración se puede realizar a partir de un patrón de referencia. Típicamente, se puede utilizar una proyección de una imagen. Puede ser una proyección de un patrón por parte del proyector asociado a un dispositivo óptico 3. Un ejemplo de realización comprende la proyección de un tablero escaqueado cuyas deformaciones adquiridas por cada cámara permiten generar un factor corrector para compensar la posición o la orientación de dicha cámara con respecto a otra cámara, o respectivamente de un dispositivo óptico 3 con respecto a otro dispositivo óptico 3.

55 Esta calibración asegura que una nube de puntos calculados por un dispositivo óptico 3 confirme otra nube de puntos calculados por otro dispositivo óptico 3.

- Orientable

60 Según una realización, al menos un dispositivo óptico 3 es orientable según un eje A-A' representado en la figura 10. El pivotamiento del dispositivo óptico 3 permite obtener configuraciones modulables del campo de visión. A modo de ejemplo, una orientación de uno o más dispositivos ópticos 3 permite adaptar un campo de visión, por ejemplo, a un caso específico, como por ejemplo un paciente de pequeña estatura, o adaptar la toma de imagen a una posición de un paciente acostado o de pie. El pivotamiento se puede configurar en un rango de ángulo de $[-60^\circ; +60^\circ]$ con respecto a un eje por defecto comprendido en el plano horizontal. Según una realización, se pueden controlar al menos dos grados de libertad para orientar cada dispositivo óptico o al menos parte de los dispositivos ópticos. Según una
65 realización, se pueden comandar 3 rotaciones por unión de rótula.

Las figuras 12 y 13 representan el dispositivo óptico 31 según dos orientaciones diferentes que están adaptadas a la posición del paciente 100. En la figura 12, el dispositivo óptico 31 está orientado para cubrir una porción del busto de un paciente en posición de pie. En la figura 13, el dispositivo óptico 31 está orientado para cubrir una porción del busto de un paciente en posición tumbada. El pivotamiento entre las dos orientaciones del dispositivo 31, es decir, entre las dos rectas A_{31} y A_{31}' puede corresponder a un ángulo de $+20^\circ$ /eje horizontal en la figura 12 y -40° /eje horizontal en la figura 13.

Según un ejemplo de realización, el o los pivotamientos de uno o más dispositivos ópticos 3 se pueden comandar desde una consola o una interfaz de usuario de dicho dispositivo robótico 1.

Según un ejemplo, al menos un dispositivo óptico 3 es amovible y puede sustituirse por un dispositivo óptico 3 diferente. Una ventaja es cambiar el campo de visión del dispositivo óptico 3.

Según otro ejemplo, el dispositivo óptico 3 es amovible para engazarse elásticamente según otra posición. Así, en esta configuración, cada dispositivo óptico 3 puede insertarse en un alojamiento que permite ofrecer diferentes orientaciones.

Según un ejemplo de realización, para ajustar el campo de visión del sistema de adquisición 3' al posicionamiento de un paciente, el bastidor 2 puede comprender una parte móvil, por ejemplo en giro. La figura 9 representa un ejemplo de unión de pivote dispuesta entre el bastidor 2 y la base 23 que permite hacer pivotar el bastidor 2 en un ángulo determinado.

Según otro ejemplo, unas aletas 22 pueden hacerse orientables, ya sea según un eje de giro vertical o según un eje de giro horizontal.

Dispositivo electrónico

El dispositivo robótico 1 de la invención comprende un dispositivo electrónico (no representado) que comprende una entidad de cálculo que comprende al menos un computador que puede ser un componente electrónico provisto de un procesador. El dispositivo electrónico comprende además una memoria para almacenar parámetros de configuración del dispositivo robótico 1, los parámetros de calibración del dispositivo robótico 1 y en particular de la óptica del sistema óptico 3', funcionando las instrucciones necesarias para ejecutar el software para calcular las trayectorias del brazo robot, las superficies corporales de un paciente, los datos de configuración y de parametrización de los sensores, de los emisores o de cualquier otro equipo comandado por el brazo robot 6, datos tales como aquellos que permiten la ejecución de la red neuronal utilizada para reconstruir la superficie del cuerpo de un paciente a partir de datos ópticos como una imagen, un mapa de profundidad o una nube de puntos. Estos últimos datos de la red neuronal pueden comprender los coeficientes de la red, datos de un clasificador y datos de una función de regresión.

El dispositivo electrónico puede ser un único componente o, aún en una segunda realización, puede comprender diferentes componentes que están asociados a diferentes elementos del dispositivo robótico 1, como por ejemplo el brazo robot 6, el sistema óptico 3', la pantalla 4.

Un primer objetivo del dispositivo electrónico es generar una superficie del cuerpo de un paciente en tiempo real a partir de las imágenes adquiridas por el sistema óptico 3'.

- Nube de puntos

A partir del mapa de profundidad, la invención permite generar una nube de puntos en el espacio que representa una malla de la superficie del cuerpo de un humano. Cada punto de la nube de puntos puede asociarse a una coordenada espacial tridimensional de un marco de referencia relacionado con el dispositivo robótico 1. Los puntos constituyen entonces un primer grafo G_1 . Según un ejemplo, los puntos del primer grafo G_1 obtenidos están no orientados y no conectados. En su forma más simple, el grafo G_1 es una lista de puntos no ordenada cuyas coordenadas están referenciadas en el espacio, por ejemplo en un marco de referencia del espacio en el que está ubicado el dispositivo robótico 1 o un marco de referencia asociado al dispositivo robótico 1. Luego, cada uno de los puntos se define independientemente de los demás. En su forma más simple, el grafo G_1 es, por tanto, una nube de puntos.

Según una realización, el procedimiento de la invención permite recuperar una nube de puntos procedente de las imágenes adquiridas y transferirla, por ejemplo, a un procesador gráfico tal como una GPU, designando GPU en terminología anglosajona "Graphic Processing Unit".

Las imágenes pueden procesarse para extraer un perímetro de adquisición que limite la zona que vaya a procesarse. Para ello, se puede utilizar una plantilla o una máscara de segmentación, posiblemente obtenida mediante una red neuronal, para evitar tener en cuenta puntos fuera de una zona de interés definida por la superficie del cuerpo.

La adquisición de las imágenes y la cobertura de toda la superficie que vaya a procesarse permiten generar un mapa de profundidad de todo el cuerpo de un paciente. El mapa de profundidad comprende una cuadrícula de puntos/píxeles cuya intensidad corresponde a la distancia relativa a la cámara.

5 Según otro ejemplo, en esta etapa del procedimiento no se procesa ninguna superficie. Las distancias entre puntos se generan independientemente de un reconocimiento de forma, como una envolvente de un cuerpo.

10 Según un ejemplo, el número de puntos generados por unidad de superficie es configurable según una resolución deseada de la nube de puntos. La adquisición se puede configurar para aumentar la resolución espacial de las nubes de puntos aumentando la resolución de las imágenes. También se puede configurar para aumentar la resolución temporal aumentando el número de imágenes recogidas por unidad de tiempo.

15 Según una realización, cada dispositivo óptico 3 calcula una nube de puntos a partir de las imágenes adquiridas. Cada dispositivo óptico 3 comprende un conjunto de puntos. Así, según el ejemplo de la figura 1, en cada adquisición, el sistema óptico 3' activa todos los dispositivos ópticos 3 de modo que:

- el dispositivo óptico 31 genera un conjunto ENS_{31} de puntos de la nube de puntos;
- el dispositivo óptico 32 genera un conjunto ENS_{32} de puntos de la nube de puntos;
- el dispositivo óptico 33 genera un conjunto ENS_{33} de puntos de la nube de puntos;
- 20 - el dispositivo óptico 34 genera un conjunto ENS_{34} de puntos de la nube de puntos;
- el dispositivo óptico 35 genera un conjunto ENS_{35} de puntos de la nube de puntos,
- el dispositivo óptico 36 genera un conjunto ENS_{36} de puntos de la nube de puntos.

25 El dispositivo electrónico comprende medios de cálculo para generar una nube de puntos global, denominada ENS_G , que comprende el conjunto de los puntos de los diferentes conjuntos generados ENS_{31} , ENS_{32} , ENS_{33} , ENS_{34} , ENS_{35} , ENS_{36} . Un interés es obtener una nube de puntos lo más completa posible, representativa del cuerpo de un paciente, manteniendo al mismo tiempo un sistema compacto.

30 El dispositivo electrónico permite realizar estas diferentes operaciones:

- aplicación de una función de transferencia basada en una configuración de calibración de los diferentes dispositivos ópticos 3 con respecto a un punto de referencia del dispositivo robótico 1;
- correlación entre los diferentes conjuntos de puntos para determinar un subconjunto de puntos en común y un subconjunto de puntos no compartidos por las diferentes nubes de puntos;
- 35 - opcionalmente, control de errores de calibración de un dispositivo óptico 3;
- determinación de una nube de puntos global que comprende el conjunto de los puntos de los diferentes conjuntos de puntos generados por cada dispositivo óptico 3.

40 - Procesamiento de la nube de puntos y cálculo de los descriptores de forma

45 El dispositivo robótico 1 de la invención comprende un computador para recomponer la superficie de un cuerpo humano con fidelidad a la de un paciente a partir de las imágenes adquiridas para calcular descriptores de forma locales. Según una realización, se obtiene un grafo conectado a partir de la malla de puntos. El método consiste en asociar a cada punto del grafo conectado atributos resultantes de cálculos realizados sobre la matriz adyacente del grafo conectado. Esto corresponde al cálculo de funciones aplicadas a cada punto, incluidas sus coordenadas, y su vecindad para generar descriptores de forma o coeficiente de forma.

50 Una ventaja de los descriptores de forma es caracterizar una topología local de la superficie en un punto del primer grafo G_1 . Cuando el cuerpo de un paciente se mueve o cambia con el tiempo, la superficie del cuerpo se considera un objeto deformable cuyas transformaciones no son isométricas. Los descriptores de forma permiten generar en cada punto características propias que se pueden encontrar gracias al procedimiento de la invención después de una deformación.

55 - Utilización de una red neuronal entrenada

60 El dispositivo de la invención comprende un componente electrónico que comprende al menos una memoria y un computador para calcular un modelo de cuerpo humano a partir de una red neuronal entrenada. La implementación de la red neuronal entrenada se puede realizar de manera que procese, como entrada, vectores que incluyen las coordenadas de cada punto de la nube de puntos y atributos previamente calculados asociados a dichos puntos y, como salida, la red neuronal produzca una nueva nube de puntos conectada, como un grafo conectado, que representa la superficie del cuerpo del paciente cuyas imágenes se han adquirido. La superficie corporal generada también se denomina modelo de cuerpo parametrizado MOD_P, ya que la parametrización corresponde a la del paciente y se genera a partir de las imágenes adquiridas. Según otra realización, el modelo de cuerpo es no paramétrico.

Según un ejemplo de realización, el entrenamiento de dicha red se puede llevar a cabo a partir de un modelo paramétrico de cuerpo humano definido por parámetros tales como parámetros de formas y de rotaciones de las articulaciones.

5 Alternativamente, a la salida de la red neuronal entrenada, se puede calcular mediante una regresión de los parámetros de un modelo paramétrico de cuerpo humano para generar un modelo de cuerpo correspondiente al del paciente. El dispositivo electrónico es entonces capaz de calcular la nube de puntos correspondiente al modelo paramétrico parametrizado con los parámetros resultantes de la regresión de la red neuronal.

10 Otra alternativa es utilizar una red neuronal entrenada que permita generar directamente un grafo G conectado correspondiente a la nube de puntos medida del paciente. Esta solución permite no utilizar un modelo paramétrico de cuerpo como salida.

15 Así, la superficie de un cuerpo humano puede calcularse en tiempo real a partir de una adquisición de imágenes por parte del dispositivo robótico 1 y una red neuronal entrenada.

Una ventaja de un cálculo en tiempo real de la superficie modelizada del cuerpo de un paciente es anticipar, por ejemplo, movimientos de dicho paciente y tener en cuenta movimientos, por ejemplo, resultantes de la respiración del paciente 1.

20 La ventaja del procedimiento de la invención es que puede generar una nueva superficie modelizada en menos de 30 ms. Estos tiempos de respuesta permiten en particular servocontrolar los movimientos de un brazo robot 6 con suficiente velocidad para anticipar colisiones o movimientos bruscos con el fin de liberarse lo más rápidamente posible. La configuración de una adquisición mediante una cámara puede ser, por ejemplo, de 10 a 90 fps.

25 Según una realización, el dispositivo electrónico 3 puede generar una primera imagen tridimensional a partir de todas las imágenes adquiridas por el sistema óptico 3' para obtener una vista general del cuerpo de un paciente.

30 - Guiado del brazo robot

Un segundo objetivo del dispositivo electrónico es generar consignas de guiado en tiempo real para servocontrolar los movimientos del brazo robot 6 según una trayectoria actualizada recurrentemente en función, por un lado, de una estrategia de planificación predefinida y, por otro lado, de los datos recalculados en tiempo real correspondientes a la superficie del cuerpo MOD_P del paciente. Los datos del cuerpo del paciente MOD_P se actualizan recurrentemente en tiempo real, ya que el paciente puede moverse accidentalmente o cambiar de posición a petición de un médico, o respirar mientras el brazo del robot está en movimiento cerca de la caja torácica, etc.

40 El brazo robot 6 está guiado por un controlador de movimiento GEN_TRAJ que tiene en cuenta diferentes restricciones para servocontrolar el brazo robot 6. En particular, el controlador CTRL puede tener en cuenta una consigna procedente de un módulo de detección de colisión para adaptar la carrera del brazo robot en tiempo real. Finalmente, el controlador CTRL toma en consideración datos provenientes de la cabeza del robot 6 mediante un módulo CNTR_8, por ejemplo cuando la detección de una imagen singular requiere una manipulación particular del robot, como por ejemplo una modificación de la carrera, una parada de la carrera, etc.

45 El guiado de un brazo robot 6 se realiza a partir de una trayectoria de procesamiento, señalada 30 en la figura 11, establecida dentro de una zona definida 9 de la superficie así modelizada y recalculada en tiempo real.

50 La trayectoria 30 se puede obtener a partir de una estrategia de barrido del brazo robot 6. Según un ejemplo, la trayectoria generada 30 se obtiene gracias a un módulo de planificación PLAN_TRAJ al que se puede acceder, por ejemplo, desde una interfaz de usuario 4 o desde cualquier otra interfaz de usuario remota del dispositivo robótico 1.

55 A partir de la trayectoria 30, se pueden calcular trayectorias asociadas para guiar el brazo robot 6. Estas pueden ser la trayectoria del dispositivo operador distal 8, por ejemplo, cuando se debe respetar una cierta distancia entre el dispositivo operador distal 8 y la superficie de la piel de un paciente.

60 En el ejemplo de la figura 11, se representan tres singularidades dermatológicas 91 en una porción 9 de piel de un paciente 1. Puede ser, por ejemplo, una cicatriz, un melanoma, un lunar o cualquier otra singularidad de la superficie de la piel. Cuando el campo óptico 87 del dispositivo operador distal 8 intercepta una singularidad 91, el brazo robot 6 puede configurarse para detener su carrera o activar otro equipo tal como una óptica para adquirir imágenes de las singularidades las cuales se analizan dinámicamente en tiempo real para servocontrolar el control del brazo robot 6 o posteriormente para establecer un diagnóstico, por ejemplo.

65 Según un ejemplo, la orientación entre el eje del dispositivo operador distal 8 y la superficie de la piel se determina por defecto a 90°. Este ángulo corresponde a la situación en la que el eje principal de un sensor o de un emisor del dispositivo operador distal 8 del brazo robot 6 coincide con la normal N en el punto diana 35 de la superficie del cuerpo

considerado. La figura 5 representa una vista en la que la parte distal 65 del brazo robot 6 se ilustra por encima de un paciente tumbado.

5 El extremo del dispositivo operador distal 8 está posicionado a una distancia determinada del punto de mira 35 ubicado en la superficie del cuerpo modelizado ubicado, por ejemplo, en la trayectoria 30 generada.

Según otra realización, el extremo también se puede aplicar contra la piel del paciente. El controlador está configurado para regular la fuerza aplicada sobre la piel del paciente para, por ejemplo, colocar un dermatoscopio o una sonda de ultrasonidos.

10 El dispositivo robótico 1 de la invención incluye, además, un cálculo de una nueva cinemática del brazo robot 6 condicionada a la definición de la nueva trayectoria 30. Una ventaja es obtener un buen rendimiento de guiado en tiempo real. Tener en cuenta un modelo de cuerpo simplifica los cálculos de guiado. El servocontrol del brazo robot 6 puede ser rápido y permite así limitar los casos de colisiones o los movimientos bruscos de un paciente.

15 El dispositivo operador distal 8 puede estar relacionado con una marca de referencia señalada R_3 (O_3, x_3, y_3, z_3) representada en la figura 4. La posición del dispositivo operador distal 8 del brazo robot 6 se puede identificar fácilmente en la marca de referencia R_2 (O_2, x_2, y_2, z_2) con conocimiento de la cinemática que anima las diferentes partes del brazo robot 6. Una ventaja es referenciar las imágenes adquiridas por el dispositivo operador distal 8, por ejemplo, en la marca de referencia R_1 (O, x_1, y_1, z_1) o R_0 (O, X_1, y_0, z_0).

20 Así, el dispositivo electrónico del dispositivo robótico 1 está configurado para entregar consignas de guiado en tiempo real al elemento motor del brazo robot de modo que sea capaz de determinar la cinemática de cada parte del brazo robot 6.

25 Brazo robot

Según una realización, el brazo robot 6 comprende un conjunto de ramas 61, 62, 63, 64, 65 articuladas mediante articulaciones de pivote 612, 623, 634, 645, 656. El brazo robot 6 comprende en este caso 5 ramas articuladas desde uniones de pivote. Según una variante, comprende 6 ramas articuladas y, según otras variantes, puede comprender 7, 8 o 9 ramas articuladas. En efecto, en esta realización, cada articulación es capaz de efectuar al menos una rotación entre dos ramas adyacentes.

30 Según una realización, cada rama del brazo robot 6 incluye un sensor de esfuerzo. Una ventaja es prevenir una colisión repentina. Cuando se establece un contacto entre una rama del brazo robot 6 y un objeto, el movimiento del brazo robot puede detenerse automáticamente o modificarse su guiado para que cambie su trayectoria. Otra ventaja es calcular el esfuerzo aplicado sobre el paciente cuando el operador distal está en contacto con su piel.

35 Según una realización, se lleva a cabo un paso de calibración del brazo robot 6 antes del procedimiento de la invención. La calibración puede comprender los posicionamientos relativos del brazo robot 6 en la marca de referencia R_2 con respecto a la marca de referencia R_1 o a cualquier marca de referencia $R_{31}, R_{32}, R_{33}, R_{34}, R_{35}, R_{36}$ asociada a un dispositivo óptico 31, 32, 33, 34, 35, 36 del sistema óptico 3', así como su posición inicial.

40 Dispositivo operador distal

45 Según una realización, el brazo robot 6 incluye un dispositivo operador distal 8 dispuesto ventajosamente en el extremo del brazo robot 6. Según un ejemplo, el dispositivo operador distal 8 comprende al menos un sensor y/o al menos un emisor. El dispositivo operador distal 8 también se denomina la "cabeza" del brazo robot 6.

50 Según las realizaciones, se puede disponer un sistema óptico distal 83, 84 en el extremo de este dispositivo operador distal como en el caso de la figura 7. Una ventaja de la configuración de la figura 7 es configurar un brazo robot 6 para aplicaciones dermatológicas de toma de imágenes.

55 En el ejemplo de la figura 7, el brazo robot 6 está provisto de uno o más sensores ópticos 67 para adquirir imágenes locales de la superficie de la piel. Una ventaja de tomar imágenes locales en la cabeza del brazo robot 6 es la posibilidad de reconstruir una superficie del cuerpo "coloreado", es decir, en la que las imágenes tomadas se integran en el modelo de cuerpo parametrizado MOD_P generado por el procedimiento de la invención. Para ello, el dispositivo óptico 3 situado en el extremo del brazo robot 83, 84 puede comprender preferentemente dos ópticas para recomponer un mapa de profundidad asociado a las imágenes adquiridas simultáneamente por las dos ópticas. Luego, las imágenes se pueden indexar en la superficie del cuerpo parametrizado. Se comprende, por ejemplo, que las imágenes de las singularidades 91 de la figura 11 pueden grabarse y asociarse a una posición de un modelo de cuerpo MOD_P de un paciente. Así, varios meses después, durante una revisión, el dispositivo robótico 1 es capaz de generar una trayectoria 39 que pasa por un conjunto de puntos asociados a singularidades para realizar un control de la evolución de las imágenes de las singularidades con respecto a unas imágenes de referencia.

65

Según una realización, el dispositivo operador distal 8 comprende dos ópticas locales 83, 84 para tomar imágenes de la superficie del cuerpo y una óptica milimétrica o microscópica amovible bidireccional 85 según una dirección longitudinal 86. Una ventaja es generar imágenes con una resolución milimétrica que incluye una resolución para aplicaciones dermatológicas, por ejemplo, para aplicaciones de diagnóstico.

5 Por tanto, el segundo dispositivo óptico distal 85 permite tomar una imagen de una zona próxima a la superficie de la piel de un paciente 1. Según un ejemplo, el segundo dispositivo óptico distal 85 es un dermatoscopio. El segundo dispositivo óptico distal 85 puede comprender una placa de vidrio que entra en contacto con la piel. Según un ejemplo de realización, el segundo dispositivo óptico distal 85 puede comprender un emisor de luz polarizada para obtener información de imagen en profundidad de la epidermis.

10 Para ello, la última rama 65 del brazo robot 6 o el dispositivo operador distal 8 puede o pueden estar equipados con un sensor de realimentación de esfuerzos para frenar la carrera del segundo dispositivo óptico distal 85, o incluso detenerla y estabilizarla. Cuando el segundo dispositivo óptico distal 85 está en contacto con la piel de un paciente 1, se puede activar el disparo de una toma de imagen.

15 Según otro ejemplo, cada eje del brazo robot 6 está equipado con un sensor de esfuerzo. El análisis de los valores de esfuerzo registrados en los sensores se utiliza para servocontrolar la presión ejercida sobre la superficie. Así, el brazo robot 6, gracias a sus sensores de par en cada eje, permite servocontrolar una presión de contacto entre una herramienta y la superficie de trabajo, en este caso la piel de un paciente. Esto también se puede utilizar para efectuar un "deslizamiento" de la herramienta por una superficie de trabajo.

20 Según una realización, se activa un dispositivo de barrido 89 para separar los pelos de la óptica 85. Un dispositivo de barrido 89 de este tipo puede implementarse automáticamente durante la estabilización de la óptica del segundo dispositivo óptico distal 85. Una ventaja es evitar la toma de imágenes de pelos ubicados cerca de una singularidad de la que deseamos tomar una imagen. El dispositivo de barrido 89, según una realización, comprende una varilla giratoria que activa unos pinceles flexibles cerca de la óptica 85 o un sistema neumático. Una ventaja es hacer que el pelo se gire para que no quede entre la óptica 85 y la piel. Según un ejemplo de realización, se dispone una pluralidad de dispositivos de barrido 89 alrededor de la óptica 85. La figura 6B representa dos de ellos.

25 Cuando la segunda óptica 85 ha capturado una o más imágenes con una resolución más precisa de la singularidad, el segundo dispositivo 85 puede realizar un movimiento de retraimiento para volver a su posición inicial. El brazo robot 6 puede entonces continuar su carrera y retomar la trayectoria de guiado prevista.

30 Según un ejemplo de realización, el guiado se realiza a una distancia comprendida entre 1 cm y 20 cm de la superficie del cuerpo de un paciente 1. Según una realización preferente, el guiado se realiza a una distancia comprendida entre 2 cm y 8 cm de la superficie de la piel.

35 Además, el dispositivo operador distal 8 puede comprender uno o más emisores del tipo de ultrasonidos, radiofrecuencia o láser o cualquier otra fuente de señales capaz de usarse para generar un haz incidente. Según una realización, el dispositivo operador distal 8 puede comprender una red de emisores focalizados y medios de control de la dirección y la potencia emitida.

40 Según otra configuración, el dispositivo operador distal 8 comprende un dispositivo láser. Esta realización también puede ser compatible con la presencia de una óptica no representada en la figura 8.

45 Cuando se dispone un emisor de ultrasonidos en el extremo del dispositivo operador distal 8, se puede asociar un receptor de ultrasonidos para medir la señal reflejada con el fin de construir una imagen de la dermis y/o una imagen del espesor de la piel de un paciente, o incluso una imagen de vasos o de un órgano.

50 Pantalla

Según una realización, el dispositivo robótico 1 comprende una pantalla 4 que permite visualizar el modelo del cuerpo MOD_P del paciente reconstruido a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición 3'. De este modo, un operador puede visualizar el modelo tridimensional del paciente y su posición en el espacio. Esta visualización permite a un operador ajustar previamente el dispositivo robótico 1 de la invención, por ejemplo las orientaciones de los dispositivos ópticos 3 o la posición del dispositivo robótico 1 o incluso una posición predeterminada del brazo robot 6.

60 Según una realización, la pantalla 4 es táctil. Puede comprender la generación de botones digitales que permitan gobernar o configurar el dispositivo robótico 1 o el brazo robot 6. Según un ejemplo, se puede acceder a un botón de parada. Según otra realización, se pueden disponer alternativamente actuadores mecánicos u ópticos en el dispositivo robótico 1 de la invención de manera que sean directamente accesibles sin tener que interactuar con la pantalla 4. Según un ejemplo de realización, un botón de parada de emergencia está colocado en el dispositivo robótico 1 para detener los movimientos del brazo robot 6.

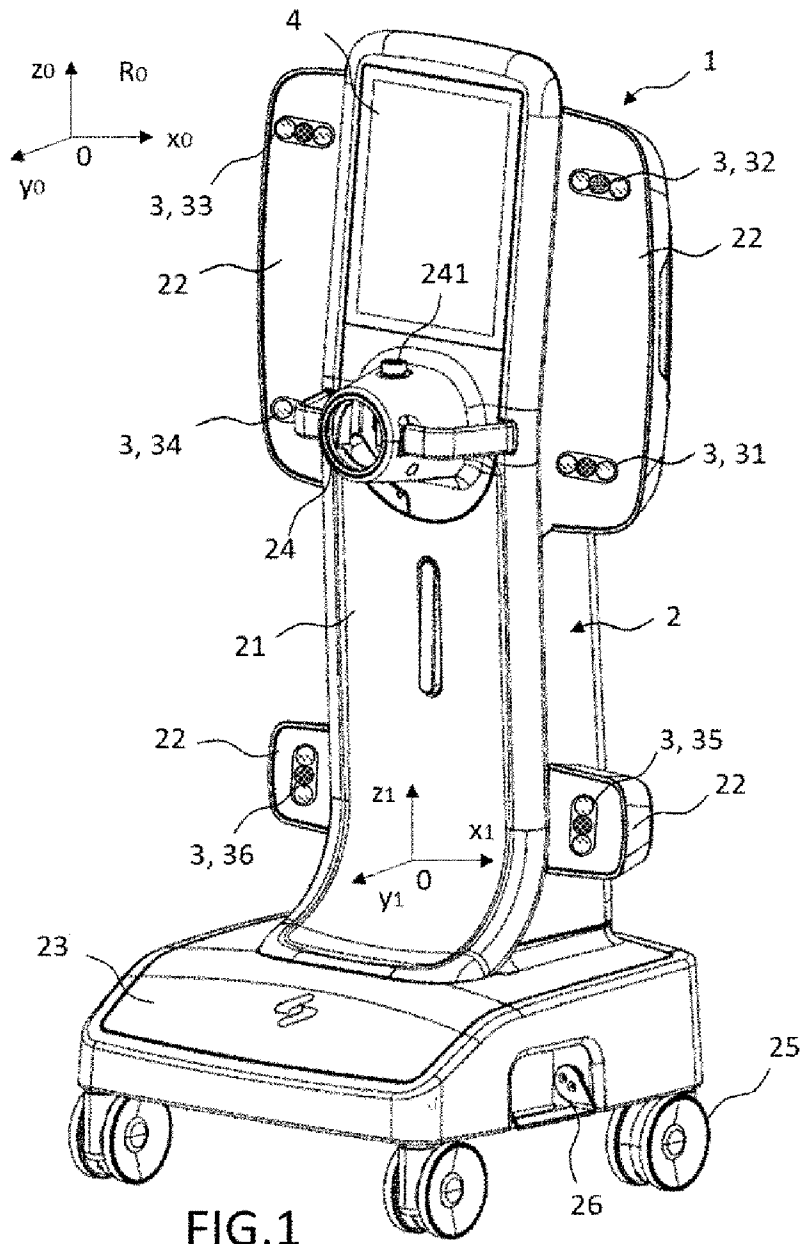
Según un ejemplo de realización, un movimiento sobre el brazo robot provoca su parada. Según esta configuración, el brazo robot 6 comprende un sensor háptico para discriminar una presión o una fuerza aplicada sobre el cuerpo del brazo robot 6. Cuando se mide un umbral de esfuerzo, el brazo robot 6 se inmoviliza inmediatamente antes de reanudar su carrera a partir de una nueva orden de arranque o reanudación recibida desde la interfaz de usuario.

5

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo robótico (1) que asegura el guiado automático de un brazo robotizado (6), que comprende un bastidor (2) que sujeta un brazo robotizado (6) articulado según una pluralidad de ejes de libertad, incluyendo dicho brazo robotizado (6) un dispositivo operador distal (8) para generar una interacción hombre-máquina, incluyendo además dicho dispositivo robótico (1) un sistema de adquisición de imágenes (3') que incluye al menos dos dispositivos ópticos (3, 31, 32, 33, 34, 35, 36) solidarios de dicho bastidor (2) y dispuestos en al menos dos posiciones diferenciadas del bastidor (2), estando cada dispositivo óptico (3) configurado para adquirir una imagen 3D, estando el sistema de adquisición de imágenes (3') configurado para adquirir una pluralidad de imágenes 3D de un cuerpo humano de un paciente procedentes de al menos dos dispositivos ópticos (3), incluyendo el dispositivo robótico (1) una unidad de cálculo para generar en tiempo real un modelo de cuerpo humano (MOD_S) de dicho paciente a partir de dichas imágenes 3D adquiridas y una trayectoria de guiado (TRAJ) referenciada a la superficie de dicho modelo de cuerpo humano (MOD_S), estando servocontrolados los movimientos de dicho brazo robotizado (6) a lo largo de dicha trayectoria de guiado (TRAJ).
2. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que:**
- al menos un primer dispositivo óptico (31, 32, 33, 34) comprende una primera disposición lineal de al menos dos cámaras según un primer eje (A_1);
 - al menos un segundo dispositivo óptico (35, 36) comprende una segunda disposición lineal de al menos dos cámaras según un segundo eje (A_2).
3. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** al menos un dispositivo óptico (3) comprende un medio de orientación del eje de adquisición (N) mediante el accionamiento de una unión mecánica.
4. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** cada dispositivo óptico (31, 32, 33, 34, 35, 36) comprende:
- al menos dos cámaras de infrarrojos; y/o
 - al menos una cámara en color; y/o
 - al menos un par de cámaras en color configuradas para generar las imágenes 3D mediante estereoscopía; y/o
 - al menos tres cámaras que comprenden dos cámaras de infrarrojos y una cámara en color; y/o
 - al menos un proyector de infrarrojos que proyecta un patrón y dos cámaras de infrarrojos que capturan dicho patrón proyectado en la superficie de un cuerpo humano.
 - al menos un proyector de luz que proyecta patrones de luz estructurada y al menos una cámara que captura dichos patrones; y/o
 - una cámara de tiempo de vuelo; y/o
 - un dispositivo emisor láser.
5. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** cada dispositivo óptico (31, 32, 33, 34, 35, 36) incluye:
- un primer conjunto de dispositivos ópticos (31, 32, 33, 34) que incluyen un primer campo de visión comprendido entre 30° y 70° verticalmente y entre 50° y 100° horizontalmente; y
 - un segundo conjunto de dispositivos ópticos (35, 36) que incluyen un segundo campo de visión comprendido entre 50° y 100° verticalmente y entre 30° y 70° horizontalmente.
6. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los dispositivos ópticos (31, 32, 33, 34, 35, 36) están dispuestos para cubrir un campo de visión (Fov_1) referido al sistema óptico (3') que tiene un origen virtual desplazado fuera del plano que incluye los orígenes de los dispositivos ópticos.
7. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que:**
- al menos dos dispositivos ópticos ($\{32,33\}$, $\{31,34\}$, $\{35,36\}$) están distanciados en un plano horizontal (x_0 , y_0) de una marca de referencia cartesiana (R_0) una distancia comprendida en el rango [30 cm y 100 cm];
 - al menos dos dispositivos ópticos ($\{36,34\}$, $\{36,33\}$, $\{33,34\}$, $\{35,31\}$, $\{35,32\}$, $\{31,32\}$) están distanciados según un eje vertical (x_0 , y_0) de una marca de referencia cartesiana (R_0) una distancia comprendida en el rango [30 cm y 100 cm].
8. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el bastidor comprende una pantalla (4) que permite visualizar una imagen 3D del cuerpo de un individuo a partir de al menos un dispositivo óptico.
9. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el bastidor comprende un cuerpo principal (21) y una base (23), sujetando dicho cuerpo principal (21) el sistema óptico (3') y estando provista dicha base de medios de desplazamiento para hacer móvil el dispositivo robótico.

- 5 10. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** comprende al menos un dispositivo electrónico para generar, a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición (3'), una nube de puntos que representa una superficie tridimensional del cuerpo de un paciente.
- 10 11. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el dispositivo electrónico está configurado para generar una nube de puntos global (ENS_G) a partir de una pluralidad de nubes de puntos (ENS_{G31}, ENS_{G32}, ENS_{G33}, ENS_{G34}, ENS_{G35}, ENS_{G36}) generadas a partir de cada imagen 3D adquirida por cada dispositivo óptico (3), incluyendo dicha nube de puntos global una compilación de puntos de cada nube de puntos.
- 15 12. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el dispositivo electrónico está configurado para generar, a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición (3'), consignas de guiado de la cinemática del brazo robotizado (6).
- 20 13. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 10, **caracterizado por que** el dispositivo electrónico está configurado para generar un primer modelo 3D (MOD_P) de una superficie de la totalidad o parte de un cuerpo humano, incluyendo dicho primer modelo 3D (MOD_P) una malla (M1, M2), utilizándose dicho primer modelo 3D para calcular una primera trayectoria (t₁) de guiado en la superficie del primer modelo 3D, y para calcular una primera cinemática (c₁) del brazo robotizado (6).
- 25 14. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 12 ó 13, **caracterizado por que** el dispositivo electrónico está configurado para generar en tiempo real, a partir de las imágenes adquiridas por el sistema de adquisición (3'), un nuevo modelo 3D (MOD_P) de una superficie de la totalidad o parte de un cuerpo humano, incluyendo dicho modelo 3D (MOD_P) una malla (M1, M2), utilizándose dicho modelo 3D generado en momentos regulares para recalcular en tiempo real una nueva trayectoria (Nt) de guiado en la superficie del modelo 3D, y para recalcular en tiempo real una nueva cinemática (Nc) del brazo robotizado (6).
- 30 15. Dispositivo robótico (1) según la reivindicación 1, **caracterizado por que** está configurado para implementar una autocalibración de los dispositivos ópticos del sistema de adquisición (3') con respecto a un dispositivo óptico de referencia de dicho sistema de adquisición (3').



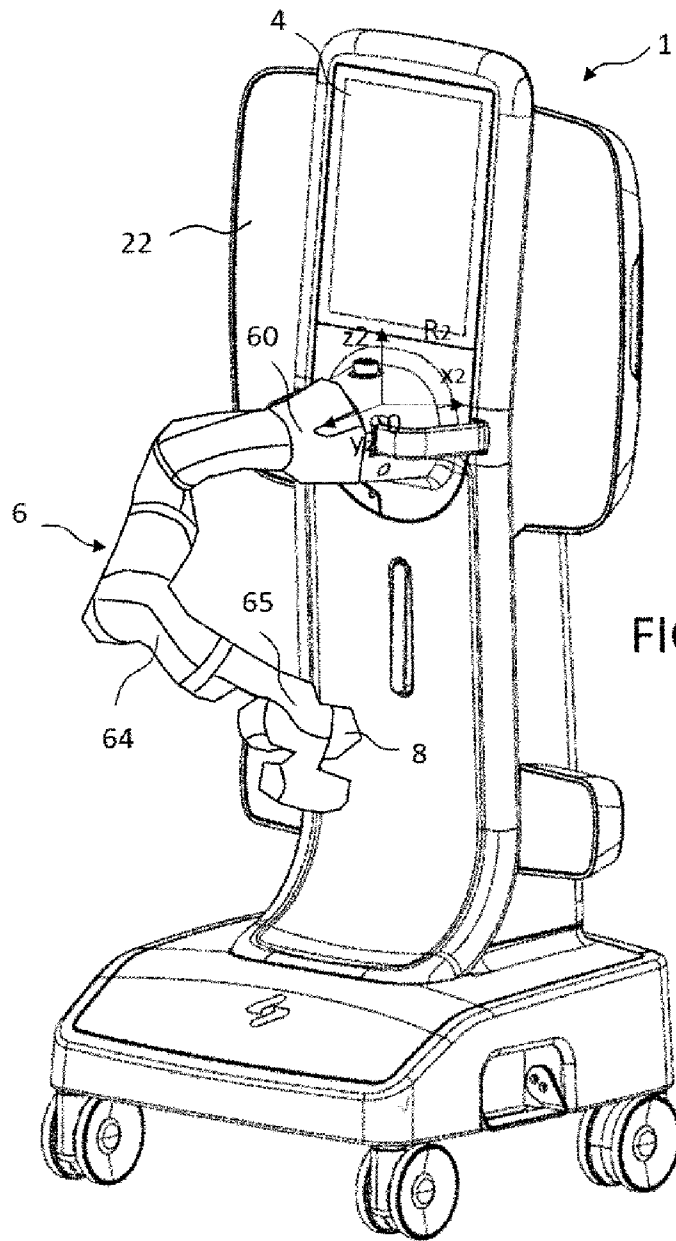


FIG.2

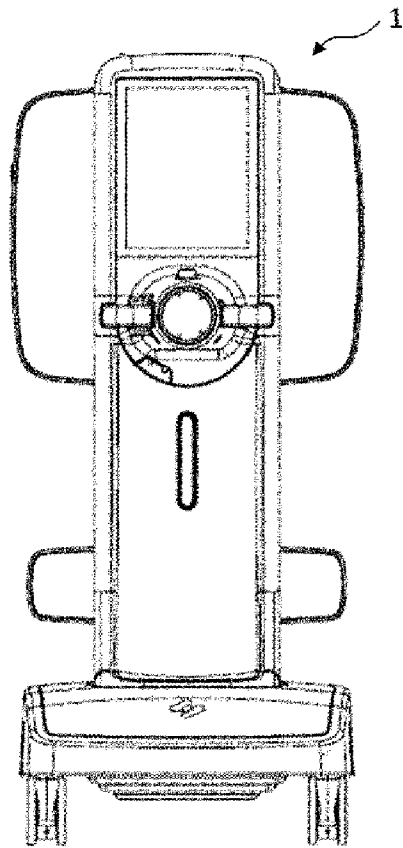
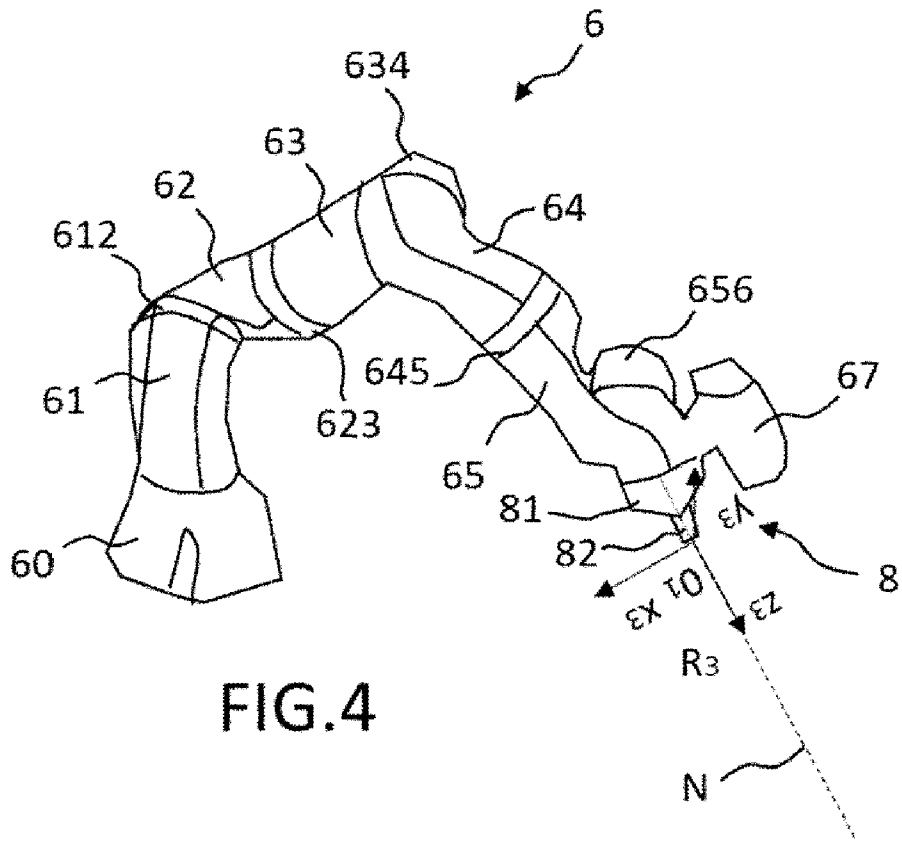
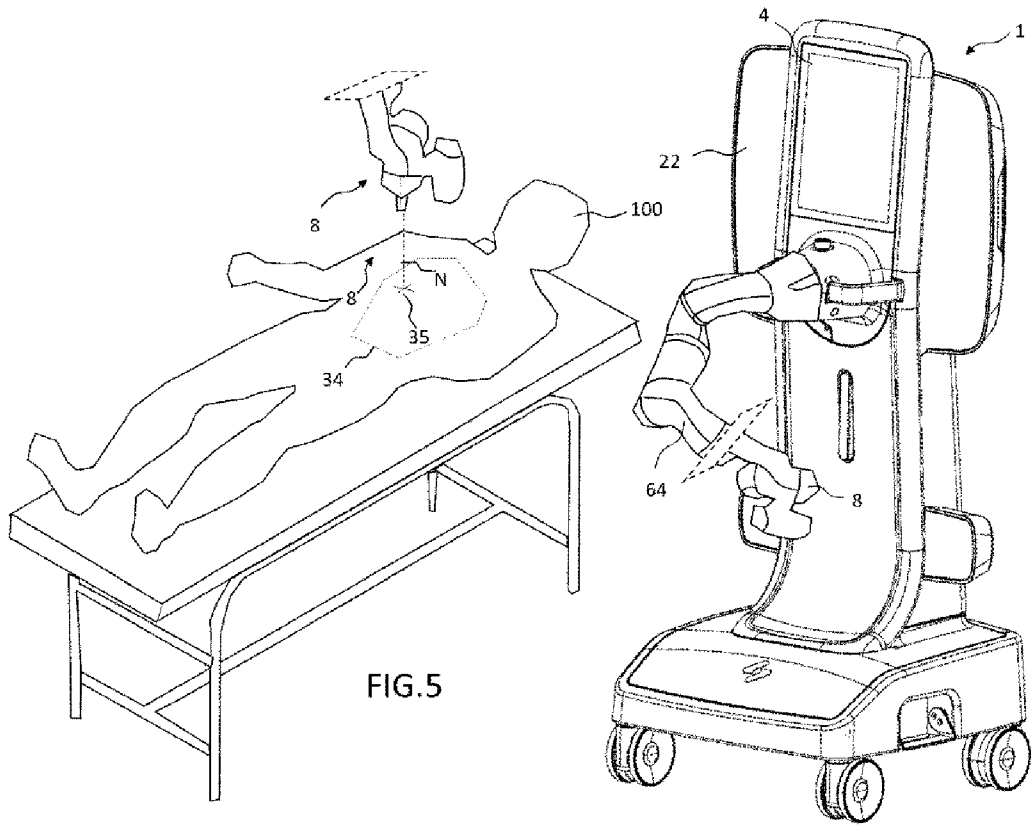
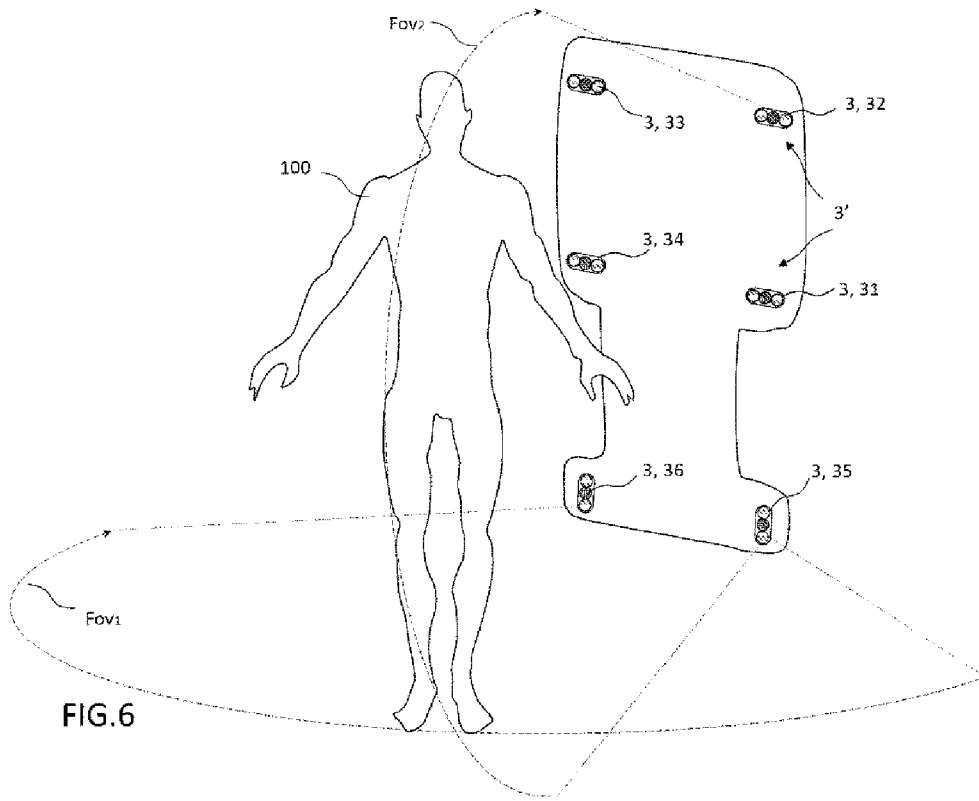


FIG.3







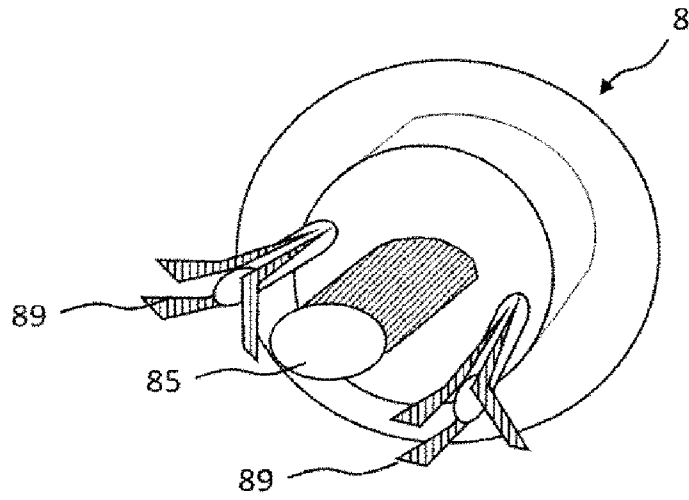
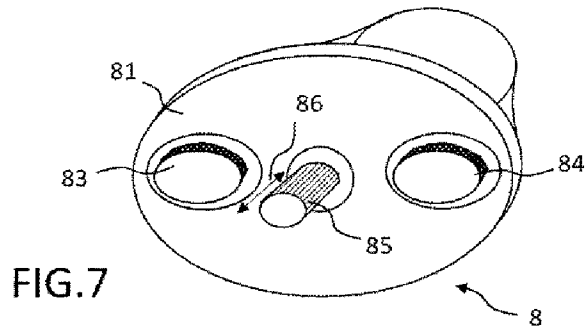


FIG. 8

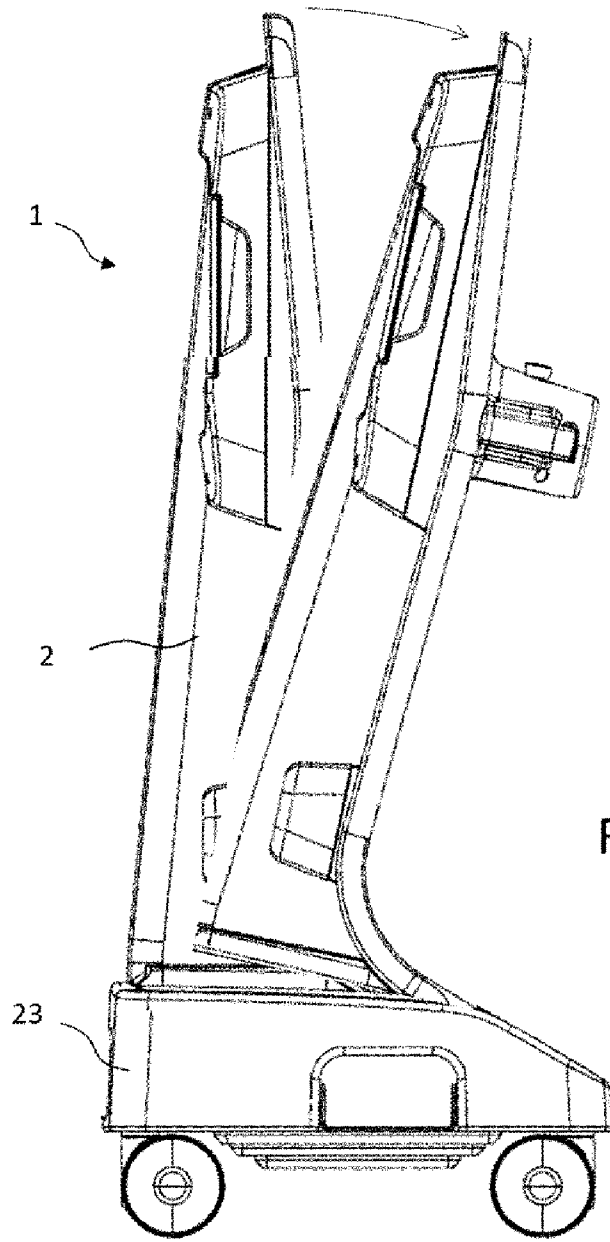


FIG.9

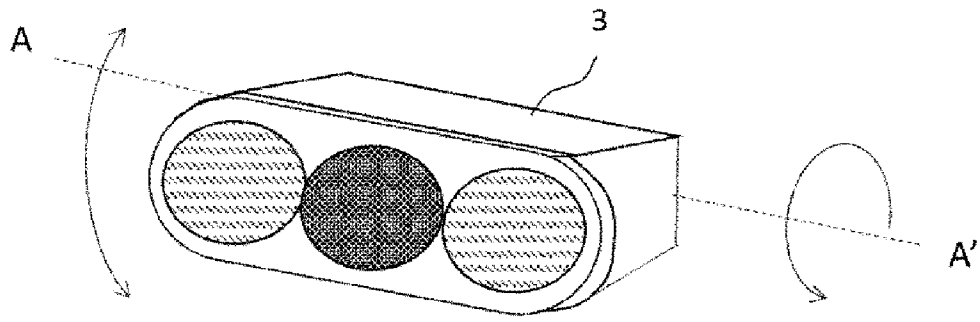


FIG. 10

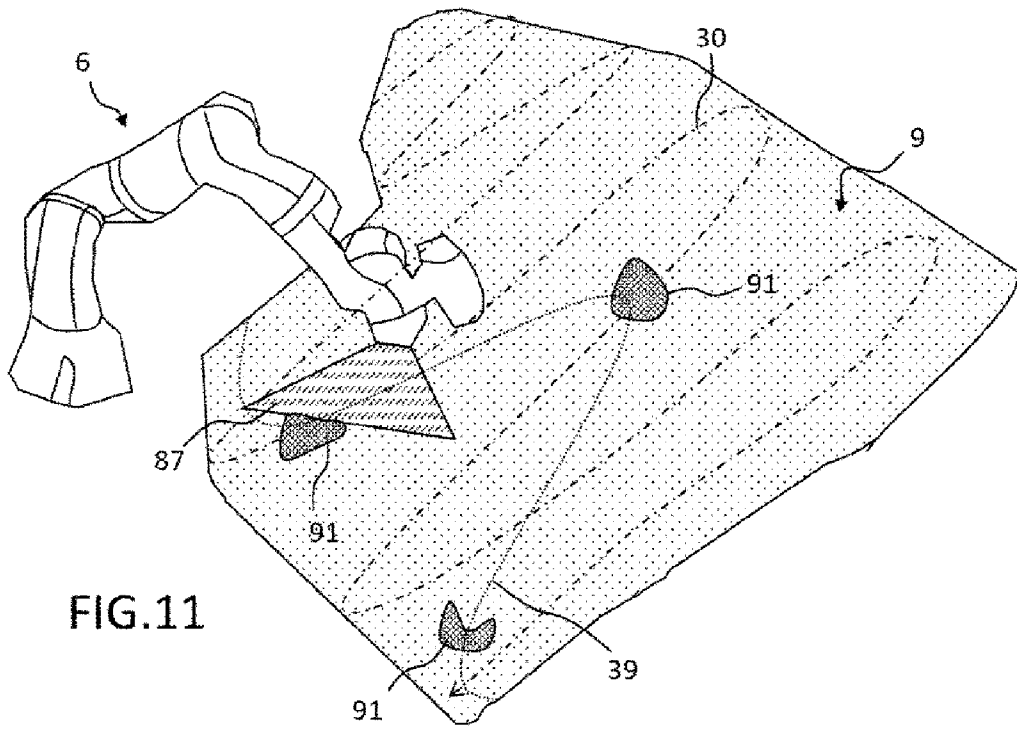


FIG. 11

5

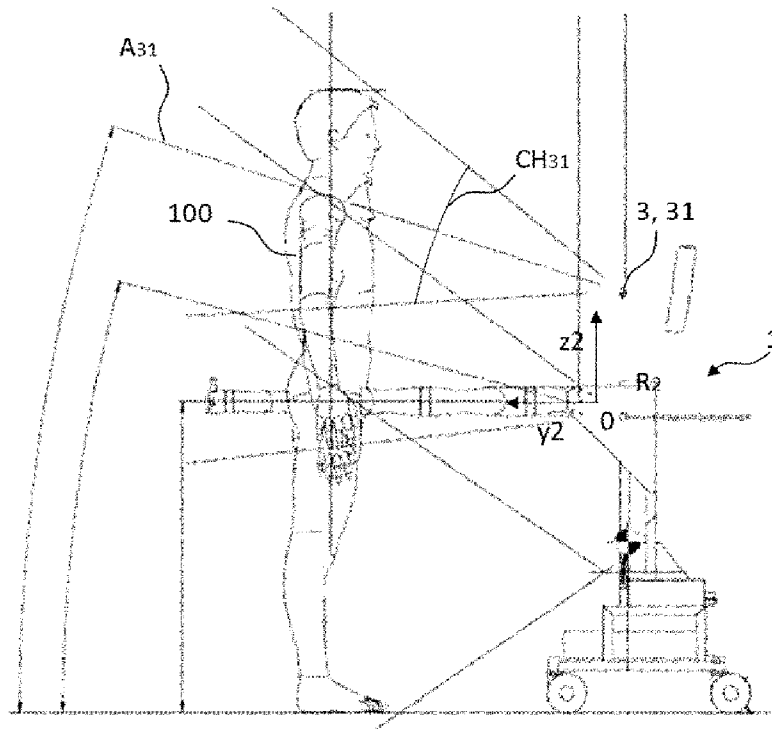


FIG.12

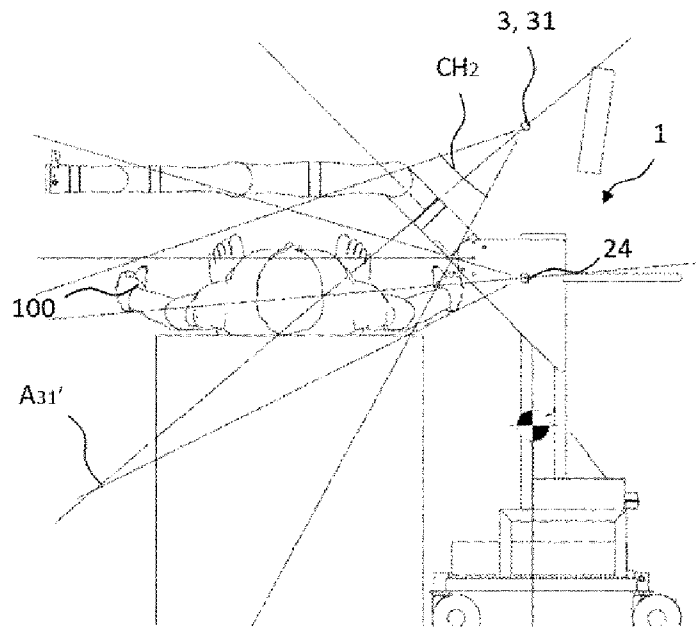


FIG.13