



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 287 934**

51 Int. Cl.:  
**G06T 1/00** (2006.01)  
**B25J 9/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **95919030 .7**  
86 Fecha de presentación : **03.05.1995**  
87 Número de publicación de la solicitud: **0758469**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **19.02.1997**

54 Título: **Método de telemanipulación por telepresencia.**

30 Prioridad: **05.05.1994 US 239086**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.12.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.12.2007**

73 Titular/es: **SRI International**  
**333 Ravenswood Avenue**  
**Menlo Park, California 94025-3493, US**

72 Inventor/es: **Green, Philip, S.**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 287 934 T3

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

**DESCRIPCIÓN**

Método de telemanipulación por telepresencia.

**5 Antecedentes de la invención**

Esta invención se refiere a telemanipulación utilizando telepresencia, y más particularmente a aplicaciones de telemanipulación a cirugía laparoscópica.

10 Un sistema de telemanipulación permite a un operador manipular objetos localizados en un espacio de trabajo desde una estación de operador de control remota. Por ejemplo, en un procedimiento de cirugía abdominal laparoscópica, el abdomen del paciente es insuflado con gas, y se hacen pasar cánulas a través de pequeñas incisiones para proporcionar accesos de entrada para instrumentos de cirugía laparoscópica. Los instrumentos de cirugía laparoscópica incluyen un medio de captura de imágenes para visualizar el campo quirúrgico e instrumentos de trabajo, como pinzas  
15 y tijeras. Los instrumentos de trabajos son similares a aquellos utilizados en cirugía abierta, excepto porque el extremo funcional de cada instrumento está separado de su mango por un tubo de extensión. El cirujano lleva a cabo la cirugía deslizándolo a través de las cánulas y manipulándolos dentro del abdomen tomando como referencia una imagen mostrada del interior del abdomen. La cirugía por telepresencia, es decir, desde una localización remota utilizando medios de control remoto de los instrumentos quirúrgicos, es un paso siguiente. Un cirujano es idealmente  
20 capaz de llevar a cabo cirugía a través de telepresencia, que, a diferencia de otras técnicas de manipulación remota, aporta al cirujano la sensación de que tiene control directo de los instrumentos, incluso aunque solamente tenga control remoto de los instrumentos y una vista a través de la imagen mostrada.

La efectividad de la telepresencia deriva en gran medida de la ilusión de que los manipuladores remotos son  
25 percibidos por el operador del sistema como si emergiesen de los dispositivos de control manual localizados en la estación de operador remota. Si el medio de captura de imágenes, tal como una cámara o laparoscopio, está ubicado en una posición con respecto a los manipuladores que difiere significativamente de la relación antropomórfica de los ojos y manos, los manipuladores parecerán estar situados lejos de los controles manuales del operador. Esto provocaría que los manipuladores se moviesen de una forma extraña con relación a la posición de visión, dificultando la habilidad  
30 del operador para controlarlas con destreza y rapidez. Sin embargo, a menudo es inevitable en aplicaciones como la cirugía laparoscópica mover el laparoscopio para obtener la mejor imagen posible de la cavidad abdominal.

La patente numero US 5,182,641 enseña un sistema para mostrar imágenes de vídeo en tiempo real para la te-  
35 leoperación de un robot o de un vehículo remoto. El sistema tiene al menos un monitor de televisión para mostrar una imagen de televisión desde una cámara seleccionada y la capacidad de seleccionar una cámara para mostrar la imagen. La solicitud de patente internacional WO 93/05479 revela un método y un dispositivo para calibrar un marco de control de herramienta de un robot respecto a un marco de referencia de calibración conocido unido a un enlace del robot.

40 Por tanto, se necesita una técnica para proporcionar al operador la sensación de control manual directo del manipulador remoto, incluso en presencia de un dispositivo formación de imágenes substancialmente desplazado, de forma que el operador sienta como si estuviese viendo el espacio de trabajo en presencia real.

**Compendio del invento**

45 De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un sistema de telemanipulación como el definido en la reivindicación 1. Características preferidas del sistema se definen en las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1.

50 De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un método para manipular objetos como el definido en la reivindicación 21. Características preferidas del método se definen en las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 21.

55 De acuerdo con una realización alternativa de la invención se proporciona, en un sistema de telemanipulación para manipular objetos localizados en un espacio de trabajo en un lugar de trabajo remoto por un operador en una estación de operador, como en un sistema de cirugía remota, teniendo el lugar de trabajo remoto un manipulador o par de manipuladores, cada uno con un actuador de extremo para manipular un objeto en el espacio de trabajo, tal como una cavidad del cuerpo, un controlador que incluye un control manual en la estación de operador de control para el control remoto de los manipuladores, un medio de captura de imágenes, tal como una cámara, para capturar en tiempo real una  
60 imagen del espacio de trabajo, y medios de producción de imágenes para reproducir una imagen visible con suficiente realimentación como para dar la sensación al operador de control de tener control en tiempo real sobre el objeto en el espacio de trabajo, que está mejorado con medios para sentir la posición de los medios de captura de imágenes con relación al actuador de extremo y medios para transformar la imagen visible en tiempo real en una imagen en perspectiva con manipulación correlacionada del actuador de extremo por los medios de control manual de tal forma  
65 que el operador puede manipular el actuador de extremo y el manipulador como si estuviese visualizando el espacio de trabajo en presencia substancialmente real. Por presencia real se entiende que la presentación de una imagen sea una imagen en perspectiva real que simula el punto de vista de un operador. La transformación de la imagen de acuerdo con la invención incluye rotación, translación, y corrección de perspectiva.

Las realizaciones preferidas de la invención se comprenderán mejor haciendo referencia a la siguiente descripción detallada con relación a los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

5

La Fig. 1A es un vista lateral de una estación de operador remota y de una estación de lugar de trabajo en un sistema de telemanipulación de acuerdo con la presente invención.

10

La Fig. 1B es una vista en perspectiva de una estación de operador remota y de una estación de lugar de trabajo adaptada para la visualización estereoscópica en un sistema de telemanipulación de acuerdo con la presente invención.

15

La Fig. 2 es una vista esquemática en perspectiva de una realización específica de la invención donde el medio de captura de imágenes está centrado y normalizado con relación al punto de vista de un operador que utiliza los manipuladores.

20

La Fig. 3 es una vista esquemática en perspectiva de una realización específica de la invención donde el medio de captura de imágenes está desplazado lateralmente con relación al punto de vista de un operador que utiliza los manipuladores.

25

La Fig. 4 es una vista esquemática en perspectiva de una realización específica de la invención donde el medio de captura de imágenes está en una posición mas baja con relación al punto de vista de un operador que utiliza los manipuladores.

30

La Fig. 5A es una vista de un alzado frontal de los objetivos de un medio de captura de imágenes estereoscópicas donde los objetivos están en una posición normalizada con relación al punto de vista de un operador que utiliza los manipuladores.

La Fig. 5B es una vista de un alzado frontal de los objetivos de un medio de captura de imágenes estereoscópicas donde los objetivos están rotados con relación al punto de vista de un operador que utiliza los manipuladores.

35

La Fig. 6A es una vista superior en planta de una imagen de un manipulador remoto en un sistema de telemanipulación que muestra un elemento estereográfico superpuesto de cuatro puntos de coordenadas antes de la calibración.

La Fig. 6B es una vista superior en planta de una imagen de un manipulador remoto en un sistema de telemanipulación que muestra un elemento estereográfico superpuesto de cuatro puntos de coordenadas después de la calibración.

40

La Fig. 7A es una vista superior en planta de una imagen de un manipulador remoto en un sistema de telemanipulación que muestra el ángulo de desplazamiento en la horizontal del medio de captura de imágenes con relación a los manipuladores.

La Fig. 7B es una vista ampliada de una porción de la Fig. 4A que muestra el efecto combinado sobre la posición del actuador de extremo de un manipulador después de un desplazamiento lateral.

45

La Fig. 8 es una representación geométrica de la imagen de un manipulador como una proyección de un control manual.

La Fig. 9 es una representación geométrica del manipulador real cuya imagen se representa en la Fig. 8.

### Descripción de realizaciones específicas

50

La Fig. 1A muestra un sistema 10 de telemanipulación de acuerdo con una realización de la presente invención con una estación 12 de operador remota donde un operador 14 (un cirujano, por ejemplo) puede llevar a cabo la telemanipulación de un objeto en una estación 16 de lugar trabajo. La estación 12 remota incluye un monitor 20 de vídeo para que el operador 14 visualice el lugar de trabajo y un espacio 22 de trabajo aparente donde el operador 14 lleva acabo las manipulaciones reales cogiendo los medios 24, 26 de control manuales, como mangos de instrumentos quirúrgicos, que están conectados a los sensores 51, 55 de posición. La estación 16 de lugar de trabajo incluye un medio 19 de captura de imágenes, que incluye un medio 21 de sensor con un objetivo 28 de cámara de una cámara o un endoscopio, y se entiende que hay un medio 19 de captura de imágenes asociado a ese objetivo, que captura una imagen de un objeto situado en el espacio 30 de trabajo. (Un endoscopio estaría dentro de la cavidad corporal). Los manipuladores 32, 34 permiten la manipulación del objeto en el espacio 30 de trabajo en correlación con la imagen mostrada utilizando los medios de actuador 39, 41 de extremo.

65

La imagen capturada en el lugar 16 de trabajo, es transmitida a través de un número de etapas que presentan al operador 14 una imagen en tiempo real del objeto en el espacio 30 de trabajo. En particular, un medio 21 de sensor, que incluye un medio 19 óptico de captura de imágenes, proporciona una vista de los manipuladores 32, 34 a través de un objetivo 28 de cámara, pasando dicha información de imagen por el camino 13 a un procesador 23 de imágenes. Además, se puede pasar información acerca de la posición del sensor de imágenes (posición de cámara) mediante el camino 63 al transformador 43 de coordenadas. (Para una cámara fija, la información de la posición de cámara puede

## ES 2 287 934 T3

ser preajustada). Además, medios 59, 61 de sensor de posición mecánica perciben la posición de los manipuladores 32, 34 mecánicamente, reenviando la información al transformador 43 de coordenadas por el camino 157.

5 El procesador de imágenes 23 incluye medios 25 de rotación y translación, medios 29 de corrección de perspectiva y medios 27 de calibración. El rotador es para rotar la imagen y el trasladador es para trasladar la imagen rotada. El corrector 29 de perspectiva es principalmente para magnificar la imagen y puede incluir algún corrector de inclinación. El calibrador 27 puede tener varias funciones, dependiendo del tipo de entrada de imagen. Se utiliza, en particular, para calibrar la imagen a un sistema de coordenadas de referencia conocido para permitir que el operador coordine movimientos de los controles manuales y los manipuladores. Una vez que la imagen ha sufrido una transformación a través de uno o más de estos bloques funcionales, los datos de los píxeles pasan, a través del camino 15, a un dispositivo 31 de formación de imágenes que actúa sobre un monitor 20 de vídeo, que en esta realización es un dispositivo monoscópico, y se pasan datos sobre la imagen al transformador 43 de coordenadas, por lo cual cualquier dato de imagen procesado que afecte potencialmente al control de los manipuladores (por ejemplo, magnificación, rotación, translación) está disponible para el control de los manipuladores. Los detalles de los procesos que pueden estar afectados se explican a continuación, en particular con respecto a la calibración.

20 El transformador 43 de coordenadas es el principal procesador de información de posición. La información de posición de cámara, la información de posición de manipulador, y la información de posición de control manual son recibidas y procesadas en el mismo. En particular, las posiciones de los controles 24, 26 manuales, son percibidas por los sensores 51, 51 de posición y pasan a través del camino 47 al transformador 43 de coordenadas. Después de la transformación y procesamiento en el transformador 43 de coordenadas, la información de control se aplica al servo 45 de seguimiento de posición, que maneja y controla los manipuladores 32, 34 con los actuadores 39, 41 de extremo. El funcionamiento de cada uno de estos bloques se describirá con más detalle.

25 Durante el funcionamiento, el objetivo 28 de la cámara captura la imagen del objeto en el espacio 30 de trabajo real en una orientación específica a través del medio 19 de captura de imágenes. El monitor 20 de vídeo muestra la imagen para que el operador 14 pueda visualizar el objeto mientras lo manipula. El operador 14 puede entonces coger los medios 24, 26 de control manual ubicados en el espacio 22 de trabajo aparente para llevar a cabo las manipulaciones deseadas. Los medios 24, 26 de control manual en la estación 12 remota movidos por el servo 45 de seguimiento de posición controlan los manipuladores 32, 34 en la estación 16 del lugar de trabajo, que realmente manipulan el objeto en el espacio 30 de trabajo. El espacio 30 de trabajo, por tanto, es proyectado de forma efectiva al operador 14 remoto para crear la ilusión de que está tocando y viendo directamente y controlando el objeto situado en el espacio 30 de trabajo. Proyectado apropiadamente, esto da como resultado un control de movimientos natural y espontáneo por parte del operador 14, incluso cuando está situado en otra habitación o en otra ubicación muy lejana.

30 Los problemas a los que se dirige la presente invención surgen de la situación en la que el objetivo 28 de la cámara no está ubicado en la misma posición en el espacio 30 de trabajo real con relación a los manipuladores 32, 34 que los ojos del operador de control que observa la imagen proyectada en espacio 22 de trabajo "aparente" con relación a los medios 24, 26 de control manual. La presente invención proporciona una solución.

35 El sistema de telemanipulación de acuerdo con la presente invención también se puede adaptar para conseguir la visualización estereoscópica. La Fig. 1B muestra todos los elementos de las Figs. 1A, con la adición de un segundo objetivo 36 de cámara y un medio 35 de captura de imágenes. Los dos objetivos 28 y 36 de cámara pueden estar separados aproximadamente  $10^\circ$ , que es la misma disparidad de visión interocular que se experimenta cuando se está viendo un campo visual a 40 cm. de separación. La imagen estéreo se muestra por un monitor 38 de vídeo estéreo (por ejemplo, utilizando un polarizador 37 electrónicamente conmutado sobre la pantalla) y se visualiza a través de un objetivo 40 estereoscópico de polarización cruzada, que, por tanto, proporciona una imagen natural al operador 14 remoto para que el operador experimente la realimentación visual correcta cuando toque y mire directamente en el espacio 30 de trabajo real y manipule directamente el objeto situado en el mismo. A continuación se explican los detalles del sistema.

40 La Fig. 2 es una vista esquemática en perspectiva de los elementos de la estación de lugar 16 de trabajo en el espacio 30 de trabajo del sistema de telemanipulación, que presenta características de la Fig. 1 que están en un bucle de control. El operador del sistema está en una estación remota para manipular objetos situados en un punto 50 central en el espacio 30 de trabajo. En el sistema monoscópico, el medio 21 de sensor con el objetivo 28 de la cámara y el medio 19 de captura de imágenes capturan una imagen en tiempo real del objeto. El operador 14 utiliza medios 24, 26 de control manual duales para controlar el manipulador 32 izquierdo y el 34 manipulador derecho, respectivamente, lo que permite la manipulación remota del objeto en el espacio 30 de trabajo. Para los medios 24, 26 de control manual y los manipuladores 32, 34, hay en este ejemplo un punto de pivote fijo sobre el cual se efectúa un movimiento angular bidireccional, junto con una capacidad de extensión similar a una telescópica para cada uno de los manipuladores y controladores manuales. La correlación entre los medios 24, 26 de control manual y los manipuladores 32, 34, combinado con la imagen capturada por el objetivo 28 de la cámara, proporcionan realimentación suficiente para dar sensación al operador de que controla en tiempo real el objeto en el espacio de trabajo (es posible una mejora adicional con realimentación táctil). Tanto el manipulador 32 izquierdo como el manipulador 34 derecho están en este ejemplo alzados  $30^\circ$  con respecto a un plano de orientación arbitrario, incluyendo un eje 52 de línea central del espacio 30 de trabajo, para simular un posicionamiento típico de un objeto en el espacio 30 de trabajo local real.

## ES 2 287 934 T3

Durante el funcionamiento, el objetivo 28 de la cámara está en la posición lateral a  $0^\circ$  con respecto al eje 52 de línea central, de forma que el objetivo 28 de la cámara está entre el manipulador 32 izquierdo y el manipulador 34 derecho. La superficie del objetivo 28 de la cámara se alza, por ejemplo, a un ángulo de  $45^\circ$  con respecto al plano que contiene el eje 52 de línea central y la línea 53 de base. Esta posición y orientación de cámara es una aproximación cercana a la posición ocular real con respecto a los manipuladores 32 y 34 y representa una base o posición de referencia. La imagen capturada por el objetivo 28 de la cámara aparece como si el operador estuviese mirando el punto 50 central mientras está erguido sobre los manipuladores 32 y 34 con un ángulo de visión de  $45^\circ$  en el espacio de trabajo. Tanto el manipulador 32 izquierdo como el manipulador 34 derecho aparecen en la parte inferior de la imagen mostrada (proximal con respecto a los controles manuales del operador), evocando un fuerte sentido de telepresencia, lo que significa que el operador siente que tiene control directo de los manipuladores 32 y 34, permitiendo un control con destreza y rapidez, particularmente cuando hay una realimentación táctil de los manipuladores 32, 34 a los medios 24, 26 de control manual.

En una aplicación de la telemanipulación en la que el posicionamiento de los elementos es difícil debido a obstrucciones, es a menudo necesario mover el objetivo 28 de la cámara a posiciones diferentes, lo que resulta en una vista diferente del objeto en el punto 50 central. En referencia a la Fig. 3, se muestra una vista esquemática en perspectiva de los elementos en el espacio 30 de trabajo de la estación 16 de lugar de trabajo de un sistema de telemanipulación monoscópica en la que la posición del objetivo 28 de la cámara está rotado un ángulo  $\theta$  58 lateralmente en un plano horizontal hacia fuera del eje 52 de línea central. Después de la rotación del objetivo 28 de la cámara, el manipulador 32 izquierdo y el manipulador 34 derecho aun están inclinados hacia abajo un ángulo de  $30^\circ$  con relación al plano que contiene el eje 52 de línea central y la línea 53 de base, y el objetivo 28 de la cámara está aún posicionado a un ángulo  $\theta$  por encima del plano formado por el eje 52 de la línea central y la línea 53 de base. Para evocar un sentido de telepresencia en el operador similar al caso en el que el objetivo 28 de la cámara está situado directamente sobre los manipuladores 32 y 34 (como en Fig. 2), de acuerdo a la invención, la imagen capturada proyectada por el objetivo 28 de la cámara es girada alrededor del eje 54 de visión a través del centro del objetivo 28 de la cámara. Esto compensa la rotación alrededor del eje "vertical" U para realizar una reorientación estática de las posiciones aparentes del manipulador.

Se debe entender que el objetivo 28 de la cámara y el medio 19 de captura de imágenes pueden recorrer un rango completo de rotación alrededor del eje vertical U, y que los ángulos con relación a los planos de referencia y similares de los manipuladores y la cámara son impuestos por las limitaciones del entorno operativo. Adicionalmente, el objetivo 28 de la cámara puede posicionarse con diferentes ángulos con relación al plano formado por el eje 52 de la línea central y la línea 53 de base. Por ejemplo, la Fig. 4 muestra el objetivo 28 de la cámara posicionado a una elevación de  $15^\circ$  por encima del plano de referencia (arbitrario) formado por eje 52 de línea central y la línea 53 de base. Con esta alineación, el objetivo 28 de la cámara está por debajo de los manipuladores 32, 34.

Si la imagen es puramente monoscópica, como se muestra en la Fig. 1, el sistema puede afectar una reorientación estática de los manipuladores 32 y 34 alrededor de un eje 54 mediante un punto, específicamente el punto 50 central, mediante la rotación de la imagen digital por el medio 25 de rotación. La Fig. 3 muestra los ángulos de rotación relevantes. El ángulo  $\Phi$  56 indica el ángulo de inclinación del eje 54 de visión del objetivo 28 de la cámara por debajo del eje vertical U. El ángulo  $\theta$  58 indica la rotación de la posición del objetivo 28 de la cámara en el plano horizontal (formado por las líneas 52, 53) alejándose del eje 52 de línea central con relación al punto 50 central.

El medio 25 de rotación efectúa la realineación estática de los manipuladores por rotación de la imagen píxel a píxel en tiempo real un ángulo aproximadamente igual a  $-\theta$ , de acuerdo con métodos conocidos. Después de completar esta operación, el manipulador 32 izquierdo y el manipulador 34 derecho aparecen en la parte inferior de la imagen mostrada (mitad inferior de la pantalla proyectada). El objetivo 28 de la cámara se mantiene estacionario, y la imagen mostrada es girada mediante manipulación de imagen. Nótese que si los medios 24, 26 de control manual en la estación de operador están situados por encima del punto de vista del operador de control, la rotación de la imagen mostrada corregirá la imagen mostrada hasta el punto que los manipuladores aparecen en la parte superior de la imagen mostrada (mitad superior de la pantalla proyectada). En ambos casos, la transformación de la imagen mostrada permite al operador visualizar los manipuladores como si emergieran de los controles manuales del operador. La nueva correlación de la imagen se realiza antes de que se pueda efectuar el control real.

Además de efectuar una realineación estática mediante una transformación digital de imagen, el medio 25 de transformación puede efectuar una sincronización dinámica de las posiciones aparentes de la punta del manipulador con posiciones de control manual realizando las siguientes transformaciones de coordenadas sobre los datos de la imagen de vídeo. La posición real de las puntas de los manipuladores en el espacio 30 de trabajo se pueden transformar a una posición aparente en la imagen mostrada para que los manipuladores parezcan moverse como si estuvieran rígidamente conectados a los controles manuales del operador. La alteración de la posición aparente de las puntas de los manipuladores mejora la destreza del operador en el manejo del objeto en el espacio 30 de trabajo. Debido a que el punto de extremo del actuador de extremo del manipulador es conocido, el punto (a, b, c) se puede relacionar con la posición angular y longitud del manipulador, y el punto (p, q, r) se puede relacionar con los mismos parámetros con relación al control manual utilizando una relación trigonométrica bien conocida entre vectores y sus puntos terminales. Así,

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' & 0 \\ -\sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$$

(Eq. 1)

Con relación a la transformación asociada a la ecuación de arriba, la imagen es girada un ángulo  $\theta'$  seleccionado por el operador para llevar la posición aparente de los manipuladores hacia un registro substancial con los controles manuales. Puede observarse que el ángulo  $\theta' \approx -\theta$ . Esta transformación describe la relación entre la posición del punto representado por el medio de actuador de extremo en (a, b, c) (para cualquier medio de actuador de extremo) con relación al punto (p, q, r) de la punta correspondiente del manipulador en el espacio de trabajo aparente en la imagen mostrada en el monitor 20 de vídeo.

Otro método para conseguir la reorientación estática de las posiciones del manipulador es rotar el medio de captura de imágenes alrededor de su eje visual. Haciendo referencia de nuevo al sistema monoscópico representado en la Fig. 1A y Fig. 3, el objetivo 28 de la cámara es girado alrededor de su propio eje 54 de visión, un eje normal al plano del objetivo 28 de la cámara, hasta el punto en que el manipulador 32 izquierdo y el manipulador 34 derecho aparecen en la parte inferior de la imagen mostrada (mitad inferior de la pantalla proyectada). Obsérvese nuevamente que si los medios de control manual en la estación del operador están situados por encima del punto de vista del operador de control, la rotación del objetivo 28 de la cámara y del medio 19 de captura de imágenes corregirán la imagen mostrada hasta el punto en que los manipuladores aparecen en la parte superior de la imagen mostrada (mitad superior de la imagen proyectada).

Para conservar el efecto estereoscópico, en el caso de formación de imágenes estereoscópica, como se representa en la Fig. 1B, las rotaciones no se pueden realizar alrededor de ejes separados a través de cada objetivo de cámara, sino que (con referencia a la Fig. 5A y la Fig. 5B) se deben hacer conjuntamente alrededor de un único eje desplazado con respecto a ambos objetivos. Específicamente, la rotación se realiza normal al eje 57 central que pasa a través del punto 50 central y un punto arbitrario sobre el eje 57 central entre los objetivos estereoscópicos de las cámaras 28 y 36 (Fig. 5A y Fig. 5B). Este eje es similar al eje 54 de visión descrito con relación a la Fig. 2. Con referencia a la Fig. 5A, se muestran los objetivos de un dispositivo estereoscópico en su posición inicial. El eje 57 central presenta la relación fija de cada objetivo de la pareja de cámaras y es paralelo a un eje 59 de referencia paralelo a un eje en el plano formado por los manipuladores 32, 34 que se cruzan en el punto 50 central, donde el eje es normal a una línea que biseca los manipuladores y que pasa por el punto 50 central. Para reorientar la imagen mostrada mediante rotación del medio de captura de imágenes, el eje 57 central se inclina con relación a un plano de referencia 59 que pasa por el punto 50 central, incluyendo dicho plano el eje 59 de referencia, como se muestra en la Fig. 5B.

Hay una limitación en la cantidad de rotación visualmente aceptable del medio 19, 35 de captura de imágenes estereoscópica y la elevación del medio 19, 35 de captura de imágenes con relación al plano de los manipuladores 32, 34. La elevación no puede ser tan grande que haga imposible cambiar el ángulo relativo de visión de cada uno de los dos manipuladores uno con relación al otro. Claramente, si el ángulo  $\Phi$  es igual a  $90^\circ$  de elevación (donde el eje 54 de visión se encuentra en el plano de referencia formado por líneas 52 y 53), no se conseguirá ningún cambio útil en el ángulo relativo de visión por rotación de la imagen. A otros ángulos de elevación, la limitación depende del ángulo de separación de los manipuladores 32, 34 y, en segundo lugar, de la separación de los objetivos 28, 36 estereoscópicos.

Además de conseguir la reorientación estática de las posiciones del manipulador por rotación del objetivo 28 de la cámara, el sistema puede efectuar una realineación dinámica realizando una transformación de coordenadas mediante medios 25 de translación. La posición real de las puntas de los manipuladores en el espacio 30 de trabajo se puede transformar a una posición aparente en la imagen mostrada para que los manipuladores parezcan moverse como si estuvieran rígidamente conectados a los controles manuales del operador. La alteración de la posición aparente de las puntas de los manipuladores mejora la destreza del operador en el manejo del objeto en el espacio 30 de trabajo.

La Fig. 8 y Fig. 9 representan la imagen 132 de un manipulador (32) y un manipulador (32) real, respectivamente, con relación a un control 24 manual. En este ejemplo, y comparando con la Fig. 2, los manipuladores y los correspondientes controladores representados por controles manuales son de un tipo que utiliza un único punto 151, 161 de pivote en conexión con los sensores 51, 61 de posición con pivote de dos dimensiones alrededor de el (los) punto(s) y que se extienden a lo largo del eje del manipulador 32. La invención contempla otros movimientos consistentes con estas actuaciones, tal como una rotación longitudinal del manipulador sobre su eje. Con referencia a la Fig. 8 y la Fig. 9, el movimiento del control 24 manual provoca que la punta 72 del manipulador se mueva a un nuevo punto (a, b, c) en el espacio 30 de trabajo, e forma que la imagen 132 de la punta 172 del manipulador se mueva a un nuevo punto (p, q, r) en el espacio 22 de trabajo aparente, aparentando estar ese punto desde el punto de vista del operador en el extremo extendido del control 24 manual. Puede ser preferible expresar los comandos del servo con relación al control manual y el correspondiente manipulador en sus coordenadas polares ( $\Omega, \Psi, L$ ) y ( $\Omega', \Psi', L'$ ). Estas coordenadas polares y sus respectivos puntos en el sistema coordenadas cartesiano se relacionan mediante transformaciones de polar a cartesiano bien conocidas.

## ES 2 287 934 T3

Haciendo referencia otra vez a Fig. 3, se muestran los ángulos específicos de rotación utilizados para calcular la transformación de coordenadas. El ángulo  $\Phi$  56 indica el ángulo de declinación del eje 54 visual del objetivo 28 de la cámara por debajo del eje U vertical. El ángulo  $\theta$  58 indica la rotación del objetivo 28 de la cámara en el plano horizontal hacia fuera del eje 52 de la línea central con relación al punto 50 central en el espacio 30 de trabajo. El ángulo  $\Gamma$  60 indica la rotación del objetivo 28 de la cámara alrededor el eje 54 visual.

Durante el funcionamiento de un sistema de telemanipulación monoscópico, el objetivo 28 de la cámara y el medio 19 de captura de imágenes son hechos rotar alrededor del eje 54 visual, según se describe arriba. Las coordenadas (a, b, c) en un sistema de referencia ortogonal cartesiano del espacio 30 de trabajo tridimensional definen la posición real de la punta de un manipulador, como el manipulador 32 izquierdo. La siguiente ecuación matricial relaciona la posición aparente deseada (p, q, r en el espacio ortogonal cartesiano) de la punta del manipulador en la imagen mostrada en el monitor 20 de vídeo con la posición real (a, b, c) de la punta del manipulador en el espacio 30 de trabajo:

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\Gamma & \sin\Gamma & 0 \\ -\sin\Gamma & \cos\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} \quad (\text{Eq. 2})$$

Cuando la punta del manipulador es mostrada en una posición (p, q, r) en la imagen mostrada en el monitor 20 de vídeo, el manipulador le aparecerá al operador como si estuviese realmente en el extremo del dispositivo rígido de control manual del operador. La transformación de coordenadas mejora la facilidad con que el operador puede manejar objetos en el espacio de trabajo utilizando un sistema de telemanipulación.

En el caso de formación de imágenes estereoscópica, el medio 19, 35 de captura de imágenes estereoscópicas es hecho rotar con relación a un eje 59 de referencia paralelo a un eje en el plano formado por los manipuladores 32, 34 que se cortan en el punto 50 central, donde el eje es normal a una línea que biseca los manipuladores y que pasa por el punto 50 central, como se muestra en la Fig. 5B. El ángulo  $\Gamma$  60 mide la cantidad de rotación de los objetivos 28, 36 estereoscópicos y su valor puede ser utilizado en la Eq. 2 para calcular la transformación de coordenadas adecuada para la visualización estereoscópica.

Para asegurar que los movimientos de los manipuladores 32, 34 en el espacio 30 de trabajo siguen adecuadamente los movimientos de los controles 24, 26 manuales en el espacio 22 de trabajo aparente del operador incluso sin conocer completamente todos los ángulos y posiciones, el operador puede establecer una referencia de calibración para los manipuladores 32, 34 mientras son visualizados en la imagen mostrada en el monitor 20 de vídeo con relación al servo de seguimiento de posición. Con referencia a la Fig. 6A, que muestra la imagen mostrada en el monitor 20 de vídeo, un elemento 62 gráfico de coordenadas de cuatro puntos, por ejemplo en la forma de un tetraedro o estructura cúbica en una vista tridimensional, puede ser superpuesto en el espacio tridimensional sobre el monitor de vídeo estéreo, proporcionando una referencia de coordenadas en el espacio de imagen tridimensional. Para calibrar la posición de un solo manipulador con respecto a su correspondiente control manual, el sistema "abre" el bucle de control, y el operador 14 mueve el control 24 manual, por ejemplo, mientras observa el movimiento de la punta 32 del manipulador, manejando la punta hasta que aparezca tocar un primer punto 64 de referencia del elemento 62 gráfico superpuesto, como se muestra en Fig. 6B. (Debido a que el movimiento del control manual y de la punta del manipulador aún no han sido coordinados, la alineación de la punta con el primer punto de referencia puede requerir un esfuerzo muy deliberado). El operador 14 indica entonces al sistema que se ha conseguido la superposición del manipulador y punto de referencia (por ejemplo, se envía una señal de "listo" al sistema).

El sistema entonces bloquea el manipulador 32 en posición, abre el bucle de control desacoplándolo del control 24 manual e instruye al operador 14 para que suelte el control 24 manual. El sistema ajusta la extensión L (Fig. 8 y Fig. 9) del control manual para que concuerde con la del manipulador L', insertando el desplazamiento  $\sigma_3 = L - L'$ , para que cuando se cierre el bucle de control, no haya ningún movimiento reactivo de ninguno de los dispositivos. Es decir, las posiciones de extensión aparentes del control 24 manual y del manipulador 32 deben ser idénticas cuando se comparan en el bucle de control. El sistema cierra entonces el bucle de control y desbloquea el manipulador 32, devolviendo el control al operador 14.

El operador mueve entonces el control manual alrededor de su punto de pivote hasta una orientación angular ( $\Psi$ ,  $\Omega$ ) en la cual el operador percibe como si la imagen del manipulador emergiese del control manual del operador. De modo similar al proceso arriba descrito, el sistema calcula las transformaciones que aseguran que no habrá ningún movimiento reactivo por parte del maestro o del esclavo cuando se cierre el bucle de control. El sistema calcula los desplazamientos angulares  $\sigma_1 = \Psi - \Psi'$  y  $\sigma_2 = \Omega - \Omega'$  y transforma la posición aparente del maestro o el esclavo antes de cerrar el bucle de control. El sistema graba entonces las posiciones en el espacio tridimensional del control manual maestro ( $\Psi_1$ ,  $\Omega_1$ ,  $L_1$ ) y el manipulador esclavo ( $\Psi'_1$ ,  $\Omega'_1$ ,  $L'_1$ ).

El operador repite los elementos de este proceso con los puntos de referencia restantes del elemento 62 gráfico superpuesto. El sistema podría entonces obtener e instalar la siguiente ecuación linealizada que relaciona cambios

incrementales en la posición de los controles manuales maestros 24, 26 con cambios incrementales en la posición de los manipuladores esclavos 32, 34, utilizando el conjunto de datos para determinar para determinar los coeficientes de la ecuación que relaciona las posiciones:

$$\Delta\Omega' = k_{11}\Delta\Omega + k_{12}\Delta\Psi + k_{13}\Delta L$$

$$\Delta\Psi' = k_{21}\Delta\Omega + k_{22}\Delta\Psi + k_{23}\Delta L$$

$$\Delta L' = k_{31}\Delta\Omega + k_{32}\Delta\Psi + k_{33}\Delta L$$

La solución a la ecuación linearizada es la siguiente:

$$\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta\Omega'_1 & \Delta\Omega'_2 & \Delta\Omega'_3 \\ \Delta\Psi'_1 & \Delta\Psi'_2 & \Delta\Psi'_3 \\ \Delta L'_1 & \Delta L'_2 & \Delta L'_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta\Omega_1 & \Delta\Omega_2 & \Delta\Omega_3 \\ \Delta\Psi_1 & \Delta\Psi_2 & \Delta\Psi_3 \\ \Delta L_1 & \Delta L_2 & \Delta L_3 \end{vmatrix}^{-1}$$

(Eq. 3)

El sistema instala estos valores de coeficientes en el transformador 43 de coordenadas que controla el servo 45, con los desplazamientos adecuados  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ , para que no haya ningún movimiento reactivo cuando se cierre el bucle de control.

En una realización alternativa, la calibración de los manipuladores se consigue a través de movimiento virtual con la asistencia del sistema. Haciendo referencia a la Fig. 6B, el sistema mueve la punta del manipulador 32, en vez de que el operador guíe la punta del manipulador 32, hasta uno de los cuatro puntos definidos en el espacio 30 de trabajo tridimensional, como el punto 64 de referencia tal como lo ve el operador. Utilizando el control 24 manual, el operador 14 entonces calibra dinámicamente la posición del manipulador 32 conduciendo un punto gráfico superpuesto hasta que aparezca superpuesto sobre la punta del manipulador 32. El operador 14 entonces indica al sistema que se ha conseguido la superposición del manipulador 32 y el punto de referencia 64, y se graban las coordenadas del manipulador 32 y del control 24 manual. El proceso se repite para los restantes puntos de referencia, después de lo cual el sistema obtiene e instala una fórmula de transformación de coordenadas en el transformador 43 de coordenadas, como se describe en la realización anterior.

En la práctica real, es preferible que el cirujano, en vez del sistema, inicie el proceso de calibración si el sistema se está utilizando en cirugía laparoscópica. Durante la cirugía, el proceso de calibración se lleva a cabo dentro del abdomen del paciente, donde hay poco espacio para maniobrar. Por tanto, los movimientos automáticos del manipulador, por pequeños que sean, se pueden considerar menos deseables que movimientos controlados por un operador.

Otro método para evocar un sentido de telepresencia en un sistema de telemanipulación implica el uso de una transformación específica de coordenadas para compensar por otros cambios en la imagen mostrada, tal como un desplazamiento lateral o un cambio de escala. La cámara puede sufrir a un desplazamiento lateral o angular, provocando un desplazamiento de la imagen mostrada. Además, la cámara puede ser capaz de magnificar el objeto en el espacio de trabajo, lo que provoca un cambio de escala y un desplazamiento del punto de pivote aparente del manipulador.

Las Figs. 7A y 7B muestran el efecto combinado de un desplazamiento lateral de la imagen y un cambio de escala provocado por una magnificación de la imagen. La Fig. 7A muestra una porción de la imagen mostrada, que incluye un manipulador 32, en un campo bidimensional. El centro de la imagen está en la coordenada (0, 0). El operador experimenta la mejor sensación de telepresencia posible si la punta 72 del manipulador en las coordenadas (u, v) en el campo de la imagen aparenta moverse como si estuviera rígidamente acoplado al dispositivo de control en la mano del operador. El dispositivo de control pivota sobre el punto (m, n) en la figura. El manipulador se ubica en un ángulo  $\alpha$  74 con respecto al eje y, y la distancia desde el punto (m, n) de pivote hasta la punta del manipulador (u, v) tiene la longitud L 76.

La Fig. 7B muestra lo que operador vería si la imagen estuviese magnificada por un factor de M. El centro de la imagen es desplazado lateralmente una distancia  $\Delta x$  y  $\Delta y$ , y las nuevas coordenadas aparentes de la punta 72 del manipulador son  $(u', v')$ . Para asegurar un nivel deseable de telepresencia, ángulo  $\alpha$  74 y la longitud L 76 se vuelven a correlacionar a través de medios 29 de corrección de perspectiva en la imagen mostrada para dar al operador la impresión de que la punta 72 del manipulador está aun rígidamente acoplada al dispositivo de control manual. El par de ecuaciones siguientes describen la nueva correlación entre el ángulo  $\alpha$  74 y el ángulo  $\alpha'$  78 y entre la longitud L 76 y la longitud L' 80:

$$\alpha' = \arctan [(u' - m) / (v' - n)]$$

y

$$L' = [(u' - m)^2 + (v' - n)^2]^{\frac{1}{2}}$$

donde:

$$u' = M(u - \Delta x) \qquad v' = M(v - \Delta y)$$

y donde:

$$u = L(\sin\alpha) + m \qquad v = L(\cos\alpha) + n$$

Cuando  $\alpha$  y L son se vuelven a correlacionar de acuerdo con las ecuaciones anteriores, la punta 72 del manipulador parece moverse en la imagen mostrada como si estuviera rígidamente conectada al dispositivo de control manual del operador.

Las relaciones anteriores se pueden extender para que incluyan transformaciones en tres dimensiones para compensar por el desplazamiento de los manipuladores cuando el objetivo 28 de la cámara es rotado sobre su propio eje 54 visual, como en la realización descrita con respecto a Fig. 3. En todos los casos, se consigue el objetivo deseado de mantener el plano percibido de forma que contenga los dos manipuladores coincidentes con el plano de los dos controles manuales.

La invención se ha explicado ahora con respecto a realizaciones específicas. Otras realizaciones serán evidentes para los expertos medios en la materia cuando tras hacer referencia a la presente descripción. Por ejemplo, la invención puede ser extendida a manipuladores articulados con múltiples puntos de rotación y translación o con puntos de pivote en localizaciones que no estén físicamente acopladas a los manipuladores. Por lo tanto, no es la intención de esta invención limitarse, excepto por lo indicado en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

5 1. Un sistema (10) de telemanipulación para manipular objetos situados en un espacio (30) de trabajo real en una estación (16) de trabajo remota por un operador (14) de control desde una estación (12) de operador de control, incluyendo dicho sistema (10) de telemanipulación un manipulador (32, 34) en el lugar de trabajo con un actuador (39, 41) de extremo para la manipulación de un objeto en el espacio de trabajo real, un controlador que incluye un control (24, 26) manual en la estación (12) de operador de control para el control remoto por el operador (14) de control del manipulador, un dispositivo (19) de captura de imágenes para tomar una imagen en tiempo real del espacio (30) de trabajo real, un generador (31) de imágenes para producir una visualización sobre un monitor para los ojos del operador de control, comprendiendo además dicho controlador:

15 medios (23) acoplados a dicho dispositivo (19) de captura de imágenes para procesar la imagen en tiempo real para obtener una imagen procesada para mostrar al operador de control, donde dicho dispositivo de captura de imágenes forma un ángulo y una posición con relación al actuador (39, 41) de extremo que difiere de una posición relativa de los ojos del operador (14) de control y el control (24, 26) manual, cooperando dicho medio (23) de procesamiento de imágenes y dicho generador de imágenes para producir la imagen procesada de dicho actuador de extremo, **caracterizado** porque la visualización está posicionada de manera que la imagen procesada se sitúa substancialmente en una posición en la que el operador vería el control manual, creando así un espacio (22) de trabajo aparente, y porque la imagen procesada es substancialmente la misma que una imagen tomada por un dispositivo de captura de imágenes ubicado a un ángulo y a una posición con relación al actuador de extremo que es substancialmente equivalente a un ángulo relativo y posición de los ojos del operador de control y el controlador.

25 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, donde dicho medio (23) de procesamiento de imágenes comprende además:

30 medios para convertir una posición real del actuador de extremo en el espacio de trabajo en una posición percibida del actuador de extremo en la imagen procesada, siendo el dispositivo (19) de captura de imágenes monoscópico y estando situado según un ángulo  $\theta$  sobre un plano de referencia, estando dicho dispositivo (19) de captura de imágenes por encima del plano de referencia en un espacio de referencia, y donde los ojos del operador (14) de control están posicionados según un ángulo de  $0^\circ$  con relación a una línea de base sobre dicho plano de referencia, estando dichos ojos por encima de dicho plano de referencia en dicho espacio de referencia, siendo rotada la imagen precedente píxel a píxel un ángulo de  $\theta'$ , que es aproximadamente igual a  $-\theta$ .

35 3. El sistema de la reivindicación 2, donde las coordenadas de dicha posición del actuador (19, 41) de extremo percibida se relacionan dinámicamente con las coordenadas de dicha posición real del actuador de extremo mediante la siguiente relación:

$$40 \begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' & 0 \\ -\sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

45 donde

[p, q, r] son las coordenadas de dicha posición percibida,

50 [a, b, c] son las coordenadas de dicha posición real,

el ángulo  $\theta$  es la rotación del medio de captura de imágenes en un plano horizontal alrededor de un eje vertical,

55 siendo el ángulo  $\theta'$  sustancialmente igual a  $-\theta$ , y

el ángulo  $\Phi$  es el ángulo de declinación por debajo de dicho eje vertical de un eje normal a una superficie del medio de captura de imágenes.

60 4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, donde dicho medio (23) de procesamiento de imágenes además comprende:

65 medios para la realineación estática del manipulador (32, 34) efectuando una rotación del dispositivo (19) de captura de imágenes alrededor de un eje normal a una superficie del dispositivo de captura de imágenes hasta una posición donde el manipulador aparece en la imagen procesada tal como se presenta al operador (14) de control, donde los controles (24, 26) manuales están por debajo de un punto de vista del operador (14) de control.

## ES 2 287 934 T3

5. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, donde dicho medio (23) de procesamiento de imágenes además comprende:

5 medios para la realineación estática del manipulador efectuada por rotación del dispositivo (19) de captura de imágenes alrededor de un eje normal a una superficie del dispositivo de captura de imágenes hasta una posición donde el manipulador (32, 34) aparece en la imagen procesada tal como se presenta al operador (14) de control, donde los controles (24, 26) manuales están por encima de un punto de vista del operador de control.

10 6. El sistema de acuerdo con la reivindicación 4, donde el dispositivo (19) de procesamiento de imágenes comprende:

15 una cámara (19) monoscópica, donde la rotación del medio de captura de imágenes se produce alrededor de un eje visual de dicha cámara monoscópica a través de un centro de un objetivo (28) de dicha cámara monoscópica.

7. El sistema de acuerdo con la reivindicación 4, donde el dispositivo (19) de captura de imágenes comprende:

20 una cámara estereoscópica de apertura dual con un eje normal que biseca una línea entre cada apertura de dicha cámara estereoscópica, donde la rotación del medio de captura de imágenes se produce alrededor de un eje visual de dicha cámara estereoscópica a través del centro de dicho eje normal.

8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 4, donde dicho medio (23) de procesamiento de imágenes además comprende:

25 medios para trasladar una posición real del actuador de extremo en un espacio de trabajo hasta una posición percibida del actuador de extremo en la imagen procesada, de forma que el movimiento del actuador (39, 41) de extremo parece rígidamente conectado al control (24, 26) manual.

30 9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, donde la traslación de dicha posición real hasta dicha posición percibida se produce de acuerdo con la siguiente relación:

$$\begin{array}{c}
 35 \\
 40
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 \left| \begin{array}{c} p \\ q \\ r \end{array} \right| = \left| \begin{array}{ccc} \cos\Gamma & \sin\Gamma & 0 \\ -\sin\Gamma & \cos\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc} \cos\Theta & \sin\Theta & 0 \\ -\sin\Theta & \cos\Theta & \\ 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} a \\ b \\ c \end{array} \right|
 \end{array}$$

donde

45 [p, q, r] son las coordenadas de dicha posición percibida,

[a, b, c] son las coordenadas de dicha posición real,

el ángulo  $\Gamma$  es la rotación del medio de captura de imágenes alrededor de un eje normal a una superficie del medio de captura de imágenes,

50 el ángulo  $\Phi$  es el ángulo de declinación de dicho eje normal por debajo de un eje vertical, y

el ángulo  $\theta$  es la rotación del medio de captura de imágenes en un plano horizontal alrededor de dicho eje vertical.

55 10. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde un ángulo y una posición de dicho dispositivo (19) de captura de imágenes con relación al actuador (39, 41) de extremo difieren en escala y en posición lateral en comparación con el operador de control y el control manual, y donde dicho medio (23) de procesamiento de imágenes correlaciona la manipulación de dicho actuador (39, 41) de extremo con dicho control (24, 26) manual, dicho medio (23) de procesamiento de imágenes y dicho generador (31) de imágenes juntos y además comprende:

60 medios (29) para realizar una corrección de perspectiva a la imagen procesada a continuación de un desplazamiento lateral y un cambio de escala del dispositivo (19) de captura de imágenes.

65 11. El sistema de acuerdo con la reivindicación 10, donde dicho medio (29) de corrección de perspectiva comprende medios para realizar transformaciones de acuerdo con las siguientes relaciones:

$$\alpha' = \arctan [(x' - m) / (y' - n)],$$

$$L' = [(x' - m)^2 + (y' - n)^2]^{1/2},$$

$$x' = M(x - \Delta x),$$

$$y' = M(y - \Delta y),$$

$$x = L(\sin\alpha) + m,$$

$$y = L(\cos\alpha) + n$$

30 donde

las coordenadas (m, n) describen una posición de un punto de pivote del manipulador antes de que se produzcan dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala,

35 las coordenadas (m', n') describen una posición de dicho punto de pivote del manipulador después de que se produzcan dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala,

las coordenadas (x, y) describen una posición del actuador de extremo antes de que se produzcan dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala,

40 las coordenadas (x', y') describen una posición del actuador de extremo después de que se produzca dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala,

45 las coordenadas ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) describen el cambio en posición del actuador de extremo efectuado por dicho desplazamiento lateral,

el factor M describe el factor de magnificación de dicho cambio de escala,

50 el ángulo  $\alpha$  es la rotación del manipulador alrededor de un eje vertical antes de que se produzca dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala,

el ángulo  $\alpha'$  es la rotación del manipulador alrededor de dicho eje vertical después de que se produzca dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala,

55 la longitud L es una distancia entre dicho punto de pivote y el actuador de extremo antes de que se produzca dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala, y

la longitud L' es una distancia entre dicho punto de pivote y el actuador de extremo después de que se produzca dicho desplazamiento lateral y dicho cambio de escala.

60 12. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el medio (23) de procesamiento de imágenes incluye un dispositivo (23) de procesamiento de imágenes acoplado al generador (31) de imágenes, procesando el dispositivo de procesamiento de imágenes la imagen en tiempo real para obtener la imagen procesada.

65 13. El sistema de la reivindicación 12, donde el dispositivo (23) de procesamiento de imágenes comprende además medios para transformar las coordenadas del dispositivo de captura de imágenes en coordenadas cercanas al actuador de extremo, de tal forma que la imagen procesada proporciona al operador una sensación de que el controlador es substancialmente integral con los actuadores de extremo.

## ES 2 287 934 T3

14. El sistema de la reivindicación 12, que además comprende:

un servo control para controlar la posición de dicho manipulador;

5 un primer sensor (59, 61) de posición dispuesto para detectar una posición de dicha manipulación (32, 34) en dicho espacio de trabajo;

10 un segundo sensor (51, 55) de posición dispuesto para detectar una posición de dicho control (24, 26) manual en la estación de operador; y

15 un dispositivo de transformación de coordenadas acoplado a dicho medio (23) de procesamiento de imágenes, a dicho primer sensor de posición y a dicho segundo sensor de posición para transformar información acerca de la posición del manipulador, posición del control manual y posición de la imagen procesada, a señales de control aplicadas a dicho servo control.

15 15. El sistema de la reivindicación 14, que además comprende un tercer sensor (21) de posición dispuesto para detectar una posición del dispositivo (19) de captura de imágenes, donde el dispositivo de transformación de coordenadas está acoplado al tercer sensor de posición para transformar información de posición acerca del dispositivo (19) de captura de imágenes en señales de control.

20 16. El sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, y que incluye medios (27) de calibración dinámica que comprenden:

25 medios para provocar automáticamente que el actuador (39, 41) de extremo se mueva a través de una secuencia preseleccionada de puntos de referencia distribuidos en un espacio tridimensional sobre la imagen procesada;

30 medios para mostrar un punto gráfico superpuesto sobre el visualizador del actuador de extremo de tal forma que la posición del punto se controla mediante la posición del control (24, 26) manual;

35 medios manualmente operables para registrar cuando el punto está superpuesto sobre el actuador de extremo en cada punto de referencia; y

40 medios para establecer una relación de seguimiento entre el control manual y el actuador de extremo, para de esa forma establecer la calibración.

45 17. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, que incluye medios (27) de calibración dinámica que comprenden:

50 medios para mostrar una representación de un elemento gráfico de cuatro puntos de coordenadas en un espacio tridimensional sobre la imagen en tiempo real del actuador (39, 41) de extremo;

55 medios de entrada manual para registrar cuándo el actuador de extremo móvil bajo el control del control (24, 26) manual está posicionado de forma que parece tocar cada punto de referencia del elemento gráfico; y

60 medios para establecer una relación de seguimiento entre el control manual y el actuador de extremo.

65 18. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el dispositivo de captura de imágenes incluye un endoscopio.

19. El sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, donde el actuador de extremo incluye un instrumento quirúrgico.

20. El sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que incluye medios de realineación dinámica para realinear dinámicamente los manipuladores efectuando una transformación de coordenadas a través de medios de transformación.

60 21. Un método para manipular objetos situados en un espacio (30) real de trabajo en un lugar (16) de trabajo remoto por un operador (14) de control desde una estación (12) de control, incluyendo el método:

utilizar un control (24, 26) manual en la estación (12) de operador de control para controlar de forma remota un manipulador (32, 34) con un actuador (39, 41) de extremo en el lugar de trabajo;

65 tomar una imagen en tiempo real del espacio (30) de trabajo real utilizando un dispositivo (19) de captura de imágenes en una posición con relación al actuador (38, 41) de extremo que difiere de una posición relativa de los ojos del operador (14) de control y el control (24, 26) manual;

procesar la imagen en tiempo real para conseguir una imagen procesada para mostrar al operador (14) de control, donde la imagen procesada es substancialmente la misma imagen que una imagen tomada por un dispositivo de captura de imágenes situado a un ángulo y posición relativa al actuador (39, 41) de extremo que es substancialmente equivalente a un ángulo relativo y posición de los ojos del operador (14) de control y el controlador; y

mostrar la imagen al operador (14) de control en una posición situada substancialmente en una posición en la que el operador vería el control manual, creando así un espacio (22) de trabajo aparente.

22. El método de acuerdo con la reivindicación 21, que comprende convertir una posición real del actuador (39, 41) de extremo en el espacio de trabajo en una posición percibida del actuador de extremo en la imagen procesada, tomándose la imagen procesada desde una posición a un ángulo  $\theta$  sobre un plano de referencia y situada por encima del plano de referencia en un espacio de referencia, y donde los ojos del operador (14) de control están posicionados a un ángulo de  $0^\circ$  con relación a una línea de base sobre el plano de referencia, estando los ojos por encima del plano de referencia en el espacio de referencia, siendo rotada la imagen procesada píxel a píxel un ángulo de  $\theta'$ , que es aproximadamente igual a  $-\theta$ .

23. El método de acuerdo con la reivindicación 22, donde las coordenadas de dicha posición percibida del actuador (39, 41) de extremo se relacionan dinámicamente con las coordenadas de dicha posición real del actuador de extremo mediante la siguiente relación:

$$\begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' & 0 \\ -\sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix}$$

donde

[p, q, r] son las coordenadas de dicha posición percibida,

[a, b, c] son las coordenadas de dicha posición real,

el ángulo  $\theta$  es el ángulo de rotación del medio de captura de imágenes en un plano horizontal alrededor del eje vertical,

siendo el ángulo  $\theta'$  substancialmente igual a  $-\theta$ , y

el ángulo  $\Phi$  es el ángulo de declinación bajo dicho eje vertical de un eje normal a una superficie del medio de captura de imágenes.

24. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23, donde el paso de procesar la imagen comprende realinear estáticamente el manipulador (32, 34) haciendo rotar un dispositivo (19) de captura de imágenes, utilizado para tomar la imagen en tiempo real, alrededor de un eje normal a una superficie del dispositivo (19) de captura de imágenes hasta una posición donde el manipulador (32, 34) aparece en la imagen procesada tal como se presenta al operador (14) de control, donde los controles (24, 26) manuales están por debajo de un punto de vista del operador de control.

25. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 23, donde los pasos de procesar la imagen comprende realinear estáticamente el manipulador (32, 34) haciendo rotar un dispositivo (19) de captura de imágenes, utilizado para tomar la imagen en tiempo real, alrededor de un eje normal a una superficie del dispositivo (19) de captura de imágenes hasta una posición donde el manipulador (32, 34) aparece en la imagen procesada tal como se presenta al operador (14) de control, donde los controles (24, 26) manuales están por encima de un punto de vista del operador de control.

26. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 25, donde el paso de tomar la imagen en tiempo real comprende trasladar una posición real del actuador (39, 41) de extremo en el espacio de trabajo hasta una posición percibida del actuador de extremo en la imagen procesada, de forma que el movimiento del actuador de extremo parece como si estuviese rígidamente conectado al control (24, 26) manual.

27. El método de acuerdo con la reivindicación 26, donde la translación de la posición real hasta la posición percibida se produce de acuerdo con la siguiente relación:

$$\begin{matrix} 5 \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\Gamma & \sin\Gamma & 0 \\ -\sin\Gamma & \cos\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta & 0 \\ -\sin\Theta & \cos\Theta & \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

10 donde

[p, q, r] son coordenadas de dicha posición percibida,

[a, b, c] son coordenadas de dicha posición real,

15 el ángulo  $\Gamma$  es el ángulo de rotación del medio de captura de imágenes alrededor de un eje normal a una superficie del medio de captura de imágenes,

el ángulo  $\Phi$  es el ángulo de declinación de dicho eje normal por debajo de un eje vertical y,

20 el ángulo  $\theta$  es la rotación del medio de captura de imágenes en un plano horizontal alrededor de dicho eje vertical.

28. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 27, donde los pasos de procesar la imagen en tiempo real correlaciona la manipulación del actuador (39, 41) de extremo con el control (24, 26) manual, e incluye el paso de realizar una corrección de perspectiva en la imagen procesada a continuación de un desplazamiento lateral y un cambio de escala del dispositivo (19) para tomar la imagen en tiempo real.

29. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 28, que incluye el paso de calibración dinámica, que comprende:

provocar automáticamente que el actuador (39, 41) de extremo se mueva a través de una secuencia predefinida de puntos de referencia distribuidos en un espacio tridimensional sobre la imagen procesada;

35 mostrar un punto gráfico superpuesto sobre el visualizador del actuador de extremo de tal forma que la posición del punto es controlada por la posición del medio de (24, 26) control manual;

registrar manualmente cuando el punto está superpuesto sobre el actuador de extremo en cada punto de referencia; y

40 establecer una relación de seguimiento entre el control manual y el actuador de extremo para de esa forma establecer una calibración.

30. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21 a 28, que incluye una calibración dinámica, que comprende:

mostrar una representación de un elemento gráfico de cuatro puntos de coordenadas en un espacio tridimensional sobre la imagen procesada del actuador (39, 41) de extremo;

50 registrar manualmente cuándo el actuador de extremo, móvil bajo el control del control (24, 26) manual, está posicionado para aparentar tocar cada punto de referencia del elemento gráfico; y

establecer una relación de seguimiento entre el control manual y el actuador de extremo.

55

60

65

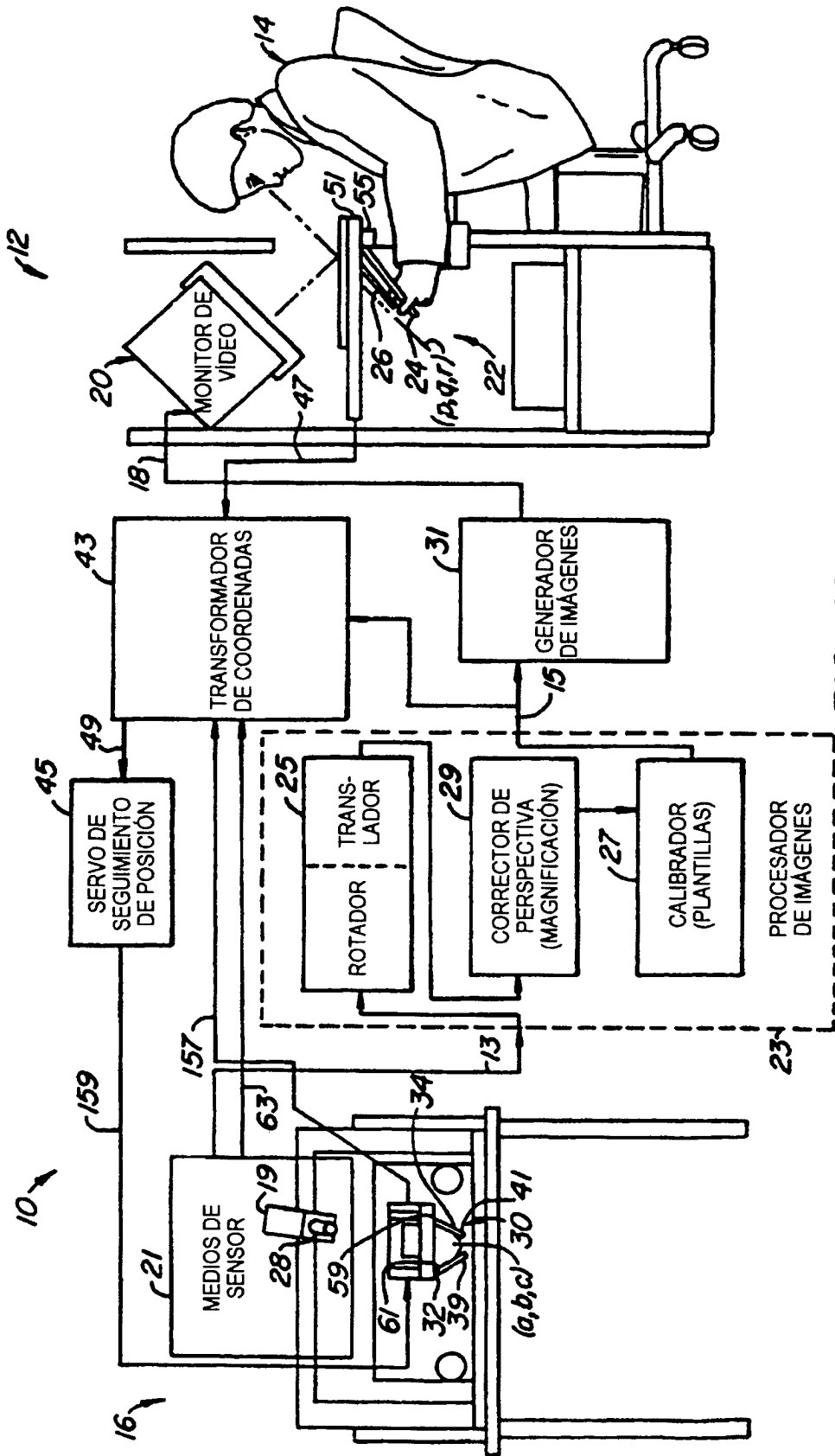


FIG. 1A.

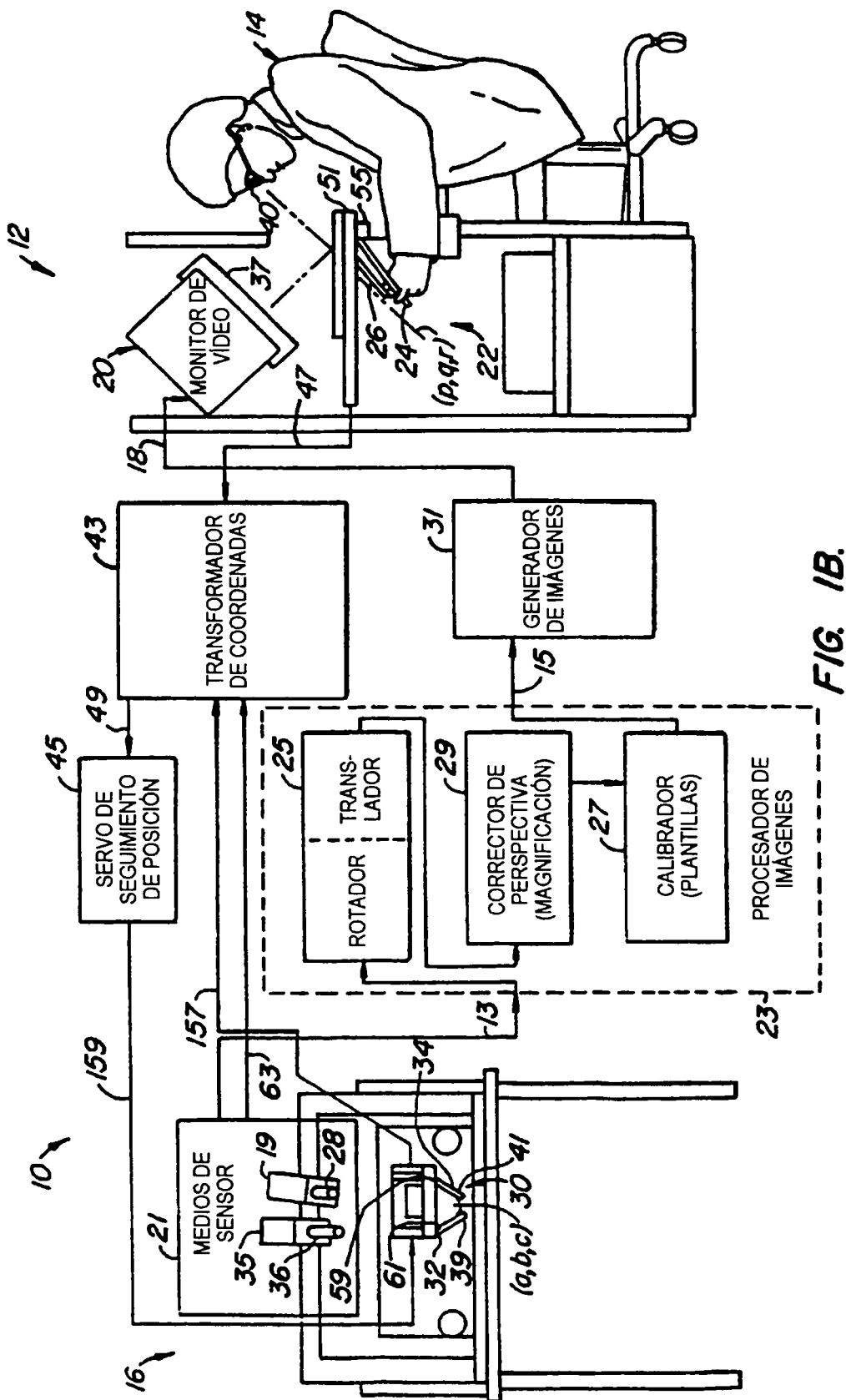


FIG. 1B.

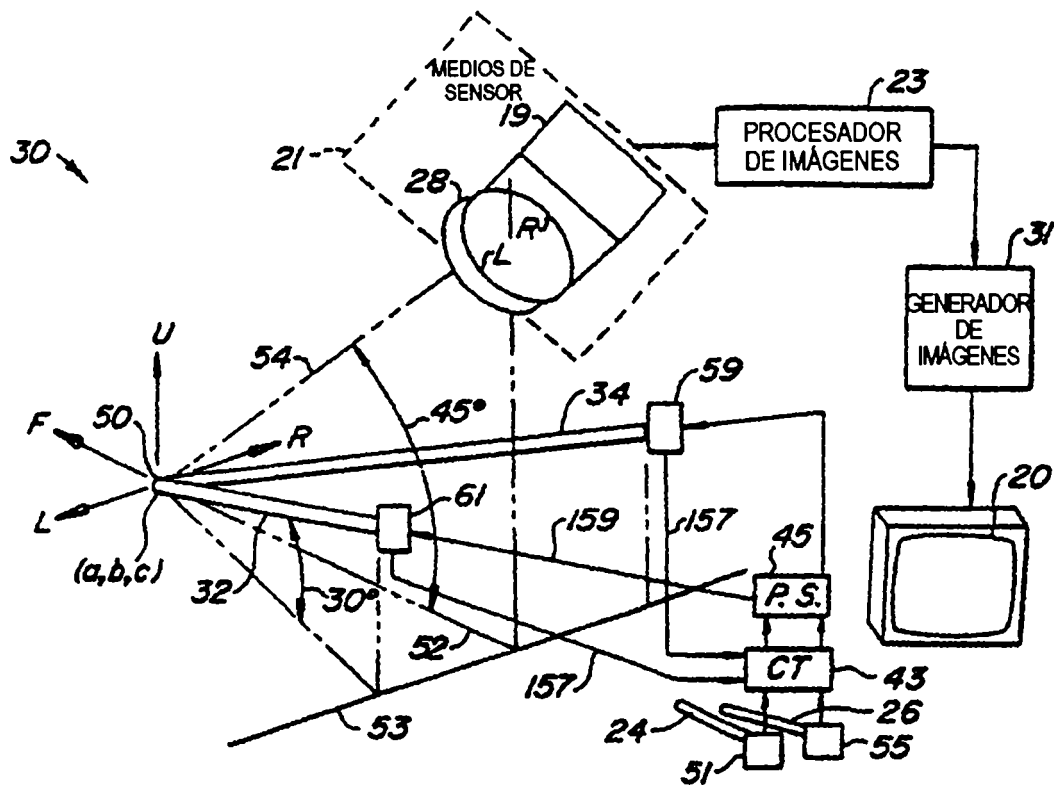


FIG. 2.

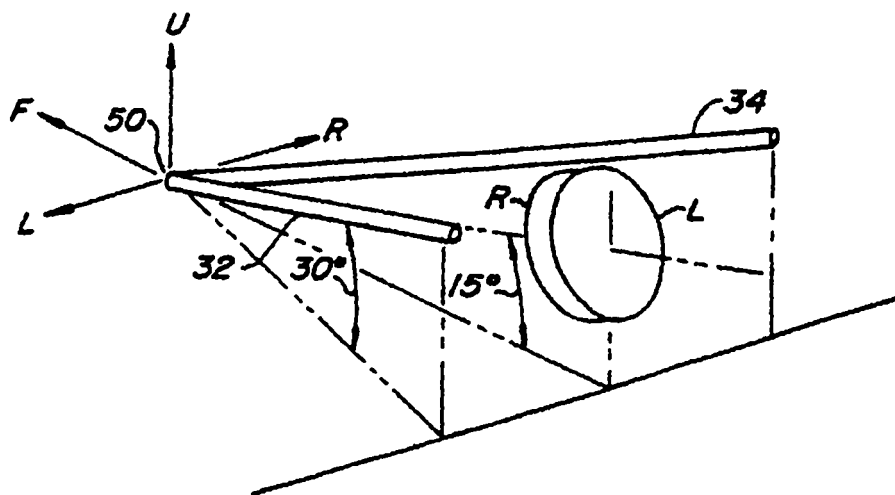


FIG. 4.

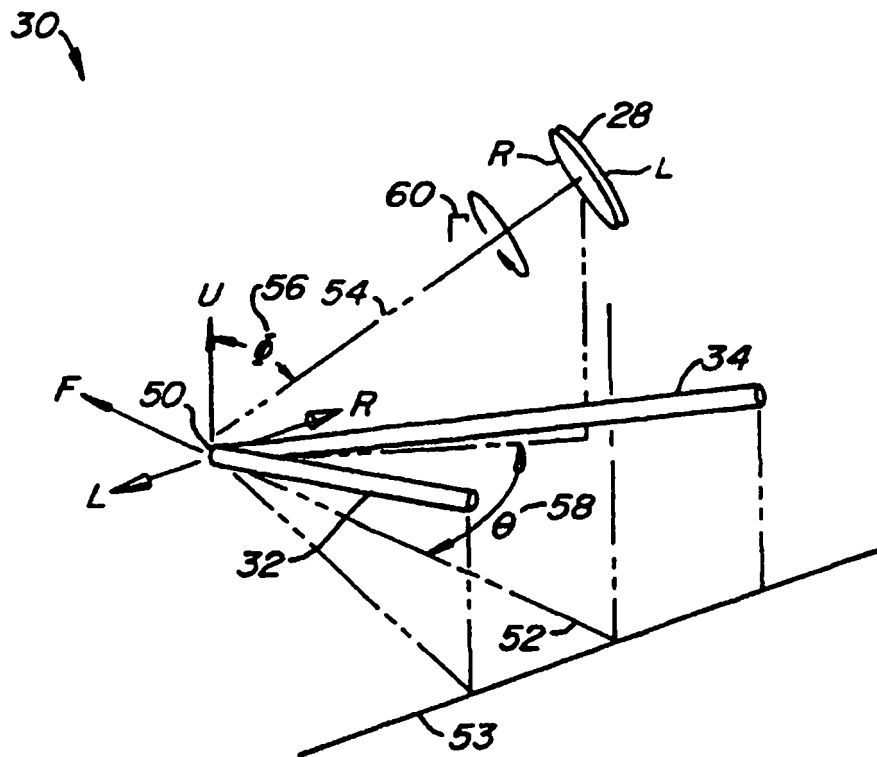


FIG. 3.

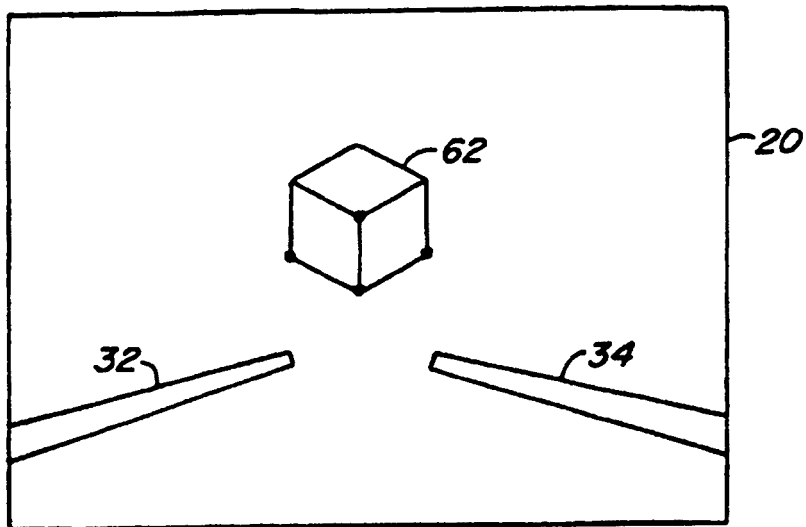


FIG. 6A.

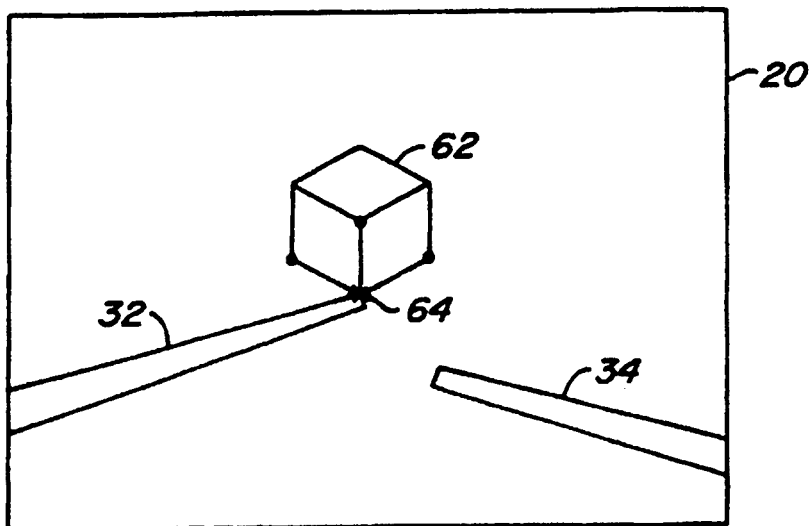


FIG. 6B.

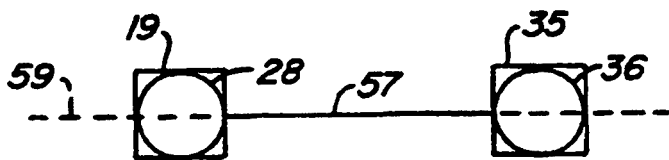


FIG. 5A.

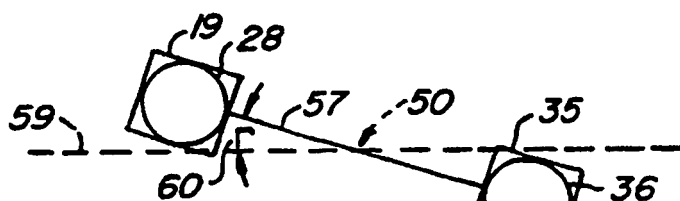


FIG. 5B.

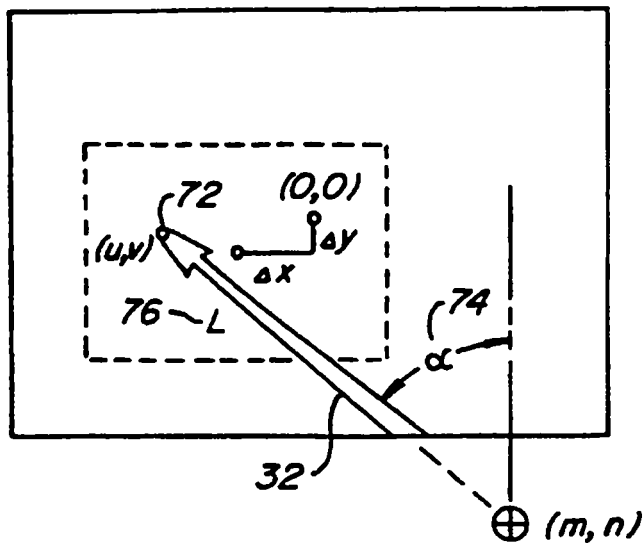


FIG. 7A.

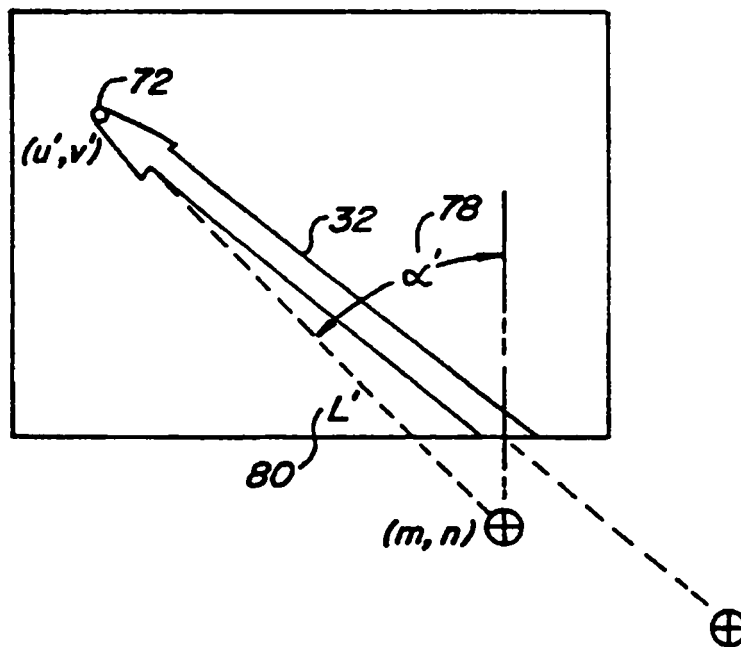


FIG. 7B.

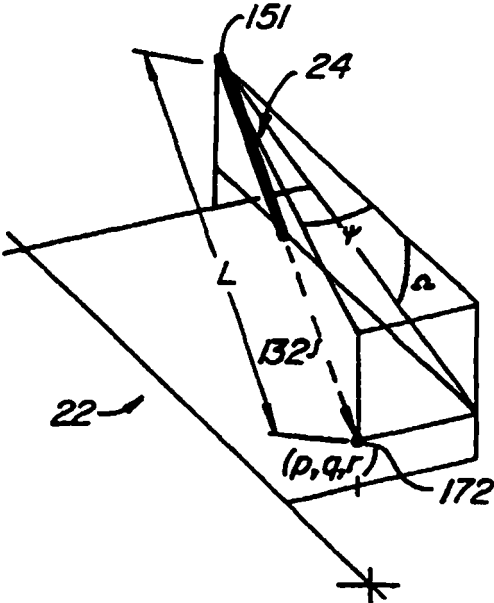


FIG. 8.

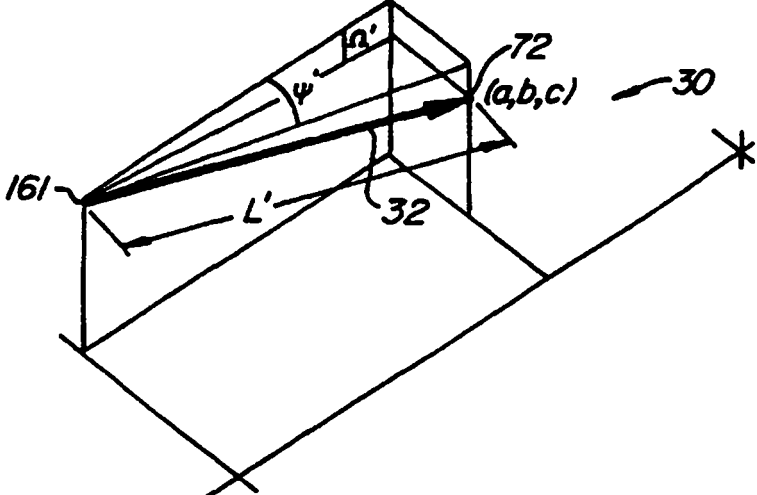


FIG. 9.