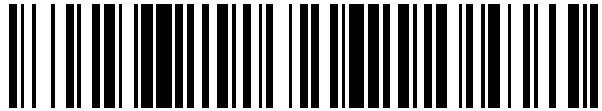


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 470 316**

51 Int. Cl.:

**B25J 9/16**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.07.2011 E 11748294 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.03.2014 EP 2590787**

54 Título: **Un método para calibración de un robot posicionado sobre una plataforma móvil**

30 Prioridad:

**08.07.2010 SE 1050763**

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

**23.06.2014**

73 Titular/es:

**ABB RESEARCH LTD. (100.0%)  
Affolternstrasse 44  
8050 Zürich, CH**

72 Inventor/es:

**BROGÁRDH, TORGNY**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 470 316 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**

Un método para calibración de un robot posicionado sobre una plataforma móvil

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un método para calibración de un robot, que incluye una pluralidad de uniones y posicionado sobre una plataforma móvil con relación a un objeto de trabajo utilizando una unidad de medición montada sobre una muñeca del robot. Con una plataforma móvil se entiende una plataforma que es móvil por sí misma o es móvil por otros medios, tales como un camión.

**Técnica anterior**

10 Aunque se ha realizado investigación de robot durante más de 20 años, no existe todavía ningún impacto en la industria de fabricación. Ejemplos de productos de éxito son cortacésped, aspiradores, guías de museo y juguetes, y la tecnología empleada para estos productos es difícil de usar con los requerimientos que deben cumplirse en la industria. No obstante, existen aplicaciones en las que la industria de fabricación de podría beneficiar de robots móviles con el fin de incrementar la flexibilidad de la automatización de robots. Una situación en la que esto es fácil de comprender es cuando se realiza la fabricación de estructuras grandes como componentes de aviones, trenes, 15 barcos, máquinas, plataformas petrolíferas, puentes, edificios, centrales eléctricas, molinos de viento, etc. En los casos en los que se utiliza tecnología de automatización para estructuras grandes actualmente, se necesitan manipuladores grandes costosos y, además del alto coste de estos manipuladores, existe también el problema de mover los objetos grandes hasta los manipuladores fijos. Teniendo robots móviles en estas aplicaciones, los objetos de trabajo podrían permanecer donde son fabricados y los robots móviles podrían moverse en cambio hasta los 20 objetos de trabajo.

Un robot móvil incluye una porción de base y una pluralidad de partes móviles con relación a la porción de base, y la porción de base está montada sobre una plataforma móvil. Un sistema de coordenadas de base se define en una relación fija con respecto a la porción de base del robot. Un sistema de coordenadas del objeto de trabajo se define en una relación fija con respecto a un objeto de trabajo localizado en la zona de trabajo del robot. El sistema de 25 coordenadas del objeto de trabajo debe calibrarse con relación al sistema de coordenadas de base del robot. Cuando debe realizarse un programa de calibración para el robot sobre la plataforma móvil, existen dos problemas principales a resolver. En primer lugar, debe determinarse el emplazamiento de la plataforma móvil durante el procesamiento y entonces debe medirse con exactitud el sistema de coordenadas del objeto de trabajo a utilizar en los programas del proceso ejecutados por el robot.

30 El problema técnico principal cuando se utilizan robots industriales sobre plataformas móviles es que la calibración de un robot móvil con relación a un objeto de trabajo para obtener la exactitud necesaria para la mayoría de los procesos industriales, es muy difícil y consume mucho tiempo.

M. C. Wanner y col: "Off-line programming for the aircraft cleaning robot Skywash", Intelligent robots and systems '94, Advanced Robotic Systems and real world IROS '94, vol. 3, páginas 1972-1979, 12 – 16 Septiembre de 1994, describe un método para posicionamiento de una plataforma sobre la que está montado un robot con relación a un avión utilizando un escáner láser 3D montado sobre el robot. Los datos 3D medidos del avión son comparados con un modelo CAD del avión para determinar la posición y orientación del robot con relación al avión. 35

**Objetos y sumario de la invención**

40 El objeto de la presente invención es proporcionar un método sencillo y rápido para calibración de un robot posicionado sobre una plataforma móvil con relación a un objeto de trabajo grande.

Este objeto se consigue por un método como se define en la reivindicación 1, que incluye las siguientes primeras etapas realizadas en un sistema de software CAD:

- cargar modelos CAD del robot, la plataforma móvil, la unidad de medición sobre el robot, y el objeto de trabajo dentro del sistema CAD,
- 45 - colocar los modelos CAD de la plataforma y el objeto de trabajo en una relación entre sí, de manera que el robot es capaz de alcanzar el objeto de trabajo,
- manipular las uniones del modelo CAD del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición se mueva hasta una primera posición y orientación con relación a la plataforma, que permiten la medición de una primera característica del objeto de trabajo,
- 50 - almacenar dicha primera posición y orientación de la unidad de medición,
- generar un primer modelo CAD de la primera característica basado en el modelo CAD del objeto de trabajo,

como se ve desde la unidad de medición en dicha primera posición y orientación, y

- almacenar el primer modelo CAD de la primera característica en el sistema CAD.

El método incluye las segundas etapas siguientes realizadas en el mundo real:

- 5 - mover la plataforma real hasta un lugar en el que se pueden realizar mediciones de la primera característica,
- mover automáticamente el robot real para alcanzar dicha primera posición y orientación de la unidad de medición con relación a la plataforma,
- realizar mediciones en 3D de la primera característica por medio de la unidad de medición,
- 10 - generar un segundo modelo CAD de la primera característica basado en las mediciones en 3D de la primera característica,
- realizar una adaptación óptima, que incluye escalado y rotación, entre el primero y el segundo modelos CAD de la primera característica, y sobre la base de ello calcular la diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD, y
- 15 - ajustar la posición y orientación de la plataforma dando instrucciones a la plataforma para moverla y reorientarla para compensar la diferencia de postura calculada.

La presente invención propone posibilidades para calibrar un robot con relación a un objeto de trabajo grande, tanto en el caso de programación del robot realizada de forma autodidacta como también en el caso de programación de robot basada en CAD. Un resultado del análisis es que la programación fuera de línea tendrá un papel todavía más importante para robots móviles, puesto que éste puede realizar la calibración y la programación de forma más o menos automática. El concepto descrito se basa en el uso de una unidad de medición 3D.

Con el término postura se entiende posición y orientación.

Con un modelo CAD se entiende un modelo en 3D generado por software en un sistema CAD.

Con mediciones en 3D se entiende utilizar una unidad de medición en 3D, tal como un sistema de cámara estéreo, o un escáner de láser, para medir la topología de un objeto.

25 Con diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD se entiende la diferencia en posición y orientación en seis grados de libertad entre los dos modelos CAD.

La calibración se prepara en un sistema CAD, por ejemplo, una herramienta de programación de robot fuera de línea basada en CAD. Después, la calibración se realiza automáticamente en el mundo real. Este método proporciona una calibración fácil y rápida de la plataforma con relación al objeto de trabajo, es decir, que se determina el emplazamiento de la plataforma móvil durante el procesamiento. La exactitud alcanzada con este método es suficiente para aplicaciones que tienen bajas demandas sobre la exactitud de la posición del robot con relación al objeto de trabajo, tal como pintura y manipulación de material.

35 Si existen modelos-CAD del robot, la plataforma móvil, la unidad de medición, y el objeto de trabajo en la herramienta de programación, es adecuado realizar la preparación de la calibración en la herramienta de programación del robot. Se supone que una unidad de medición en 3D está montada sobre la muñeca del robot.

Con el fin de obtener un emplazamiento automático de la plataforma móvil se propone que se utilice un modelo CAD de una parte del objeto de trabajo como una referencia cuando el robot está a una distancia segura desde el objeto de trabajo. La primera característica es una parte del objeto de trabajo que es posible para medición con la unidad de medición cuando el robot está a una distancia segura desde el objeto de trabajo, es decir, una distancia suficientemente grande para evitar colisiones entre el robot y el objeto de trabajo durante la calibración.

Mediante escalado y rotación, se ajusta un modelo CAD preparado de una primera característica sobre el objeto de trabajo para adaptar un modelo CAD obtenido a partir de mediciones de la primera característica o viceversa, y la diferencia de postura se utiliza para determinar la posición y orientación de la plataforma móvil. La postura de referencia es donde se obtiene máxima accesibilidad para el robot de acuerdo con análisis fuera de línea anterior.

45 De acuerdo con una forma de realización de la invención, las etapas realizadas en el sistema CAD incluyen, además:

- manipular las uniones del modelo CAD del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición se mueve hasta una segunda posición y orientación con relación a la plataforma permitiendo la medición de una segunda característica del objeto de trabajo, en el que la segunda posición y orientación están más

cerca del objeto de trabajo que la primera posición y orientación,

- almacenar dicha segunda posición y orientación de la unidad de medición,
- generar un primer modelo CAD de la segunda característica basado en el modelo CAD del objeto de trabajo, como se ve desde la unidad de medición en dicha segunda posición y orientación, y

- 5 - almacenar el primer modelo CAD de la segunda característica en el sistema CAD, y

dichas segundas etapas realizadas en el mundo real incluyen, además:

- mover automáticamente el robot real para alcanzar dicha segunda posición y orientación de la unidad de medición con relación a la plataforma,

- realizar mediciones en 3D de la segunda característica por medio de la unidad de medición,

- 10 - generar un segundo modelo CAD de la segunda característica sobre las mediciones en 3D de la segunda característica,

- realizar una adaptación óptima, incluyendo escalado y rotación, entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda característica, y sobre la base de ello calcular la diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD, y

- 15 - ajustar la transformación del sistema de coordenadas entre el sistema de coordenadas del objeto de trabajo y el sistema de coordenadas del robot sobre la base de la diferencia entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda característica.

El ajuste del sistema de coordenadas del objeto de trabajo con relación al sistema de coordenadas del robot se realiza en el sistema de control del robot.

- 20 El sistema de coordenadas del objeto de trabajo debe medirse con exactitud para ser utilizado en los programas de proceso ejecutados por el robot. Esta forma de realización de la invención incrementa la exactitud de la calibración proporcionando una determinación exacta del sistema de coordenadas del objeto de trabajo con respecto al sistema de coordenadas del robot. Además, esta forma de realización de la invención proporciona una calibración fácil y rápida de la plataforma con relación al objeto de trabajo. Esta forma de realización de la invención es adecuada para aplicaciones que requieren alta exactitud, tales como soldadura por arco, corte por láser, corte por chorro de agua, y montaje.
- 25

Para la determinación exacta del sistema de coordenadas del objeto de trabajo, se miden una o más características locales en 3D con alta exactitud y se realiza una adaptación óptima a modelos CAD preparados de las características. Las diferencias entre las posiciones y orientaciones de los modelos CAD medidos y preparados se utilizan para compensar la desviación del sistema de coordenadas del objeto de trabajo, cuando se ejecuta el programa de procesamiento del robot.

30

La primera y segunda características son características 3D bien definidas sobre el objeto de trabajo, tal como un lado del objeto de trabajo, una esquina, un taladro o una pieza en proyección. La segunda característica es menor que la primera característica y puede ser una parte de la primera característica. No obstante, la segunda característica puede ser también una parte del objeto de trabajo que está separada de la primera característica. La segunda característica se mide con el robot manipulado para obtener una distancia más corta entre la unidad de medición y el objeto de trabajo en comparación con cuando se mide la primera característica y de acuerdo con ello, la segunda característica se puede medir con una exactitud más alta que la primera característica. Por lo tanto, no es necesario mover la plataforma entre las dos mediciones.

35

- 40 De acuerdo con una forma de realización de la invención, el método comprende, además:

- manipular las uniones del modelo CAD del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición se mueve hasta una tercera posición y orientación con relación a la plataforma permitiendo la medición de una tercera característica del objeto de trabajo, en el que la tercera posición y orientación están más cerca del objeto de trabajo que la primera posición y orientación de la unidad de medición,

- 45 - almacenar dicha tercera posición y orientación de la unidad de medición,
- generar un primer modelo CAD de la tercera característica basado en el modelo CAD del objeto de trabajo, como se ve desde la unidad de medición en dicha tercera posición y orientación, y
  - almacenar el primer modelo CAD de la tercera característica en el sistema CAD, y

dichas segundas etapas realizadas en el mundo real incluyen, además:

- mover automáticamente el robot real para alcanzar dicha tercera posición y orientación de la unidad de medición con relación a la plataforma,
- realizar mediciones en 3D de la tercera característica por medio de la unidad de medición,
- 5 - generar un segundo modelo CAD de la tercera característica sobre las mediciones en 3D de la tercera característica,
- realizar una adaptación óptima, incluyendo escalado y rotación, entre el primero y el tercer modelos CAD de la segunda y tercera características, y sobre la base de ello calcular la diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD, y
- 10 - ajustar la transformación del sistema de coordenadas entre el sistema de coordenadas del objeto de trabajo y el sistema de coordenadas del robot sobre la base de la diferencia de postura 6 DOF entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda y tercera características.

En esta forma de realización, se utilizan al menos dos características para la calibración del sistema de coordenadas del objeto de trabajo, que incrementa la exactitud de la calibración. De la misma manera, utilizando tres características pequeñas se incrementa adicionalmente la exactitud de la calibración.

### Breve descripción de los dibujos

A continuación se explicará más detalladamente la invención mediante la descripción de diferentes formas de realización de la invención y con referencia a las figuras adjuntas.

La figura 1 muestra una célula de robot real que incluye un objeto de trabajo, un robot sobre una plataforma móvil, y una unidad de medición montada sobre el robot.

La figura 2 muestra un ejemplo de una unidad de medición.

La figura 3 ilustra un sistema CAD que incluye modelos CAD del objeto de trabajo, el robot, la plataforma móvil, y la unidad de medición como se muestra en la figura 1.

La figura 4 ilustra la posición y la orientación del modelo de unidad de medición 16 cuando se mide una de las características pequeñas del objeto de trabajo en el sistema CAD.

La figura 5 muestra la unidad de medición midiendo tres características pequeñas del objeto de trabajo en el sistema CAD.

Las figuras 6 a 8 muestran las etapas de posicionamiento de la plataforma con relación al objeto de trabajo durante la calibración.

La figura 9 muestra la unidad de medición midiendo una característica pequeña del objeto de trabajo en la célula de robot real.

La figura 10 muestra la posición de la unidad de medición cuando se mide una característica grande y una característica pequeña.

La figura 11 muestra el robot que lleva una herramienta durante la programación del robot.

### 35 Descripción detallada de formas de realización preferidas de la invención

La figura 1 muestra un ejemplo de una célula de robot real que incluye un robot industrial 1 posicionado sobre una plataforma móvil 3 y un objeto de trabajo grande 5 parcialmente localizado en el área de trabajo del robot. La plataforma móvil 3 está provista con ruedas. No obstante, si la plataforma no tiene ruedas, la plataforma se puede mover entre diferentes células de robot, por ejemplo, por un camión. En esta forma de realización, el robot es un robot de seis ejes y de acuerdo con ello es móvil en 6 DOF (grados de libertad) y tiene seis uniones. No obstante, el robot puede tener menos de 6 uniones. Los movimientos del robot son controlados por un sistema de control del robot 2, que está posicionado también sobre la plataforma móvil 3. Los movimientos de la plataforma pueden ser instruidos desde el sistema de control del robot 2 o desde un ordenador conectado al sistema de control. También es posible que un operador mueva la plataforma manualmente.

45 El sistema de control del robot 2, o un ordenador conectado al sistema de control del robot, incluye software para generar modelos CAD basados en mediciones en 3D. En el ejemplo mostrado en la figura 1, el robot 1 tiene tres ejes principales y tres ejes de muñeca. El robot incluye una porción de base estacionaria 1a, que soporta un montante que es giratorio alrededor de un primer eje. El montante soporta un primer brazo 1b que es giratorio

alrededor de un segundo eje. El primer eje soporta un segundo brazo 1c, que es giratorio alrededor de un tercer eje. El segundo brazo soporta una muñeca 1d que es giratoria alrededor de un cuarto, un quinto y un sexto eje. Un sistema de coordenadas del robot rc está definido en una relación fija con respecto a la porción de base 1a. Un sistema de coordenadas del objeto de trabajo wc se define en una relación fija con respecto al objeto de trabajo 5 localizado en el área de trabajo del robot. El sistema de coordenadas del objeto de trabajo debe calibrarse con relación al sistema de coordenadas del robot.

Una unidad de medición 4 está montada sobre la muñeca 1d del robot. Figura 2 muestra la unidad de medición 4 con más detalles. La unidad de medición 4 es una unidad de medición en 3D capaz de medir la topología de un objeto o parte de un objeto. La unidad de medición es, por ejemplo, un escáner de línea, un escáner de superficie, un sistema de cámara estereoscópica o una disposición de interferómetro. Con el fin de usar tal unidad de medición, el sistema de robot debería equiparse con un cambiador de herramientas y la unidad de medición debería protegerse del polvo y de líquidos cuando no está en uso. En casos donde la unidad de medición no interfiere con la herramienta de procesamiento, podría permanecer sobre la muñeca del robot durante el procesamiento si se utiliza un mecanismo de bloqueo hermético.

A continuación se describirá cómo se determinan la posición y la orientación de la plataforma 3 con respecto al objeto de trabajo 5, la llamada medición del emplazamiento. Para realizarlo es necesario definir una primera característica 3D del objeto de trabajo. A continuación, esta característica se llama una característica grande. La característica grande puede ser todo el objeto de trabajo o una parte del objeto de trabajo, que es posible medir con la unidad de medición cuando el robot está a una distancia segura desde el objeto de trabajo, es decir, una distancia suficientemente grande para evitar colisiones entre el robot y el objeto de trabajo cuando de realiza el emplazamiento de la plataforma. En el ejemplo mostrado en la figura 1, una parte o todo el lado delantero 6 del objeto de trabajo se define como la característica grande.

Además, con el fin de obtener una calibración 6 DOF exacta del sistema de coordenadas del objeto de trabajo con relación al sistema de coordenadas del robot, debería definirse al menos una segunda característica 3D sobre el objeto de trabajo. Por lo tanto, la siguiente tarea es seleccionar características adecuadas para la calibración de alta precisión del objeto de trabajo. Las segundas características serán más pequeñas que la primera característica, puesto que la unidad de medición está ahora más próxima al objeto de trabajo que cuando se ha medido la primera característica para la calibración del emplazamiento. La segunda característica puede ser una parte de la primera característica. No obstante, la segunda característica puede ser también una parte del objeto de trabajo separado desde la característica grande. A continuación, las segundas características se llaman características pequeñas. Debería medirse al menos una característica pequeña, pero se necesitarán hasta tres características normalmente en función de los requerimientos de exactitud y la geometría y tamaño de las características. Las características deberían seleccionarse de tal manera que la geometría sea lo más igual posible entre diferentes objetos de trabajo individuales. En objetos en los que esto es difícil de obtener, es posible realizar marcadores sobre el objeto, por ejemplo fundiendo patrones en el caso de que el objeto esté fabricado, por ejemplo, de plástico o hierro. Las características pequeñas son características 3D bien definidas sobre el objeto de trabajo, tal como una esquina, un taladro o una pieza en proyección. En el ejemplo mostrado en la figura 1, se definen tres esquinas 7, 8 y 9 como características pequeñas.

La figura 3 ilustra un sistema CAD que incluye un modelo CAD 14 del objeto de trabajo 5, un modelo CAD 10 del robot 1, un modelo CAD 12 de la plataforma móvil 3 y un modelo CAD 16 de la unidad de medición 4 como se muestra en la figura 1. La característica grande 6 está provista con el número 18 en el sistema CAD, y las características pequeñas 7, 8, 9 están provistas con los números 20, 22, 24 en el sistema CAD. El sistema CAD incluye un ordenador, una pantalla 17 y software para gestionar los modelos CAD y para presentar una vista de los modelos CAD en la pantalla 17. Además, el sistema CAD debería incluir un modelo de la funcionalidad de la unidad de medición, que genera un modelo CAD de la característica medida en la perspectiva como se ve desde la unidad de medición 3D, y con preferencia debería incluir también un modelo de error que indica niveles de exactitud 6 DOF de las mediciones. Con preferencia, el sistema CAD incluye también una herramienta de programación fuera de línea para programar los movimientos del robot. Si la programación del robot se ha realizado en la herramienta de programación fuera de línea, existen ya modelos CAD del objeto de trabajo, el robot y la plataforma. En ese caso, solamente debe añadirse el modelo CAD de la unidad de medición al sistema. Con preferencia, la calibración se prepara en la herramienta de programación de robot fuera de línea basada en CAD.

A continuación se explicará, como un ejemplo, cómo se puede calibrar el objeto de trabajo 5 y el robot 1 mostrado en la figura 1 utilizando el método de acuerdo con la invención. Las primeras etapas de la invención se realizan en el sistema CAD. Las primeras etapas incluyen la preparación fuera de línea de la calibración del robot y la plataforma móvil con respecto al objeto de trabajo. En primer lugar, se cargan los modelos CAD 10, 12, 14, 16 del robot, la plataforma móvil, la unidad de medición, y el objeto de trabajo en el sistema CAD. Vistas del modelo del objeto de trabajo 14, el modelo de la plataforma 12, el modelo del robot 10 y el modelo de la unidad de medición 16 se visualizan en la pantalla 17 del sistema CAD. En la etapa siguiente, los modelos CAD de la plataforma 12 y el objeto de trabajo 14 se ponen en relación entre sí en la pantalla, de manera que el robot es capaz de alcanzar el objeto de trabajo 14, que debe ser procesado por el robot. De esta manera, entonces es fácil colocar la plataforma móvil o

portátil real en una posición y orientación óptimas, para que el robot pueda alcanzar toda el área del objeto de trabajo. El emplazamiento teórico obtenido por medio de los modelos CAD debería ser tal que se puedan aceptar errores típicos en el emplazamiento real de la plataforma y todavía se puede alcanzar la parte intencionada del objeto de trabajo.

5 Cuando se ha determinado el emplazamiento del modelo de plataforma, se mueve el modelo CAD de la unidad de medición 16 hasta una posición y orientación adecuadas para la medición de la característica grande del objeto de trabajo 14, llamada a continuación la primera posición y orientación. El emplazamiento de la plataforma real como se define, por ejemplo, por el sistema de coordenadas rc se determina sobre la base de mediciones de la característica grande 18. En el ejemplo mostrado en la figura 3, la característica grande se define como el lado delantero 18 del objeto de trabajo. El modelo CAD 16 de la unidad de medición es mueve manipulando las uniones del modelo CAD del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición se ha movido hasta una primera posición y orientación adecuadas con relación a la plataforma que permite la medición de la característica grande sobre el objeto de trabajo, como se ilustra en la figura 3. Se genera un programa de calibración sobre la base de los movimientos de las uniones del modelo de robot, incluyendo instrucciones para mover el robot para que la unidad de medición se mueva hasta la primera posición y orientación con relación a la plataforma. La distancia entre la unidad de medición y el objeto de trabajo debería ser suficientemente grande para evitar colisiones cuando el operador realiza el primer emplazamiento aproximado de la plataforma móvil. Sin embargo, si la distancia es demasiado grande, existe un riesgo de que la exactitud de la medición de la característica grande no sea suficientemente buena y, por lo tanto, la exactitud del emplazamiento no sea suficientemente buena para alcanzar las características pequeñas, que se medirá con la finalidad de calcular el sistema de coordenadas del objeto de trabajo con la exactitud que sea necesaria a partir de los requerimientos del proceso, por ejemplo 0,5 mm para soldadura por arco o incluso mejor para soldadura por láser o corte por láser.

Opcionalmente, cuando se mueve el brazo del robot hasta una posición delante del objeto de trabajo, el área de medición se indica sobre el modelo CAD del objeto de trabajo. El modelo CAD medido virtualmente de esta área calculado por el modelo de la unidad de medición se visualiza junto con las figuras de exactitud 6 DOF.

Cuando la característica grande ha sido medida virtualmente, la posición y orientación, llamadas a continuación primera posición y orientación, de la unidad de medición se almacenan en el sistema CAD. Un modelo CAD, llamado a continuación primer modelo CAD, de la característica grande es generado sobre la base del modelo CAD del objeto de trabajo, como se ve desde la unidad de medición en la posición y orientación determinadas, y el primer modelo CAD de la característica grande es almacenado en el sistema CAD. Si se utiliza un escáner lineal, se realiza la programación de escaneo o bien moviendo las uniones del robot utilizando, por ejemplo, un ratón 6 DOF conectado al sistema CAD o por una función automática en el software del sistema CAD que genera automáticamente un movimiento de exploración del robot sobre la base del área de medición obtenida. El modelo CAD de la característica grande y el programa de calibración para mover la unidad de medición hasta la primera posición y orientación se almacenan para el emplazamiento automático de la plataforma móvil.

El programa de calibración contiene lo siguiente:

- órdenes de movimiento al robot propiamente dicho para llevar la unidad de medición hasta la posición y orientación determinadas en el sistema CAD para la medición de la característica grande,
- orden al sistema de medición 3D para realizar las mediciones,
- 40 - si se utiliza el escáner lineal, ordenar los movimientos de escaneo al robot propiamente dicho,
- rutinas para realizar la mejor adaptación entre modelos CAD,
- rutina para calcular la diferencia de 6 DOF en posición y orientación entre dos modelos 3D,
- rutina para calcular los movimientos 3 DOF de la plataforma necesarios para compensar la diferencia 6 DOF mencionada,
- 45 - órdenes de movimiento a la plataforma móvil para realizar los movimientos 3 DOF.

El programa de calibración podría ejecutarse iterativamente para refinar el emplazamiento de la plataforma.

En casos donde se utilizarán procesos de baja exactitud, como por ejemplo en algunos casos de pintura, la medición del emplazamiento puede ser suficientemente buena para la programación del proceso. Cuando la calibración se realiza entonces en el lugar con el robot real, el operador ejecuta en primer lugar la primera parte del programa de calibración que mueve la unidad de medición hasta la primera posición y orientación preparadas en el sistema CAD para la medición de la característica grande. Luego el operador mueve la plataforma hasta que la unidad de medición tiene una posición y orientación adecuadas con relación a la característica grande. El operador pone en marcha entonces la parte del programa de calibración que realiza el emplazamiento de la plataforma y si la

plataforma tiene ruedas y se puede controlar desde el controlador del robot, será controlada automáticamente para obtener la posición con relación al objeto de trabajo, como se determina en el sistema CAD.

5 En casos donde se utilizarán procesos de alta precisión, tales como soldadura, corte, desbarbado y montaje, la calibración del emplazamiento de la plataforma no es suficientemente exacta para la programación del proceso y se realizan las siguientes etapas con el fin de justar el sistema de coordenadas del objeto de trabajo con respecto al sistema de coordenadas del robot.

10 En los ejemplos ilustrados en las figuras 3 a 5, se definen tres características pequeñas 20, 22, 24 en el modelo CAD del objeto de trabajo. Estas características pequeñas corresponden a las características pequeñas 7, 8, 9 del objeto de trabajo real. La figura 5 muestra las características con más detalle y también la posición y la orientación del modelo de la unidad de medición 16 con relación al modelo del objeto de trabajo durante la medición de las características pequeñas. Las uniones del modelo CAD 10 del robot son manipuladas (ejecutando el control del robot en modo cartesiano) hasta que el modelo CAD 16 de la unidad de medición se mueve hasta una segunda posición y orientación con relación a la plataforma lo que permite una medición estricta exacta de la característica pequeña del objeto de trabajo, como se ve a partir de la figura 4. Esta segunda posición está más próxima al objeto de trabajo que la primera posición, mostrada en la figura 3, en la que se ha medido la característica grande. La segunda posición y orientación del modelo de unidad de medición 16 está almacenadas. Si se utiliza más de una característica, las etapas de posicionamiento y almacenamiento se repiten para todas las características pequeñas. Se generan modelos CAD de las características pequeñas sobre la base del modelo CAD del objeto de trabajo como se ve a partir de la unidad de medición en la segunda posición y orientación utilizadas durante la medición de las características pequeñas. Los modelos CAD generados de las características pequeñas son registrados en el sistema CAD.

15 Para obtener la exactitud máxima a partir de la geometría de las características, se ajustan la orientación y la distancia de la unidad de medición con respecto a la característica pequeña hasta que se obtienen los niveles más altos de exactitud 6 DOF. Con el fin de facilitar este ajuste, se define un TCP (Punto Central de la Herramienta) en el centro del rango de medición de la unidad de medición. Durante la manipulación de la unidad de medición, el sistema CAD debería calcular continuamente la distancia medida más estrecha para informar al usuario de esta distancia, con el fin de evitar colisiones. Puesto que se utiliza la misma unidad de medición para el emplazamiento de la plataforma así como la calibración de alta precisión, debería poder cambiarse el rango de medición. Para escáneres basados en triangulación, esto se puede realizar por una manipulación motorizada del ángulo óptico entre el láser y el detector y, si es necesario, debería ser posible también controlar la distancia entre el láser y el detector.

20 Cuando se decide sobre el número de características necesarias, es adecuado tener una función en el sistema CAD para calcular el error de posición en el borde del objeto de trabajo a partir de los niveles de exactitud 6 DOF obtenidos por el modelo de la unidad de medición.

25 Cuando se han realizado mediciones virtuales de las características para un objeto de trabajo, se generan programas de calibración que instruyen al robot real para que se mueva para que la unidad de medición alcance posiciones y orientaciones, con relación a la plataforma, adecuadas para medir las características pequeñas. El programa de calibración instruye al robot para que mueva la unidad de medición entre las características pequeñas. Los programas de calibración son registrados junto con los modelos CAD de las características. En el caso de un escáner lineal, se registrar también los programas de movimiento de escaneo junto con los modelos CAD. En esta forma de realización de la invención, el programa de calibración contendrá, además:

- 35 - órdenes de movimiento al robot propiamente dicho para llevar la unidad de medición hasta las posiciones y orientaciones determinadas en el sistema CAD para la medición de las características pequeñas,
- orden al sistema de medición 3D para realizar mediciones de las características pequeñas,
- si se utiliza el escáner lineal, ordenar los movimientos de escaneo al robot propiamente dicho,
- 45 - rutinas para realizar la mejor adaptación entre modelos CAD para las características pequeñas,
- si solamente se utiliza una característica pequeña, llamar una rutina para calcular una diferencia 6 DOF en posición y orientación entre los dos modelos CAD,
- si se utilizan dos características pequeñas, llamar una rutina para calcular diferencias 6 DOF en posición y orientación para cada una de las dos características pequeñas y entonces calcular la diferencia media 6 DOF en posición y orientación para las dos características pequeñas,
- 50 - si se utilizan tres características pequeñas, llamar una rutina para calcular diferencias en posición y orientación de cada una de las tres características pequeñas y entonces calcular la diferencia 6 DOF en posición y orientación para todo el objeto de trabajo a partir de las diferencias de posición 3 DOF de las tres



características pequeñas.

- rutina para ajustar la transformación del sistema de coordenadas 6 DOF entre el sistema de coordenadas del robot y el sistema de coordenadas del objeto de trabajo basado en la diferencia 6 DOF en posición y orientación.

5 Además, se define un sistema de coordenadas del objeto de trabajo con relación a los modelos CAD de las características, por ejemplo, el sistema de coordenadas de la muñeca del robot en cierta posición cuando el robot está en una de las posiciones de medición. El programa de procesamiento se ejecuta entonces con relación al sistema de coordenadas del objeto de trabajo. Este programa contiene también el cambio de herramientas entre la unidad de medición y la herramienta del proceso.

10 La etapa siguiente del método de calibración se realiza en el mundo real, por ejemplo, en el taller de trabajo. Los modelos CAD de las características a medir, los programas de calibración para mover la unidad de medición hacia las características y opcionalmente los programas de movimiento de escaneo son registrados en el sistema de control 2 del robot, y en un ordenador que se comunica con el sistema de control 2. Si los movimientos del proceso del robot están programados en el mismo sistema CAD que se utiliza para la preparación de la calibración, el sistema de control está provisto con los modelos CAD de las características y los programas del robot utilizados para los movimientos de calibración junto con el programa de proceso.

En una etapa siguiente, se realiza el emplazamiento de la plataforma real con relación al objeto de trabajo. El sistema de control tiene toda la información necesaria para la realización del emplazamiento. La figura 6 muestra un ejemplo de la postura de la plataforma y el robot antes de que se haya iniciado la calibración. En primer lugar, el robot real se mueve automáticamente para alcanzar la primera posición y orientación de la unidad de medición con relación al sistema de coordenadas de la base del robot como se prepara en el sistema CAD para la medición de la característica grande, como se muestra en la figura 7. Esto se realiza ejecutando la primera parte del programa de calibración generado en el sistema CAD que mueve la unidad de medición hasta la primera posición y orientación. Luego, se mueve la plataforma real por el operador hasta que la unidad de medición tiene una posición y orientación adecuadas con relación a la característica grande, de manera que se pueden realizar mediciones de la característica grande, como se muestra en la figura 8. Luego, el operador inicia un programa para el emplazamiento de la plataforma y la plataforma será controlada automáticamente para obtener la posición relativa al objeto de trabajo, como se determina en el sistema CAD. De manera alternativa, en primer lugar se realiza el emplazamiento de la plataforma y luego se posiciona la unidad de medición, aunque entonces es más difícil para el operador entonces un primer emplazamiento aproximado adecuado de la plataforma.

El usuario inicia entonces el resto del programa de calibración que ordena las mediciones y el ajuste fino de la posición y orientación de la plataforma.

Si la unidad de medición incluye una cámara, es posible mostrar al operador la vista de la cámara con una superposición de la característica grande como es generada por el sistema CAD. Cuando la plataforma ha sido emplazada, el operador inicia el programa de calibración y se realiza automáticamente lo siguiente: las mediciones en 3D de la característica grande se realizan por medio de la unidad de medición 4, se genera un modelo CAD de la característica grande 6 sobre la base de las mediciones en 3D de la característica grande, se realiza una adaptación óptima que incluye el escalado y la rotación del modelo entre los modelos generados CAD y los modelos medidos y se calcula la diferencia de postura 6 DOF. Por ejemplo, las distancias entre los modelos CAD se reducen al mínimo por el método de media de mínimos cuadrados durante la adaptación óptima. La plataforma móvil 3 es instruida para moverse y reorientarse para compensar la diferencia de la postura calculada. Si la plataforma solamente es portátil y no es controlable automáticamente, se muestra el error de emplazamiento en una pantalla y el operador mueve la plataforma para reducir los valores de error hasta que se obtiene un nivel de error aceptable calculado por el sistema CAD. Durante estos movimientos, se actualiza continuamente el error de emplazamiento de la plataforma (ángulo x, y).

Cuando se requiere alta exactitud, se realizan las etapas siguientes para mejorar la exactitud de la calibración. El robot 1 se manipula automáticamente para mover la unidad de medición 4 hasta la segunda posición y orientación con relación a la plataforma, para permitir la medición de una de las características pequeñas, como se muestra en la figura 9. Las mediciones en 3D de la característica pequeña 8 se realizan por medio de la unidad de medición 4. Se genera un modelo CAD de la característica pequeña 8 sobre la base de las mediciones en 3D. En el caso de que se necesite más de una característica pequeña para conseguir una calibración exacta, se repiten las etapas de movimiento, medición y generación mencionadas anteriormente para cada una de las características pequeñas 7, 8, 9. Si se utiliza un escáner lineal, se realizan los movimientos de escaneo programados en cada postura de medición. Se realizan las adaptaciones óptimas entre los modelos CAD generados y los modelos CAD medidos de las características pequeñas utilizando un método bien conocido como por ejemplo Punto Iterativo más Próximo. Para cada característica, se determinan la posición y la orientación del sistema de coordenadas de características como se define durante el trabajo CAD a partir de las mediciones en 3D. Si se utilizan 3 características pequeñas, se pueden utilizar los orígenes de los sistemas de coordenadas de 3 características pequeñas para realizar una

determinación simple de 3 puntos de la posición y orientación del objeto de trabajo. La desviación del objeto de trabajo real con relación al objeto de trabajo definido en el sistema CAD se calcula como una diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD generados y los modelos CAD medidos. La diferencia se utiliza entonces para ajustar la transformación del sistema de coordenadas 6 DOF entre el sistema de coordenadas del robot y el sistema de coordenadas del objeto de trabajo.

La figura 10 muestra la posición de la unidad de medición cuando se mide la característica grande 18 y cuando se mide una de las características pequeñas 8. Como se ve a partir de la figura, la unidad de medición 4 está más próxima al objeto de trabajo 5 cuando mide la característica pequeña comparada con cuando mide la característica grande 18. Hay que indicar que la plataforma no se mueve entre la medición de la característica grande y la característica pequeña, solamente se cambia la posición de la unidad de medición por medio de movimientos de las uniones del robot, como se ve a partir de las figuras 8 y 9.

Cuando se ha ajustado el sistema de coordenadas del objeto de trabajo, el sistema informa al operador de que se puede iniciar el programa del proceso. La unidad de medición 4 se cambia a una herramienta de procesamiento 30, como se muestra en la figura 11. El operador inicia el programa de proceso. El programa de proceso es ejecutado y, si es necesario, el usuario realiza ajustes en el programa. Si es necesario, se pueden realizar retoques del programa de proceso. Esto no significará una necesidad de una nueva calibración. Debería mencionarse que si se han utilizado sistemas de coordenadas locales cuando se programan partes del objeto de trabajo, éstas deberían definirse con relación al sistema de coordenadas del objeto de trabajo generadas automáticamente. Utilizando un sistema ABB, el sistema de coordenadas del usuario debería utilizarse como un sistema de coordenadas del objeto de trabajo y el sistema de coordenadas del objeto ABB debería utilizarse como un sistema de coordenadas locales.

Existen algunos casos en los que no existen modelos CAD de los objetos de trabajo a procesar y deben realizarse manualmente la calibración y la programación. Esto significa que el uso del robot móvil debe basarse en los conocimientos técnicos de sus operadores y el sistema de robot debería ayudar al operador en la mayor medida posible para comprender los resultados a partir del proceso de calibración utilizando la unidad de medición 3D. A continuación se describe cómo se realizan la calibración y la programación en este caso.

Etapa 1: El robot 1 sobre la plataforma se mueve hasta una primera zona de procesamiento del objeto de trabajo 5.

El problema aquí para el usuario es encontrar un emplazamiento adecuado de la plataforma móvil (o portátil). Existirá una necesidad de empujar ligeramente el robot para verificar si alcanza la zona pretendida del objeto de trabajo. Si no, se ajustan la posición y la orientación de la plataforma. Además, debería indicarse que la plataforma podría tener que realizar una elevación para hacer posible que el robot alcance un objeto de trabajo alto. A veces puede ser difícil que el usuario vea que el robot alcanza realmente zona la zona a procesar y podría ser ventajoso incluir una cámara en la unidad de medición haciendo posible que el usuario vez qué puede alcanzar la herramienta.

Etapa 2: Cuando se ha alcanzado un emplazamiento adecuado de la plataforma 2, el operador inicia el programa que escoge la unidad de medición desde el cambiador de herramientas. Mueve la unidad de medición 3 para obtener una medición en 3D de una zona relativamente grande del objeto de trabajo que corresponde a la característica grande, comparar la figura 6.

El resultado de las mediciones en 3D de la característica grande es transformado en un modelo geométrico en 3D, designado a continuación modelo CAD, por ejemplo, utilizando polígonos, y se salva para uso cuando sean procesados objetos de próxima aparición. Para objetos de trabajo de próxima aparición, este modelo CAD será escalado y movido/girado hasta que coincide con el modelo CAD medido cuando la plataforma está colocada con relación a otro objeto idéntico. La diferencia del modelo 6 DOF CAD se utiliza entonces para calcular un movimiento corrector de la plataforma.

Etapa 3: Con el fin de obtener una calibración 6 DOF exacta del objeto de trabajo con relación al robot, el operador empuja ligeramente el robot, de tal manera que la unidad de medición se aproxima hasta al menos una característica 3D bien definida sobre el objeto de trabajo, comparar la figura 5. Además, aquí el usuario podría beneficiarse de una cámara en la unidad de medición para ver la zona de medición. Entonces es importante que la orientación de la unidad de medición sea tal que la perspectiva sea útil. Esto es de especial importancia cuando se utiliza un escáner real y el robot necesita mover la unidad de medición durante el escaneo de la característica. Con el fin de facilitar el empuje ligero del robot hasta una característica, podría implementarse la siguiente funcionalidad; a) el TCP se define en el centro de la zona de medición, facilitando al usuario reorientar la unidad de medición. b) durante la manipulación, el sistema calcula continuamente la distancia medida más próxima y detiene el robot si esta distancia es menor que un valor configurado. c) Escaneo de la zona mostrada como una superposición sobre la vista de la cámara visualizada. d) El sistema informa al usuario sobre la exactitud de la medición que se obtiene para la característica seleccionada a la distancia presente. Cuando se utiliza un escáner lineal, podría ser necesaria más funcionalidad, puesto que e) el movimiento de escaneo del robot seleccionado automáticamente (ángulo derecho con respecto a la dirección de medición) se muestra como una superposición sobre la vista de la cámara. f) Durante el movimiento de escaneo del robot, la distancia medida entre la unidad de medición y la característica se utiliza

para controlar el robot, de tal manera que se evitan colisiones.

5 El modelo 3D a partir del escaneo de la característica es registrado y la exactitud con respecto a la posición y orientación es visualizada para el usuario. Con el fin de conocer si se necesitan mediciones sobre más características, el usuario obtiene cifras sobre la exactitud a diferentes distancias desde la característica (utilizando los valores de exactitud de la orientación medida). Conociendo el tamaño del objeto, el usuario puede decidir si se necesitan mediciones de más características. El sistema realiza también cálculos de exactitud para las mediciones realizadas de acuerdo con la etapa 2 cuando se calcula el emplazamiento de la plataforma. Si este cálculo muestra que el error de emplazamiento de la plataforma es mayor que la característica medida, el operador es urgido a realizar una medición más exacta del emplazamiento de la plataforma o a utilizar una característica mayor. El modelo geométrico 3D para cada característica es registrado así como el programa ejecutado por el usuario para mover hacia las características. En el caso de un escáner lineal, se registra también el movimiento de escaneo.

10 Cuando se calibra un objeto de trabajo de plano grande se puede realizar calibración de superposición, lo que significa que se utiliza al menos una característica de calibración en dos zonas de procesamiento adyacentes. Entonces es posible reducir los requerimientos sobre la calibración, puesto que se puede utilizar la información de que las características están en un plano común. El conocimiento de la forma aproximada de un objeto grande se puede utilizar también para movimiento automático de la plataforma móvil. Por ejemplo, después de las mediciones de tres características y del cálculo del plano del objeto de trabajo, la plataforma se puede mover hasta el plano, mientras el robot bloquea la unidad de medición hasta la característica de superposición. La plataforma detiene su movimiento cuando el brazo del robot alcanza su límite del espacio de trabajo.

15 Etapa 4: El operador programa la herramienta. La programación se realiza en un sistema de coordenadas del objeto de trabajo definido por las mediciones de las características. Por ejemplo, el sistema de coordenadas del objeto de trabajo podría ser justamente el sistema de coordenadas de a muñeca para una posición cuando se ha realizado una medición de una característica. La importancia para objetos de trabajo de próxima aparición es que se conoce exactamente la relación entre el sistema de coordenadas del objeto de trabajo definido y los modelos geométricos de las características medidas. Esto significa también que es importante que el cambio de herramientas sea tanto exacto como se requiere por el proceso.

20  
25  
30

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Un método para calibración de un robot (1), que incluye una pluralidad de uniones y posicionado sobre una plataforma móvil (3), con relación a un objeto de trabajo (5) utilizando una unidad de medición (4) montada sobre una muñeca (1d) del robot, caracterizado por que el método incluye las siguientes primeras etapas realizadas en un sistema de software CAD:
- 5 - cargar modelos CAD del robot (10), la plataforma móvil (12), la unidad de medición (16) sobre el robot, y el objeto de trabajo (14) dentro del sistema CAD,
  - colocar los modelos CAD de la plataforma y el objeto de trabajo en una relación entre sí, de manera que el robot es capaz de alcanzar el objeto de trabajo,
  - 10 - manipular las uniones del modelo CAD del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición se mueva hasta una primera posición y orientación con relación a la plataforma que permiten la medición de una primera característica (18) del objeto de trabajo,
  - almacenar dicha primera posición y orientación de la unidad de medición,
  - 15 - generar un primer modelo CAD de la primera característica basado en el modelo CAD del objeto de trabajo, como se ve desde la unidad de medición en dicha primera posición y orientación, y
  - almacenar el primer modelo CAD de la primera característica en el sistema CAD,
- y el método incluye las segundas etapas siguientes realizadas en el mundo real:
- mover automáticamente el robot real (1) para alcanzar dicha primera posición y orientación de la unidad de medición con relación a la plataforma,
  - 20 - mover la plataforma real (3) hasta un lugar en el que se pueden realizar mediciones de la primera característica,
  - realizar mediciones en 3D de la primera característica por medio de la unidad de medición,
  - generar un segundo modelo CAD de la primera característica basado en las mediciones en 3D de la primera característica,
  - 25 - realizar una adaptación óptima, que incluye escalado y rotación, entre el primero y el segundo modelos CAD de la primera característica, y sobre la base de ello calcular la diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD, y
  - ajustar la posición y orientación de la plataforma dando instrucciones a la plataforma para moverla y reorientarla para compensar la diferencia de postura calculada.
- 30 2.- El método de calibración de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dichas primeras etapas realizadas en el sistema CAD incluyen, además:
- 35 - manipular las uniones del modelo CAD (10) del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición (16) se mueva hasta una segunda posición y orientación con relación a la plataforma permitiendo la medición de una segunda característica (20, 22, 24) del objeto de trabajo, en el que la segunda posición y orientación están más cerca del objeto de trabajo que la primera posición y orientación,
  - almacenar dicha segunda posición y orientación de la unidad de medición,
  - generar un primer modelo CAD de la segunda característica basado en el modelo CAD del objeto de trabajo, como se ve desde la unidad de medición en dicha segunda posición y orientación, y
  - almacenar el primer modelo CAD de la segunda característica en el sistema CAD, y
- 40 dichas segundas etapas realizadas en el mundo real incluyen, además:
- mover automáticamente el robot real para alcanzar dicha segunda posición y orientación de la unidad de medición con relación a la plataforma,
  - realizar mediciones en 3D de la segunda característica por medio de la unidad de medición,
  - 45 - generar un segundo modelo CAD de la segunda característica sobre las mediciones en 3D de la segunda característica,

- realizar una adaptación óptima, incluyendo escalado y rotación, entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda característica, y sobre la base de ello calcular la diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD, y
- ajustar la transformación del sistema de coordenadas entre el sistema de coordenadas del objeto de trabajo (wc) y el sistema de coordenadas del robot (rc) sobre la base de la diferencia de postura 6 DOF entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda característica.

3.- El método de calibración de acuerdo con la reivindicación 2, en el que la segunda característica es menor que la primera característica.

4.- El método de calibración de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, en el que el método comprende, además:

- manipular las uniones del modelo CAD (10) del robot hasta que el modelo CAD de la unidad de medición (16) se mueve hasta una tercera posición y orientación con relación a la plataforma permitiendo la medición de una tercera característica (22) del objeto de trabajo, en el que la tercera posición y orientación están más cerca del objeto de trabajo 14 que la primera posición y orientación,
- almacenar dicha tercera posición y orientación de la unidad de medición,
- generar un primer modelo CAD de la tercera característica basado en el modelo CAD del objeto de trabajo, como se ve desde la unidad de medición en dicha tercera posición y orientación, y
- almacenar el primer modelo CAD de la tercera característica en el sistema CAD, y

dichas segundas etapas realizadas en el mundo real incluyen, además:

- mover automáticamente el robot real para alcanzar dicha tercera posición y orientación de la unidad de medición con relación a la plataforma,
- realizar mediciones en 3D de la tercera característica por medio de la unidad de medición,
- generar un segundo modelo CAD de la tercera característica sobre las mediciones en 3D de la tercera característica,
- realizar una adaptación óptima, incluyendo escalado y rotación, entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda y tercera características, y sobre la base de ello calcular la diferencia de postura 6 DOF entre los modelos CAD, y
- ajustar la transformación del sistema de coordenadas entre el sistema de coordenadas del objeto de trabajo (wc) y el sistema de coordenadas del robot (rc) sobre la base de la diferencia de postura 6 DOF entre el primero y el segundo modelos CAD de la segunda y tercera características.

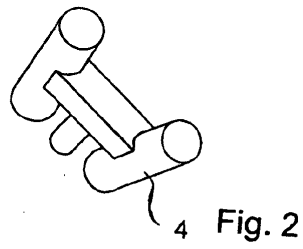
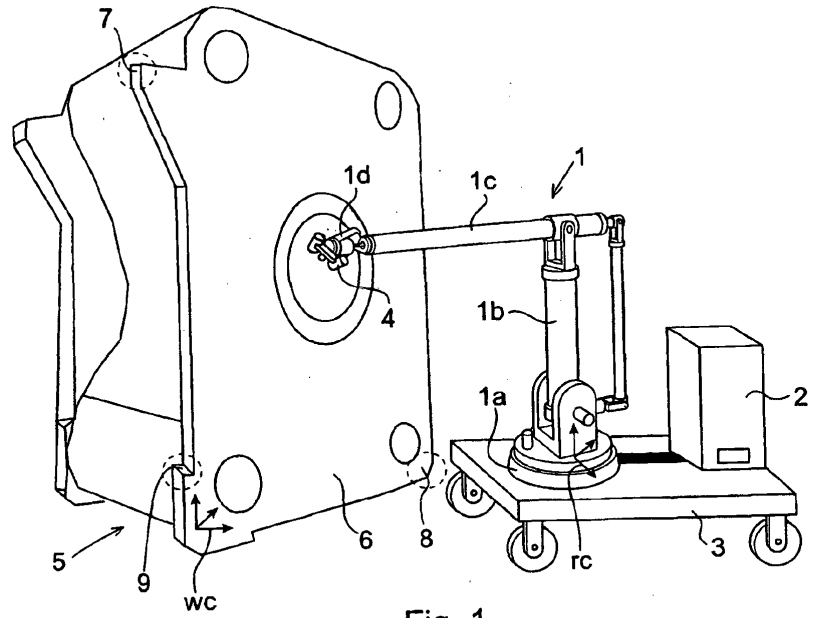


Fig. 3

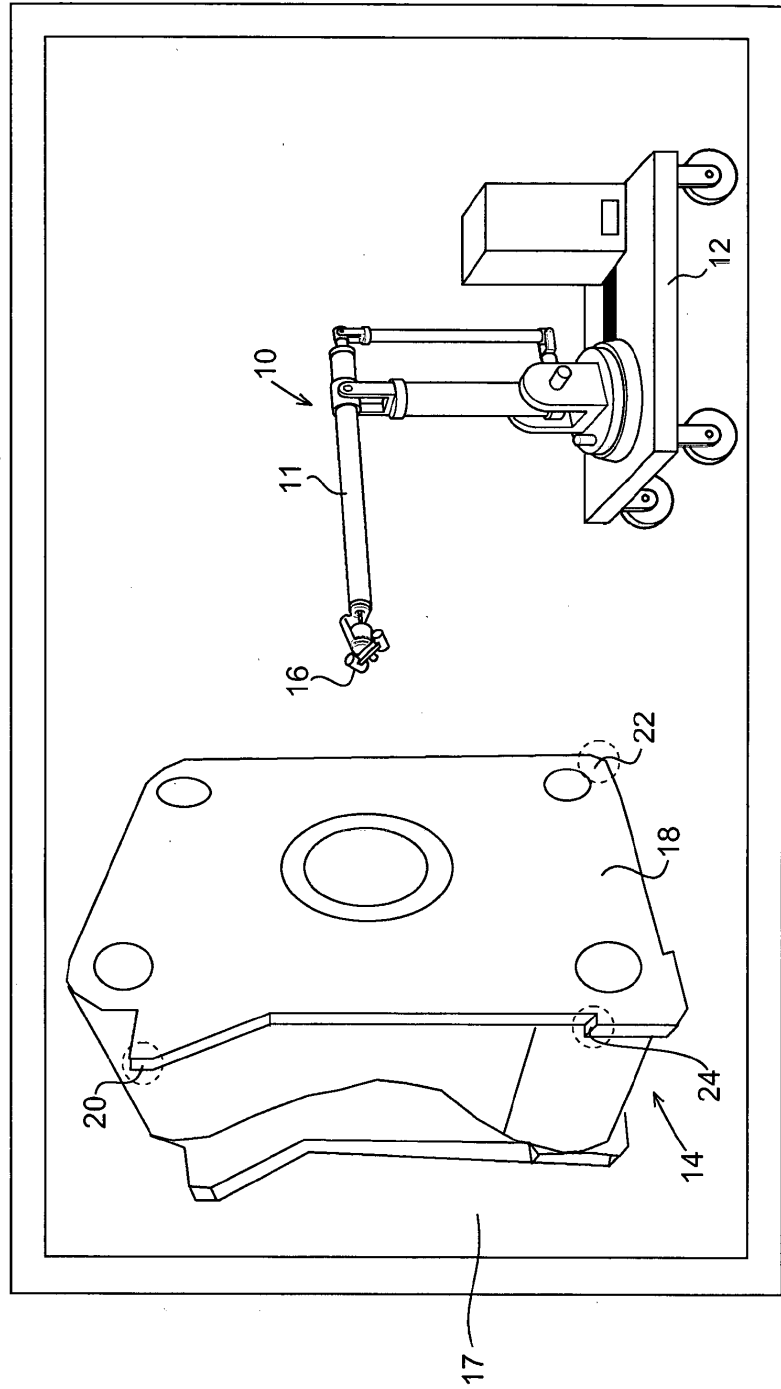
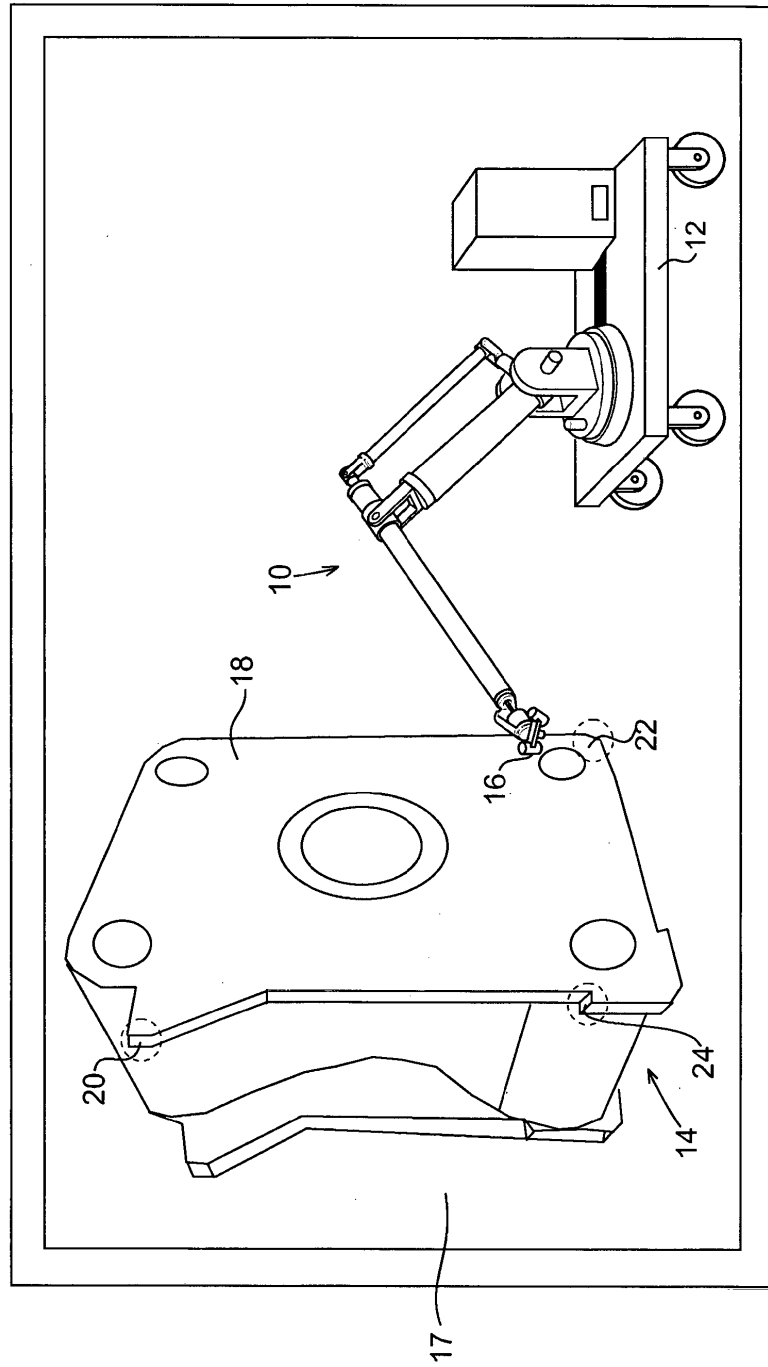


Fig. 4





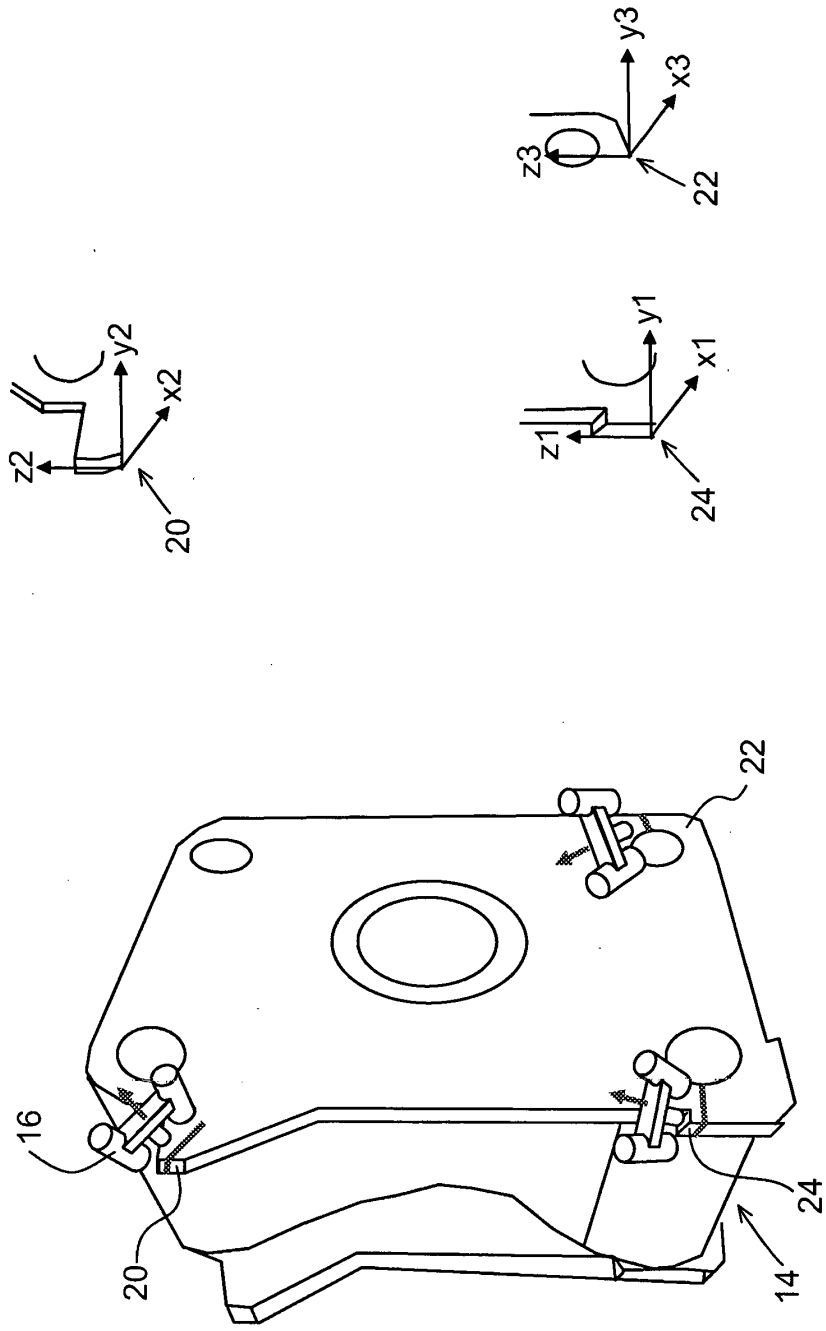
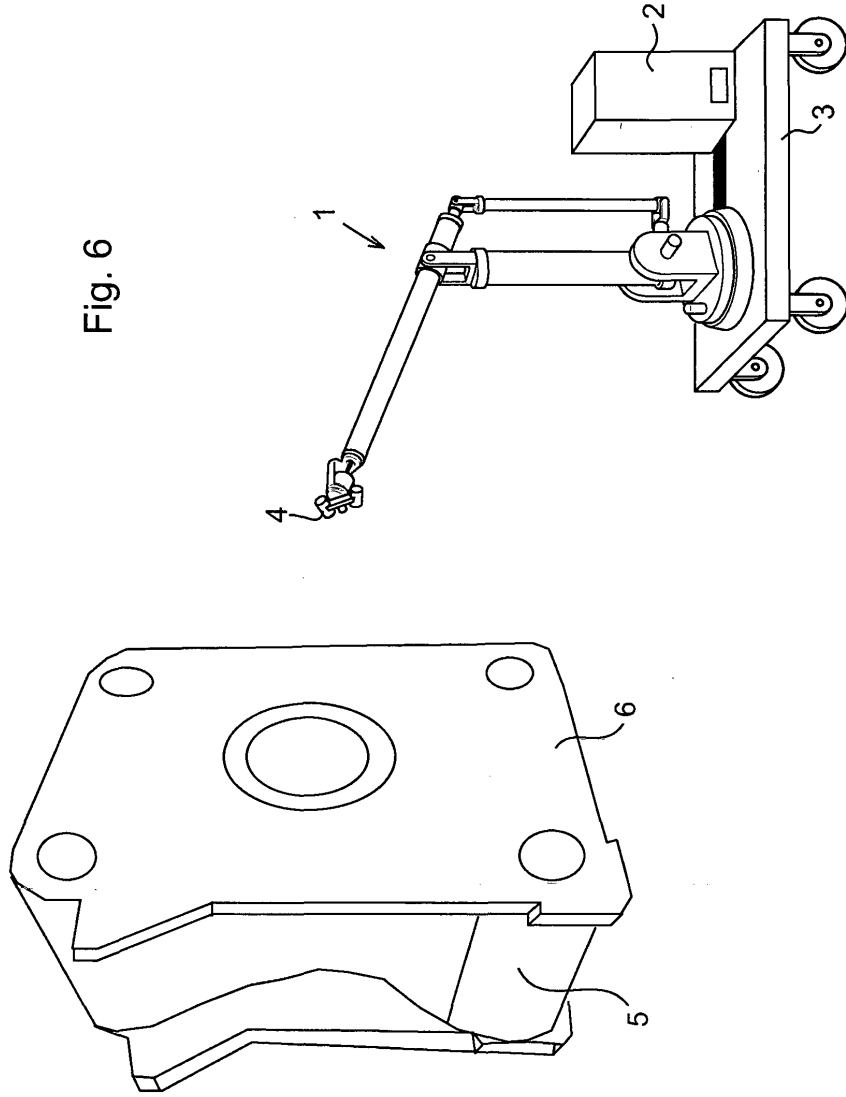


Fig. 5

Fig. 6



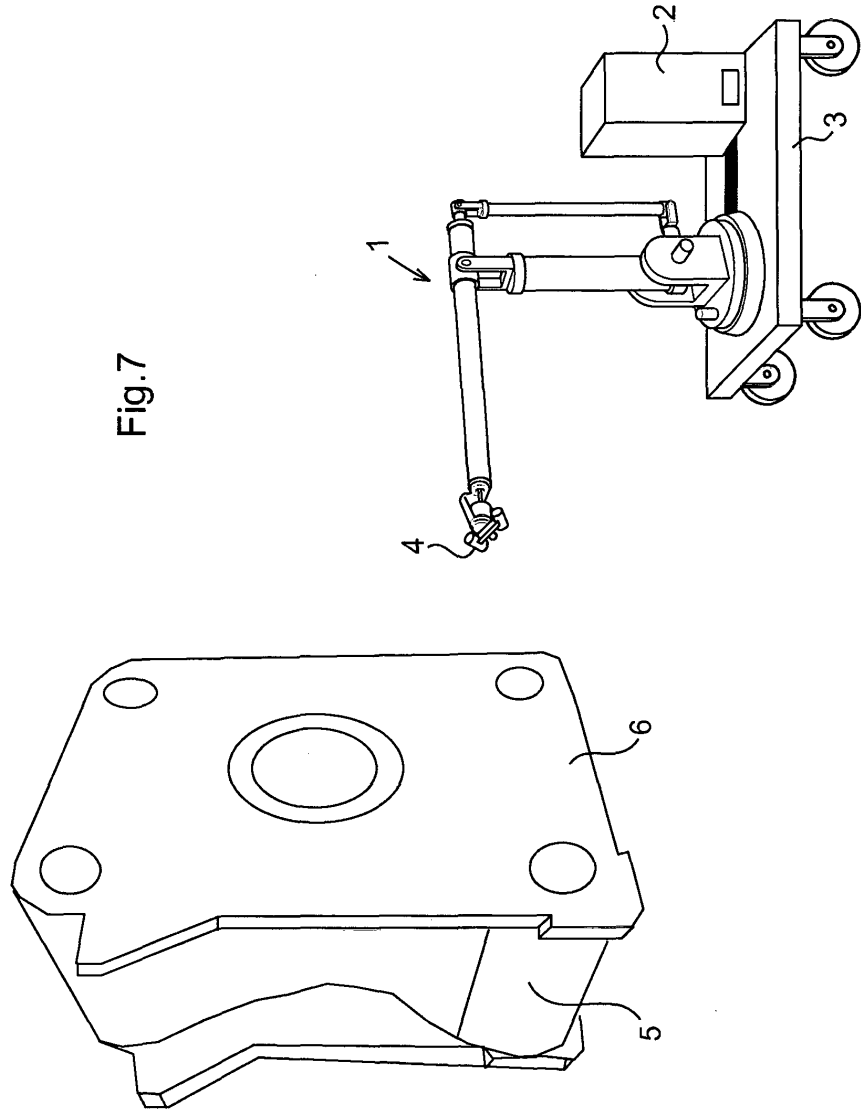
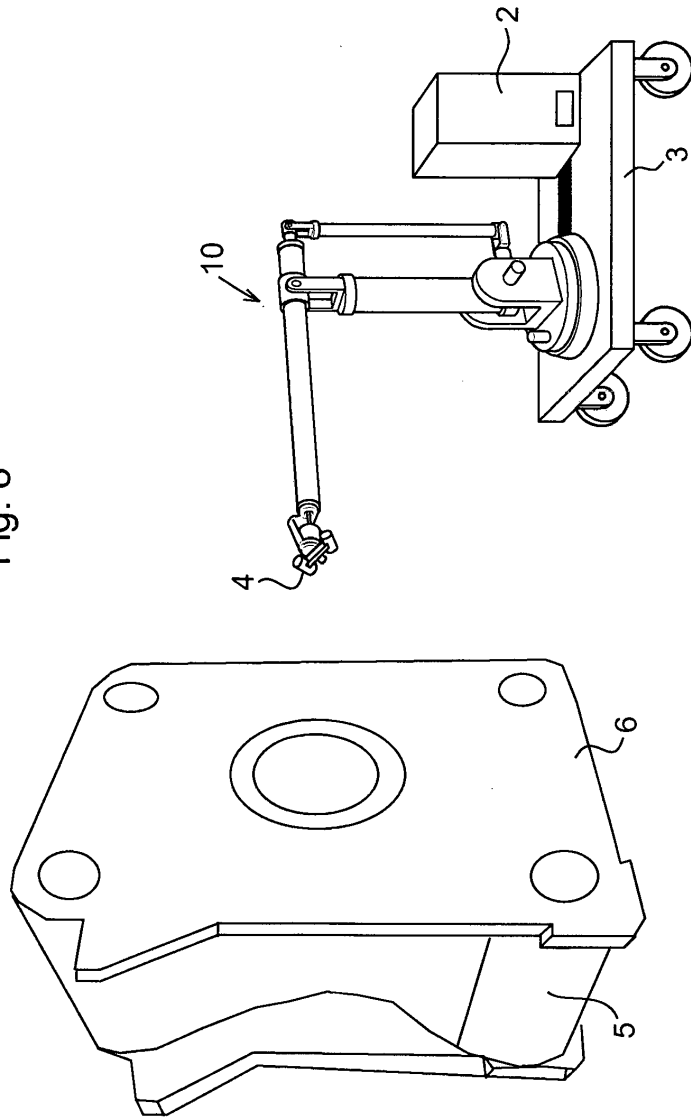


Fig.7

Fig. 8



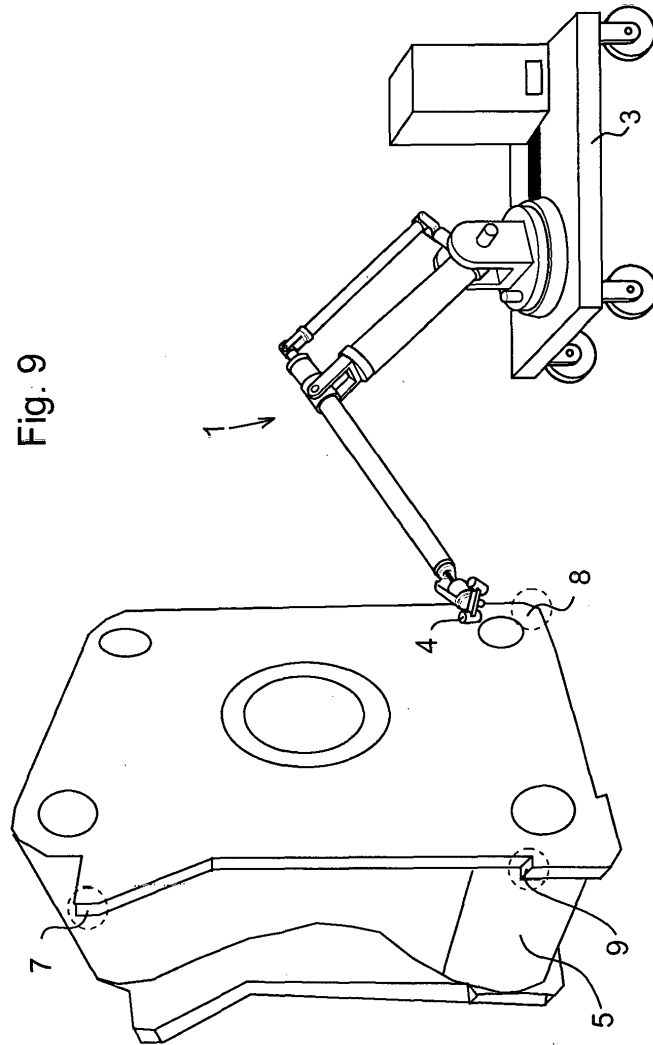


Fig. 10

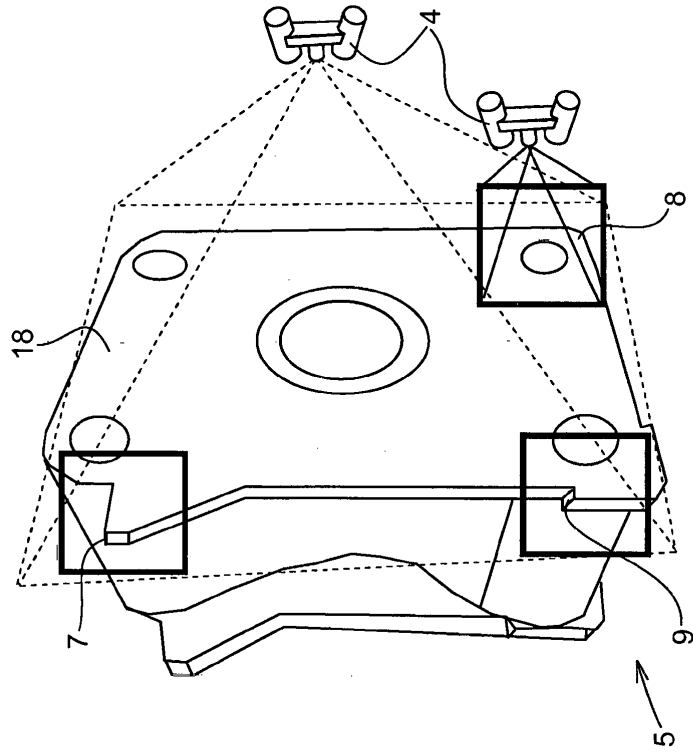


Fig. 11

