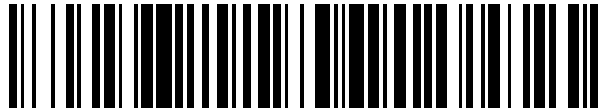


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 457 791**

51 Int. Cl.:

G01B 21/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.05.2008 E 08156028 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2014 EP 1990605**

54 Título: **Procedimiento para determinar errores geométricos en una máquina herramienta o máquina de medición**

30 Prioridad:

10.05.2007 IT TO20070318

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

29.04.2014

73 Titular/es:

HEXAGON METROLOGY S.P.A. (50.0%)
Via Vittime di Piazza della Loggia 6
10024 Moncalieri, IT y
ISTITUTO NAZIONALE DI RICERCA
METROLOGICA (I.N.R.I.M.) (50.0%)

72 Inventor/es:

BALSAMO, ALESSANDRO y
VERDI, MICHELE

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

ES 2 457 791 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

Procedimiento para determinar errores geométricos en una máquina herramienta o máquina de medición.

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para determinar errores geométricos en una máquina herramienta o máquina de medición.

Preferiblemente, aunque no exclusivamente, la invención se aplica a máquinas de mediciones, a las que la siguiente descripción se refiere con fines de claridad.

10

Se conoce un procedimiento para determinar errores geométricos en máquinas a partir del documento WO2005/019769, en el que la máquina funciona para desplazar un reflector posterior en el volumen de medición a lo largo de una cuadrícula tridimensional orientada con respecto al eje de coordenadas, y se adquieren marcas sucesivas. El reflector se rastrea mediante un dispositivo de seguimiento óptico o "trazador láser" situado en la bancada de máquina y que comprende un interferómetro; la distancia real entre cada marca adquirida y un punto de referencia predeterminado asociado con la fuente láser se mide de forma interferométrica; como se sabe, la distancia puede determinarse a falta del camino muerto del interferómetro, que no se conoce.

15

La misma secuencia de operaciones se realiza con el trazador láser en diferentes posiciones en la bancada de la máquina de medición.

20

En base a un modelo cinemático de la máquina, las coordenadas de puntos adquiridos y las distancias medidas por el interferómetro se procesan para calcular los parámetros de errores de la máquina.

25 El procedimiento conocido que se ha descrito brevemente arriba tiene el inconveniente de requerir un trazador láser extremadamente preciso y, por lo tanto, complejo y con un alto coste capaz de hacer mediciones interferométricas continuas a lo largo de las variaciones de orientación del haz láser.

Además, para cada posición del trazador láser, introduce incógnitas adicionales en la forma del camino muerto del interferómetro, y la posición del trazador láser.

30

El documento WO 93/08449 desvela un procedimiento de medición de la precisión de una máquina multi-eje usando un interferómetro láser. Un retroreflector montado en la ram de la máquina se desplaza a lo largo de la dirección del haz láser. Las distancias entre los pared de puntos en la dirección del láser medidas con el interferómetro se comparan con las distancias calculadas en base a las lecturas de los ejes de la máquina para calcular los parámetros de errores a través de un modelo matemático.

35

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento mejorado para determinar errores geométricos en una máquina cartesiana.

40

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un procedimiento como se ha indicado en la reivindicación 1.

Una realización preferida, no limitante, de la invención se describirá a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

45

La figura 1 muestra una máquina de medición y un dispositivo de medición interferométrico que funciona de acuerdo con el procedimiento; la figura 2 muestra el dispositivo de medición interferométrico de la figura 1.

50 Él número 1 en la figura 1 indica como un conjunto una máquina de medición que comprende una bancada plana 2 con un plano de referencia horizontal 3 paralelo a dos ejes horizontales X, Y de un conjunto de tres ejes cartesianos X, Y, Z, y para soportar un objeto (no mostrado) que se va a medir; y una unidad móvil 4.

La unidad 4 comprende un puente 5 móvil a lo largo del eje Y con respecto a la bancada 2 y, a su vez, que comprende dos montantes 6 y 7, y un miembro transversal 8 que se extiende entre los montantes 6 y 7 y paralelo al eje X.

55

La unidad 4 también comprende un carro 9 equipado y móvil en el miembro transversal 8 a lo largo del eje X; y un cabezal de medición 10 equipado a y móvil con respecto al carro 9 a lo largo del eje Z.

El extremo inferior del cabezal 10 se equipa convenientemente con un dispositivo de articulación de dos ejes conocido 11 para soportar de forma orientable una sonda (no mostrada) en uso, y que comprende convenientemente una "muñeca" de dos ejes con un eje vertical A, es decir paralela al eje Z, y un eje horizontal B, es decir, paralelo al plano XY.

Para determinar los errores geométricos de la máquina 1 de acuerdo con el procedimiento de la presente invención, el dispositivo de articulación se equipa con un objetivo que comprende un reflector posterior 12, que puede ser de cualquier tipo conocido, por ejemplo, un ojo de gato o prismas cúbicos.

El procedimiento de acuerdo con la presente invención también se implementa usando un dispositivo de medición interferométrico 13, es decir, un instrumento capaz de generar y orientar un haz láser 14 a lo largo de una dirección que es variable con dos grados de libertad rotacional (azimut y elevación), y para determinar interferométricamente la abscisa, con respecto a un origen predeterminado, de un reflector posterior situado a lo largo de tal dirección.

El dispositivo 13 (figura 2) comprende convenientemente un interferómetro comercial conocido 15; y un deflector de haz 19 con dos grados de libertad. El deflector de haz 19 puede definirse por un cabezal de indexado conocido 16 equipado con un espejo 17 que recibe el haz láser 14 generado por el interferómetro 15, y lo refleja a lo largo de una dirección definida por la orientación del espejo 17.

De acuerdo con el procedimiento de la invención, el dispositivo 13 se ajusta sucesivamente en diferentes posiciones dentro del volumen de medición de la máquina 1; y, en cada posición del dispositivo 13, se generan sucesivamente haces láser 14 a lo largo de diferentes direcciones, cada una indicada en lo sucesivo en el presente documento por un índice variable j .

El número de posiciones sucesivas del dispositivo 13 dentro del volumen de medición, y el número y direcciones de los haces láser generados desde cada posición, se selecciona convenientemente para incluir todo el volumen de medición, como se explica en más detalle a continuación.

La máquina 1 está equipada con una primera unidad de control 18 para controlar los motores eléctricos (no mostrados) que accionan los componentes móviles 5, 9, 10 de la máquina a lo largo de los ejes de coordenadas respectivos, y que también adquiere y memoriza, durante el uso, las coordenadas adquiridas por la sonda.

El dispositivo 13 se controla por una segunda unidad de control 20 para orientar el haz láser 14 a lo largo de una dirección predeterminada, y que puede incorporarse en la primera unidad de control 18, si está diseñada para ello, o puede comunicar con la primera unidad de control 18 con fines de sincronización.

El dispositivo 13 comprende convenientemente un fotorreceptor 21 para generar una señal que depende de la intensidad del haz láser de retorno del reflector posterior. El fotorreceptor 21 está conectado convenientemente por la segunda unidad de control 20 a la primera unidad de control 18, para permitir que ésta mueva el reflector posterior 12 a lo largo de la dirección del haz mediante un control por retroalimentación en base a dicha señal.

A continuación, se describe un ejemplo del modo en el que el procedimiento de acuerdo con la presente invención se pone en práctica.

Después de ajustar el dispositivo 13 en una primera posición en el volumen de medición, se genera un primer haz láser 14 a lo largo de una primera dirección ($j = 1$) definida por el vector unitario \mathbf{n}_1 .

Entonces, la máquina 1 se maneja para ajustar el reflector posterior 12 en una sucesión de puntos P_{j1} a lo largo de la dirección del haz. Para cada punto, se adquiere el vector $\mathbf{P}_{j1}(\mathbf{u})$, cuyas componentes son las coordenadas de puntos adquiridas por la máquina 1 y que contiene errores debido a los parámetros de errores \mathbf{u} (desconocidos), y la abscisa l_{j1} de cada punto, con respecto a un origen, medida de forma interferométrica y que cabe suponer que es precisa. El origen puede seleccionarse de forma arbitraria a lo largo de la dirección del haz y, de hecho, se ajusta poniendo a cero el contador del interferómetro en el dispositivo 13.

Cada punto cuya abscisa se mide por el dispositivo 13 se alinea a lo largo de una línea definida por el vector unitario \mathbf{n}_1 , y puede representarse en un sistema de referencia integrado con el dispositivo por el vector preciso $\mathbf{l}_{j1} = l_{j1}\mathbf{n}_1$.

Para comparar el vector \mathbf{l}_{j1} con el \mathbf{P}_{j1} correspondiente medido por la máquina 1 en sus sistema de referencia

máquina-eje, ambos deben expresarse en el mismo sistema de referencia, que se hace mediante rotación-traslación definidas por una matriz de rotación desconocida R_1 y un el vector de traslación t_1 .

Entonces, el dispositivo se ajusta a un número de posiciones sucesivas j , para cada una de las cuales, se repite el mismo procedimiento descrito para la posición $j = 1$.

Después, los parámetros de errores u pueden calcularse reduciendo al mínimo, con respecto a ellos, a las matrices de rotación R_j , y a los vectores de traslación t_j , la función de error definida por la suma de las diferencias, para cada punto, entre el vector $P_{ij}(u)$ (afectado por el error) y el vector de rotación-traslación l_j en el sistema de referencia de la máquina 1:

$$\min_{u, R_j, t_j} \sum_{ij} \|P_{ij}(u) - R_j l_{ij} - t_j\|^2 \quad (1)$$

donde:

15

$P_{ij}(u)$ representa las coordenadas de la máquina del i -ésimo punto del j -ésimo haz láser, dependiendo de los parámetros de errores u ;

l_{ij} representa las coordenadas de los puntos cuyas abscisas, con respecto a un origen común, se adquieren por el dispositivo, en el sistema de referencia integrado con éste;

20

R_j y t_j representa, respectivamente, la matriz de rotación y el vector de traslación por los que convertir los vectores l_{ij} en el sistema de referencia de la máquina (N.B. hay una matriz R_j y un vector t_j para cada dirección j del haz láser).

Asumiendo ángulos pequeños sobre las aproximaciones iniciales de R_j , que pueden obtenerse directamente de las coordenadas adquiridas por la máquina 1, se trata de un problema de variables separables, y la rotación-traslación (R_j, t_j) pueden calcularse por separado por anticipado. Estas soluciones hacen que cada línea j del haz 14 coincida con la línea de mínimos cuadrados para los puntos correspondientes P_{ij} , y que los baricentros de los puntos l_{ij} coincidan con los baricentros correspondientes de los puntos P_{ij} . De manera que (1) se reduzca a:

30

$$\min_u \sum_{ij} [n_j^T (P_{ij} - \bar{P}_j) - (l_{ij} - \bar{l}_j)]^2 \quad (2)$$

donde:

n_j representa el vector unitario de la línea de mínimos cuadrados j calculada en base a los puntos P_{ij} ;

35

\bar{P}_j representa el baricentro de los puntos adquiridos por la máquina a lo largo del j -ésimo haz láser, es decir, su valor medio;

\bar{l}_j representa el valor medio de las abscisas adquiridas por el dispositivo 13 a lo largo del j -ésimo haz láser.

40

(2) minimiza la suma de las diferencias entre las proyecciones de las lecturas de la máquina sobre la dirección respectiva j , y las abscisas correspondientes adquiridas por el dispositivo.

Entonces, los puntos P_{ij} se representan en función de los parámetros de errores de la máquina u por medio de un modelo cinemático:

45

$$P_{ij}(u) = \hat{P}_{ij} + e_{ij}(P_{ij}, p_{ij}, u) \quad (3)$$

donde:

\hat{P}_{ij} representa la posición del punto P_{ij} en ausencia de errores geométricos de la máquina;

e_{ij} es el error geométrico de la máquina en función, no sólo de los parámetros de errores u , sino también de la posición en el volumen de medición P_{ij} y el desfase P_{ij} de la sonda o herramienta.

El modelo cinemático expresado en (3) debe ajustarse a la cinemática de la máquina específica considerada. Se conocen en la bibliografía algunos modelos cinemáticos aplicables a las clases de máquinas. A modo de ejemplo no limitante, el modelo cinemático de cuerpo rígido (Hocken, R., Simpson, J., Borchart, B., Lazar, J., Stein, P., 1977, "Three dimensional metrology", Annals of the CIRP 26/2/1977: 403-408; formulación modificada posteriormente en Balsamo, A., 1995 "Effects of arbitrary coefficients of CMM error maps on probe qualification", Annals of the CIRP 44/1/1995: 475-478) representa errores de la máquina como:

10

$$\mathbf{e} = \mathbf{t}_x + \mathbf{t}_y + \mathbf{t}_z + \mathbf{r}_x \wedge \mathbf{h}_x + \mathbf{r}_y \wedge \mathbf{h}_y + \mathbf{r}_z \wedge \mathbf{h}_z \quad (4)$$

donde:

15

$\mathbf{t}_x, \mathbf{t}_y, \mathbf{t}_z$ son vectores que expresan errores de traslación (tres componentes por eje):

$$\mathbf{t}_x = \begin{pmatrix} t_{xx} \\ t_{xy} \\ t_{xz} \end{pmatrix} \quad \mathbf{t}_y = \begin{pmatrix} t_{yx} \\ t_{yy} \\ t_{yz} \end{pmatrix} \quad \mathbf{t}_z = \begin{pmatrix} t_{zx} \\ t_{zy} \\ t_{zz} \end{pmatrix} \quad (5)$$

$\mathbf{r}_x, \mathbf{r}_y, \mathbf{r}_z$ son vectores que expresan errores de rotación (tres componentes por eje):

$$\mathbf{r}_x = \begin{pmatrix} r_{xx} \\ r_{xy} \\ r_{xz} \end{pmatrix} \quad \mathbf{r}_y = \begin{pmatrix} r_{yx} \\ r_{yy} \\ r_{yz} \end{pmatrix} \quad \mathbf{r}_z = \begin{pmatrix} r_{zx} \\ r_{zy} \\ r_{zz} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$\mathbf{h}_x, \mathbf{h}_y, \mathbf{h}_z$ son errores Abbe, de forma perpendicular a los que se produce la rotación:

$$\mathbf{h}_x = \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ z \end{pmatrix} + \mathbf{p} \quad \mathbf{h}_y = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ z \end{pmatrix} + \mathbf{p} \quad \mathbf{h}_z = \mathbf{p} \quad (7)$$

20

\wedge es el símbolo del producto vectorial.

Este modelo tiene 18 funciones de error, una para cada componente de vectores $\mathbf{t}_x, \mathbf{t}_y, \mathbf{t}_z$ y $\mathbf{r}_x, \mathbf{r}_y, \mathbf{r}_z$, y que puede expresarse en forma de tabla o analítica (mediante interpolaciones lineales o polinomiales, expansiones armónicas o exponenciales, etc.). En el caso de representación en forma de tabla, los parámetros de errores desconocidos u se definen por valores de función adquiridos en intervalos de muestreo apropiados; en el caso de una representación polinomial, los parámetros de errores u se definen por los coeficientes de los diversos grados de los polinomios; y, en el caso de una representación en serie armónica o exponencial, por los coeficientes de la serie.

30 Insertando (5), (6), (7) en (4), el último en (3), y finalmente, el último en (2), puede realizarse la minimización y determinarse los parámetros desconocidos u .

Como se conoce por un experto en la técnica, por ejemplo, de la segunda de las publicaciones anteriores, la minimización implica imponer restricciones para eliminar grados arbitrarios de libertad relacionados con la ubicación arbitraria en el espacio de la máquina del sistema de referencia ideal con respecto a los que se evalúan los errores geométricos. Estos grados de libertad impedirán de otro modo la ejecución de algoritmos y darán como resultado una singularidad en los cálculos. Más específicamente, el modelo de cuerpo rígido tiene 21 grados de libertad que requieren una restricción por muchas ecuaciones:

35

$$\mathbf{Cu} = \mathbf{0}, \quad (8)$$

donde \mathbf{C} es la matriz de restricción que tiene 21 líneas, y el mismo número de columnas que parámetros de errores \mathbf{u} .

5

A modo de ejemplo, y con referencia a una representación de la función de error en forma de tabla, los parámetros arbitrarios anteriores pueden ajustarse como se indica a continuación.

Se impone un baricentro 0 para cada función de error:

10

$$\sum_k u_{hk} = 0, \quad (9)$$

donde h identifica la función de error ($h = 1, \dots, 18$), y k el valor de la tabla específico.

15 Esto proporciona 18 restricciones, dejando tres, con respecto a la orientación de los ejes del sistema corregidos con respecto a los ejes de la máquina. Más específicamente, la imposición de un paralelismo medio de los ejes X respectivos y los planos XY del sistema corregido y el sistema de la máquina proporciona las tres ecuaciones:

$$\sum_k (\xi_{hk} - \bar{\xi}_h) u_{hk} = 0 \quad (10)$$

20

donde:

h indica las tres funciones de rectitud t_{xy} , t_{xz} o t_{yz} ;

ξ indica la coordenada actual de la función respectiva h , es decir, x , x o y respectivamente;

25

ξ_{hk} indica la abscisa de los puntos de muestra a lo largo del eje;

$\bar{\xi}_{hk}$ indica el valor medio de las abscisas de los puntos de muestra a lo largo del eje.

Una vez impuestas las anteriores restricciones, (2) puede resolverse, y determinarse los parámetros de errores \mathbf{u} del modelo cinemático.

30

Para determinar los parámetros de errores con más precisión, debería repetirse lo anterior para más del número mínimo teórico de posiciones del dispositivo 13.

Además, para cada posición del dispositivo 13, cuanto mayor es el número de adquisiciones a lo largo de cada dirección del haz, y mayor es el número de direcciones, mayor es la precisión con la que se determinan los parámetros de errores.

Finalmente, para determinar todas las funciones de error, el reflector posterior debe montarse con diferentes desfases. Para una serie completa de adquisiciones a lo largo de una dirección del haz 14, el desfase se mantiene convenientemente constante, para evitar la incertidumbre de medición causada por la anisotropía espacial del reflector posterior y la determinación de los ángulos de orientación del dispositivo de articulación. Pueden emplearse diferentes desfases para las adquisiciones a lo largo de diferentes direcciones, o para adquisiciones repetidas a lo largo de la misma dirección.

45 Simplemente a modo de ejemplo, pueden realizarse razonablemente 100 adquisiciones para 25 direcciones de haz diferentes y tres posiciones diferentes del dispositivo en el volumen de medición.

Muy brevemente, el procedimiento real por el que poner en práctica el procedimiento de acuerdo con la invención puede ser como se indica a continuación.

50

El dispositivo 13 se ajusta a una primera posición en el volumen de medición.

Después, los haces láser se generan sucesivamente a lo largo de diferentes direcciones para cubrir un ángulo sólido lo más amplio posible; para cada dirección de haz, la máquina 1 se maneja para desplazar el reflector posterior 12 a lo largo del haz 14; y se adquieren puntos a lo largo de la dirección del haz de forma simultánea por el dispositivo 13 y la máquina 1.

Por lo tanto, la primera unidad de control 18 memoriza tanto las coordenadas de la máquina x_i, y_i, z_i , como los valores l_i en una tabla especial que puede ser, por ejemplo, del tipo que se muestra a continuación:

l_1	x_1	y_1	z_1
l_2	x_2	y_2	z_2
...
l_n	x_n	y_n	z_n
\bar{l}	\bar{x}	\bar{y}	\bar{z}

El valor medio \bar{l} de las lecturas del dispositivo 13, y el valor medio de las coordenadas de la máquina \bar{x}, \bar{y} y \bar{z} se calculan en base a los valores memorizados.

15 Y la operación anterior se repite para todas las direcciones del haz láser, en todas las posiciones del dispositivo 13.

Una vez adquiridos los datos, los parámetros de errores de la máquina se calculan usando el procedimiento matemático que se ha descrito anteriormente, y se memorizan en la primera unidad de control 18 para una futura compensación de medición usando la ecuación (4).

20 Las ventajas del procedimiento para determinar errores geométricos de una máquina de medición de acuerdo con la presente invención serán evidentes a partir de la anterior descripción.

Para la medición a lo largo de una dirección en un momento, es decir, sin rotación del haz láser durante la medición, puede usarse un dispositivo sencillo, sin capacidad de seguimiento del reflector posterior ni particularmente una alta precisión de puntería angular. De hecho, la capacidad de posicionamiento preciso de la máquina es lo que realmente sigue la dirección del haz, mientras que se hacen cambios en la posición angular cuando se suspende la medición por el interferómetro, y así no tienen ningún efecto sobre la medición. Además, los puntos medidos están todos alineados a lo largo de una dirección, la determinación de la rotación-traslación desconocida necesaria para convertir las mediciones del dispositivo en el sistema de referencia de la máquina se simplifica, y asciende a calcular simplemente la línea de mínimos cuadrados de los puntos medidos de forma habitual. Además, la localización del origen del sistema en el baricentro de los puntos medidos elimina desde el principio la necesidad de determinar la posición y el camino muerto del interferómetro.

35 Evidentemente, pueden hacerse cambios a la realización de la presente invención como se describe en el presente documento, sin apartarse no obstante del alcance definido por las reivindicaciones adjuntas.

En particular, además de tipos de puentes, el procedimiento de acuerdo con la invención puede aplicarse en cualquier tipo de máquina de medición, por ejemplo, un brazo horizontal, una columna, e incluso máquinas articuladas por robots, y también para corregir errores geométricos de máquinas herramienta.

Aunque la realización preferida del procedimiento emplea un dispositivo de medición interferométrico, pueden usarse otras técnicas no reivindicadas para adquirir las abscisas a lo largo de las diferentes direcciones, por ejemplo, un calibre de etapas orientado por un sistema de actuación automático que incluye los ejes principales (3 axiales, 4 volumétricos, diagonales de los planos de coordenadas) y capaz de trasladarse a lo largo de una dirección para cubrir toda la línea de medición. El calibre puede medirse con diferentes desfases de la herramienta para identificar también funciones de error que no pueden obtenerse de otro modo.

También pueden emplearse procedimientos alternativos, tales como sistemas de cables y carretes convencionales.

Finalmente, las abscisas a lo largo de los diversos ejes de medición pueden adquirirse usando un sistema que comprende una fuente láser conectada por fibra óptica a un cabezal de indexado.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para determinar errores geométricos en una máquina herramienta (1) o máquina de medición que comprende una unidad móvil (4) para mover un objetivo en un volumen de medición, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- generar un haz láser a lo largo de una dirección predeterminada en el volumen de medición por medio de un interferómetro láser (13);
- 10 mover el objetivo en varios puntos a lo largo de dicha dirección por medio de la unidad móvil (4);
- medir la abscisa de cada uno de dichos puntos con respecto a un origen situado a lo largo de dicha dirección por medio del interferómetro láser (13);
- adquirir las coordenadas de cada uno de dichos puntos por medio de dicha máquina herramienta (1) o máquina de medición;
- 15 calcular el baricentro de dichos puntos en base a las abscisas medidas por el interferómetro láser (13);
- calcular el baricentro de dichos puntos en base a las coordenadas adquiridas por dicha máquina (1);
- determinar una línea que aproxima la sucesión de puntos en base a las coordenadas adquiridas por dicha máquina (1);
- repetir las etapas anteriores para varias direcciones en el volumen de medición; y
- 20 determinar parámetros de errores de dicha máquina imponiendo que, para cada dirección:
- a) el baricentro de los puntos calculados en base a las coordenadas adquiridas por dicha máquina (1) coincide con el baricentro de los puntos calculados en base a las abscisas medidas por el dispositivo de medición (13); y
- 25 b) dicha línea se extiende a lo largo de dicha dirección.
2. Un procedimiento como se ha indicado en la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicha etapa de determinar parámetros de errores comprende la etapa de minimizar la suma de las diferencias entre las proyecciones de cada punto adquirido por la máquina (1) sobre dicha dirección y las abscisas adquiridas por dicho dispositivo de medición (13).
- 30 3. Un procedimiento como se ha indicado en la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** dicho objetivo es un reflector posterior (12).
4. Un procedimiento como se ha indicado en cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- 35 **porque** comprende la etapa de generar una sucesión de haces láser (14) a lo largo de diferentes direcciones desviando un haz láser, generado por dicho interferómetro (15), por medio de un reflector (17) controlado por un dispositivo de accionamiento (16).
5. Un procedimiento como se ha indicado en una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado**
- 40 **porque** comprende al menos dos etapas de adquirir puntos a lo largo de dos direcciones diferentes; estando dicho objetivo montado en dicha unidad móvil (4) con diferentes desfases para las dos etapas.

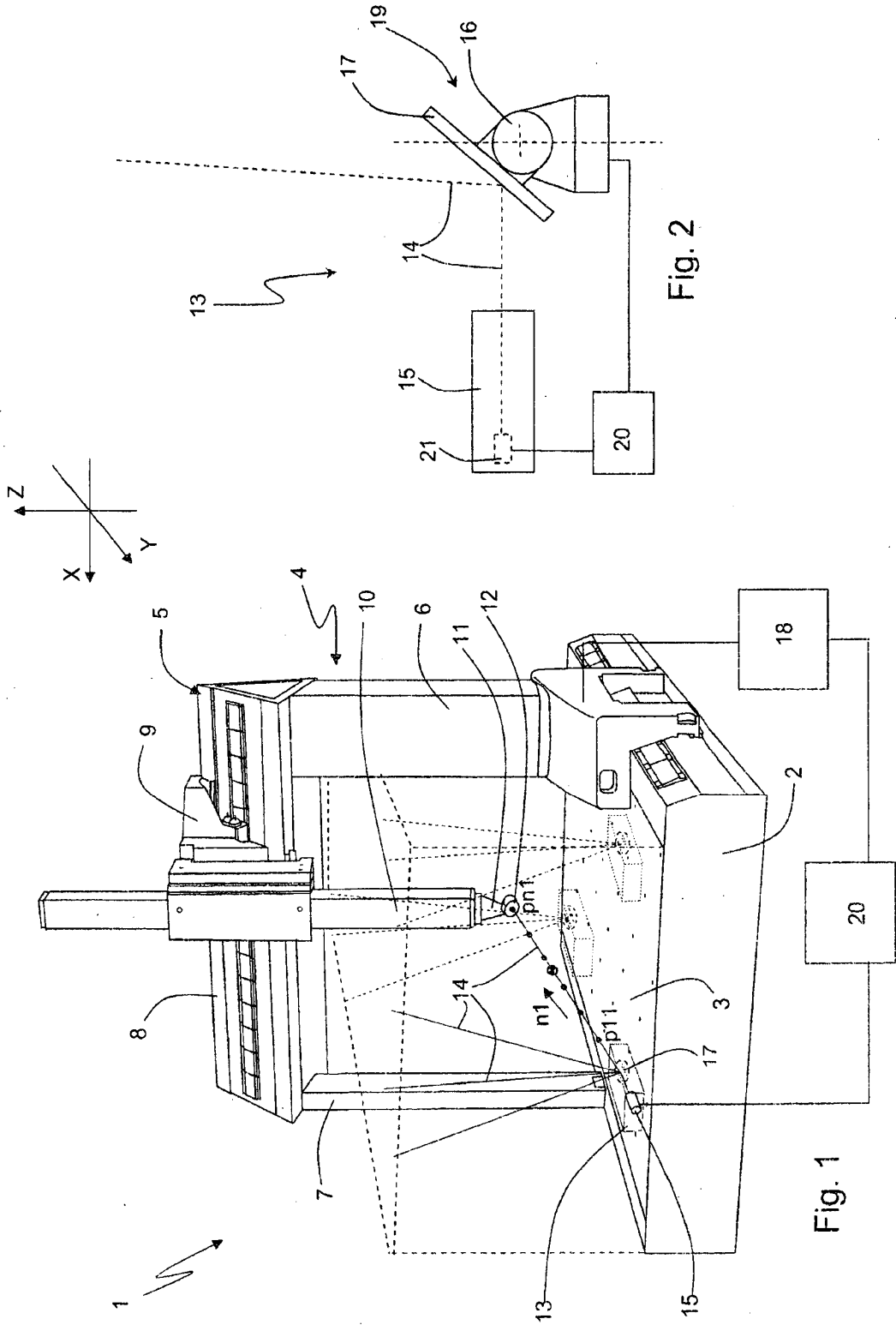


Fig. 1

Fig. 2