

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 998 607**

51 Int. Cl.:

G01B 21/04 (2006.01)

G01B 21/20 (2006.01)

G06T 17/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2013 PCT/DE2013/200076**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.03.2014 WO14032661**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2013 E 13762052 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2024 EP 2753897**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para detectar desviaciones de una superficie de un objeto**

30 Prioridad:

27.08.2012 DE 102012215195

28.08.2012 DE 102012215215

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.02.2025

73 Titular/es:

INB VISION GMBH (100.00%)

**ZENIT Technology Park IIBrenneckestrasse 20
39118 Magdeburg, DE**

72 Inventor/es:

**MICHAELIS, BERND;
LILIENBLUM, TILO y
VON ENZBERG, SEBASTIAN**

74 Agente/Representante:

ERVITI ARBAIZA, Blanca María

ES 2 998 607 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 y dispositivo para detectar desviaciones de una superficie de un objeto

5 La invención se refiere a un procedimiento según la reivindicación 1 para detectar desviaciones de una superficie de un objeto con ayuda de una comparación de datos de medición de la superficie y datos de referencia predeterminados.

10 La invención también se refiere a un dispositivo según la reivindicación 11 para detectar desviaciones de una superficie de un objeto con ayuda de una comparación de datos de medición de la superficie y datos de referencia predeterminados, en particular adecuado para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10.

15 El término "superficie" debe entenderse en el sentido más amplio e incluye además de superficies planas también superficies tridimensionales, por ejemplo, superficies formadas y superficies con texturas.

20 Las desviaciones de una superficie, también conocidas como defectos superficiales, son pequeñas desviaciones de forma locales, como por ejemplo muescas, abolladuras, arañazos, grietas o depresiones superficiales. Estas se ven especialmente en superficies barnizadas o pulidas y tienen un efecto perjudicial a la hora de evaluar la calidad de la superficie, por ejemplo, de piezas de la carrocería y del espacio interior en la industria del automóvil, revestimientos exteriores en la industria aeronáutica, superficies de aparatos eléctricos, etc. La detección de pequeñas desviaciones de forma locales es especialmente difícil en superficies de componentes flexibles fabricados con materiales como chapa o plástico. Por ejemplo, es posible que debido a la conformabilidad o variabilidad en el proceso de fabricación, se permita una alta tolerancia de forma del componente y, por tanto, de la superficie, que sea significativamente mayor que los defectos superficiales a detectar.

25 Para detectar defectos superficiales, se han dado a conocer disposiciones de ensayo en los documentos DE 10 2004 058 778 A1, DE 43 21 042 C1, DE 20 2005 011 807 U1 o DE 10 2007 037 812 A1, que comprenden una disposición de iluminación adecuada, una cámara para la grabación de una imagen del componente y un equipo de evaluación para evaluar la imagen bidimensional grabada. Sin embargo, la desventaja de los procedimientos mencionados es que los resultados de medición obtenidos con ellos dependen en gran medida de la disposición de iluminación y de la cámara con respecto a la superficie del componente, es decir, se requiere un esfuerzo de preparación muy elevado. Además, los procedimientos conocidos solo son adecuados para superficies grandes, relativamente planas con poca curvatura, por lo que las superficies deben seguir siendo convexas.

30 Además, por estado de la técnica se ha dado a conocer, por ejemplo, por los documentos DE 40 23 368 A1, DE 39 38 714, EP 2 019 283 A2 o DE 199 25 462 C1, llevar a cabo una detección tridimensional de la superficie del componente. Sin embargo, con esta únicamente pueden detectarse desviaciones de forma con una gran extensión o desviaciones de los datos de construcción teóricos. El documento DE 10 2011 113 138 A1 propone la evaluación de datos 3D con un filtro cóncavo para detectar defectos locales. Sin embargo, este procedimiento conocido proporciona exclusivamente resultados para aplicar a geometrías seleccionadas.

35 Además, también se ha propuesto, como por ejemplo en los documentos DE 197 53 620 C1, EP 0 921 374 B1 o EP 1 211 479 B1, formar una diferencia entre los datos de medición tridimensionales de la superficie del componente y un componente de referencia predeterminado sin errores. Aunque de esta manera pueden determinarse desviaciones de forma locales si la tolerancia de forma de gran superficie admisible está representada en el componente de referencia; aunque el componente de referencia se ha determinado con ayuda de una red neuronal artificial, que se ha entrenado previamente con datos de referencia sin errores. La desventaja es a este respecto que la red neuronal artificial genera una cantidad extremadamente grande de datos para el modelo de la pieza de referencia: Por ejemplo, con una cantidad de 50.000 puntos de superficie, esto conduce a $2,5 * 10^9$ ponderaciones, por lo que resultaría un volumen de datos de casi 20 GB en caso de una supuesta doble precisión. Si se miden únicamente zonas parciales de toda la superficie del objeto, ciertamente se reduce la cantidad de datos, pero esto da lugar a lagunas en las respectivas zonas de transición, de modo que estas zonas de transición no pueden evaluarse razonablemente. Por último, otra desventaja es que la detección de errores está orientada con respecto a un sistema de coordenadas global y no se tienen en cuenta las pequeñas curvaturas locales de la superficie.

40 El documento FR 2 916 529 ha dado a conocer un procedimiento de medición para determinar el contorno de una pieza fabricada. Por la bibliografía que no pertenece al campo de las patentes "Free-form surface inspection techniques state of the art review" de Yadong Li y Peihua Gu, se han dado a conocer diversos procedimientos para detectar defectos superficiales.

45 La presente invención se basa ahora en el objetivo de proporcionar un procedimiento y un dispositivo para detectar desviaciones de una superficie de un objeto con ayuda de una comparación de datos de medición de la superficie y datos de referencia predeterminados, que requieren menos recursos y que detectan al mismo tiempo de forma fiable incluso pequeñas desviaciones de la superficie del objeto. Además, es un objetivo de la presente invención indicar un procedimiento y un dispositivo para detectar desviaciones de una superficie de un objeto, que pueda llevarse a cabo de forma sencilla y económica o que tenga una estructura sencilla.

Los objetivos anteriormente indicados se consiguen mediante las características de las reivindicaciones 1 y 11.

Lo novedoso de la presente invención es, entre otras cosas, la creación de un modelo de superficie teórico en forma de una descripción paramétrica al menos parcial de la superficie a partir de los datos de referencia predeterminados. El término "descripción paramétrica de superficie" debe entenderse en el sentido de la invención de tal manera que representa una descripción matemática que es al menos parcialmente continua y en la que cualquier posición tridimensional en la superficie del objeto está definida con precisión por un conjunto de habitualmente dos, dado el caso también más parámetros.

Una de las ventajas es en este sentido que, en lugar de usarse todos los datos de referencia para el modelo de superficie teórico, se usan únicamente los valores característicos que permiten una descripción de la superficie del objeto. De este modo, es posible procesar una superficie efectiva esencialmente más grande para la descripción de la superficie del objeto. Otra ventaja es que las longitudes de arco, curvaturas, etc. de la superficie pueden determinarse muy fácilmente en el modelo de superficie teórico. Esto permite, por ejemplo, una distribución más selectiva de puntos para la comparación entre los datos de medición y los modelos de superficie teóricos, teniéndose en cuenta la forma local de la superficie y, por tanto, una detección más precisa de las desviaciones, en particular en zonas con una fuerte curvatura. Gracias a las descripciones paramétricas al menos parciales de la superficie pueden especificarse además condiciones de contorno y de transición de orden superior adicionales, es decir, que, por ejemplo, además de la condición de igualdad de valores para los puntos de bordes, también pueden establecerse requisitos con respecto a la inclinación (primera derivada) y/o la curvatura (segunda derivada) o también con respecto a derivadas superiores. De esta manera se simplifica el procesamiento de superficies muy grandes compuestas por diferentes áreas de superficie, ya que de este modo se evitan lagunas, irregularidades, etc.

Otras características, ventajas y beneficios de la forma de realización se describen en las reivindicaciones dependientes.

En una configuración ventajosa de la invención, la descripción paramétrica de la superficie se realiza en forma de una descripción de superficie spline. De esta manera es posible una composición especialmente sencilla de una superficie total, que está formada por varias superficies parciales, a partir de funciones básicas spline ponderadas con coeficientes spline.

Además, es concebible describir la superficie en forma de una superficie spline, en particular una superficie B-spline de producto tensorial jerárquica. Gracias a una descripción de la superficie de este tipo puede realizarse una comparación posterior especialmente fácil con los datos de medición.

Además, es concebible una descripción de la superficie en forma de un desarrollo en serie ortogonal, como por ejemplo la descomposición de Fourier o de wavelets. La superficie total se describe también en este caso mediante una suma de funciones básicas (por ejemplo, seno, coseno o wavelets), ponderadas con coeficientes.

Si los datos de medición se determinan de forma táctil, óptica y/o mediante sonido, en particular ultrasonidos y/o radar, por un lado, es posible recurrir, al menos en parte, a procedimientos o dispositivos ya conocidos, lo que hace que la realización del procedimiento sea sencilla y económica. Si los datos de medición se determinan mediante un procedimiento óptico, fotogramétrico, en particular en forma de un procedimiento de correlación temporal y/o de desplazamiento de fase, pueden generarse datos de medición densos, de gran superficie con una alta resolución de profundidad.

Para determinar los datos de medición de manera fiable, estos se proyectan con ayuda de una proyección de una secuencia de patrones predeterminada, en particular una secuencia de patrones sinusoidales, en la superficie del objeto, detectándose a continuación ópticamente la secuencia de patrones proyectada.

Los datos de medición también pueden usarse, por ejemplo, con ayuda de procedimientos deflectométricos, es decir, procedimientos que calculan datos de curvatura y/o datos tridimensionales a partir de una imagen reflejada de la superficie del objeto, procedimientos de imágenes térmicas, procedimientos con datos unidimensionales, bidimensionales o tridimensionales que se obtienen con ayuda de cámaras de exploración lineal o escáneres lineales tridimensionales y/o procedimientos con imágenes bidimensionales procedentes de cámaras matriciales. A este respecto, los procedimientos mencionados no solo pueden usarse para los datos de medición en el sentido de la invención, sino también para generar datos de referencia reales, predeterminados mediante mediciones en el objeto real.

El modelo de superficie teórico puede crearse mediante una red neuronal que se entrena con una pluralidad de conjuntos de datos diferentes de datos de referencia. Mediante la red neuronal también pueden medirse formas superficiales complejas del objeto e incluso pueden detectarse pequeños defectos superficiales, si los conjuntos de datos de los datos de referencia representan objetos de referencia sin errores.

Es especialmente ventajoso crear a partir de los datos de medición una descripción paramétrica al menos parcial de

la superficie como modelo de superficie real y realizar la comparación mediante comparación de modelos del modelo de superficie teórico y el modelo de superficie real. De este modo, las desviaciones pueden determinarse de forma aún más sencilla y fiable mediante la comparación.

5 Para llevar a cabo la comparación de forma fiable, también es ventajoso que la comparación se lleve a cabo con ayuda de una distancia ortogonal entre la descripción paramétrica al menos parcial de la superficie y al menos un punto de medición de los datos de medición.

10 Además, el modelo de superficie teórico puede determinarse a partir de los datos de referencia predeterminados utilizando procedimientos estadísticos. La ventaja en este sentido es que el modelo de superficie teórico puede determinarse con aún más precisión, lo que sigue mejorando la detección de desviaciones con ayuda de la comparación.

15 En algunos casos, por ejemplo en superficies con estructuras complejas localmente delimitadas, es razonable una observación separada de zonas parciales. Para ello, el procedimiento de acuerdo con la invención puede aplicarse una sola vez o varias veces, de manera recursiva, a los resultados de la comparación en una zona parcial pequeña. Una parte de los datos resultantes de la comparación de los datos de medición con el modelo de superficie teórico sirven como datos de entrada para la comparación con otro modelo de superficie definido en una zona parcial más pequeña. El resultado es, por tanto, un procedimiento de evaluación en varias etapas con varios modelos de superficie
20 teóricos, que caracterizan en cada etapa respectivamente una o varias zonas parciales más pequeñas de la superficie del objeto.

25 Ventajosamente, los datos de referencia predeterminados y/o los datos de medición se filtran mediante al menos un procedimiento de filtrado antes de crearse la descripción paramétrica al menos parcial de la superficie. Mediante el procedimiento de filtrado puede realizarse, por ejemplo, un aplanamiento de los datos de referencia predeterminados y/o de los datos de medición. También es posible un llamado tratamiento de bordes, un enmascaramiento o una alineación de los datos de referencia predeterminados y/o de los datos de medición.

30 Es especialmente ventajoso filtrar los datos de referencia predeterminados y los datos de medición y/o los datos de diferencia calculados a partir de la comparación entre los datos de medición y el modelo de superficie teórico mediante el mismo procedimiento de filtrado. De este modo se evita que, por ejemplo al comparar y analizar posteriormente los datos de diferencia, en particular en forma de datos de distancia, unos artefactos se detecten como desviaciones de la superficie por la aplicación de distintos procedimientos de filtrado.

35 Para poder proporcionar suficientes datos de referencia predeterminados, es ventajoso generar los datos de referencia predeterminados al menos parcialmente de forma artificial, en particular mediante simulación y/o interpolación de datos de referencia medidos. Para ello, puede llevarse a cabo una simulación física de deformaciones, por ejemplo mediante elementos finitos, para generar los datos de referencia predeterminados artificialmente. Los efectos físicos, como la dilatación del material por cambios de temperatura, la deformación por gravedad y/o las fuerzas adicionales
40 introducidas en el objeto por fijaciones, dispositivos de sujeción o similares, pueden simularse mediante especificaciones de modelado correspondientes. Si se varían los parámetros de modelo libres del modelo especificado, pueden generarse datos de objeto diferentes pero similares, sin errores, como datos de referencia predeterminados. A este respecto, los parámetros de modelo también pueden desviarse de las condiciones reales. Además, también pueden usarse modelos de deformación físicos, simplificados para generar datos de referencia
45 artificiales, por ejemplo, modelos de resorte-masa sencillos. Para ello pueden usarse datos de referencia medidos y datos de referencia teóricos obtenidos a partir de una simulación CAD de al menos dos objetos diferentes, cuyas propiedades respecto a la superficie y cuya posición de uno a otro son conocidas. De este modo, pueden tensarse ahora resortes entre los puntos de masa correspondientes de las dos superficies de los objetos, cuyo comportamiento vibratorio proporciona en este caso otros datos de referencia predeterminados. Además, también pueden generarse
50 datos de referencia adicionales a partir de piezas defectuosas en las que se detectan y corrigen defectos con ayuda de otros procedimientos conocidos.

55 Así, pueden marcarse por ejemplo zonas conocidas, en las que se producen defectos en serie con características fluctuantes en el equipo como una llamada Area of Interest AOI (área de interés) y pueden procesarse, por ejemplo, con un filtro cóncavo (véase el documento DE 10 2011 113 138 A1). La desviación de la forma de superficie en la AOI determinada por el otro procedimiento puede restarse del conjunto de datos y usarse como conjunto de datos de referencia.

60 Además, es posible reconstruir los puntos defectuosos recortados por la AOI a partir de los datos de otras piezas. Para ello, la zona recortada por la AOI inicialmente no se tiene en cuenta en la transformación de Karhunen-Loève, volviendo a reconstruirse, no obstante, nuevamente en la transformación de Karhunen-Loève inversa.

65 Si los medios de detección comprenden al menos una cámara y una unidad de iluminación, estando configurada la unidad de iluminación en particular para proporcionar una iluminación estructurada de la superficie, los datos de medición y, por tanto, dado el caso también las desviaciones correspondientes pueden determinarse de forma extremadamente fiable.

Si los medios de detección incluyen un sensor de línea, la superficie puede explorarse rápida y fácilmente mediante escaneo, pudiendo obtenerse de este modo los datos de medición correspondientes. Además, mediante el procedimiento de escaneo con la unidad de iluminación y el sensor de línea mencionados anteriormente no solo pueden obtenerse los datos de medición, sino también los datos de referencia correspondientes.

Para poder detectar la comparación y, por tanto, las desviaciones de una superficie de forma aún más exacta, para la comparación puede crearse y usarse un modelo de superficie teórico adaptado a los datos de medición. Un modelo de superficie teórico adaptado puede obtenerse, por ejemplo, generándose inicialmente un modelo de superficie únicamente a partir de los datos de referencia. A continuación se determinan los números y/o valores característicos. A continuación, los datos de medición se proyectan sobre ellos, de modo que se obtiene un modelo de superficie teórico adaptado. Además, también puede conseguirse una adaptación del modelo de superficie teórico mediante la especificación de condiciones especialmente en zonas de bordes y de transición de o entre diferentes secciones de la descripción paramétrica de la superficie. Así pueden especificarse por ejemplo condiciones de bordes y de transición de orden superior, es decir, que, por ejemplo, además de la condición de igualdad de valores para los puntos de bordes, también pueden establecerse requisitos con respecto a la inclinación (primera derivada) y/o la curvatura (segunda derivada) o también con respecto a derivadas superiores. De esta manera se simplifica el procesamiento de superficies muy grandes compuestas por diferentes áreas de superficie, ya que de este modo se evitan lagunas, irregularidades, etc.

Existen ahora diferentes posibilidades para configurar y perfeccionar ventajosamente la enseñanza de la presente invención. Para ello, por un lado ha de remitirse a las reivindicaciones subordinadas a las reivindicaciones 1 y 11, y por otro lado, a la siguiente explicación de ejemplos de realización preferidos de la invención con ayuda del dibujo. En conexión con la explicación de los ejemplos de realización preferidos de la invención mediante el dibujo se explican también a grandes rasgos configuraciones preferidas y perfeccionamientos de la enseñanza.

En el dibujo muestran

la figura 1 en una vista esquemática, en parte, un ejemplo de realización de la disposición básica de un dispositivo de acuerdo con la invención que utiliza el procedimiento de acuerdo con la invención,
 la figura 2 un diagrama de flujo, en parte, de un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención para obtener un modelo de superficie teórico,
 la figura 3 un diagrama de flujo, en parte, de un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención, para una comparación, así como
 la figura 4 en una vista esquemática, en parte, un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención, estando representado en la misma una desviación de la superficie.

La figura 1 muestra en una vista esquemática, en parte, un ejemplo de realización de la disposición básica de un dispositivo de acuerdo con la invención que utiliza el procedimiento de acuerdo con la invención.

En la figura 1, se muestra una superficie a medir de un objeto con la referencia 1. Además, están dispuestas dos cámaras 2, así como un proyector 3 que está dispuesto entre las dos cámaras 2. Tanto las cámaras 2 como el proyector 3 están conectados a una unidad de procesamiento y control 4 para controlar las cámaras y el proyector. Para medir la superficie 1, el proyector 3 proyecta un patrón de franjas sinusoidales sobre la superficie 1, que se desplaza lo que corresponde a una diferencia de fase en determinados intervalos de tiempo. La superficie 1 es grabada por las cámaras 2 con cada patrón proyectado, de modo que se crea respectivamente una secuencia de imágenes con una secuencia de valores de gris en función del tiempo determinada. Las cámaras 2 transmiten las imágenes grabadas a la unidad de procesamiento y control 4, de modo que la unidad de procesamiento y control 4 puede encontrar a partir de las mismas los puntos de imagen correspondientes en las cámaras, que, en caso de una disposición o posición de cámara conocida, conducen, por ejemplo mediante triangulación, a puntos de medición tridimensionales unívocos de la superficie 1 del objeto.

La figura 2 muestra un diagrama de flujo, en parte, de un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención para obtener un modelo de superficie teórico.

En la figura 2, se introducen valores de entrada A1 para el "entrenamiento" de una red neuronal para obtener el modelo de superficie teórico en forma de puntos tridimensionales. En una primera etapa A2, se calcula una descripción de superficie B-spline a partir de los datos de referencia A1. Para ello pueden usarse diferentes procedimientos conocidos. Además, el número de puntos de control y una estructura de vectores de nodos pueden ser constantes para todos los datos de referencia y pueden determinarse en particular a partir de un modelo de diseño asistido por ordenador de la superficie 1 del objeto. Si se usan superficies B-spline de producto tensorial para la descripción de la superficie, esto conduce, por ejemplo, a una descripción de la superficie en forma de

$$s(u, v) = \begin{bmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n p_{kj} b_k^x(u) b_j^y(v)$$

5 pudiendo ser la función básica $b_i^k(u)$ y $b_j^l(v)$ constante para todos los conjuntos de datos de referencia y pudiendo indicar los puntos de control p_{ij} o las matrices de puntos de control A5 resultantes la superficie 1.

En una segunda etapa A4, las funciones básicas B-spline se ortogonalizan según el procedimiento de Gram-Schmidt, lo que simplifica una evaluación estadística de los conjuntos de datos de los datos de referencia. A este respecto, una ortogonalización puede describirse simplemente como transformación lineal de las matrices de puntos de control A5 en matrices ortogonalizadas A6 con dos transformaciones:

$$P_x^{\perp} = (A_u^T)^{-1} P_x (A_v)^{-1}$$

15 A este respecto se lleva a cabo una evaluación estadística de todos los conjuntos de datos de referencia mediante matrices de covarianza A8, que se determinan en una tercera etapa A7 a partir de las matrices de puntos de control A5 ortogonalizadas de los conjuntos de datos de referencia:

$$C_x = \sum_k P_{xk}^{\perp} (P_{xk}^{\perp})^T$$

20 A fin de obtener una base óptima para la descripción de la superficie 1 presente en los datos de referencia, se resuelve el siguiente problema de valor propio para las matrices de covarianza A8 en una cuarta etapa A9:

$$C_x e_{x,i} = \lambda_{x,i} e_{x,i}$$

25 De este modo, se obtienen vectores propios $e_{x,i}$ y matrices E_x de vectores propios A10, que representan una base óptima. A este respecto, solo unas pocas funciones básicas, en particular entre 10 y 20, son suficientes para describir una superficie similar en lugar de todas las funciones básicas B-spline.

La figura 3 muestra un diagrama de flujo, en parte, de un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención para una comparación.

30 En la figura 3, se llevan a cabo ahora en primer lugar etapas análogas a las de la figura 2 con los datos de medición B1. En este sentido, las etapas B2 y B4 corresponden a las etapas A2 y A4 de la figura 2. En otra etapa B11, las matrices ortogonalizadas B6 se proyectan sobre los vectores propios de la base óptima del modelo de superficie teórico, designada con la referencia A10:

$$a_x = E_x p_x^{\perp}$$

40 lo que se conoce como transformación de Karhunen-Loève KLT. En otra etapa B12, solo se seleccionan primeros coeficientes significativos, designados con la referencia B13. De este modo, la descripción de la superficie ya no contiene variaciones atípicas de la superficie, es decir, las que no están contenidas en los conjuntos de datos de referencia, como por ejemplo defectos superficiales o el ruido de los valores de medición. Una generación de la forma de superficie teórica consiste esencialmente en una reducción de la dimensión según la etapa B12 en el área transformada por KLT.

45 Para obtener un modelo de comparación basado en los datos de medición B1 para la forma de superficie teórica, se lleva a cabo ahora en otra etapa B14 una transformación KLT inversa según

$$p_x^{\perp} = E_x^T a_x$$

al igual que en otra etapa B15 una transformación ortogonal inversa según

$$P_x^* = A_x^{-T} (P_x^L) A_x$$

- 5 De este modo se obtienen puntos de control filtrados B16, que describen la forma de superficie teórica, adaptada a los datos de medición B1. El modelo de superficie paramétrico sin errores B17 así obtenido en forma de superficie B-spline puede usarse ahora en otra etapa con los puntos tridimensionales B1 medidos de la superficie mediante una comparación para detectar desviaciones.
- 10 La figura 4 muestra en una vista esquemática, en parte, un ejemplo de realización de un procedimiento de acuerdo con la invención, estando representado en la misma una desviación de la superficie.

En la figura 4, arriba a la izquierda, se muestran datos de medición, por ejemplo, puntos tridimensionales D1, que corresponden a los datos de medición tridimensionales B1 de la figura 3. En la figura 4, arriba a la derecha, se muestra una superficie teórica adaptada D4 junto con los datos de medición D1. En la zona derecha se muestra una desviación D3 de la forma de superficie teórica D4. En la figura 4, abajo a la izquierda, se muestra una comparación correspondiente con un modelo de diseño asistido por ordenador D2 teórico general o, por ejemplo, obtenido a partir de datos de diseño. Si ahora se determina la distancia de los datos de medición D1 de la forma de superficie teórica D4, los defectos superficiales pueden determinarse de este modo como desviaciones locales D3. A diferencia del procedimiento de acuerdo con la invención, el modelo CAD D2 no permite detectar el defecto superficial D3, en particular en el ejemplo de realización mostrado en las figuras 1-4.

15

20

En resumen, cabe señalar que la invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento según los cuales pueden determinarse desviaciones o defectos superficiales de superficies de objetos de forma fiable, sencilla y precisa, así como con pocos recursos una descripción paramétrica de superficie, en particular en forma de descripciones spline. La invención puede usarse, en particular, en ámbitos en los que es necesario detectar grandes superficies con gran precisión en cuanto a la forma. En particular, la invención es adecuada para su uso en el área de la tecnología de inspección de superficies.

25

30 Para evitar repeticiones, con respecto a otras configuraciones ventajosas de la enseñanza de acuerdo con la invención se hace referencia a la parte general de la descripción, así como a las reivindicaciones adjuntas.

Por último, debe señalarse expresamente que los ejemplos de realización de la enseñanza de acuerdo con la invención anteriormente descritos sirven únicamente para explicar la enseñanza reivindicada, aunque sin limitarla los ejemplos de realización.

35

Por ejemplo, también es posible prever la descripción paramétrica de la superficie como una superficie T-spline o una superficie spline con posibles intersecciones T de puntos de control. Del mismo modo, puede derivarse una descripción paramétrica de la superficie de una descripción implícita de la superficie, por ejemplo, basada en secciones cónicas o, en general, en cuádricas en un espacio multidimensional. A este respecto, todas las superficies spline también pueden estar basadas en la misma trama de nodos.

40

Los datos de medición pueden presentarse como nube de puntos tridimensional no ordenada y/o con una trama regular o irregular conocida. Además, los datos de entrada y/o los datos de medición para determinar el modelo de superficie teórico y/o el modelo de superficie de comparación o real pueden presentarse como un conjunto de facetas de 3, 4 o m esquinas o en formato STL. El modelo de superficie teórico puede estar compuesto a este respecto por las funciones básicas para la transformación de Karhunen-Loève de los conjuntos de datos de referencia. También es posible que la red neuronal esté configurada como red neuronal autoasociativa. Para "entrenar" la red neuronal pueden usarse los valores característicos de la descripción paramétrica de la superficie, en particular tras un preprocesamiento adecuado. El preprocesamiento puede realizarse a este respecto en forma de una ortogonalización de las funciones spline. Los conjuntos de datos de referencia pueden comprender además datos parciales o completos que proceden de mediciones existentes y/o datos de diseño asistido por ordenador o que están basados en estos. Por último, es posible limitar el modelo de superficie teórico mediante una o varias condiciones secundarias que no vienen dadas por los conjuntos de datos de referencia.

45

50

55 **Lista de referencias**

- 1 Superficie
- 2 Cámara
- 3 Proyector
- 4 Unidad de procesamiento y control

A1, B1	Puntos tridimensionales
A2, B2	Aproximación de superficies B-spline
A3, B3	Superficies B-spline
A4, B4	Transformación ortogonal
A5, B5	Matrices de puntos de control
A6, B6	Matrices ortogonalizadas
A7	Determinación de la matriz de covarianza
A8	Matriz de covarianza
A9	Problema de valor propio
A10	Vectores propios
B11	Transformación de Karhunen-Loève
B12	Reducción de la dimensión
B13	Coefficientes significativos
B14	Transformación de Karhunen-Loève inversa
B15	Transformación ortogonal inversa
B16	Puntos de control filtrados
B17	Modelo de superficie paramétrico sin errores
B18	Comparación
D1	Puntos de medición
D2	Modelo CAD general
D3	Desviación local
D4	Descripción de superficie teórica

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para detectar desviaciones de forma locales (D3) de una superficie (1) de un objeto con ayuda de una comparación de datos de medición (D1) de la superficie (1) y datos de referencia predeterminados (A1), creándose mediante los datos de referencia predeterminados (A1) una descripción paramétrica al menos parcial de la superficie (1) como modelo de superficie teórico (D4) y llevándose a cabo la comparación mediante el modelo de superficie teórico (D4) y los datos de medición (D1), determinándose el modelo de superficie teórico (D4) con ayuda de procedimientos estadísticos a partir de los datos de referencia predeterminados (A1) con una pluralidad de conjuntos de datos diferentes de datos de referencia (A1) y filtrándose los datos de referencia predeterminados (A1) y dado el caso los datos de medición (D1) antes de la creación de la descripción paramétrica al menos parcial de la superficie y filtrándose los datos de referencia predeterminados (A1) y los datos de medición (D1) y/o los datos de diferencia calculados a partir de la comparación entre los datos de medición (D1) y el modelo de superficie teórico (D4) mediante el mismo procedimiento de filtrado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la descripción paramétrica de la superficie (1) se realiza en forma de una descripción de superficie spline.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, **caracterizado por que** como descripción de superficie spline se usa una superficie B-spline de producto tensorial, en particular jerárquica.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** los datos de medición (D1) se determinan de forma táctil, óptica y/o mediante sonido, en particular ultrasonidos y/o radar.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** los datos de medición (D1) se determinan mediante un procedimiento fotogramétrico óptico, en particular en forma de un procedimiento de correlación temporal y/o de desplazamiento de fase.
6. Procedimiento según la reivindicación 5, **caracterizado por que** los datos de medición (D1) se determinan con ayuda de una proyección de una secuencia de patrones predeterminada, en particular una secuencia de patrones sinusoidales, sobre la superficie (1) y la posterior detección óptica de la secuencia de patrones proyectada.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** el modelo de superficie teórico (D4) se crea mediante una red neuronal que se entrena con la pluralidad de conjuntos de datos diferentes de datos de referencia (A1), creándose a partir de los datos de medición (D1) una descripción paramétrica al menos parcial de la superficie como modelo de superficie real y llevándose a cabo la comparación mediante la comparación de modelos del modelo de superficie teórico (D4) y del modelo de superficie real.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** la comparación se lleva a cabo con ayuda de una distancia ortogonal entre la descripción paramétrica al menos parcial de la superficie (1) y al menos un punto de medición de los datos de medición (D1).
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** para la comparación se crea y usa un modelo de superficie teórico (D4) adaptado a los datos de medición (D1).
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** los datos de referencia predeterminados (A1) se generan al menos parcialmente de forma artificial, en particular mediante simulación y/o interpolación de datos de referencia medidos.
11. Dispositivo para detectar desviaciones de forma locales (D3) de una superficie de un objeto con ayuda de una comparación de datos de medición (D1) de la superficie y datos de referencia predeterminados (A1), en particular adecuado para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, comprendiendo medios (2, 3) para detectar los datos de medición (D1) y los datos de referencia (A1), una unidad de procesamiento (4), al menos para llevar a cabo la comparación, estando configurada la unidad de procesamiento (4) para crear mediante los datos de referencia predeterminados (A1) una descripción paramétrica al menos parcial de la superficie (1) como modelo de superficie teórico (D4) y llevar a cabo la comparación mediante el modelo de superficie teórico (D4) y los datos de medición (A1), determinándose el modelo de superficie teórico (D4) con ayuda de procedimientos estadísticos a partir de los datos de referencia predeterminados (A1) con una pluralidad de conjuntos de datos diferentes de datos de referencia (A1) y filtrándose los datos de referencia predeterminados (A1) y dado el caso los datos de medición (D1) antes de la creación de la descripción paramétrica al menos parcial de la superficie, y filtrándose los datos de referencia predeterminados (A1) y los datos de medición (D1) y/o los datos de diferencia calculados a partir de la comparación entre los datos de medición (D1) y el modelo de superficie teórico (D4) mediante el mismo procedimiento de filtrado.
12. Dispositivo según la reivindicación 11, **caracterizado por que** los medios (2, 3) de detección comprenden al menos una cámara (2) y una unidad de iluminación (3), estando configurada la unidad de iluminación (3) en particular para proporcionar una iluminación estructurada de la superficie (1).

13. Dispositivo según la reivindicación 11 o 12, **caracterizado por que** los medios (2, 3) de detección comprenden un sensor de línea.

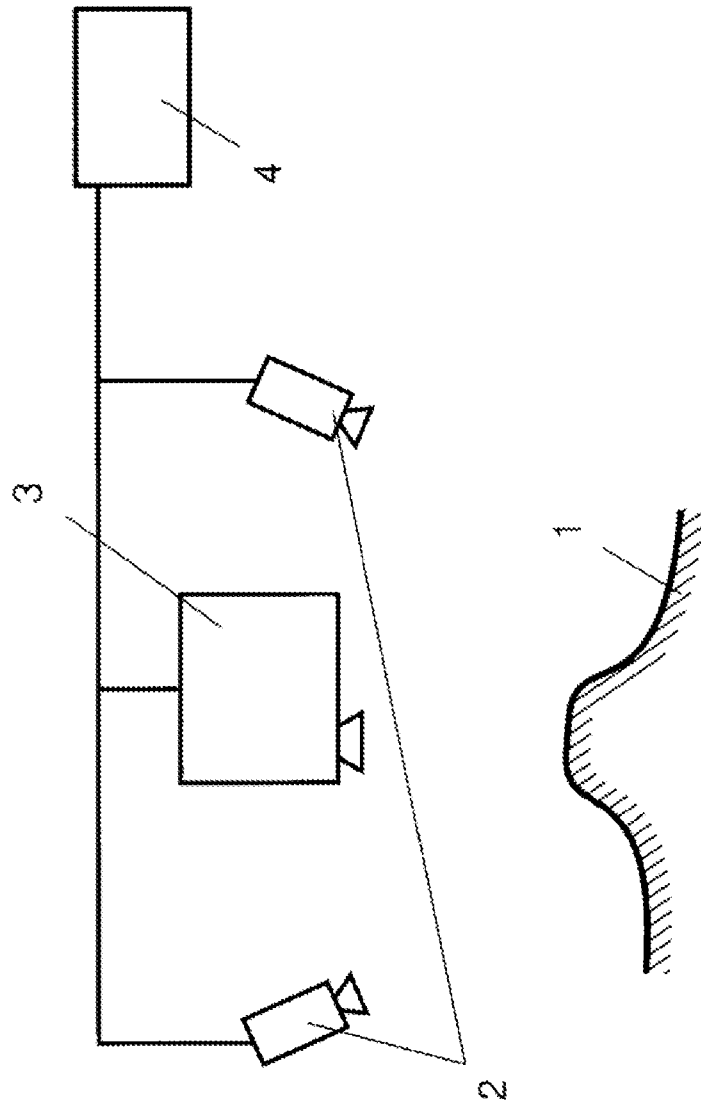


Fig. 1

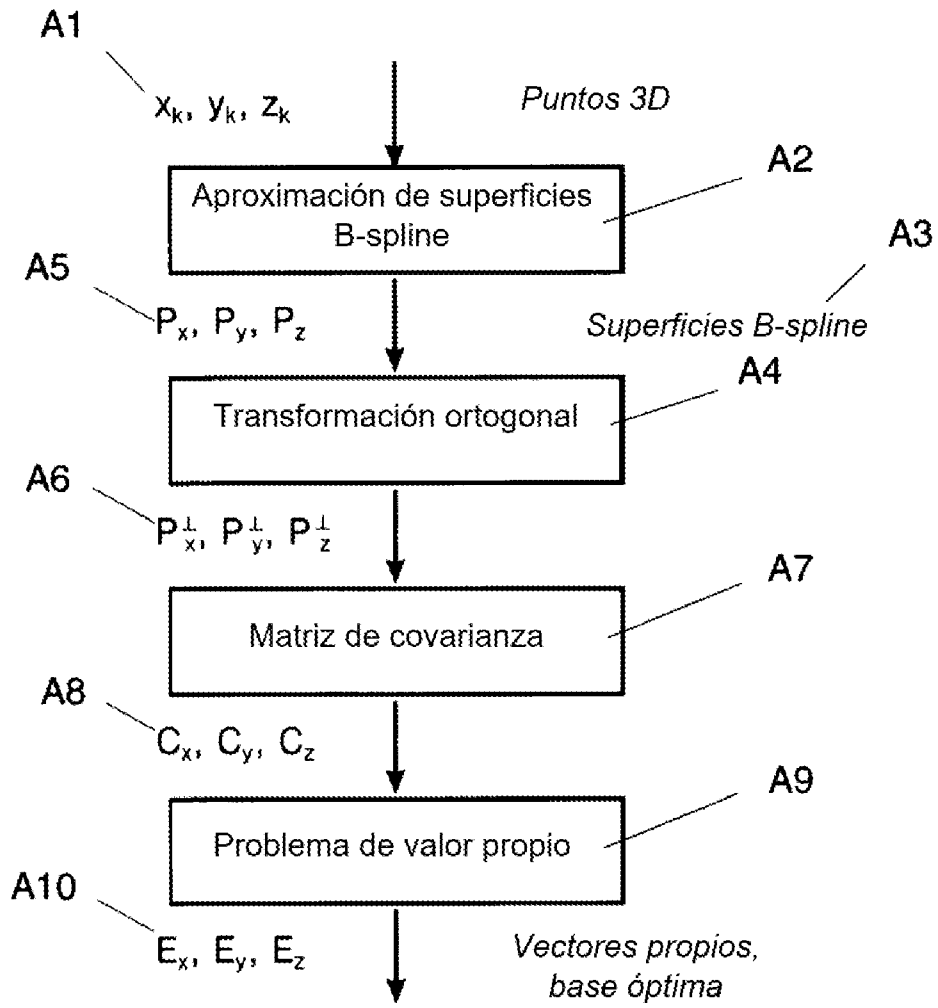


Fig. 2

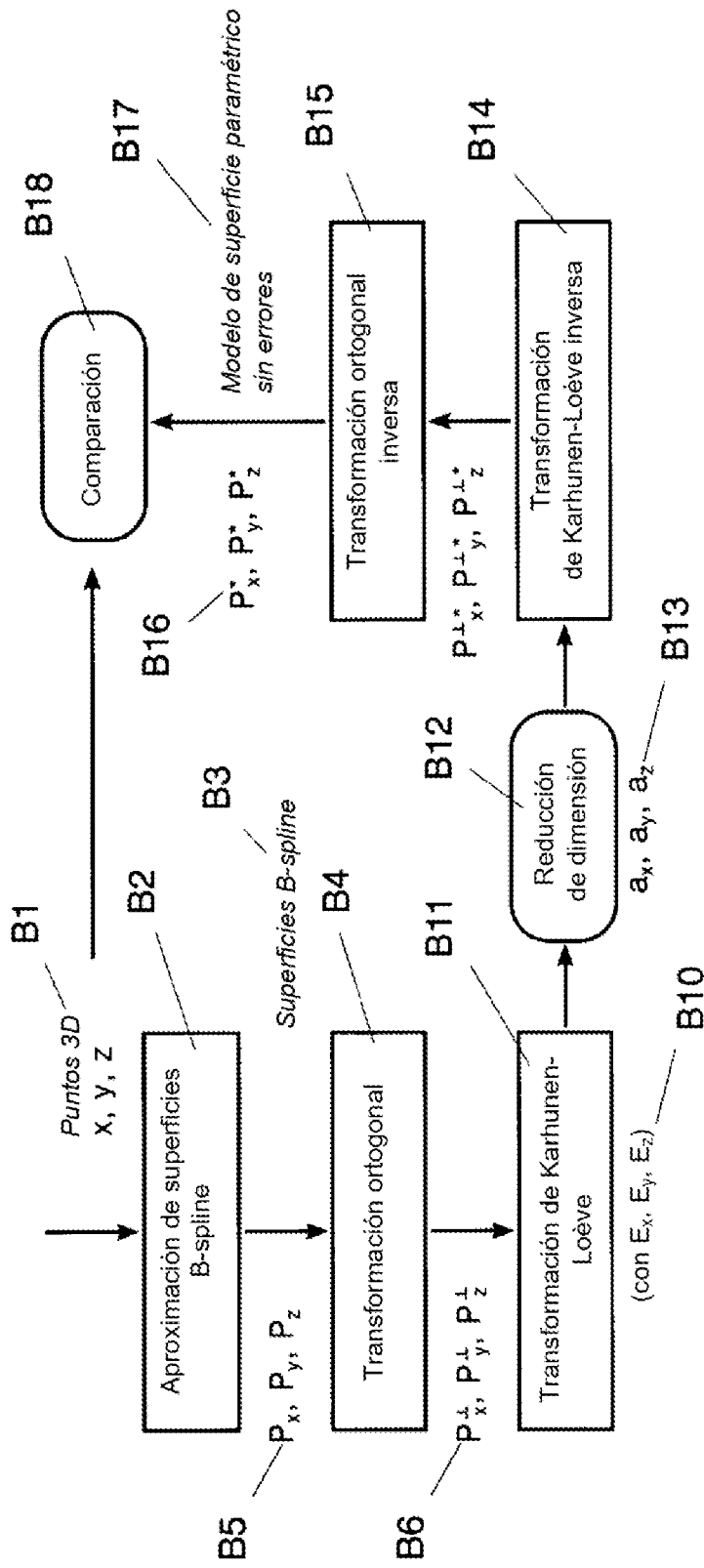


Fig. 3

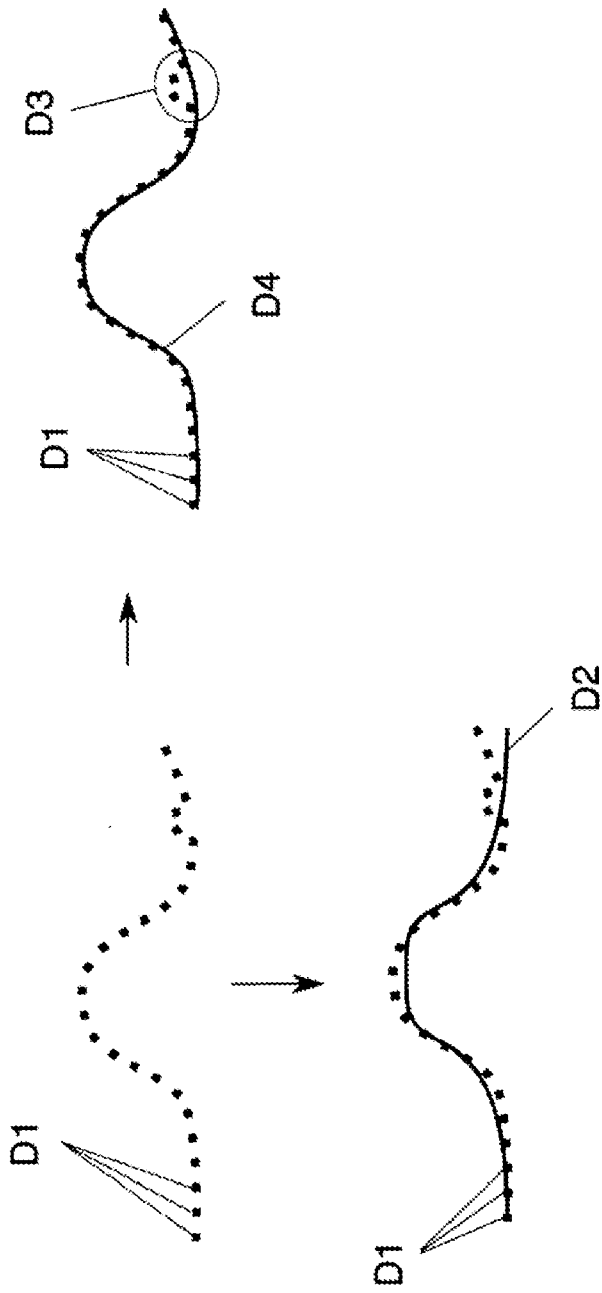


Fig. 4