

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 757 561**

51 Int. Cl.:

G01B 11/24 (2006.01)

G01B 11/245 (2006.01)

G01S 17/89 (2006.01)

G06T 7/00 (2007.01)

G06T 7/60 (2007.01)

G06T 7/30 (2007.01)

G06T 7/20 (2007.01)

G06T 7/521 (2007.01)

G06T 17/20 (2006.01)

G01B 11/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.05.2018** **E 18173753 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2019** **EP 3435028**

54 Título: **Metrología en vivo de un objeto durante la fabricación u otras operaciones**

30 Prioridad:

28.07.2017 US 201715663397

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

29.04.2020

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**WINGERT, LIAM ANTONIO;
CANTRELL, CHRIS A.;
BAKER, ANTHONY W.;
BOWERS, KENNETH PAUL III y
GROSSNICKLE, JAMES A.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 757 561 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

Metrología en vivo de un objeto durante la fabricación u otras operaciones

Antecedentes

5 La presente divulgación se refiere a la inspección de un objeto y a la realización de mediciones o metrología del objeto, y más particularmente con la metrología en vivo o casi en tiempo real de un objeto durante la fabricación u otras operaciones.

10 La inspección de componentes u objetos más grandes durante la fabricación u otros procesos es una operación que requiere mucho tiempo y trabajo, lo que agrega costos y tiempo al proceso de fabricación. Las imprecisiones en la medición de dichos componentes durante la fabricación también pueden causar ineficiencias de fabricación y defectos de calidad. En consecuencia, existe la necesidad de un sistema y método que supere estas deficiencias, detecte defectos al principio del ciclo de producción, disminuya el tiempo de inspección y sea utilizable para la automatización de la fabricación, inspección u otros procesos.

15 El documento US 2017/0010087 A1 divulga un método y un aparato para escanear superficies de un objeto tridimensional que emplea un primer sensor para adquirir unos primeros puntos de datos y un segundo sensor para adquirir unos segundos puntos de datos. El primer sensor tiene una precisión relativamente más baja y una tasa de adquisición de puntos de datos más rápida que el segundo sensor, y los segundos puntos de datos tienen una ponderación más alta que los primeros puntos de datos. Se genera una nube de puntos de coordenadas tridimensionales basada en los primeros y segundos puntos de datos y su respectiva ponderación.

20 Artículo "Polarized 3D: High-Quality Depth Sensing with Polarization Cues", Conferencia internacional IEEE 2015 sobre visión por ordenador (ICCV), IEEE, 7 de diciembre de 2015 (2015-12-07), páginas 3370-3378, XP032866690, a nombre de Kadambi Achuta et al., divulga la mejora de mapas de profundidad gruesa mediante el uso de la información de forma a partir de las señales de polarización y propone un marco para combinar las normales de superficie de la polarización con un mapa de profundidad alineado.

25 El documento US 2016/0261844 A1 divulga un sistema de imágenes en 3D que utiliza un sensor de profundidad para producir un mapa de profundidad gruesa, y luego usa el mapa de profundidad gruesa como una restricción para corregir las normales de superficie ambiguas calculadas a partir de las señales de polarización.

El documento US 8072450 B2 divulga un sistema para medir un objeto tridimensional, que mide las diferencias entre un modelo 3D de un objeto y una nube de puntos del objeto, y resalta las diferencias en el modelo 3D usando diferentes colores según los diferentes rangos en los que caen las diferencias.

30 **Sumario**

Estos problemas se resuelven mediante un método de acuerdo con la reivindicación 1, un sistema de acuerdo con la reivindicación 11 y un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 13.

35 De acuerdo con la invención, un método para metrología en vivo de un objeto incluye realizar una operación de escaneado mediante una pluralidad de sensores para recopilar imágenes electrónicas de un objeto. Las imágenes electrónicas incluyen datos de nubes de puntos tridimensionales (3-D) para metrología en vivo del objeto y los datos de la nube de puntos de cada sensor definen una nube de puntos que representa el objeto. El método también incluye coser las nubes de puntos a partir de la pluralidad de sensores para generar un modelo reconstruido de un objeto tal como se ha fabricado. El método incluye además comparar el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado con un modelo del objeto tal como se ha diseñado para determinar que el objeto está fabricado dentro de una tolerancia permisible al modelo tal como se ha diseñado.

45 De acuerdo con la invención, un sistema para metrología en vivo de un objeto incluye una pluralidad de sensores que incluyen un grupo de sensores de tiempo de vuelo, una multiplicidad de sensores de polarización o escaneado y una pluralidad de sensores de escaneado 3-D, estando configurada la pluralidad de sensores para realizar una operación de escaneado para recopilar imágenes electrónicas de un objeto. Las imágenes electrónicas incluyen datos de nube de puntos en 3-D para metrología en vivo del objeto. Los datos de la nube de puntos de cada sensor definen una nube de puntos que representa el objeto. El sistema también incluye un procesador y un módulo de metrología en vivo adaptado para operar en el procesador. El módulo de metrología en vivo está configurado para realizar un conjunto de funciones que incluyen coser las nubes de puntos a partir de la pluralidad de sensores para generar un modelo reconstruido de un objeto tal como se ha fabricado. El conjunto de funciones también incluye
50 comparar el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado con un modelo del objeto tal como se ha diseñado para determinar que el objeto está fabricado dentro de una tolerancia permisible al modelo tal como se ha diseñado.

De acuerdo con la invención, un producto de programa informático para metrología en vivo de un objeto incluye un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene instrucciones de programa incorporadas con el mismo. El medio de almacenamiento legible por ordenador no es un medio transitorio por sí mismo. Las instrucciones del programa son ejecutables por un dispositivo para hacer que el dispositivo realice un método que incluye realizar una operación de exploración mediante una pluralidad de sensores para recopilar imágenes electrónicas de un objeto. Las imágenes electrónicas incluyen datos de nube de puntos en 3-D para metrología en vivo del objeto. Los datos de la nube de puntos de cada sensor definen una nube de puntos que representa el objeto. El método también incluye coser las nubes de puntos a partir de la pluralidad de sensores para generar un modelo reconstruido de un objeto tal como se ha fabricado. El método incluye además comparar el modelo reconstruido del objeto fabricado con un modelo del objeto tal como se ha diseñado para determinar que el objeto está fabricado dentro de una tolerancia permisible al modelo tal como se ha diseñado.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones incluye además colocar la pluralidad de sensores en un conjunto predeterminado o conjuntos de diferentes tipos de sensores.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones incluye además colocar la pluralidad de sensores a una distancia predeterminada del objeto para evitar interferencias de humanos y equipos durante la fabricación.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones incluye además colocar el objeto en una orientación seleccionada para realizar la operación de escaneado con una superficie o lado del objeto a escanear frente a los sensores y almacenar los datos de la nube de puntos en 3-D después de realizar la operación de escaneado. El método o conjunto de funciones incluye adicionalmente repositionar el objeto en otras orientaciones seleccionadas para escanear otras superficies o lados del objeto y almacenar los datos de la nube de puntos en 3-D después de realizar cada operación de escaneado. Coser las nubes de puntos juntas incluye unir las nubes de puntos de cada una de las orientaciones seleccionadas del objeto.

De acuerdo con la invención, realizar la operación de escaneado incluye crear un mapa de profundidad utilizando el grupo de sensores de tiempo de vuelo de la pluralidad de sensores. El mapa de profundidad incluye una nube de puntos de datos de nubes de puntos que incluye distancias desde los sensores de tiempo de vuelo hasta el objeto. La realización de la operación de escaneado también incluye escanear el objeto usando la multiplicidad de sensores de polarización o sensores de escaneado de la pluralidad de sensores usando el mapa de profundidad para recopilar una multiplicidad de imágenes de polarización. Cada imagen de polarización define una nube de puntos de polarización generada por cada sensor de polarización o escaneado. Las imágenes de polarización incluyen información vectorial desde la cual la luz se refleja desde ubicaciones en 3-D en el objeto. La realización de la operación de escaneado también incluye coser las imágenes de polarización para formar un mapa de sensor de polarización unido conjuntamente. La realización de la operación de escaneado incluye adicionalmente capturar una pluralidad de imágenes de superficie del objeto usando la pluralidad de sensores de escaneado 3-D de la pluralidad de sensores. Cada imagen de superficie define una nube de puntos de imagen de superficie generada por cada uno de los sensores de escaneado 3-D de una superficie o lado del objeto frente a los sensores de escaneado 3-D. La realización de la operación de escaneado incluye además el mapeado de las imágenes de la superficie al mapa del sensor de polarización unido para generar una representación de la superficie del objeto de la superficie o del lado del objeto frente a la pluralidad de sensores.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones incluye además iluminar una pluralidad de regiones de exploración utilizando el mapa de profundidad.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones incluye además determinar una pluralidad de áreas de escaneado utilizando el mapa de profundidad.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, coser las imágenes de polarización juntas incluye generar una representación del objeto a partir de las nubes de puntos de polarización. La representación del objeto incluye una resolución de malla adaptativa.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el mapeado de las imágenes de superficie al mapa del sensor de polarización unido incluye generar una representación del objeto usando las nubes de puntos de polarización y las nubes de puntos de imagen de superficie. La representación de la superficie del objeto incluye una malla adaptativa de resolución correspondiente al objeto para la metrología en 3-D del objeto.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, generar la representación de la superficie incluye ajustar una malla a las nubes de puntos de polarización y las nubes de puntos de la imagen de superficie usando una representación implícita intermedia de cada nube de puntos.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, coser las nubes de puntos juntas incluye generar una malla adaptativa de resolución usando las nubes de puntos. La malla adaptativa de resolución correspondiente al modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado para la metrología en 3-D del objeto.

5 De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, coser las nubes de puntos juntas incluye ajustar una malla a las nubes de puntos utilizando una representación implícita intermedia de cada nube de puntos.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones, en el que la precisión del modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado está dentro de aproximadamente 0,003 pulgadas (0,0762 mm) a un objeto fabricado real.

10 De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, el método o conjunto de funciones incluye además proporcionar el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado como una entrada a un controlador de máquina de una máquina para evitar el contacto involuntario de la máquina.

15 De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, en el que la pluralidad de sensores incluye uno o más de una serie de dispositivos o sistemas de detección y rango de luz (LIDAR), una serie de sensores de imagen de fase especiales, una serie de sensores o cámaras de tiempo de vuelo, una serie de cámaras estereoscópicas, un conjunto de cámaras de campo de luz y un conjunto de cámaras de alta resolución u otro tipo de dispositivos o sensores capaces de realizar las funciones descritas en el presente documento.

De acuerdo con otro ejemplo o cualquiera de los ejemplos anteriores, en el que el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado se genera casi en tiempo real para realizar la operación de escaneado.

Breve descripción de los dibujos

20 La figura 1 es un diagrama esquemático de bloques de un ejemplo de un sistema para realizar metrología en vivo de un objeto de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación.

La figura 2 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un método para metrología en vivo de un objeto de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación.

25 La figura 3 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un método para realizar una operación de exploración para generar una representación de superficie de un objeto de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación.

La figura 4 es una ilustración de un ejemplo de un sistema para realizar metrología en vivo de un objeto de acuerdo con otro ejemplo de la presente divulgación.

Descripción detallada

30 La siguiente descripción detallada de ejemplos se refiere a los dibujos adjuntos, que ilustran ejemplos específicos de la divulgación. Números de referencia similares pueden referirse al mismo elemento o componente en los diferentes dibujos.

35 La presente divulgación puede ser un sistema, un método y/o un producto de programa informático. El producto de programa informático puede incluir un medio de almacenamiento legible por ordenador (o medio) que tiene instrucciones de programa legibles por ordenador sobre el mismo para hacer que un procesador lleve a cabo aspectos de la presente divulgación.

40 El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser un dispositivo tangible que puede retener y almacenar instrucciones para su uso mediante un dispositivo de ejecución de instrucciones. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser, por ejemplo, pero no limitado a, un dispositivo de almacenamiento electrónico, un dispositivo de almacenamiento magnético, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento electromagnético, un dispositivo de almacenamiento de semiconductores, o cualquier combinación adecuada de los anteriores. Una lista no exhaustiva de ejemplos más específicos del medio de almacenamiento legible por ordenador incluye lo siguiente: un disquete de ordenador portátil, un disco duro, una memoria de acceso aleatorio (RAM), una memoria de solo lectura (ROM), una memoria de solo lectura programable y borrable (memoria EPROM o Flash), una memoria estática de acceso aleatorio (SRAM), una memoria de solo lectura de disco compacto portátil (CD-ROM), un disco versátil digital (DVD), una tarjeta de memoria, un disquete, un dispositivo codificado mecánicamente tal como tarjetas perforadas o estructuras elevadas en una ranura que tiene instrucciones grabadas al respecto, y cualquier combinación adecuada de lo anterior. Un medio de almacenamiento legible por ordenador, tal como se usa en el presente documento, no debe interpretarse como señales transitorias por sí mismas, tales como ondas de radio u otras ondas electromagnéticas de propagación libre, ondas electromagnéticas que se propagan a través de una guía de onda u otros medios de transmisión (por ejemplo, pulsos de luz que pasan

a través de un cable de fibra óptica), o señales eléctricas transmitidas a través de un cable.

Las instrucciones del programa legibles por ordenador descritas en el presente documento pueden descargarse a dispositivos informáticos/de procesamiento respectivos desde un medio de almacenamiento legible por ordenador o a un ordenador externo o dispositivo de almacenamiento externo a través de una red, por ejemplo, Internet, una red de área local, una red de área amplia y/o una red inalámbrica. La red puede comprender cables de transmisión de cobre, fibras de transmisión óptica, transmisión inalámbrica, enrutadores, cortafuegos, conmutadores, equipos de puerta de enlace y/o servidores de borde. Una tarjeta adaptadora de red o una interfaz de red en cada dispositivo informático/de procesamiento recibe instrucciones de programa legibles por ordenador desde la red y envía las instrucciones de programa legibles por ordenador para su almacenamiento en un medio de almacenamiento legible por ordenador dentro del dispositivo informático/de procesamiento correspondiente.

Las instrucciones de programa legibles por ordenador para llevar a cabo las operaciones de la presente divulgación pueden ser instrucciones de ensamblador, instrucciones de instrucción-conjunto-arquitectura (ISA), instrucciones de máquina, instrucciones dependientes de la máquina, microcódigo, instrucciones de firmware, datos de configuración de estado, o bien código fuente o código objeto escrito en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluyendo un lenguaje de programación orientado a objetos tal como Smalltalk, C++ o similares, y lenguajes de programación de procedimientos convencionales, tal como el lenguaje de programación "C" o lenguajes de programación similares. Las instrucciones del programa legibles por ordenador pueden ejecutarse completamente en el ordenador del usuario, parcialmente en el ordenador del usuario, tal como un paquete de software independiente, parcialmente en el ordenador del usuario y parcialmente en un ordenador remoto o completamente en el ordenador remoto o servidor. En el último caso, el ordenador remoto puede estar conectado al ordenador del usuario a través de cualquier tipo de red, incluyendo una red de área local (LAN) o una red de área amplia (WAN), o la conexión se puede hacer a un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet utilizando un proveedor de servicios de Internet). En algunos ejemplos, circuitos electrónicos que incluyen, por ejemplo, circuitos lógicos programables, matrices de puertas programables en campo (FPGA), o matrices lógicas programables (PLA) pueden ejecutar las instrucciones del programa legibles por ordenador utilizando la información de estado de las instrucciones del programa legibles por ordenador para personalizar los circuitos electrónicos, para realizar aspectos de la presente divulgación.

Aspectos de la presente divulgación se describen en el presente documento con referencia a ilustraciones de diagramas de flujo y/o diagramas de bloques de métodos, aparatos (sistemas) y los productos de programa de ordenador de acuerdo con los ejemplos de la divulgación. Se entenderá que cada bloque de las ilustraciones del diagrama de flujo y/o los diagramas de bloques, y las combinaciones de bloques en las ilustraciones del diagrama de flujo y/o los diagramas de bloques, puede ser implementado por instrucciones de programa legibles por ordenador.

Estas instrucciones de programa legibles por ordenador pueden proporcionarse a un procesador de un ordenador de propósito general, ordenador de propósito especial u otro aparato de procesamiento de datos programable para producir una máquina, tal como las instrucciones, que se ejecutan mediante el procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, crear medios para implementar las funciones/actos específicos en el diagrama de flujo y/o bloque o bloques del diagrama de bloques. Estas instrucciones del programa legibles por ordenador también pueden almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador que puede dirigir un ordenador, un aparato de procesamiento de datos programable, y/u otros dispositivos para funcionar de una manera particular, de tal manera que el medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene instrucciones almacenadas en el mismo comprende un artículo de fabricación que incluye instrucciones que implementan aspectos de la función/acto especificado en el diagrama de flujo y/o el bloque o bloques del diagrama de bloques.

Las instrucciones del programa legibles por ordenador también se pueden cargar en un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable u otro dispositivo para hacer que una serie de etapas operativas se realicen en el ordenador, otro aparato programable u otro dispositivo para producir un procedimiento implementado por ordenador, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador, otro aparato programable u otro dispositivo implementa las funciones/actos especificados en el diagrama de flujo y/o bloque o bloques del diagrama de bloques.

La figura 1 es un diagrama esquemático de bloques de un ejemplo de un sistema 100 para realizar metrología en vivo de un objeto 102 de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. El sistema 100 incluye una pluralidad de sensores 104 para realizar operaciones de escaneado para recopilar imágenes electrónicas 106 del objeto 102. El objeto 102 se mide, ensambla, fabrica y/o alguna otra operación se realiza en el objeto 102 que usa un modelo reconstruido 112 del objeto 102 tal como se ha fabricado como se describe en el presente documento. Un ejemplo de una operación de exploración ejecutable por el sistema 100 se describe con más detalle con referencia a las figuras 2 y 3. Las imágenes electrónicas 106 incluyen datos de nube de puntos tridimensionales (3-D) 108 para metrología en vivo o metrología en vivo en 3-D del objeto 102. Los datos de la nube de puntos 108 desde cada sensor 104 definen una nube de puntos 110 que representa el objeto 102. Ejemplos de los sensores 104 incluyen, entre otros, cámaras digitales, dispositivos o sistemas de detección de luz y rango (lidar), dispositivos de escaneado láser 3-D, cámaras o sensores de tiempo de vuelo (TOF), sensores de imagen de fase especial, cámaras

5 estereoscópicas, cámaras de campo de luz, cámaras o sensores de alta resolución, o dispositivos de imágenes similares. Los sensores 104 pueden incluir cualquier combinación de estos diferentes tipos de sensores y los diferentes tipos de sensores 104 pueden estar dispuestos o colocados en una matriz predeterminada o matrices o agrupaciones similares a las del sistema ejemplar 400 descrito con referencia a la figura 4. Adicionalmente, la pluralidad de sensores 104 y proyectores de luz estructurados 120 se colocan o se espacian a una distancia predeterminada del objeto 102 para evitar cualquier interferencia de humanos o equipos 142 utilizados en la fabricación, montaje u otras funciones asociadas con el objeto 102.

10 De acuerdo con un ejemplo, la pluralidad de sensores 104 incluye sensores de escaneado tridimensional (3-D) 114, sensores TOF 116 y sensores de polarización 118 u otro tipo de sensores de escaneado. El sistema ejemplar 100 también incluye una pluralidad de proyectores de luz estructurados 120 para iluminar una superficie 124 del objeto 102 frente a los sensores 104 para una operación de escaneado. Los sensores de escaneado en 3-D 114 recogen imágenes electrónicas en 3-D 106 del objeto 102. Las imágenes electrónicas 106 incluyen datos de nube de puntos tridimensionales (3-D) 108 para metrología en vivo del objeto 102. Los datos de la nube de puntos 108 desde cada sensor 104 definen una nube de puntos 110 que representa el objeto 102.

15 Los sensores TOF 116 recogen imágenes 106 que incluyen datos de profundidad "D" o de rango de puntos 122 o ubicaciones en 3-D en una superficie 124 del objeto 102 desde los sensores 104 durante una operación de escaneado. Los sensores TOF 116 determinan la profundidad D o rango reflejando un haz de luz infrarroja sobre el objeto 102 y midiendo un tiempo desde la transmisión del haz de luz hasta el retorno del haz de luz reflejado desde el objeto 102. Cada sensor TOF 116 genera una nube de puntos 110 que incluye la información de profundidad de los puntos 122 en el objeto 102. Las nubes de puntos 110 generadas por los sensores TOF 116 definen un mapa de profundidad 126 para su uso en la generación del modelo reconstruido 112 del objeto 102 tal como se ha fabricado, tal como describe en el presente documento.

25 Los sensores de polarización 118 u otros tipos de sensores de escaneado recogen imágenes de polarización 128 u otras imágenes de escaneado electrónico que incluyen información vectorial a partir de la cual la luz se refleja desde los puntos 122 o ubicaciones 3D en el objeto 102. Las imágenes de polarización 128 de cada sensor de polarización 118 u otras imágenes de escaneado electrónico de cada sensor de escaneado definen una nube de puntos 110 que incluye mediciones que comprenden información de forma en 3-D del objeto 102 en un nivel microscópico usado para generar el modelo reconstruido 112 del objeto tal como se ha fabricado 102 como se describe en el presente documento.

30 Las imágenes electrónicas 106 incluyen datos de nube de puntos en 3-D 108 del objeto 102. Los datos de la nube de puntos 108 desde cada sensor 104 definen una nube de puntos 110 que representa el objeto 102. Cada nube de puntos 110 incluye una multiplicidad de puntos 132 y cada punto 132 incluye al menos información de ubicación para un punto 122 correspondiente en la superficie 124 del objeto 102. Los datos de la nube de puntos 108 o las nubes de puntos 110 de cada sensor 104 se almacenan en una base de datos 130 u otro dispositivo de almacenamiento de datos. De acuerdo con un ejemplo, el objeto 102 es una aeronave o porción de una aeronave y el modelo reconstruido 112 del objeto tal como se ha fabricado 102, tal como se describe en el presente documento, se utiliza para metrología en vivo en 3-D de la aeronave o porción de la aeronave durante el montaje o la fabricación o para algún otro propósito. En otros ejemplos, el objeto 102 es cualquier producto o artículo o porción de un producto o artículo y el modelo reconstruido 112, tal como se describe en el presente documento, se utiliza para realizar metrología en vivo en 3-D en el dispositivo o equipo durante el montaje, fabricación u otra operación.

45 El sistema 100 también incluye un procesador 134 y un módulo de metrología en vivo 136 que opera en el procesador 134. De acuerdo con un ejemplo ejemplar, el modelo de metrología en vivo está configurado para realizar las operaciones o funciones descritas con referencia a las figuras 2 y 3. Por ejemplo, el módulo de metrología en vivo 136 está configurado para realizar un conjunto de funciones que incluyen, pero no se limitan a, coser las nubes de puntos 110 de la pluralidad de sensores 104 para generar el modelo reconstruido 112 del objeto tal como se ha fabricado 102 y comparar el modelo reconstruido 112 con un modelo tal como se ha diseñado 138 del objeto 102 para determinar que el objeto 102 se está fabricando dentro de tolerancias permitidas 140 del modelo diseñado 138 del objeto 102. El modelo reconstruido 112 se genera casi en tiempo real para realizar la operación de escaneado descrita con referencia a las figuras 2 y 3.

50 De acuerdo con un ejemplo, el sistema 100 también incluye un aparato 144 para colocar el objeto 102 en diferentes orientaciones o posiciones para escanear. Para un objeto grande 102, tal como una aeronave o componente de una aeronave, el objeto 102 puede necesitar colocarse con diferentes superficies o lados enfrentados a los sensores 104 para que se pueda generar o formar un modelo reconstruido 112 del objeto 102 completo o entero tal como se ha fabricado. De acuerdo con un ejemplo, el aparato 144 también está dimensionado para que los humanos o el equipo 142 utilizados en la fabricación, el montaje u otras funciones asociadas con el objeto 102 sean móviles con respecto al aparato 144. El procesador 134 controla la operación de los sensores de escaneado 3-D 114, los sensores de tiempo de vuelo 116, los sensores de polarización 118 o sensores de escaneado, y proyectores de luz estructurados 120. De acuerdo con otro ejemplo, el procesador 134 u otro procesador también controla el aparato 144 para posicionar el objeto 102 para escaneado.

La figura 2 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un método 200 para metrología en vivo de un objeto de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. De acuerdo con un ejemplo, el método 200 es realizado y llevado a cabo por el sistema 100 en la figura 1. En el bloque 202, los sensores están calibrados. Un objeto conocido o estándar que ha verificado las dimensiones de un objeto tal como se ha diseñado puede colocarse en el sistema 100 para calibrar los sensores para confirmar que están operando correctamente y están recopilando datos de medición precisos. La calibración también recopila parámetros (parámetros intrínsecos y extrínsecos) utilizados por el módulo de metrología en vivo 136 para funcionar correctamente. La precisión del modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado está preferiblemente dentro de aproximadamente 0,003 pulgadas (0,0762 mm) al objeto fabricado real que se está midiendo o para el cual se está generando el modelo reconstruido.

En el bloque 204, el objeto se coloca en una orientación seleccionada para realizar la operación de escaneado con una superficie o lado del objeto a escanear frente a los sensores. En el bloque 206, una operación de escaneado es realizada por una pluralidad de sensores para recopilar imágenes electrónicas del objeto. Las imágenes electrónicas incluyen datos de nube de puntos en 3-D para metrología en 3-D en vivo del objeto. Los datos de la nube de puntos de cada sensor definen una nube de puntos que representa el objeto similar al descrito anteriormente. Se describirá un ejemplo de una operación de escaneado utilizable en el bloque 206 con referencia a la figura 3. En el bloque 208, los datos de la nube de puntos en 3-D se almacenan después de realizar la operación de escaneado.

En el bloque 210, se determina si se debe seleccionar otra orientación del objeto para escanear otra superficie o lado del objeto. Si se selecciona otra orientación, el método 200 vuelve al bloque 204 y el objeto se posiciona o reposiciona en otra orientación seleccionada para escanear otra superficie o lado del objeto. El método 200 continúa entonces de manera similar a la descrita anteriormente. Este proceso continúa hasta que se hayan escaneado todas las superficies o lados deseados del objeto para proporcionar un modelo reconstruido completo del objeto tal como se ha fabricado. Los datos de la nube de puntos o los datos de la nube de puntos en 3-D se almacenan después de realizar cada operación de escaneado.

En el bloque 212, las nubes de puntos de la pluralidad de sensores para todas las operaciones de escaneado se cosen o fusionan para generar el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado. Coser las nubes de puntos juntas incluye unir las nubes de puntos de cada una de las orientaciones seleccionadas del objeto. De acuerdo con un ejemplo, coser o fusionar las nubes de puntos juntas incluye generar una malla adaptativa de resolución usando las nubes de puntos. La malla adaptativa de resolución corresponde al modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado para la metrología en 3-D del objeto. Un ejemplo de cosido o fusión de las nubes de puntos mediante la generación de una malla adaptativa de resolución (en lo sucesivo, "técnica de costura de malla adaptativa de resolución") utiliza un método y un sistema para representar y combinar de manera óptima datos de nubes de puntos o datos de nubes de puntos en 3-D generados por una pluralidad de sensores o un sistema de escaneado 3-D, similar al descrito en el presente documento, y para medir y rastrear objetos en grandes volúmenes espaciales, tal como, por ejemplo, una fábrica durante un proceso de fabricación o montaje de un objeto, tal como una aeronave. El sistema y el método utilizados en la técnica de costura de malla adaptativa de resolución convierten las nubes de puntos en una representación de superficie útil para la metrología, teniendo en cuenta las resoluciones espaciales variables en diferentes direcciones de la pluralidad de sensores que observan el mismo objeto. El sistema y el método utilizados en la técnica de costura de malla adaptativa de resolución hacen esto al ponderar la contribución de cada punto a la representación de la superficie de manera diferente dependiendo de la precisión esperada del punto en la nube de puntos. Esto contrasta con los métodos de reconstrucción de superficie existentes que ponderan todos los puntos por igual y no incorporan modelos de resolución del sensor o conocimiento previo sobre la resolución esperada de los sensores en función de la dirección de visualización y la distancia desde el objeto. El sistema y el método utilizados en la técnica de costura de malla adaptativa de resolución optimizan la representación en 3-D de la superficie del objeto o el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado derivado de la costura o fusión de las nubes de puntos de la pluralidad de sensores que observan el mismo objeto pero desde diferentes direcciones y distancias.

De acuerdo con otro ejemplo, coser las nubes de puntos juntas incluye ajustar una malla a las nubes de puntos utilizando una representación implícita intermedia de cada nube de puntos. Un ejemplo de costura o fusión de nubes de puntos utilizando una representación implícita intermedia de cada nube de puntos (en lo sucesivo denominada "técnica de unión de representación implícita intermedia") utiliza un sistema y un método para representar y combinar de manera óptima datos de nubes de puntos o datos de nube de puntos en 3-D generados por una pluralidad de sensores o un sistema de escaneado 3-D, similar al descrito en el presente documento que mide y rastrea objetos en grandes volúmenes espaciales, tal como el suelo de una fábrica durante un proceso de montaje o fabricación de dicho objeto, tal como una aeronave. El método o sistema utilizado en la técnica de costura de representación implícita intermedia convierte las nubes de puntos en una representación de superficie útil para metrología, teniendo en cuenta las resoluciones espaciales variables en diferentes direcciones de la pluralidad de sensores o el sistema de escaneado 3-D observando el mismo objeto. El método o sistema utilizado en la técnica de costura de representación implícita intermedia hace esto al convertir la nube de puntos o las nubes de puntos en una nube de puntos optimizada para el ajuste de malla utilizando una representación implícita intermedia de la nube de puntos o nubes de puntos que tiene en cuenta la resolución de cada uno de los sensores del sistema de escaneado 3-D. El método o sistema utilizado en la técnica de costura de representación implícita intermedia optimiza la

representación en 3-D de la superficie del objeto o el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado derivado de la costura o fusión de las nubes de puntos de la pluralidad de sensores que observan el mismo objeto pero desde diferentes direcciones y distancias.

5 En el bloque 214, el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado se compara con un modelo del objeto tal como se ha diseñado para determinar que el objeto se fabrica dentro de una tolerancia permisible al modelo tal como se ha diseñado del objeto.

10 En el bloque 216, cualquier desviación entre el objeto tal como se ha fabricado y el objeto diseñado se determina utilizando el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado. Se puede realizar una operación sobre el objeto, tal como una operación de fabricación que utiliza el modelo reconstruido. Por ejemplo, de acuerdo con un ejemplo, el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado se utiliza como una entrada al controlador de la máquina para evitar el contacto accidental de la máquina.

15 La figura 3 es un diagrama de flujo de un ejemplo de un método 300 para realizar una operación de exploración para generar una representación de superficie de un objeto de acuerdo con un ejemplo de la presente divulgación. De acuerdo con un ejemplo, el método 300 se usa para realizar la operación de escaneado en el bloque 206 en la figura 2. De acuerdo con un ejemplo, el método 300 se realiza y lleva a cabo mediante el sistema 100 en la figura 1. En el bloque 302, se crea un mapa de profundidad utilizando un grupo de sensores de tiempo de vuelo de la pluralidad de sensores. El mapa de profundidad incluye una nube de puntos de datos de nubes de puntos que incluye distancias o rangos desde los sensores de tiempo de vuelo hasta el objeto.

20 En el bloque 304, se iluminan una pluralidad de regiones de escaneado utilizando el mapa de profundidad. De acuerdo con el ejemplo ejemplar en la figura 1, las regiones de escaneado están iluminadas por los proyectores de luz estructurados 120.

25 En el bloque 306, el objeto se escanea usando una multiplicidad de sensores de polarización u otros sensores de escaneado de la pluralidad de sensores que usan el mapa de profundidad para recopilar una multiplicidad de imágenes de polarización. Se determina una pluralidad de áreas de escaneado en el objeto utilizando el mapa de profundidad. Cada imagen de polarización define una nube de puntos de polarización generada por cada sensor de polarización. De acuerdo con un ejemplo, los sensores de polarización o escaneado están montados en un elevador para movimiento respecto al objeto a escanear. Las zonas de ascensores asociadas con los ascensores se asignan por pies cuadrados para mantener las áreas definidas por las zonas de ascensores libres de objetos durante una operación de escaneado. Los sensores también se pueden montar en unidades de movimiento horizontal/vertical para realizar operaciones de escaneado y las áreas asociadas con estos también se mantienen libres de objetos durante el escaneado.

35 En el bloque 308, las imágenes de polarización se cosen o fusionan para formar un mapa de sensores de polarización completo, unido o fusionado. De acuerdo con un ejemplo, las imágenes de polarización se cosen o fusionan usando la resolución de costura de malla adaptativa o las técnicas de costura de representación implícita intermedia descritas anteriormente. Coser las imágenes de polarización juntas incluye generar una representación del objeto a partir de las nubes de puntos de polarización. La representación del objeto incluye una resolución de malla adaptativa.

40 En el bloque 310, se capturan o recogen una pluralidad de imágenes de superficie del objeto usando una pluralidad de sensores de escaneado 3-D de la pluralidad de sensores. Cada imagen de superficie define una nube de puntos de imagen de superficie generada por cada uno de los sensores de escaneado 3-D de una superficie o lado del objeto frente a los sensores de escaneado 3-D.

45 En el bloque 312, las imágenes de la superficie se asignan al mapa del sensor de polarización combinado o completo para generar una representación de la superficie del objeto de la superficie o del lado del objeto frente a la pluralidad de sensores. De acuerdo con un ejemplo, las nubes de puntos que definen las imágenes de la superficie del objeto y las imágenes de polarización se mapean o fusionan usando la costura de malla adaptativa de resolución o las técnicas de costura de representación implícita intermedia descritas anteriormente. El mapeado de las imágenes de superficie al mapa del sensor de polarización combinado o completo incluye generar una representación de superficie del objeto utilizando las nubes de puntos de polarización y las nubes de puntos de imagen de superficie. La representación de la superficie del objeto incluye una malla adaptativa de resolución correspondiente al objeto para la metrología en vivo en 3-D del objeto. De acuerdo con un ejemplo, generar la representación de la superficie incluye ajustar una malla a las nubes de puntos de polarización y las nubes de puntos de la imagen de superficie usando una representación implícita intermedia de cada nube de puntos.

55 La figura 4 es una ilustración de un ejemplo de un sistema 400 para realizar metrología en vivo de un objeto 404 de acuerdo con otro ejemplo de la presente divulgación. De acuerdo con un ejemplo ejemplar, el sistema 400 se usa para el sistema 100 en la figura 1 o es parte del sistema 100 en la figura 1. El sistema 400 incluye un aparato 402

para posicionar un objeto 404 para escanear. El aparato 402 puede usarse para el aparato 144 en la figura 1. El aparato 402 para posicionar el objeto 404 incluye una base 406 y un par de paredes laterales opuestas 408 y 410 que se extienden desde la base 406. Un pórtico 412 se extiende entre la parte superior de las paredes laterales 408 y 410 y se mueve a lo largo de una pista 414 en cada pared lateral 408 y 410. El pórtico 412 incluye una grúa 416 para posicionar o reposicionar el objeto 404 para escanear diferentes superficies o lados del objeto 404 como se describe en el presente documento.

El sistema 400 también incluye una disposición de montaje 418 para soportar una pluralidad de sensores 420 y proyectores de iluminación 422 para realizar operaciones de exploración. De acuerdo con un ejemplo, la disposición de montaje 418 incluye una pluralidad de armaduras 424 o una estructura de tipo escalera que incluye una pluralidad de miembros estructurales horizontales 426 para montar los sensores 420 y los proyectores de iluminación 422 que se extienden entre los miembros estructurales verticales 428. Similar a lo descrito anteriormente, de acuerdo con un ejemplo, los sensores 420 incluyen diferentes tipos de sensores o cámaras para recopilar diferentes tipos de datos para generar un modelo reconstruido de un objeto tal como se ha fabricado. Los sensores 420 se colocan en conjuntos o grupos predeterminados basados en una operación de escaneado particular y/u objeto que se escanea. Por ejemplo, un primer miembro estructural horizontal 426a incluye una pluralidad de conjuntos de unidades de movimiento horizontal/vertical 430 para escanear el objeto 404 y recopilar imágenes electrónicas que incluyen datos para generar el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado 404. Los ejemplos de las unidades de movimiento horizontal/vertical 430 incluyen, entre otros, sensores o dispositivos de escaneado 3-D. Un segundo miembro estructural horizontal 426b incluye una pluralidad de conjuntos de sensores de escaneado 3-D 432 o cámaras. Un tercer miembro estructural horizontal 426c incluye una pluralidad de conjuntos de sensores de tiempo de vuelo 434 y un cuarto miembro estructural horizontal 426d incluye una pluralidad de proyectores de iluminación 422 o proyectores de iluminación infrarroja. El ejemplo ejemplar en la figura 4 ilustra la disposición de montaje 418 y los sensores 420 en un lado del sistema 400 o asociados con una pared lateral 408. En otro ejemplo, una disposición de montaje 418 y sensores 420 están a ambos lados del sistema 400, o están asociados con ambas paredes laterales 408 y 410.

De acuerdo con un ejemplo, cualquiera de los métodos 200 y 300 están incorporados en un producto de programa informático, tal como el producto de programa informático 146 en la figura 1. El producto de programa informático 146 incluye un medio de almacenamiento legible por ordenador similar al descrito anteriormente que tiene instrucciones de programa de ordenador 148 incorporadas al mismo. El medio de almacenamiento legible por ordenador no es un medio transitorio por sí mismo. Las instrucciones del programa son ejecutables por un dispositivo, tal como el procesador 134 en la figura 1 para hacer que el dispositivo realice el método 200 o 300. De acuerdo con un ejemplo, las instrucciones del programa de ordenador 148 definen el módulo de metrología en vivo 136 que se almacena en un dispositivo de almacenamiento en asociación con el procesador 134 y se puede descargar desde el producto de programa de ordenador 146.

El diagrama de flujo y los diagramas de bloques en las figuras ilustran la arquitectura, la funcionalidad, y la operación de posibles implementaciones de sistemas, métodos y productos de programa de ordenador de acuerdo con diversos ejemplos de la presente divulgación. En este sentido, cada bloque en el diagrama de flujo o diagramas de bloques pueden representar un módulo, segmento, o parte de las instrucciones, que comprende una o más instrucciones ejecutables para implementar la(s) función(es) lógica(s) especificada(s). En algunas implementaciones alternativas, las funciones señaladas en el bloque pueden tener lugar fuera de la orden señalada en las figuras. Por ejemplo, dos bloques mostrados en sucesión pueden, de hecho, ejecutarse sustancialmente al mismo tiempo, o los bloques a veces pueden ejecutarse en el orden inverso, dependiendo de la funcionalidad implicada. También se observará que cada bloque de los diagramas de bloques y/o la ilustración del diagrama de flujo, y las combinaciones de bloques en los diagramas de bloques y/o la ilustración del diagrama de flujo, puede implementarse por sistemas basados en hardware de propósito especial que realizan las funciones o actos especificados o realizan combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones de ordenador.

REIVINDICACIONES

1. Un método (200) para metrología en vivo de un objeto, que comprende:

realizar (206, 300) una operación de escaneado mediante una pluralidad de sensores (104) para recopilar imágenes electrónicas (106) de un objeto (102), comprendiendo las imágenes electrónicas datos de nubes de puntos en 3-D (108) para metrología en vivo del objeto y los datos de nubes de puntos desde cada sensor que definen una nube de puntos (110) que representa el objeto; coser (212) las nubes de puntos a partir de la pluralidad de sensores juntos para generar un modelo reconstruido (112) de un objeto tal como se ha fabricado; y comparar (214) el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado con un modelo tal como se ha diseñado (138) del objeto para determinar que el objeto está fabricado dentro de una tolerancia permitida (140) del modelo tal como está diseñado del objeto,

en el que realizar la operación de escaneado comprende:

crear (302) un mapa de profundidad utilizando un grupo de sensores de tiempo de vuelo (116) de la pluralidad de sensores (104), en el que el mapa de profundidad comprende una nube de puntos de datos de nubes de puntos que incluye distancias desde los sensores de tiempo de vuelo hasta el objeto; escanear (306) el objeto usando una multiplicidad de sensores de polarización o escaneado (118) de la pluralidad de sensores (104) usando el mapa de profundidad para recopilar una multiplicidad de imágenes de polarización (128), en el que cada imagen de polarización define una nube de puntos de polarización generada por cada sensor de polarización o escaneado (118), con lo que las imágenes de polarización incluyen información vectorial desde la cual la luz se refleja desde puntos o ubicaciones en 3-D del objeto; coser (308) las imágenes de polarización para formar un mapa de sensor de polarización unido; capturar (310) una pluralidad de imágenes de superficie del objeto utilizando una pluralidad de sensores de escaneado 3-D (114) de la pluralidad de sensores, en el que cada imagen de superficie define una nube de puntos de imagen de superficie generada por cada uno de los sensores de escaneado 3-D de una superficie o lado del objeto frente a los sensores de escaneado 3-D; y mapear (312) las imágenes de la superficie con el mapa del sensor de polarización unido para generar una representación de la superficie del objeto de la superficie o del lado del objeto frente a la pluralidad de sensores.

2. El método de la reivindicación 1, que comprende además colocar la pluralidad de sensores en un conjunto predeterminado o conjuntos de diferentes tipos de sensores (420).

3. El método de la reivindicación 1 o 2, que comprende además colocar la pluralidad de sensores a una distancia predeterminada del objeto para evitar interferencias de humanos y equipos durante la fabricación.

4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, que comprende adicionalmente:

posicionar (204) el objeto en una orientación seleccionada para realizar la operación de escaneado con una superficie (124) o lado del objeto a escanear frente a los sensores; almacenar (208) los datos de la nube de puntos en 3-D después de realizar la operación de escaneado; reposicionar (210, 204) el objeto en otras orientaciones seleccionadas para escanear otras superficies o lados del objeto; y almacenar (208) los datos de la nube de puntos en 3-D después de realizar cada operación de escaneado, en el que unir las nubes de puntos juntas comprende unir las nubes de puntos de cada una de las orientaciones seleccionadas del objeto juntas.

5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende además iluminar (304) una pluralidad de regiones de escaneado utilizando el mapa de profundidad.

6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que comprende además determinar (306) una pluralidad de áreas de escaneado usando el mapa de profundidad.

7. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que coser (308) las imágenes de polarización juntas comprende generar una representación del objeto a partir de las nubes de puntos de polarización, comprendiendo la representación del objeto una resolución de malla adaptativa.

8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el mapeado (312) de las imágenes de superficie al mapa del sensor de polarización unido comprende generar una representación del objeto usando las nubes de puntos de polarización y las nubes de puntos de imagen de superficie, comprendiendo la representación de la superficie del objeto una malla adaptativa de resolución correspondiente al objeto para la metrología en 3-D del objeto.

9. El método de la reivindicación 8, en el que generar (312) la representación de la superficie comprende ajustar una malla a las nubes de puntos de polarización y las nubes de puntos de la imagen de superficie usando una representación implícita intermedia de cada nube de puntos.

5 10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende además proporcionar (216) el modelo reconstruido del objeto fabricado como una entrada a un controlador de máquina de una máquina para evitar el contacto accidental de la máquina.

11. Un sistema (100, 400) para metrología en vivo de un objeto, que comprende:

10 una pluralidad de sensores (104) que incluye un grupo de sensores de tiempo de vuelo (116), una multiplicidad de sensores de polarización o escaneado (118) y una pluralidad de sensores de escaneado 3-D (114), estando la pluralidad de sensores (104) configurada para realizar una operación de escaneado (206, 300) para recopilar imágenes electrónicas (106) de un objeto (102), comprendiendo las imágenes electrónicas datos de nubes de puntos en 3-D (108) para metrología en vivo del objeto y los datos de nubes de puntos desde cada sensor que definen una nube de puntos (110) que representa el objeto; y
 15 un módulo de metrología en vivo (136) adaptado para operar en el procesador, estando configurado el módulo de metrología en vivo para realizar un conjunto de funciones que comprende:

20 coser (212) las nubes de puntos a partir de la pluralidad de sensores juntos para generar un modelo reconstruido (112) de un objeto tal como se ha fabricado; y
 comparar (214) el modelo reconstruido del objeto tal como se ha fabricado con un modelo tal como se ha diseñado (138) del objeto para determinar que el objeto está fabricado dentro de una tolerancia permitida (140) del modelo tal como está diseñado del objeto,

en el que la operación de escaneado (206, 300) comprende el sistema a configurar para:

25 crear (302) un mapa de profundidad utilizando el grupo de sensores de tiempo de vuelo (116) de la pluralidad de sensores, en el que el mapa de profundidad comprende una nube de puntos de datos de nubes de puntos que incluye distancias desde los sensores de tiempo de vuelo hasta el objeto; escanear (306) el objeto usando la multiplicidad de sensores de polarización o escaneado (118) de la pluralidad de sensores (104) usando el mapa de profundidad para recopilar una multiplicidad de imágenes de polarización (128), en el que cada imagen de polarización define una nube de puntos de polarización generada por cada sensor de polarización o escaneado (118), con lo que las imágenes de polarización incluyen información vectorial desde la cual la luz se refleja desde
 30 puntos o ubicaciones en 3-D del objeto; coser (308) las imágenes de polarización para formar un mapa de sensor de polarización unido; capturar (310) una pluralidad de imágenes de superficie del objeto utilizando la pluralidad de sensores de escaneado 3-D (114) de la pluralidad de sensores, en el que cada imagen de superficie define una nube de puntos de imagen de superficie generada por cada uno de los sensores de escaneado 3-D de una superficie o lado del objeto frente a
 35 los sensores de escaneado 3-D; y mapear (312) las imágenes de la superficie con el mapa del sensor de polarización unido para generar una representación de la superficie del objeto de la superficie o del lado del objeto frente a la pluralidad de sensores.

40 12. El sistema de la reivindicación 11, en el que la pluralidad de sensores (104) comprende uno o más de una serie de dispositivos o sistemas de detección y rango de luz (LIDAR), una serie de sensores de imagen de fase especiales, una serie de sensores o cámaras de tiempo de vuelo, una serie de cámaras estereoscópicas, una serie de cámaras de campo de luz y una serie de cámaras de alta resolución.

45 13. Un producto de programa informático (146) para metrología en vivo de un objeto, comprendiendo el producto de programa informático un medio de almacenamiento legible por ordenador que tiene instrucciones de programa (148) incorporadas en el mismo, en el que el medio de almacenamiento legible por ordenador no es un medio transitorio por sí mismo, siendo las instrucciones del programa ejecutables mediante un dispositivo para hacer que el dispositivo realice un método que comprende:

50 realizar (206, 300) una operación de escaneado mediante una pluralidad de sensores (104) para recopilar imágenes electrónicas de un objeto, comprendiendo las imágenes electrónicas datos de nubes de puntos en 3-D para metrología en vivo del objeto y los datos de nubes de puntos desde cada sensor que definen una nube de puntos que representa el objeto; y
 coser (212) las nubes de puntos a partir de la pluralidad de sensores juntos para generar un modelo reconstruido (112) de un objeto tal como se ha fabricado; y comparar (214) el modelo reconstruido (112) del objeto tal como se ha fabricado con un modelo tal como se ha diseñado (138) del objeto para determinar que el objeto está fabricado dentro de una tolerancia permitida (140) del modelo tal como está diseñado del
 55 objeto,

en el que realizar la operación de escaneado comprende:

- 5 crear (302) un mapa de profundidad utilizando un grupo de sensores de tiempo de vuelo (116) de la pluralidad de sensores (104), en el que el mapa de profundidad comprende una nube de puntos de datos de nubes de puntos que incluye distancias desde los sensores de tiempo de vuelo hasta el objeto;
- 10 escanear (306) el objeto usando una multiplicidad de sensores de polarización o escaneado (118) de la pluralidad de sensores (104) usando el mapa de profundidad para recopilar una multiplicidad de imágenes de polarización (128), en el que cada imagen de polarización define una nube de puntos de polarización generada por cada sensor de polarización o escaneado (118), con lo que las imágenes de polarización incluyen información vectorial desde la cual la luz se refleja desde puntos o ubicaciones en 3-D del objeto;
- 15 coser (308) las imágenes de polarización para formar un mapa de sensor de polarización unido; capturar (310) una pluralidad de imágenes de superficie del objeto utilizando una pluralidad de sensores de escaneado 3-D (114) de la pluralidad de sensores, en el que cada imagen de superficie define una nube de puntos de imagen de superficie generada por cada uno de los sensores de escaneado 3-D de una superficie o lado del objeto frente a los sensores de escaneado 3-D; y
- mapear (312) las imágenes de la superficie con el mapa del sensor de polarización unido para generar una representación de la superficie del objeto de la superficie o del lado del objeto frente a la pluralidad de sensores.

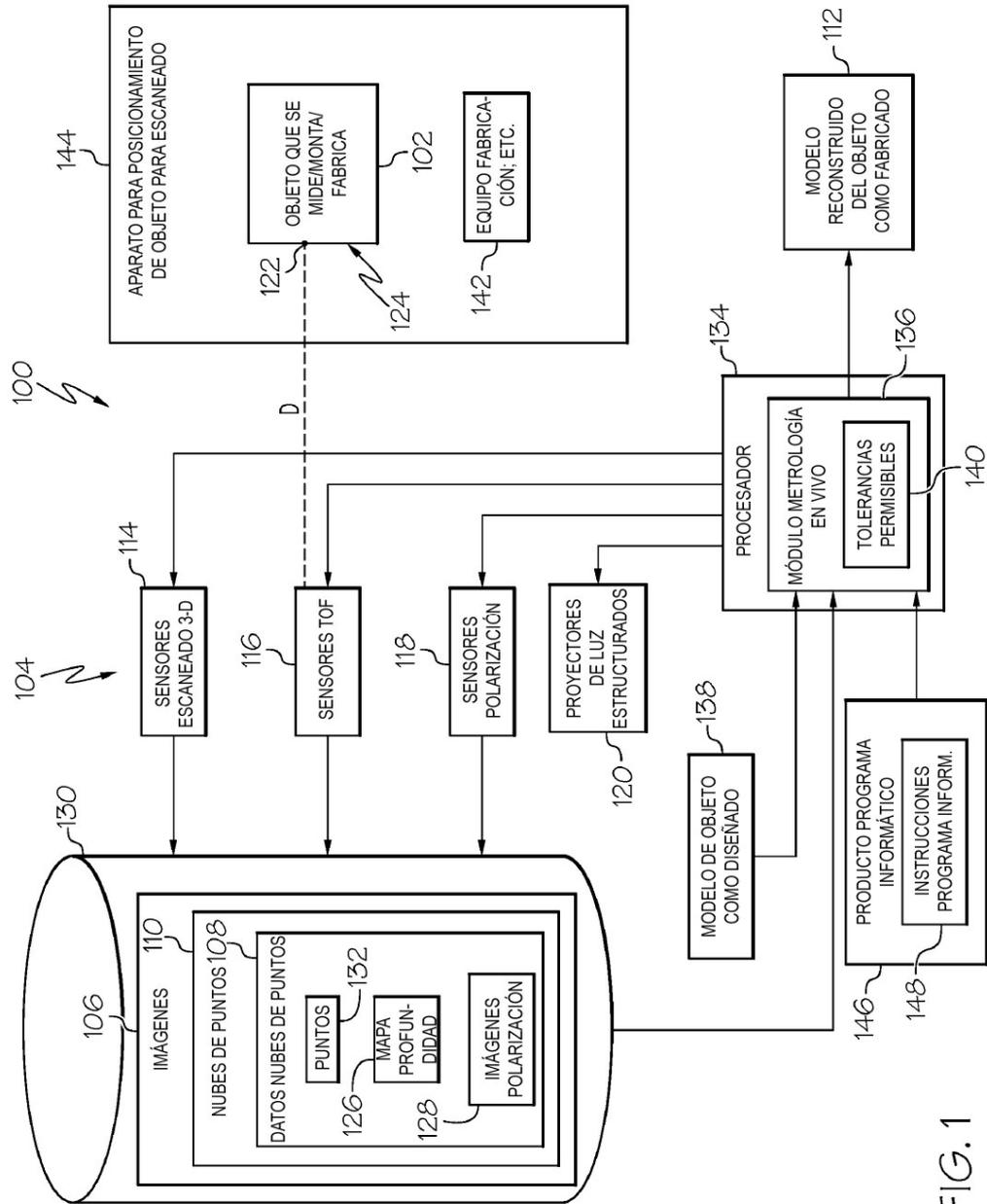


FIG. 1

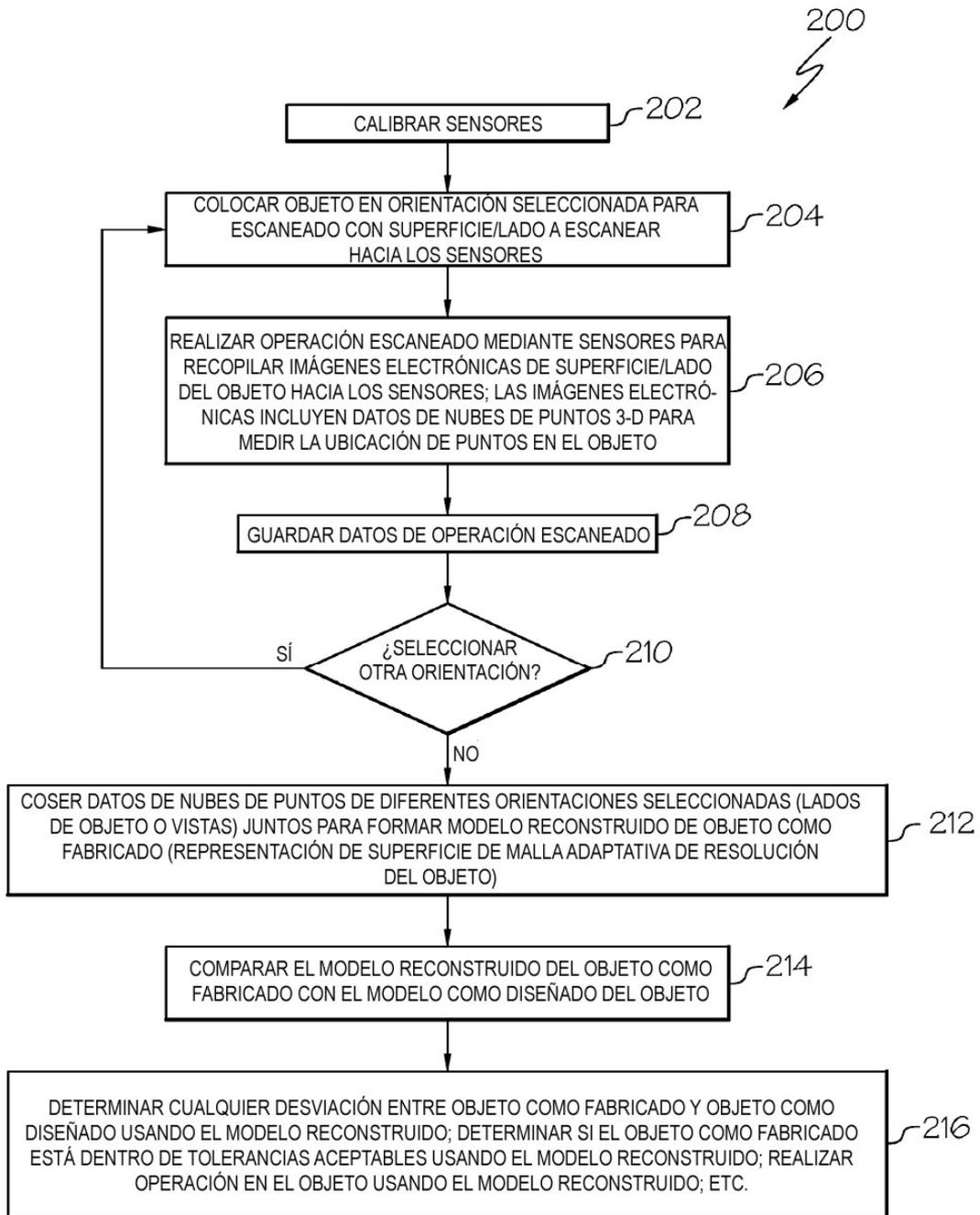


FIG. 2

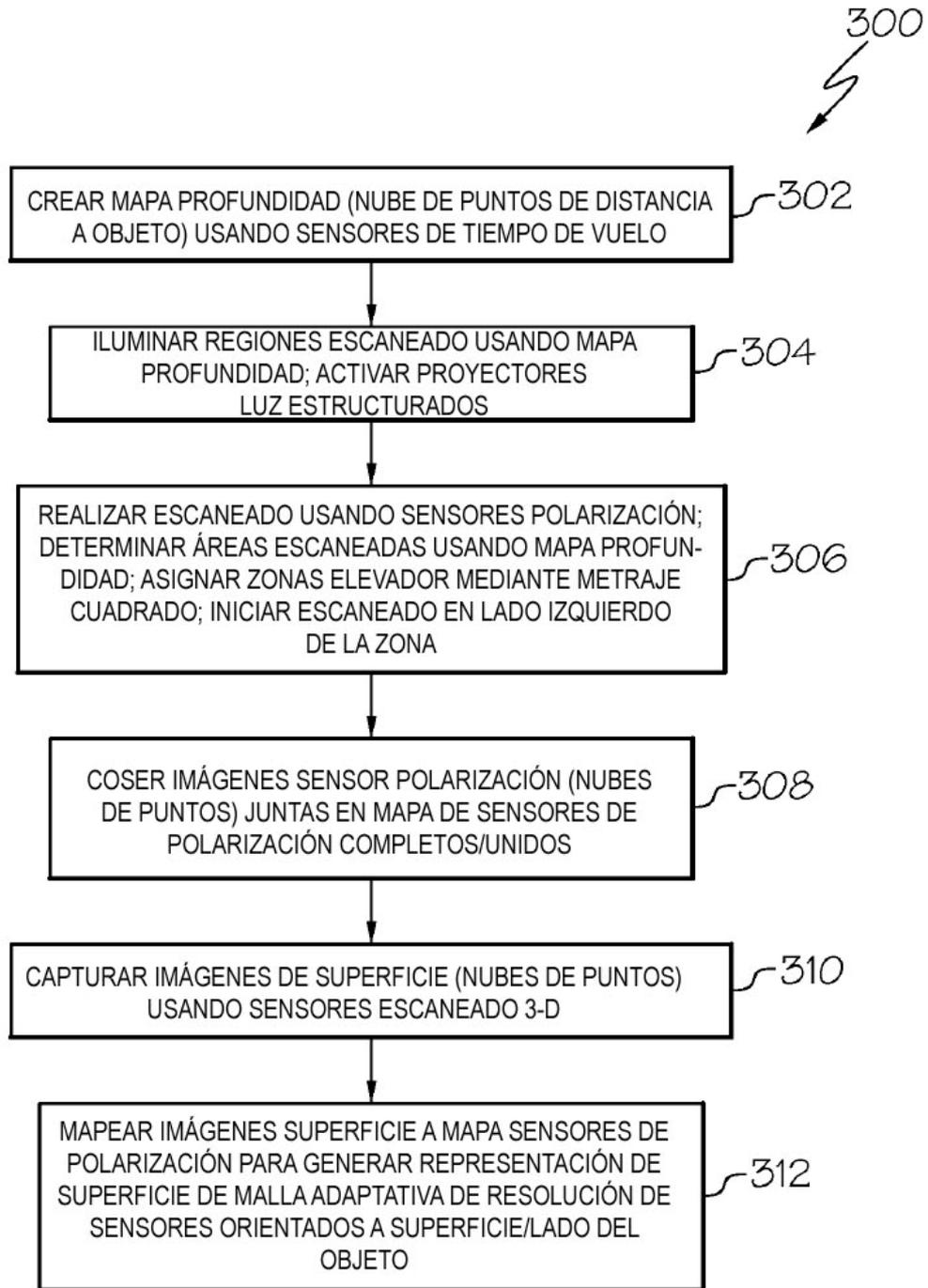


FIG. 3

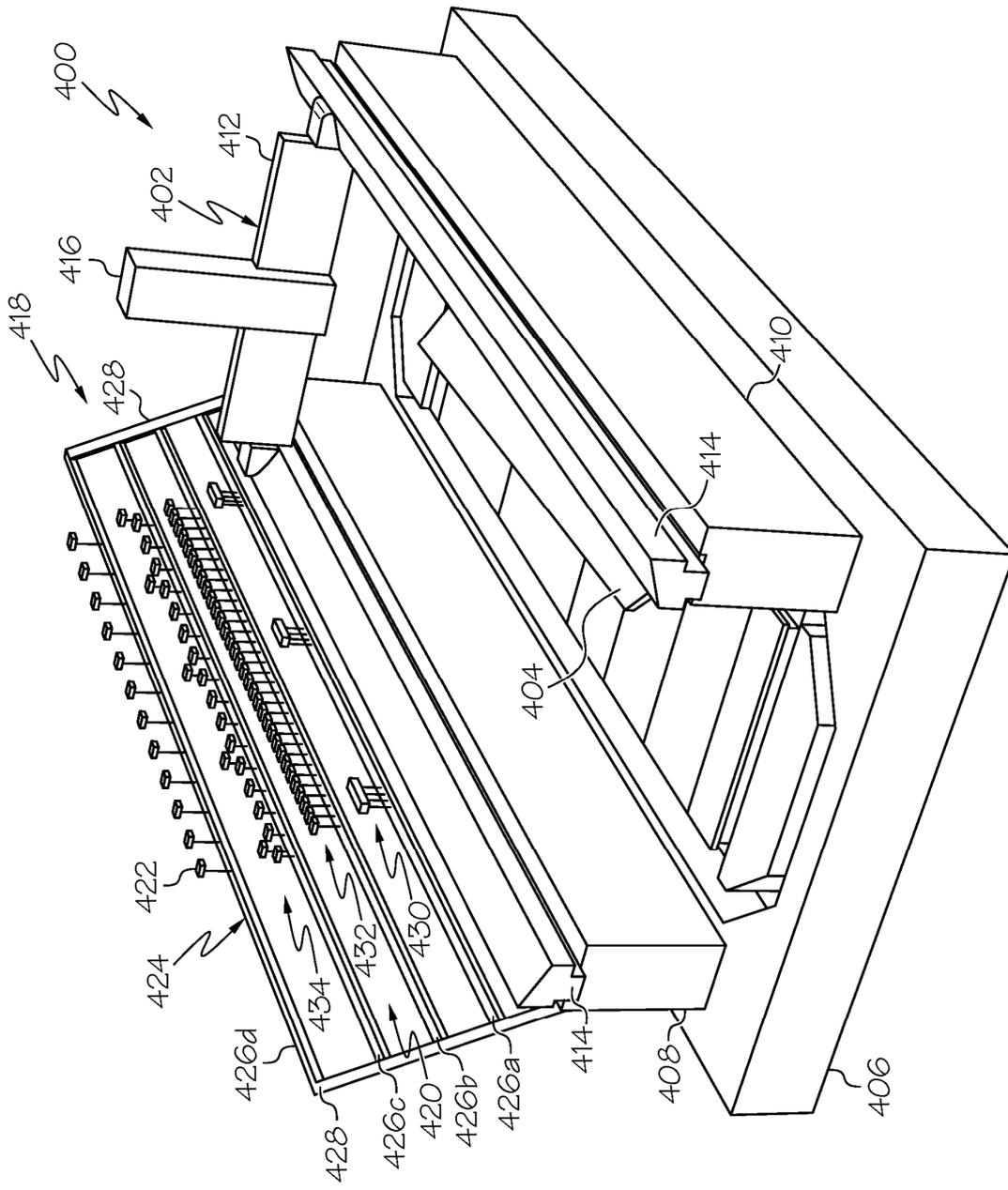


FIG. 4