

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 609**

51 Int. Cl.:  
**G06K 9/00** (2006.01)  
**G06K 9/68** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07119373 .4**  
96 Fecha de presentación: **26.10.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2053539**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **29.04.2009**

54 Título: **Clasificación de objetos así como reconocimiento de su posición y orientación en el espacio**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**09.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**09.07.2012**

73 Titular/es:  
**SICK AG**  
**ERWIN-SICK-STRASSE 1**  
**79183 WALDKIRCH, DE**

72 Inventor/es:  
**Erb, Frank;**  
**Tomm, Alexander y**  
**Schopp, Thomas**

74 Agente/Representante:  
**Lehmann Novo, Isabel**

**ES 2 384 609 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

Clasificación de objetos así como reconocimiento de su posición y orientación en el espacio

La invención se refiere a un procedimiento para la clasificación de objetos y/o para el reconocimiento de su posición y/u orientación en el espacio según el preámbulo de la reivindicación 1, así como a un dispositivo correspondiente según el preámbulo de la reivindicación 12.

La clasificación automatizada de objetos tridimensionales reales plantea grandes exigencias a la sensórica y al tratamiento subsiguiente. Un campo de aplicación importante es la técnica de almacenamiento y de transporte por ejemplo en la rama del automóvil o en otros campos. En este caso deben reconocerse forma y posición de objetos, para poder traspasar las tareas a realizar a sistemas autónomos de robots. Si en este caso no tienen que recorrerse sólo trayectorias fijamente determinadas, estos sistemas deben poseer la capacidad de adecuar adaptativamente sus modos de operación al entorno. En concreto se podría tratar aquí del despaletizado de componentes o de su montaje, en que el control de agarre del robot necesita la situación exacta de los objetos, para seleccionar la herramienta de agarre adecuada y situarla.

Los robots de montaje actuales agarran los componentes a montar la mayoría de las veces aún desde dispositivos mecánicos, que han sido diseñados especialmente para esta aplicación y que fijan unívocamente la posición así como la clase del componente. Con ello desaparece la necesidad de una clasificación, pero el sistema es también correspondientemente inflexible, y en realidad se desearía poder agarrar los componentes directamente desde una caja de transporte o desde una cinta transportadora.

La sensórica de sistemas habituales emplea para la determinación de la clase y la posición de los objetos la mayoría de las veces aún algoritmos, en los cuales los objetos están modelados sólo en dos dimensiones. En la reducción de tres a dos dimensiones pueden perderse sin embargo demasiadas informaciones, de modo que la clasificación de los objetos no puede ser fijada ya unívocamente. Las aplicaciones pueden ser solucionadas por ello la mayoría de las veces sólo de forma específica para la tarea y no son portables. En general, la posición y la orientación de los objetos no puede ser arbitraria, para evitar errores de clasificación.

Por ello es deseable captar objetos de forma tridimensional y determinar con ello su situación con tres grados de libertad de posición y tres grados de libertad de orientación en el espacio. Estos seis grados de libertad son denominados en lo que sigue frecuentemente como situación hexadimensional o 6D del objeto.

En el estado de la técnica son conocidos planteamientos para generar hipótesis acerca de la clase del objeto y su situación 6D a partir de nubes de puntos tridimensionales o representaciones de otro tipo de la superficie del objeto y verificarlas a continuación con una estrategia de prueba. Aquí se plantea sin embargo la elección de aceptar una estrategia rápida con una tasa elevada de errores o emplear una estrategia de verificación precisa y computacionalmente costosa, cuyo tiempo de operación es en la práctica sin embargo demasiado alto medido por ejemplo respecto a la velocidad de transporte de los objetos delante de un robot.

Para el empleo en procedimientos tridimensionales de este tipo son conocidos entre otras cosas descriptores 3D, que tienen como base distribuciones de propiedades de objetos en forma de histogramas. Entre ellos están las imágenes de revolución (*spin images*), contextos de forma 3D (*3D-shape contexts*), el método de *hashing* (dispersión) geométrico o COSMOS. Para informaciones adicionales en particular respecto a imágenes de revolución se hace referencia de forma complementaria a la publicación de Andrew E. Johnson, "Spin-Images: A representation for 3D-Surface Matching", Tesis, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, EE. UU. Para aplicaciones en la técnica de automatización apoyada por robots, los resultados de todos modos no son suficientemente precisos dentro de un tiempo de operación aceptable.

Un algoritmo conocido para la verificación de hipótesis es el algoritmo RANSAC (del inglés "RANdom SAMple Consensus", consenso de muestra aleatoria) de Fischler et al. a partir de "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analyses and automated cartography", Communications of the ACM, vol. 24/6, junio de 1981, ACM Press 1981. En este caso se escoge una selección aleatoria de puntos de datos, para generar una hipótesis, preferentemente la selección más pequeña posible que permita una afirmación, y esto se repite iterativamente hasta que pueda verificarse una hipótesis. Una aplicación directa a la exploración tridimensional de un objeto y a su clasificación y determinación de situación 6D no está indicada ahí.

En el trabajo de Shan et al. "Linear Model Hashing and Batch RANSAC for Rapid and Accurate Object Recognition", Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'04), IEEE, 2004, se emplea un algoritmo RANSAC de este tipo y un clasificador de Bayes para un reconocimiento de objetos y la determinación de su situación 6D. También este algoritmo es demasiado lento para la aplicación práctica.

Finalmente es conocido desplazar y girar la situación de un objeto, por ejemplo en la representación como red poligonal de la superficie, frente a un objeto de modelo correspondiente, hasta que se minimizan las distancias de

5 los puntos de objeto reales respecto a los puntos de modelo. Para ello pueden emplearse por ejemplo procedimientos de mínimos cuadrados promedio conocidos en sí desde hace mucho. En este caso no sólo es comprobada la situación 6D como hipótesis, sino que la hipótesis es optimizada adicionalmente (procedimiento ICP, del inglés "Iterative Closest Point", iterativo de punto más cercano). Es desventajoso en el procedimiento ICP la evaluación relativamente lenta, que no puede comprobar un gran número de hipótesis dentro de tiempos de operación aceptables. Además de ello, el procedimiento ICP tiende a converger a extremos locales, y no está en disposición de diferenciar éstos del extremo global deseado. El resultado en un caso así es una clasificación y una determinación de situación 6D erróneas.

10 En el trabajo de Chu-Song Chen et al., "RANSAC-based DARCES: A new Approach to Fast Automatic Registration of Partially Overlapping Range Images" IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 21(11), noviembre de 1999, páginas 1229-1234 se describe un algoritmo RANSAC con el que, en el caso de imágenes de distancia parcialmente solapadas, se determina aquella transformación que hace coincidir un modelo 3D con un objeto captado. Para ello, a partir de primeramente tres puntos de control del escenario se determina una transformación hipotética, que transforma estos puntos de control hacia el modelo. A continuación se calcula una medida de solapamiento acerca de lo buena que es en conjunto la coincidencia. En una ampliación se emplean más de tres puntos de control, y para cada punto de control adicional se comprueba primeramente si la transformación hipotética ofrece para él suficiente coincidencia. Si no es éste el caso, la hipótesis es desechada. Sólo para hipótesis en las que todos los puntos de control coinciden suficientemente bien se lleva a cabo realmente el costoso cálculo de la medida de solapamiento.

20 A partir de Hon-Keat Pong et al., "Object Detection Using a Cascade of 3D Models", Computer Vision – ACCV 2006 Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag vol. 3852 (2005), páginas 284-293, es conocido encontrar modelos 3D en imágenes 2D, mediante el recurso de ser comprobados en cascada modelos con grado creciente de detalle (LOD, del inglés "Level Of Detail").

25 Por ello constituye la tarea de la invención proporcionar una clasificación y una determinación de situación 6D para objetos, que opere de forma tanto rápida como suficientemente precisa.

30 Esta tarea es resuelta mediante un procedimiento conforme a la reivindicación 1 y un dispositivo conforme a la reivindicación 13 para la clasificación de objetos. Mediante la aplicación en cascada de pruebas de hipótesis pueden combinarse con ahorro de recursos diferentes procedimientos, que se complementan entonces en su precisión y reducen al mismo tiempo muy considerablemente el tiempo de operación. Con ello puede garantizarse que pruebas de hipótesis costosas, es decir intensivas en tiempo de operación, sólo sean aplicadas a candidatos buenos realmente plausibles, mientras que hipótesis malas puedan ser excluidas rápidamente mediante pruebas de hipótesis cortas y comparativamente sencillas.

35 La invención lleva asociada la ventaja adicional de una posibilidad de integración sencilla y universal en sistemas complejos con referencias de coordenadas comunes y de la posibilidad de modelar, diferenciar y reconocer objetos complejos en el tiempo más corto. Con ello se consiguen tiempos de operación mejores en hasta un factor 10 que con procedimientos habituales, de modo que en caso de montaje en una cinta transportadora, en unos pocos milímetros de tramo de transporte se tiene una clasificación y una determinación de situación 6D, sin perder a través de ello precisión en la clasificación. Mediante esta mejora de los clasificadores tridimensionales descritos al principio, éstos son llevados de la teoría a la utilidad práctica.

40 La cascada se recorre entonces ventajosamente desde la prueba de hipótesis con el tiempo de operación más corto hasta la prueba de hipótesis con el tiempo de operación más largo. Habitualmente, la prueba de hipótesis más rápida es entonces al mismo tiempo también la más imprecisa y la prueba de hipótesis más lenta es también la mejor. Con este tipo de disposición en cascada se optimiza por lo tanto adicionalmente la ventaja de velocidad alcanzada conforme a la invención.

45 Los datos de objeto modelado incluyen preferentemente histogramas de modelo, que partiendo respectivamente de un punto de la superficie del modelo describen la distribución de la posición o una propiedad de puntos contiguos de superficie de modelo, siendo empleados en particular como histogramas de modelo imágenes de revolución, contextos de forma 3D o imágenes de reflexión (*remissions images*), y/o en que a partir de al menos una parte de los puntos de datos del objeto medido son generados histogramas de medida correspondientes. Estos descriptores permiten una clasificación particularmente precisa y rápida. En la elección de un descriptor apropiado de objeto hay que tener en cuenta a saber una serie de requisitos: el descriptor debe ser apropiado para una representación incompleta de objeto y para la determinación de situación 6D, ser invariante en traslación e invariante en rotación y poder tratar objetos complejos, en particular en una representación de objeto como nube de puntos, en un tiempo de implementación aceptable, con un tiempo de operación aceptable y con un gasto de memoria aceptable. Aquí, justamente los planteamientos basados en histogramas conforme a la invención forman una buena solución, y entre ellos a su vez los histogramas especiales citados son particularmente apropiados.

Los datos de objeto modelado son preferentemente aprendidos y/o son calculados a partir de un fichero CAD (del

inglés “Computer-Aided Design”, diseño asistido por ordenador) y son almacenados en una biblioteca de modelos, y/o histogramas de modelo, que debido a simetrías son iguales o muy similares, son almacenados sólo una vez en la biblioteca de modelos, y mediante referenciación o *hashing* respecto a los puntos de superficie de modelo no es almacenado respectivamente el histograma de modelo, sino sólo una referencia al histograma de modelo asociado, y/o los histogramas de modelo son comprimidos para la reducción de datos. Con un procedimiento de aprendizaje apropiado pueden clasificarse con ellos objetos prácticamente arbitrarios. Por otro lado es imaginable también acceder a datos CAD existentes, de modo que en conjunto se tiene una flexibilidad total. Cuando histogramas iguales o similares sólo son almacenados una vez, puede ahorrarse una gran parte de los recursos de memoria necesarios. Esto puede conseguirse también o mejorarse adicionalmente mediante el recurso de que los histogramas en sí son almacenados con un procedimiento de compresión.

En un perfeccionamiento ventajoso son halladas correspondencias, en particular correspondencias de puntos o polígonos entre puntos de superficie de modelo y puntos de superficie de medida, mediante el recurso de que se valora la similitud entre histogramas de modelo e histogramas de medida, en particular mediante una norma de separación o una correlación, empleándose una pequeña fracción de correspondencias con la mejor valoración de similitud para las pruebas de hipótesis, en particular una fracción de como máximo uno por ciento de una distribución de la valoración de similitud de todas las posibles comparaciones entre histogramas de modelo e histogramas de medida. Las correspondencias así halladas forman un depósito de histogramas con buena o muy buena coincidencia, que, cuando son utilizados como base para la formación de hipótesis, pueden conducir a las hipótesis con más posibilidades de éxito. El procedimiento conforme a la invención emplea con ello menos tiempo en la prueba de hipótesis que en cualquier caso tienen particularmente pocas posibilidades de éxito y puede aplicarse con ello con un tiempo de operación adicionalmente reducido.

La cascada de pruebas de hipótesis preferentemente se ejecutará varias veces sobre la base de un algoritmo RANSAC, hasta que se verifique una hipótesis con la precisión requerida, haya transcurrido un tiempo de operación máximo o se haya superado un límite superior para el número de hipótesis a probar, en que para cada ejecución de la cascada se establece una hipótesis para la clase de objeto, la posición y la orientación del objeto medido, mediante el recurso de que un subconjunto de correspondencias de puntos, en particular tres correspondencias de puntos, son determinadas aleatoriamente con la condición de que todas las correspondencias de puntos del subconjunto pertenezcan a la misma clase de objetos, y a partir de la posición y/o la orientación asociadas a las correspondencias de puntos del subconjunto se deriva una posición y una orientación del objeto medido. El algoritmo RANSAC que se basa en una muestra aleatoria es particularmente apropiado para una clasificación sin conocimiento del modelo. Mediante el recurso de que son seleccionadas respectivamente un número mínimo de correspondencias de puntos, que permiten una verificación o falsificación de la hipótesis, los tiempos de operación se mantienen particularmente bajos. Un algoritmo RANSAC funciona sin embargo, como todo el procedimiento conforme a la invención, también cuando las hipótesis pueden ser restringidas por conocimiento del modelo.

Las pruebas de hipótesis incluyen preferentemente uno o más de los siguientes procedimientos: una prueba de caja delimitadora (*bounding-box*), en la que una selección de puntos de datos del objeto medido son comprobados en cuanto a si están situados dentro de un cuerpo envolvente del objeto modelado, una prueba de imagen de distancia (*range-image*), una optimización de posición y orientación, en particular un procedimiento iterativo de mínimos cuadrados promedio, en el que los puntos de datos del objeto medido son llevados a coincidencia óptima con una malla de superficie de un objeto modelado, o una prueba de vecino más próximo (*nearest-neighbour*), que es en particular la iteración número 0 de la optimización de situación sobre la base de una selección de los puntos de datos del objeto medido. Es particularmente ventajoso que estén previstos todos estos procedimientos, en que apartándose de la secuencia indicada la prueba de vecino más próximo esté antepuesta a la optimización de posición y orientación. La prueba inicial de caja delimitadora es muy rápida y apropiada para excluir con rapidez hipótesis erróneas. Sería menos apropiada para verificar una hipótesis con suficiente precisión. Con una prueba de imagen de distancia, en la que son comparadas entre sí imágenes de distancia, pueden conseguirse igualmente resultados muy rápidos. Justamente afirmaciones finas acerca de la orientación del objeto en el espacio pueden ser sin embargo aún imprecisas con ello. Con una prueba de vecino más cercano puede determinarse rápidamente en qué medida coinciden ya el modelo y el objeto medido. Sólo cuando todas estas pruebas de hipótesis relativamente poco costosas han sido exitosas, se lleva a cabo la relativamente costosa optimización de posición y situación basada en puntos de medida de toda la superficie del modelo. Con esta cascada se llega rápidamente a un buen resultado de clasificación incluyendo una situación 6D.

Aquí, la prueba de imagen de distancia incluye de forma particularmente preferida los siguientes pasos:

- captación de una imagen de distancia de medida del objeto medido, en la que las distancias están codificadas en particular en color o en grises;
- cálculo de una imagen de distancia de modelo virtual del objeto modelado de la hipótesis en posición y orientación de la hipótesis y en particular desde la perspectiva de la disposición captadora;
- comparación de la imagen de distancia de medida y la imagen de distancia de modelo, en particular cálculo

de una norma de separación o de una correlación, y

- aceptación de la hipótesis, cuando la comparación muestra coincidencia en el marco de una tolerancia prefijada.

5 Las imágenes de distancia pueden considerarse histogramas bidimensionales, en los cuales están representadas distancias en vez de frecuencias frente a una superficie y cuya norma de separación puede ser calculada con un coste relativamente pequeño. Al mismo tiempo son tenidas en cuenta sin embargo tres dimensiones mediante los datos de distancia de las imágenes de distancia. Con su coste lineal y mediante las comprobaciones tanto de los datos de medida frente a la superficie del modelo como también a la inversa, esta estrategia de verificación es rápida y robusta, para reconocer rápidamente hipótesis que se apartan relativamente mucho. Hipótesis que se apartan poco, en particular en los grados de libertad de rotación, no son reconocidas bajo ciertas circunstancias por esta estrategia. Esto se consigue sin embargo con seguridad con los procedimientos subsiguientes, que con ello sólo tienen que ser aplicados a hipótesis en las cuales se requiere también realmente su precisión. La prueba de imagen de distancia ofrece con ello un filtro previo rápido y ya bastante preciso para los procedimientos de optimización costosos subsiguientes, para poder interrumpir la cascada a menudo relativamente pronto y optimizar con ello adicionalmente el tiempo de operación.

10 Para una aceleración adicional, las hipótesis pueden ser probadas preferentemente de forma paralelizada en un conducto (*pipeline*), mediante el recurso de que la siguiente hipótesis es generada ya mientras que una o más de las hipótesis previas aún son comprobadas y/o mediante el recurso de que la cascada de una prueba de hipótesis adicional es comenzada mientras que la hipótesis previa es comprobada aún, de modo que en particular cada prueba de hipótesis individual dentro de la cascada puede ser realizada paralelamente sobre un bloque propio, y/o mediante el recurso de que varias hipótesis son generadas y comprobadas en paralelo en varios hilos (*threads*) o sobre varios bloques. El procedimiento conforme a la invención tiene por lo tanto la ventaja de que es fácilmente paralelizable y con ello puede aprovecharse completamente de una correspondiente aceleración de hardware. Estas posibilidades de paralelización existen tanto dentro de la cascada como también mediante la previsión de varias cascadas contiguas.

15 Ventajosamente, el objeto medido es segmentado con anterioridad mediante el recurso de que subconjuntos de los puntos de datos del objeto medido, que pertenecen respectivamente a un segmento, son agrupados y para cada segmento en sí son determinadas la clase, posición y orientación, para clasificar con ello objetos medidos compuestos o una pluralidad de objetos medidos dispuestos uno junto a otro o uno sobre otro. El procedimiento conforme a la invención se hace aplicable con ello tanto para un mayor número de clases de objetos como para un mayor número de objetos medidos en el área de captación de la disposición captadora.

20 Los puntos de datos del objeto medido son captados ventajosamente de forma tridimensional por exploración con un escáner de láser o mediante un sensor de imágenes con resolución de distancia como toma total o mediante composición de líneas de un objeto medido relativamente móvil, en que las distancias son determinadas por un procedimiento de tiempo de recorrido de luz, un procedimiento de corte de luz, triangulación activa por valoración de un patrón de contraste o estereoscopia. En particular, la exploración por líneas es bien apropiada para objetos que van pasando sobre una cinta transportadora en la automatización, por ejemplo por robots. Como alternativa pueden emplearse otros procedimientos de obtención de imágenes tridimensionales.

25 El dispositivo conforme a la invención puede ser perfeccionado de modo similar y muestra entonces ventajas similares. En particular pueden implementarse en su unidad de valoración estructuraciones del procedimiento conforme a la invención. Características ventajosas de este tipo son descritas además a modo de ejemplo, pero no de forma limitativa en las reivindicaciones subordinadas que vienen a continuación de las reivindicaciones principales.

30 Para generar los datos de imagen tridimensionales, puede estar previsto un escáner de láser o una cámara estereoscópica, y como sensor de imágenes puede emplearse un chip de captación por líneas o en forma de matriz con resolución de píxeles.

35 La invención es descrita más detalladamente a continuación también en lo referente a características y ventajas adicionales a modo de ejemplo con ayuda de ejemplos de realización y con referencia al dibujo adjunto. Las ilustraciones del dibujo muestran en:

- 50 la figura 1 una representación tridimensional esquemática de un sensor conforme a la invención sobre una cinta transportadora con varios objetos a clasificar;
- la figura 2 un diagrama de flujo como visión general sobre una forma de realización del procedimiento conforme a la invención;
- la figura 3 un diagrama de flujo para la explicación de la disposición de la biblioteca de modelos;

- la figura 4 un diagrama de flujo para la explicación del tratamiento de datos en bruto de la disposición captadora formando una red poligonal de la superficie del objeto medido así como formando correspondencias de puntos;
- la figura 5 un diagrama de flujo para la explicación de la generación de hipótesis;
- 5 la figura 6 un diagrama de flujo para la explicación de la verificación en cascada de hipótesis; y
- la figura 7 un diagrama de flujo de un procedimiento de imagen de distancia, que es empleado en una forma de realización de la invención como una de las pruebas de hipótesis dentro de la cascada.

10 En la representación tridimensional esquemática conforme a la figura 1, un sensor 10 conforme a la invención está montado sobre una cinta transportadora 12, que se mueve en la dirección indicada por flechas 14. En vez de la cinta transportadora 12 pueden emplearse cajas de transporte u otros medios de transporte. Sobre la cinta transportadora 12 se encuentran varios objetos 16, que están indicados en la representación muy esquemáticamente como cilindros, cubos y prismas. En la práctica se trata en cuanto a los objetos 16 por ejemplo de diferentes tornillos, piezas de carrocería u otros componentes, que deben ser agarrados o montados de forma automatizada por un robot.

15 Un escáner de láser escanea los objetos 16 por líneas y capta datos de reflexión del rayo láser reflejado así como datos de distancia a través de su tiempo de recorrido de luz.

20 En una forma de realización alternativa, que está representada en la figura 1, se emplea como elemento captador en vez de un escáner de láser 18 una cámara, que capta los objetos 16 que van pasando y genera a partir de ello datos de imagen. La cámara tiene un objetivo 20 y un sensor de imágenes 22, en que este sensor de imágenes 22 puede ser por ejemplo un chip de captación basado en tecnología CMOS (del inglés "Complementary Metal Oxide Semiconductor", transistores complementarios de metal-óxido-semiconductor) o CCD (del inglés "Coupled-Charged Device", dispositivo de acoplamiento de carga).

25 Para poder generar datos tridimensionales está previsto un control de cámara 24. Son imaginables diferentes procedimientos para la determinación de las distancias, es decir de la tercera dimensión de profundidad, y todos estos procedimientos tridimensionales están comprendidos en la invención. Por ejemplo puede estar previsto un elemento de iluminación para la emisión de impulsos de luz o de luz modulada, y a partir del tiempo de recorrido de luz o respectivamente el desplazamiento de fase, el control de cámara 24 puede calcular distancias mediante la velocidad de la luz. Esto es también un principio de medida, según el cual el escáner de láser según la forma de realización, presentada en primer lugar, de la disposición captadora puede determinar distancias a través del tiempo de recorrido del impulso emitido o el desplazamiento de fase del rayo de escaneado. Especialmente son conocidos aquí también elementos de tiempo de recorrido de luz integrados en el sensor de imágenes 20, los cuales se basan en la detección de mezcla fotónica (PMD, del inglés "Photonic Mixer Device"). Procedimientos de obtención de imágenes tridimensionales alternativos son procedimientos de corte de luz, triangulación activa, que valora un patrón de una iluminación de patrón de contraste en la zona del objeto, o valoraciones basadas en una estimación de disparidad de elementos de imagen iguales de una cámara doble estereoscópica.

35 En vez de un sensor de imágenes 22 en forma de matriz puede estar previsto un chip de captación por líneas, que capta la imagen de profundidad por líneas en respectivamente una línea de lectura 26 durante el movimiento relativo de los objetos 16 respecto al sensor 10 por la cinta transportadora 12.

40 En una unidad de computación 28 se encuentra una memoria 30 con una biblioteca de modelos y una unidad de valoración 32. La unidad de computación 28 puede estar integrada en el sensor 10 o ser un ordenador externo, que está unido a la unidad captadora 18 a través de una interfaz arbitraria inalámbrica o cableada. En la unidad de computación 28 está implementado el procedimiento conforme a la invención para la clasificación de objetos y para la determinación de la situación 6D de un objeto 16. Este procedimiento será descrito más detalladamente a continuación con ayuda de las figuras 2 hasta 7.

45 La figura 2 muestra primeramente una visión general sobre el procedimiento de clasificación conforme a la invención como diagrama de flujo. En un paso de preparación 100 es generada primeramente una biblioteca de modelos de los objetos 16 a clasificar, la cual es almacenada en la memoria 30 (véase la figura 3). Durante el funcionamiento, en un paso 200 es captado entonces por la disposición captadora 18 respectivamente un objeto medido 16, los datos de imagen resultantes son pretratados y puestos a disposición del procedimiento de clasificación adicional en forma de una red poligonal y de correspondencias de puntos con puntos de los objetos modelados (véase la figura 4).

50 La clasificación propiamente dicha tiene lugar luego en un procedimiento iterativo, en el que de forma consecutiva primeramente es generada en un paso 300 respectivamente una hipótesis sobre clase, posición y/u orientación del objeto medido 16 (véase la figura 5) y a continuación en un paso 400 es comprobada esta hipótesis en un procedimiento de prueba de hipótesis en cascada (véase la figura 6). Esta iteración de los pasos 300 y 400 es prolongada hasta que en un paso 500 puede ser verificada una hipótesis en el marco de la precisión requerida y con

5 ello esta hipótesis verificada da como resultado la clase de objeto y/o la situación 6D buscada, o hasta que en un paso 600 se ha alcanzado una condición de interrupción, lo que en un paso 700 lleva al resultado de que el objeto medido 16 no ha podido ser clasificado. En este caso puede elegirse cualquier condición de interrupción que garantice que el procedimiento termina. Preferentemente se indica un número máximo de hipótesis a comprobar o un tiempo de operación máximo, que corresponde entonces al tiempo de respuesta del sensor 10.

10 La figura 3 muestra un diagrama de flujo que explica la generación de la biblioteca de modelos en la memoria 30. En un paso 102 es captado un objeto modelado, para registrar su superficie. Preferentemente, la disposición captadora 18 genera los datos de superficie correspondientes, pero esto puede ocurrir también en otro dispositivo. Los datos de modelo son pretratados en un paso 104, por ejemplo alisados o filtrados, como se describirá todavía para los objetos medidos en la figura 4. Como alternativa al hecho de permitir la captación del objeto modelado por una disposición captadora y con ello su aprendizaje, pueden ser importados también en un paso 106 datos de modelo, por ejemplo desde un fichero CAD.

15 Tras el aprendizaje o la importación se tienen datos de la superficie del modelo. A partir de estos datos de modelo es generada en un paso 108 una malla o una red poligonal con la resolución deseada. Por ejemplo puede quedar un orden de magnitud de 1000 puntos de la superficie del modelo. Para hacerlos invariantes respecto a la situación más bien aleatoria del objeto 16 al producirse el aprendizaje o la importación, los datos son transformados por PCA (del inglés "Principle Component Analysis", análisis de componentes principales) a sus ejes principales y con ello son normalizados.

20 A continuación, en un paso 112 debe escogerse un descriptor de objeto apropiado. Como particularmente apropiados se han mostrado aquí planteamientos basados en histogramas, ya que cumplen del mejor modo los requisitos en cuanto a tiempo de operación, demanda de memoria y precisión. En el histograma, la distribución de una propiedad de los puntos de superficie del modelo respectivamente está aproximada con referencia a un respectivo punto fijo. Un histograma así, ligado a un punto, de los puntos de superficie del modelo puede ser comparado luego con un punto de la superficie del objeto medido, para determinar si en este punto existe una similaridad o correspondencia. Como la elección del descriptor de objeto es decisiva, no es suficiente en general almacenar en un histograma arbitrario una propiedad arbitraria que describe la superficie del modelo.

25 En vez de ello se emplean preferentemente aquellos histogramas que son al menos en cierta medida invariantes en rotación. Para ello, los puntos de superficie del modelo no son hallados de forma cartesiana, sino en coordenadas cilíndricas o esféricas. A través de una de las coordenadas angulares es formado entonces el histograma. En esta clase entran por un lado imágenes de revolución y por otro lado contextos de forma 3D. En el caso de una imagen de revolución, en torno al punto considerado se establece en la dirección R y Z de las coordenadas cilíndricas un histograma bidimensional, que cuenta la frecuencia de puntos de superficie adicionales en la dirección  $\phi$ . Expresado de otro modo, la coordenada  $\phi$  es sustituida por la frecuencia, de modo que una imagen de revolución es independiente de rotaciones en torno al eje Z. En este caso, el eje Z corresponde a la normal a la superficie del objeto modelado por el punto considerado. Según un concepto muy similar, para contextos de forma 3D se emplean coordenadas esféricas, y en vez de círculos como en las imágenes de revolución se valoran frecuencias de puntos de superficie adicionales en capas esféricas, segmentos angulares ("trozos de tarta") o en una combinación de ambos ("telarañas").

30 Otro planteamiento basado en histogramas es formar el histograma sobre distancias y reflexiones. Este histograma o imagen de reflexiones aproxima por lo tanto una distribución de a qué distancia se encuentran cuántos puntos con comportamiento de reflexión ("brillo") similar.

35 Finalmente es imaginable combinar los planteamientos, es decir valorar varios tipos de histogramas respecto a un punto, por ejemplo imágenes de revolución e histogramas basados en reflexión.

40 Según la resolución, los histogramas pueden ser comprimidos en un paso 114 con un procedimiento de compresión, por ejemplo JPG, siempre que posteriormente en la valoración pueda asumirse el tiempo de operación adicional para la descompresión. Los histogramas son almacenados de forma comprimida o no comprimida en la memoria 30.

45 En muchos objetos modelados, en particular aquellos con simetrías, numerosos histogramas son idénticos o muy similares entre sí. Entonces es conveniente guardar estos histogramas en un paso 116 respectivamente sólo una vez en la memoria 30 y permitir asociar puntos, en los cuales se determinan estos histogramas, por referencia o tabla de *hashing* al histograma así almacenado, para ahorrar espacio de memoria.

50 En tareas de clasificación industriales sólo hay que diferenciar un pequeño número de objetos 16. Estos objetos pueden ser aprendidos o importados consecutivamente, pero también en momentos diferentes, respectivamente con el procedimiento recién descrito, el cual sin embargo limita en sí el número de objetos 16 en la biblioteca de modelos sólo por el tamaño de la memoria 30.

55 El diagrama de flujo de la figura 4 describe cómo en un paso 200 el objeto medido es registrado por la disposición captadora 18, los datos brutos resultantes son pretratados y son halladas correspondencias de puntos respecto a

objetos modelados en la biblioteca de modelos de la memoria 30.

5 Primeramente, en un paso 202 la disposición captadora 18 registra el objeto medido 16 y genera con un procedimiento descrito para la figura 1 datos brutos tridimensionales. Estos datos brutos son transformados a continuación en un paso 204 desde la resolución prefijada por la disposición captadora 18 a una resolución deseada para la clasificación de objetos.

10 Los datos brutos son alisados y filtrados a continuación en un paso 206. Esto puede producirse por ejemplo mediante convolución con un núcleo de filtro lineal o gaussiano. En un paso 208 son eliminadas discontinuidades, puntos de arista y puntos flotantes. En discontinuidades y en aristas no se puede definir una normal, que es necesaria por ejemplo para imágenes de revolución, y los puntos flotantes no permiten ninguna definición de malla razonable (denominado en lo que sigue también red poligonal, "polygon mesh").

Los datos brutos filtrados de este modo son unidos entonces en un paso 210 formando una red poligonal, cuyos polígonos representan la superficie del objeto 16. Aquí se prefieren redes triangulares y redes cuadradas debido a la simplicidad de los polígonos.

15 Para todos los puntos de malla de la red poligonal, en un paso 212 se calculan histogramas, que corresponden a los de la biblioteca de modelos, es decir por ejemplo imágenes de revolución. Como el cálculo de estos histogramas es una operación relativamente costosa, en vez de todos los puntos de malla puede emplearse también sólo un subconjunto seleccionado en particular aleatoriamente. Este subconjunto debe representar bien la superficie del objeto medido 16, de modo que sin conocimiento del modelo sea suficiente sólo una selección aleatoria de un número suficientemente grande de puntos. La mayoría de las veces son suficientes 50-200 puntos. Por principio, 20 estos histogramas del objeto medido 16 pueden ser almacenados de forma comprimida o por referencia en los pasos 114 y 116 de modo similar a los de la biblioteca de modelos, pero la ganancia de memoria es sin embargo claramente menor debido al menor número de puntos, y sobre todo se sacrifica para esta ganancia de memoria un tiempo de operación valioso.

25 En un paso 214 se determina ahora con qué histogramas de modelo coinciden los histogramas de medida generados con ello. Todas las correspondencias de puntos, donde este es el caso, son buenas candidatas para un indicio de coincidencia del objeto medido 16 y un objeto modelado, lo cual también fija entonces la clase del objeto medido 16. Para ello se establece una matriz de similaridad entre los puntos de la superficie del objeto medido 16 y puntos de la biblioteca de modelos. Esta matriz puede estar completa, es decir cada punto del objeto medido 16 es comparado con cada punto de todos los objetos modelados, o bien tiene lugar por el lado del objeto medido 16 o de 30 los objetos modelados una selección, que sin conocimiento del modelo es nuevamente con preferencia aleatoria.

Para la valoración de la similaridad pueden tomarse medidas matemáticas arbitrarias, con las que puede valorarse la similaridad de dos tablas de valores, forma en la que pueden ser entendidos los histogramas. Ejemplos que han resultado útiles en la invención son las normas  $L_p$ , en particular  $L_1$  o  $L_2$ , o un coeficiente de correlación.

35 Con ayuda de su medida de similaridad pueden ser clasificadas formando una distribución de similaridad las posibles correspondencias de puntos en un paso 216. Si se conserva en un paso 218 sólo la parte derecha de esta distribución, es decir los histogramas más similares, son encontradas con ello las correspondencias de puntos deseadas. Aquí puede escogerse un número fijo o un porcentaje fijo de aquellos puntos de medida en los que se basa la distribución de similaridad, tal como por ejemplo 100 correspondencias de puntos o el mejor porcentaje.

40 Con la red poligonal de la superficie del objeto medido, la biblioteca de modelos y las correspondencias de puntos se tienen todos los datos para formar y comprobar iterativamente hipótesis acerca de la clase del objeto medido 16 y su situación 6D. Conforme a la invención está previsto para ello un algoritmo RANSAC ("RANdom SAMple Consensus"). Aquí se toma respectivamente un subconjunto aleatorio (muestra) de los datos de medida, que contiene para limitar costes preferentemente justo el número de elementos necesarios para una verificación o falsificación de la hipótesis. Esto se prolonga hasta que se verifica una hipótesis o se alcanza una condición de 45 interrupción.

La figura 5 explica el paso 300 para la generación de hipótesis a partir de las correspondencias de puntos. Primeramente se lleva a cabo conforme al paradigma RANSAC en un paso 302 la selección aleatoria más pequeña posible de algunas correspondencias de puntos. Para determinar una transformación 6D, deben tomarse al menos tres correspondencias de puntos, para que el triángulo formado por ellos en el objeto medido 16 permita una transformación al menos en general unívoca a la situación 6D en el objeto modelado. Para imágenes de revolución serían suficientes dos puntos, ya que la información restante está disponible en las direcciones de las normales, pero se ha mostrado que la dirección de las normales no puede ser determinada en la práctica de forma suficientemente robusta y con ello hay que preferir tres correspondencias de puntos respecto a sólo dos correspondencias de puntos. Es posible y está comprendida en la invención sin embargo la toma de menos de tres correspondencias de puntos, al igual que es por supuesto posible tomar más de tres correspondencias de puntos y 55 sobredeterminar con ello la hipótesis.



5 Las tres correspondencias de puntos tomadas y el triángulo formado por ellas son sometidos a continuación a una serie de pruebas de plausibilidad, que en caso de que fallen dan lugar a un nuevo intento. Primeramente se determina en un paso 304 si todas las tres correspondencias de puntos tomadas pertenecen a la misma clase de objetos modelados. Si no es éste el caso, la buena correspondencia de puntos, que ha llevado a la selección en el paso 218, sólo se basa respectivamente en una coincidencia local aleatoria entre modelo y objeto medido 16. La clase de objetos modelados común asegurada con ello constituye al mismo tiempo la clasificación del objeto medido 16 conforme a la hipótesis generada.

10 En un paso 306 se determina si los lados del triángulo son mayores que una longitud mínima. En otro caso, la transformación 6D sería demasiado imprecisa, y debido a la distancia demasiado pequeña se asignaría a una zona local demasiado significado.

A partir de consideraciones similares, en un paso 308 se asegura que el triángulo no es acutángulo, es decir que todos los tres ángulos superan al menos un determinado ángulo mínimo.

15 Finalmente, el triángulo es comparado en un paso 310 con un triángulo modelado, que se extiende desde los puntos que están en correspondencia hacia los puntos de medida sobre la superficie del modelo. Estos dos triángulos deben tener una elevada similaridad.

Ahora puede calcularse en un paso 312 la transformación 6D, que convierte el triángulo en el triángulo modelado. Esta transformación 6D y la clase de objeto común, comprobada en el paso 304, de las tres correspondencias de puntos forman entonces una hipótesis emitida en el paso 314.

20 La figura 6 explica en un diagrama de flujo cómo es verificada en cascada la hipótesis que acaba de ser generada en el paso 300. Se emplea una prueba de hipótesis en cascada para combinar entre sí respectivamente las ventajas de pruebas de hipótesis rápidas y bastante imprecisas y de pruebas más lentas, pero en cambio más precisas. Aquí no se emplea una única estrategia de verificación, sino una cascada de varias estrategias de verificación. Las estrategias de verificación individuales están ordenadas en esta cascada preferentemente por su tiempo de computación medio, empezándose con la más rápida. A través de ello pueden reconocerse rápidamente desviaciones fuertes en la hipótesis mediante las primeras estrategias de verificación. Como con tiempo de computación creciente baja la tasa de errores de las estrategias de verificación, desviaciones pequeñas pero aún no tolerables en la hipótesis son reconocidas y rechazadas de forma segura por las estrategias de verificación posteriores.

30 Por ello, en un paso 402 la hipótesis es comprobada en la primera ejecución con la primera estrategia y en ejecuciones adicionales respectivamente con la siguiente estrategia. Si la hipótesis es aceptada entonces en un paso 404, en un paso adicional 406 se comprueba aún si todas las estrategias de verificación ya han sido aplicadas a la hipótesis. Sólo entonces es aceptada la hipótesis en un paso 408. En otro caso, el procedimiento salta de vuelta al paso 300, en el que es generada una nueva hipótesis. Para evitar que una hipótesis sea comprobada varias veces, hipótesis ya sometidas a prueba pueden ser almacenadas correspondientemente y comprobadas de antemano. Fundamentalmente, para los umbrales de tolerancia, con los que una prueba de hipótesis aún acepta una hipótesis, es válido que pueden clasificarse más objetos diferentes cuando las tolerancias son mayores, pero al mismo tiempo aparece también una tasa de errores mayor, y viceversa.

40 En una lista 410 están representadas cuatro estrategias de verificación en la secuencia en la que son aplicadas, según una forma de realización preferida de la invención. Para la comprensión de la invención es útil saber que las correspondencias de puntos frecuentemente ya no son necesarias para la verificación de las hipótesis. Por supuesto pueden servir además de para la generación de hipótesis sin embargo también para su verificación en una o todas las estrategias de verificación.

45 Cada verificación de una hipótesis es comenzada con ello en la forma de realización representada con la prueba de caja delimitadora, en la que el modelo es rodeado conforme a la clase de objeto hipotética con un cuerpo envolvente sencillo, por ejemplo una esfera, un paralelepípedo rectangular o un cilindro. Este cuerpo envolvente es almacenado en la memoria 30 preferentemente con la biblioteca de modelos para el ahorro de tiempo de operación. La prueba de caja delimitadora comprueba simplemente si algunos o en el caso límite todos los puntos de medida del objeto medido 16 están situados dentro de este cuerpo envolvente. La prueba con ello no es particularmente precisa, pero puede excluir rápidamente hipótesis falsas.

50 Como segunda verificación se emplea un procedimiento de imagen de distancia 800, que está representado en detalle en la figura 7. En este caso, una imagen de distancia real del objeto medido 16 es comparada con una imagen de distancia ficticia del objeto modelado conforme a la clase y situación 6D hipotéticas.

55 El procedimiento de imagen de distancia discurre en detalle como sigue. En un paso 802, a partir de los datos que la disposición captadora 18 ha hecho disponibles ya en el paso 202, es generada una imagen de distancia bidimensional, en la que las distancias están codificadas con un tono de grises o un color. Esta imagen de distancia puede ser filtrada, alisada, aumentada en contraste o tratada de otro modo dado el caso con procedimientos de

tratamiento de imágenes conocidos.

5 En un paso 804 es calculada desde la perspectiva de la disposición captadora 18 una imagen de distancia de referencia virtual del objeto modelado correspondiente a la imagen de distancia de medida, cuya imagen calculada tiene como base el objeto modelado conforme a la clase y en una situación 6D está en la base de la hipótesis. Para no tener que calcular de forma costosa qué superficies poligonales de otros están cubiertas, la imagen de distancia puede ser generada desde “atrás hacia delante”, es decir desde puntos de objeto modelado muy alejados hacia los más cercanos, de modo que automáticamente sólo están representadas aquellas superficies en la imagen de distancia que pueden ser vistas por la disposición captadora 18.

10 En un paso 806, la imagen de distancia de medida es comparada con la imagen de distancia de referencia. Para ello pueden emplearse en principio las mismas medidas de similaridad que en la comparación entre histograma de medida e histograma de modelo, ya que matemáticamente hay que resolver el mismo problema. Según ello, puede calcularse por ejemplo una norma de separación o un coeficiente de correlación.

Según la coincidencia entre imagen de distancia de medida e imagen de distancia de referencia, en un paso 808 se decide si la hipótesis es rechazada en un paso 810 o aceptada en un paso 812.

15 El procedimiento de imagen de distancia puede ser llevado a cabo también sobre la base de varias imágenes de distancia, que son captadas en posiciones de transporte diferentes del objeto medido 16. En vez de valores de distancia pueden emplearse valores de reflexión (el procedimiento se denominaría entonces convenientemente procedimiento de imagen de reflexión).

20 Volviendo a la figura 6, cuando las dos imágenes de distancia son suficientemente similares correspondientemente a ello según la segunda estrategia de verificación, conforme a la lista 410 se emprende como tercer procedimiento una prueba de vecino más próximo, en la que la malla del objeto medido 16 es comparada con la malla del objeto modelado hipotético.

25 Para mayor rapidez, puede emplearse una selección parcial de la malla del objeto medido 16, por ejemplo cada décimo punto, o respectivamente sólo un representante aleatorio a partir de un entorno local de diez puntos. Para esta selección parcial o para toda la malla se busca respectivamente un vecino más próximo en la malla del objeto modelado y se calcula la distancia. La suma de todas estas distancias proporciona una medida de lo bien que coinciden el objeto medido 16 y el objeto modelado. También aquí son imaginables otras medidas matemáticas, que valoran la similaridad de la nube de puntos conforme a la selección parcial con la nube de puntos del objeto modelado.

30 La cuarta y última estrategia de verificación es al mismo tiempo también una optimización adicional de la situación 6D hipotética. En este caso, la malla del objeto medido 16 es llevada por un procedimiento de mínimos cuadrados promedio iterativamente a la mejor coincidencia posible con la malla del objeto modelado (algoritmo ICP, del inglés “Iterative Closest Point”, iterativo de punto más próximo). También aquí puede optimizarse en vez de la normal  $L_2$  según los mínimos cuadrados promedio otra medida, es decir cualquier otra norma de separación, una correlación u otras medidas.

35 Una ventaja particular de una verificación ICP al final de la cascada de verificación estriba no sólo en que este procedimiento, claramente más costoso, sólo es aplicado a hipótesis realmente buenas. Un gran problema es a saber la convergencia local en vez de global, en que el algoritmo permanece atascado en una solución aparente, que sólo es óptima en ciertos aspectos parciales. Mediante la hipótesis previamente comprobada, las condiciones iniciales al final de la cascada son ya muy buenas, de modo que es esperable tanto una convergencia considerablemente más rápida como también un error de clasificación, debido a convergencia local, considerablemente menos frecuente.

40 El resultado del algoritmo ICP es aceptado tan pronto como un grado de solapamiento en puntos del objeto medido 16 con un equivalente en el objeto modelado sea suficientemente grande y una medida de distancia de estos puntos medidos por grado de solapamiento sea suficientemente pequeña. Con otras palabras, una parte suficientemente grande del objeto medido 16 debe solaparse de forma suficientemente próxima al objeto modelado.

Se puede considerar la prueba de vecino más próximo como la iteración número 0 del algoritmo ICP, que por lo tanto valora sólo una vez la similaridad y no la optimiza, e implementar dicha prueba correspondientemente de forma muy sencilla mediante la correspondiente llamada al procedimiento ICP.

45 50 La unidad de computación 28 puede estar diseñada en un plano de hardware y/o de software para una estructura de conducto, en la que la generación de hipótesis del paso 300 con cada uno de los procedimientos de prueba 410 que vienen a continuación se produce paralelamente de forma solapada. Alternativa o simultáneamente pueden estar previstos varios núcleos de procesador y/o varios hilos, con los cuales pueden generarse y verificarse respectivamente varias hipótesis simultáneamente de forma paralelizada. En la medida en que también esté prevista de forma correspondientemente múltiple la memoria 30 con la biblioteca de modelos y con ello se elimine el acceso

múltiple a un recurso común, el procedimiento conforme a la invención escala prácticamente de forma lineal con el número de núcleos de procesador.

5 Es imaginable segmentar el objeto 16 antes de la clasificación por el procedimiento descrito. A través de ello pueden clasificarse también superposiciones de varios objetos y objetos compuestos por diversos objetos, aumentando con ello el número de aplicaciones posibles y/o el flujo de objetos 16.

10 Aunque el procedimiento conforme a la invención ha sido descrito con ayuda de correspondencias de puntos, podría realizarse de forma completamente análoga también con otras correspondencias, por ejemplo partiendo de secciones de superficie arbitrarios o polígonos de las mismas, en principio también partiendo de estructuras que están dentro o fuera del objeto y no en su superficie. Estas correspondencias deben ofrecer simplemente una medida manejable para una coincidencia local.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la clasificación de objetos (16) y para el reconocimiento de su posición y orientación en el espacio, en que con una disposición captadora (18) con resolución de distancia son generados puntos de datos del objeto medido para una superficie del objeto medido y con ayuda de datos de objeto modelado previamente determinados son planteadas y verificadas a partir de los puntos de datos del objeto medido hipótesis acerca de la clase, la posición y la orientación de un objeto medido (16), en que varias pruebas de hipótesis diferentes son realizadas en cascada de tal modo que sólo en caso de verificación de una hipótesis mediante una prueba de hipótesis es realizada una prueba de hipótesis subsiguiente dentro de la cascada, hasta que por fallo de una prueba de hipótesis una hipótesis es falsificada o por paso completo a través de la cascada sin falsificación una hipótesis es verificada en conjunto, caracterizado porque la cascada de pruebas de hipótesis incluye los siguientes procedimientos en esta secuencia: una prueba de caja delimitadora (*bounding-box*), en la que una selección de puntos de datos del objeto medido es comprobada acerca de si está situada dentro de un cuerpo envolvente del objeto modelado, una prueba de imagen de distancia (*range-image*), en la que una imagen de distancia real del objeto medido (16) es comparada con una imagen de distancia ficticia de un objeto modelado conforme a la clase, posición y orientación hipotéticas, una prueba de vecino más próximo (*nearest-neighbour*), en la que puntos de una malla del objeto medido (16) son comparados con los vecinos más próximos de una malla de un objeto modelado hipotético, y una prueba de si tras una optimización de posición y orientación, en la que los puntos de datos del objeto medido son llevados a coincidencia óptima con una malla de superficie de un objeto modelado, una parte suficientemente grande del objeto medido 16 se solapa de forma suficientemente próxima con el objeto modelado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en que los datos de objeto modelado incluyen histogramas de modelo, que partiendo respectivamente de un punto de la superficie del modelo describen la distribución de la posición o de una propiedad de puntos de superficie de modelo contiguos, empleándose en particular como histogramas de modelos imágenes de revolución (*spin-images*), contextos de forma 3D (*3D-shape-contexts*) o imágenes de reflexión (*remissions-images*), y/o en que a partir de al menos una parte de los puntos de datos del objeto medido son generados histogramas de medida correspondientes.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, en que los datos de objeto modelado son aprendidos y/o calculados a partir de un fichero CAD y son almacenados en una biblioteca de modelos.
4. Procedimiento según la reivindicación 3, en que histogramas de modelo, que debido a simetrías son iguales o muy similares, sólo son almacenados una vez en la biblioteca de modelos, y mediante referenciación o *hashing* a los puntos de superficie de modelo respectivamente no es almacenado el histograma de modelo, sino sólo una referencia al histograma de modelo asociado, y/o en que los histogramas de modelo son comprimidos de cara a la reducción de datos.
5. Procedimiento según la reivindicación 2, 3 ó 4, en que son halladas correspondencias, en particular correspondencias de puntos o polígonos, entre puntos de superficie de modelo y puntos de superficie de medida, mediante la valoración de la similaridad entre histogramas de modelo e histogramas de medida, en particular a través de una norma de separación o una correlación, y en que es empleada una fracción pequeña de correspondencias con la mejor valoración de similaridad para las pruebas de hipótesis, en particular una fracción de al menos un 1% de una distribución de la valoración de similaridad de todas las comparaciones posibles entre histogramas de modelo e histogramas de medida.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que es recorrida varias veces la cascada de las pruebas de hipótesis en particular sobre la base de un algoritmo RANSAC, hasta que se verifica una hipótesis con la precisión requerida, ha transcurrido un tiempo de operación máximo o se ha superado un límite superior de un número de hipótesis a comprobar, en que para cada pasada por la cascada se establece una hipótesis para la clase de objeto, posición y orientación del objeto medido (16), mediante el recurso de que un subconjunto de correspondencias de puntos, en particular tres correspondencias de puntos, son determinadas aleatoriamente bajo la condición de que todas las correspondencias de puntos del subconjunto pertenezcan a la misma clase de objeto, y a partir de la posición y/u orientación asociada a las correspondencias de puntos del subconjunto es derivada una posición y orientación del objeto medido (16).
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que la optimización de posición y orientación es un procedimiento iterativo de mínimos cuadrados promedio.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que la prueba de vecino más próximo es la iteración número 0 de la optimización de posición y orientación sobre la base de una selección de los puntos de datos del objeto medido.
9. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que la prueba de imagen de distancia

comprende los siguientes pasos:

- captación de una imagen de distancia de medida del objeto medido (16), en la que las distancias están codificadas en particular en color o en grises;
  - 5      – cálculo de una imagen de distancia de modelo virtual del objeto modelado de la hipótesis en posición y orientación de la hipótesis y en particular desde la perspectiva de la disposición captadora;
  - comparación de la imagen de distancia de medida y la imagen de distancia de modelo, en particular cálculo de una norma de separación o de una correlación, y
  - aceptación de la hipótesis, cuando la comparación muestra coincidencia en el marco de una tolerancia prefijada.
- 10      10. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que las hipótesis son comprobadas de forma paralelizada en un conducto (*pipeline*), mediante el recurso de que la siguiente hipótesis es generada ya mientras que una o más de las hipótesis previas aún son comprobadas y/o mediante el recurso de que la cascada de una prueba de hipótesis adicional es comenzada mientras que la hipótesis previa es comprobada aún, de modo que en particular cada prueba de hipótesis individual dentro de la cascada puede ser realizada paralelamente sobre un
- 15      bloque propio, y/o mediante el recurso de que varias hipótesis son generadas y comprobadas en paralelo en varios hilos (*threads*) o sobre varios bloques.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que el objeto medido (16) es segmentado con anterioridad mediante el recurso de que subconjuntos de los puntos de datos del objeto medido, que pertenecen respectivamente a un segmento, son agrupados y para cada segmento en sí son determinadas la clase, posición y
- 20      orientación, para clasificar con ello objetos medidos (16) compuestos o una pluralidad de objetos medidos (16) dispuestos uno junto a otro o uno sobre otro.
12. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, en que los puntos de datos del objeto medido son captados ventajosamente de forma tridimensional por exploración con un escáner de láser o mediante un sensor de imágenes (18) con resolución de distancia como toma total o mediante composición de líneas de un objeto
- 25      medido (16) relativamente móvil, en que las distancias son determinadas por un procedimiento de tiempo de recorrido de luz, un procedimiento de corte de luz, triangulación activa por valoración de un patrón de contraste o estereoscopia.
13. Dispositivo (10) para la clasificación de objetos (16) y/o para el reconocimiento de su posición y/u orientación en el espacio, en que el dispositivo (10) tiene una disposición captadora optoelectrónica (18) con resolución de
- 30      distancia para la generación de puntos de datos de objeto medido de una superficie del objeto medido, una memoria de modelos (30) para el almacenamiento de datos de objetos modelados y una unidad de valoración (32), la cual está conformada para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 hasta 12.
14. Dispositivo según la reivindicación 13, en que la disposición captadora (18) es un escáner de láser o una cámara estereoscópica o en que la disposición captadora tiene un elemento de iluminación que puede emitir
- 35      impulsos de luz o luz modulada, y en que la unidad de valoración (32) está conformada para determinar distancias a partir de un tiempo de recorrido de luz o de un desplazamiento de fase.
15. Dispositivo según la reivindicación 13 ó 14, en que la disposición captadora (18) tiene un sensor de imágenes (20) por líneas o en forma de matriz con resolución de píxeles, y en que la unidad de valoración (24, 32) está conformada para determinar puntos de datos del objeto medido en un área de captación de forma tridimensional
- 40      como toma total o mediante exploración por líneas de un objeto medido (16) relativamente móvil.

Figura 1

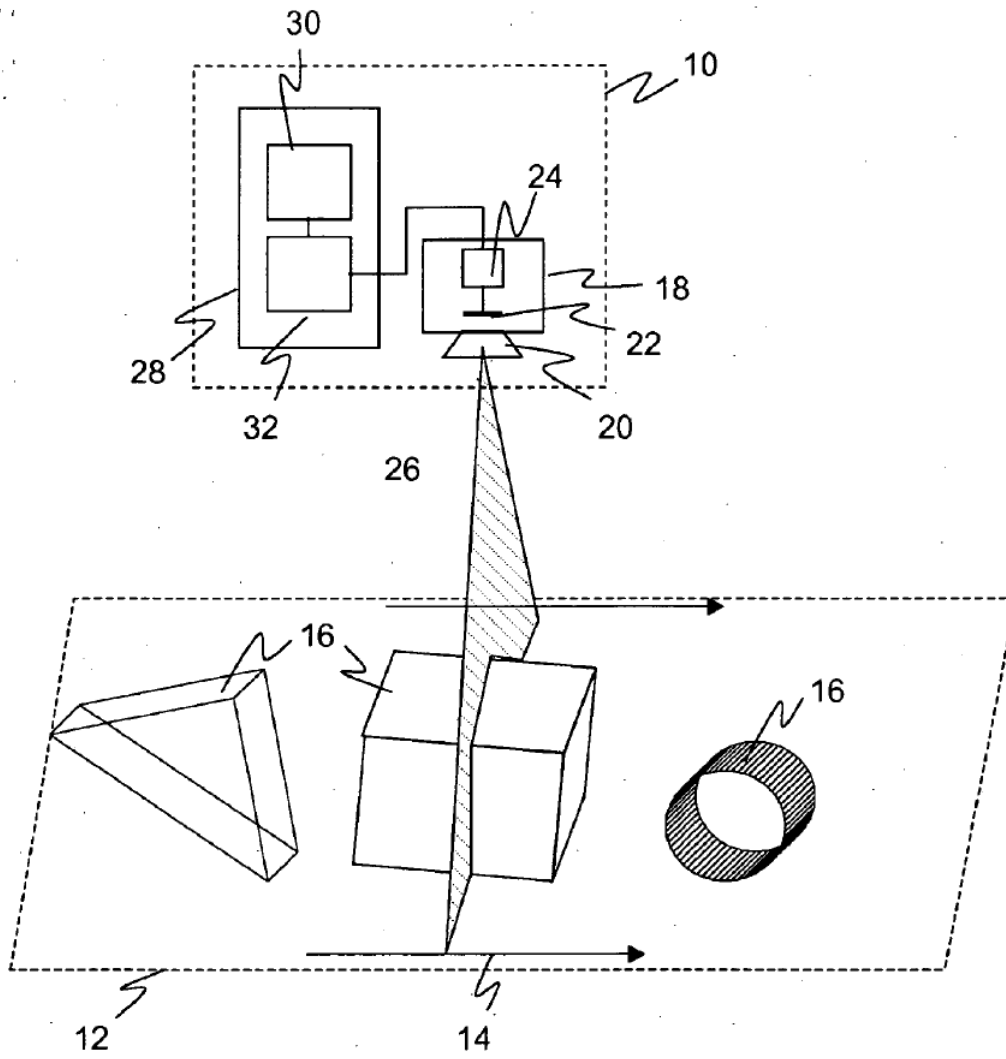


Figura 2

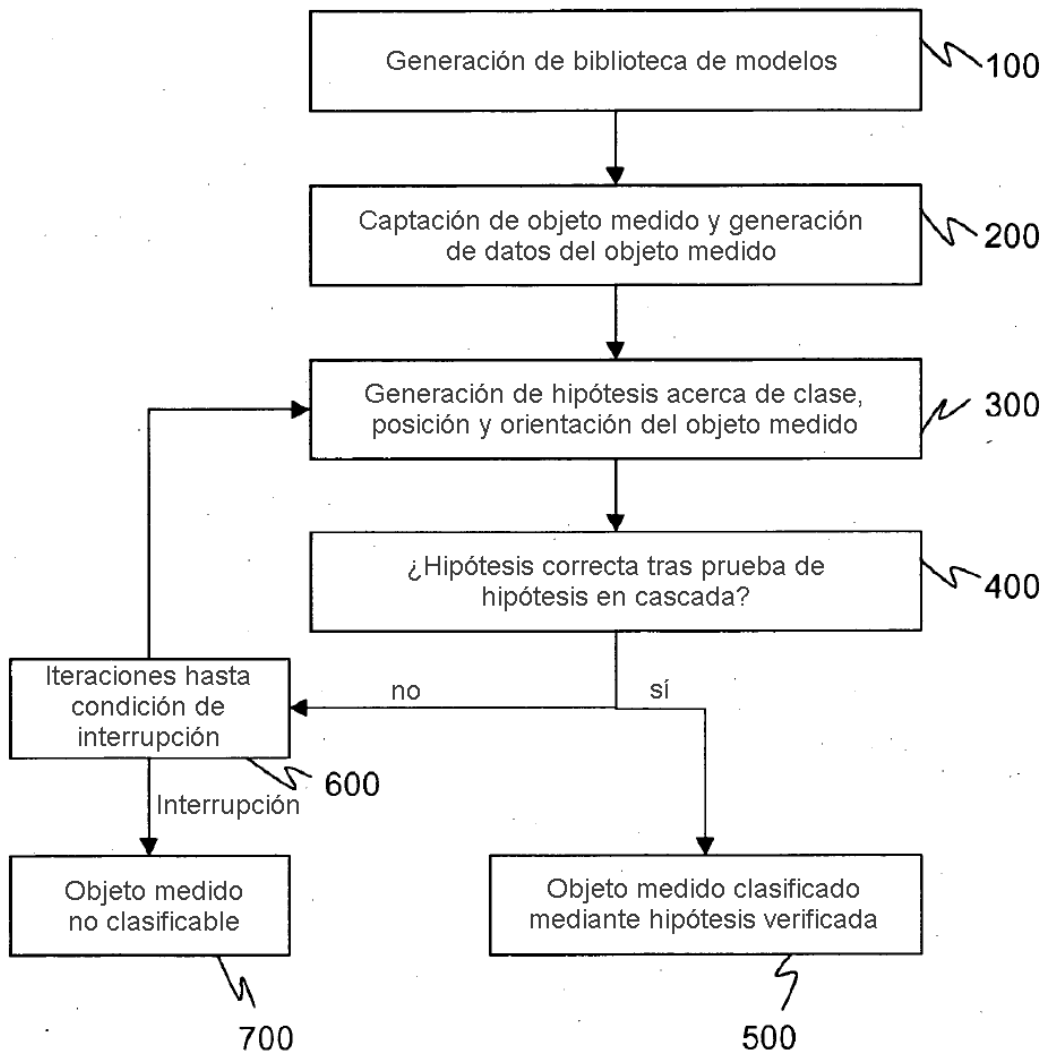


Figura 3

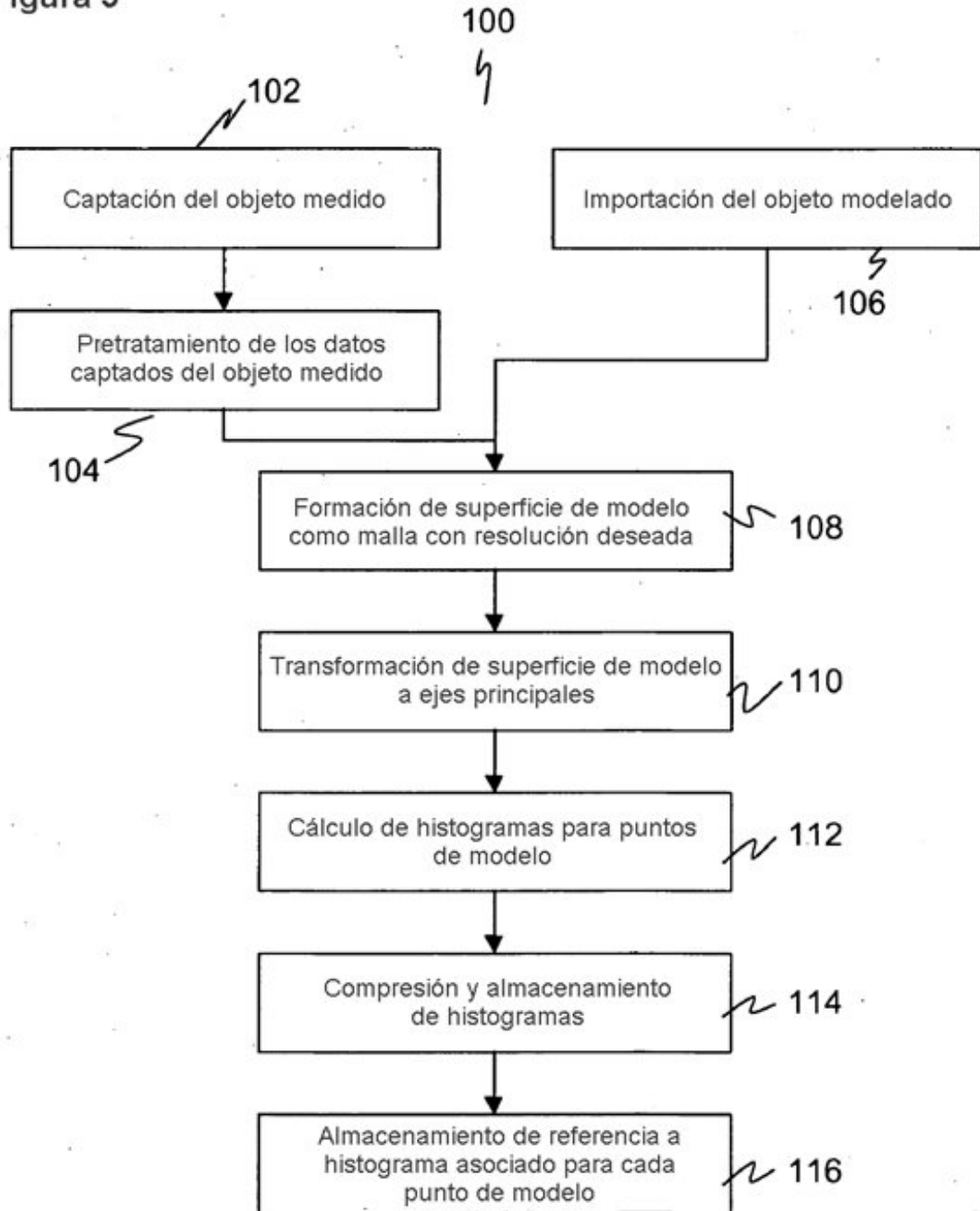




Figura 4

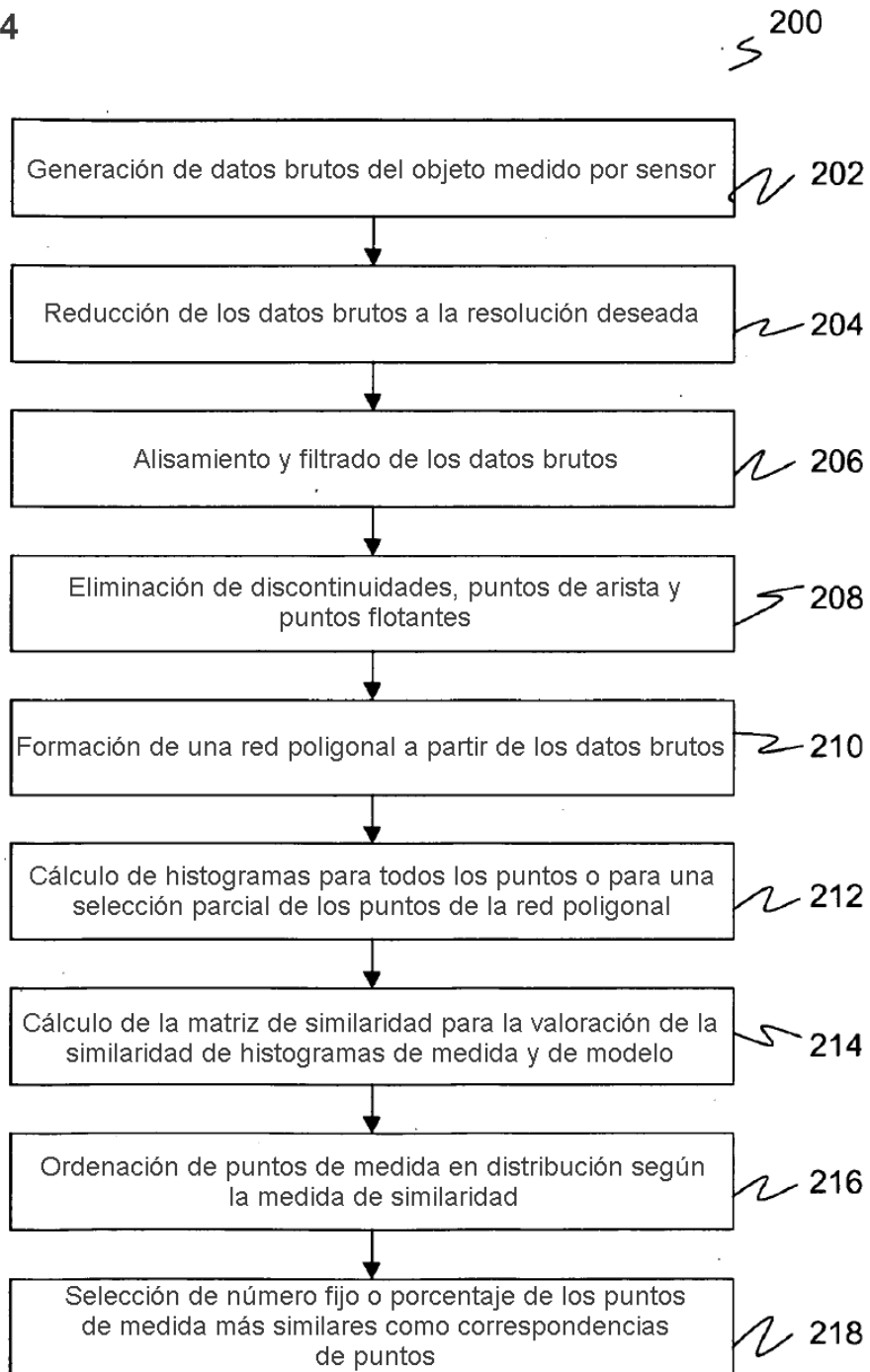


Figura 5

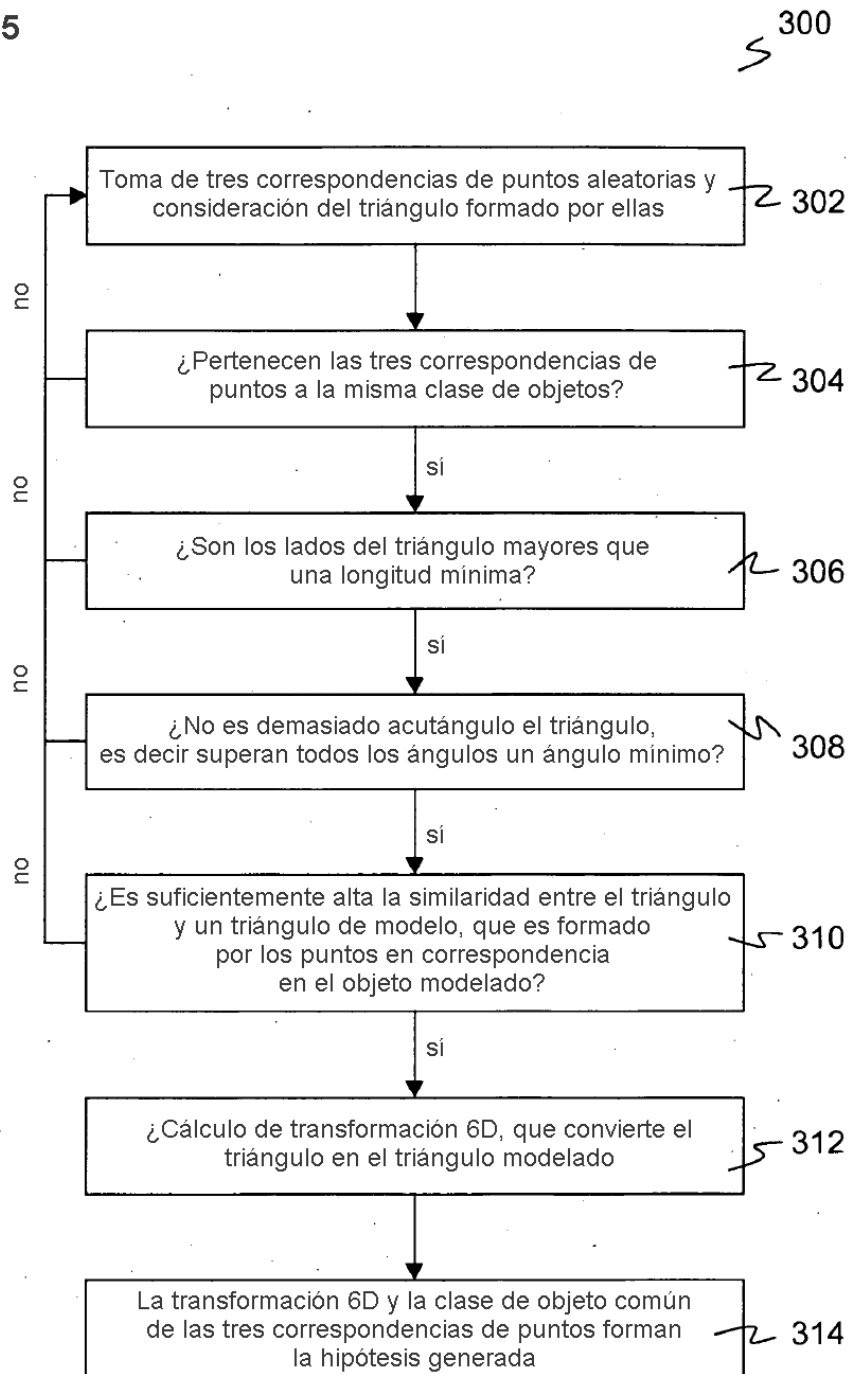


Figura 6

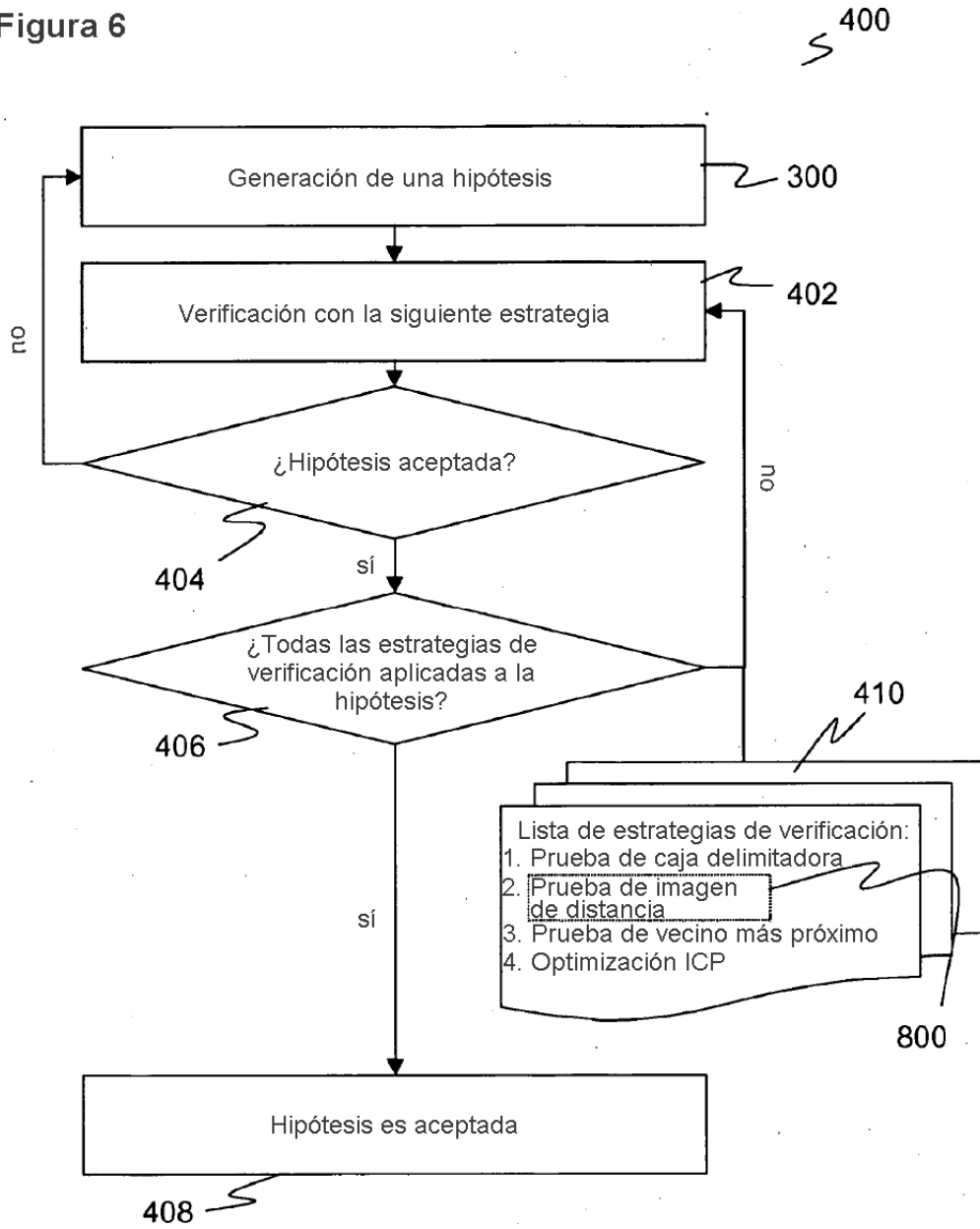


Figura 7

