

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 772 698**

51 Int. Cl.:

<b>G01N 33/02</b>	(2006.01)
<b>G01V 5/00</b>	(2006.01)
<b>G01N 23/04</b>	(2008.01)
<b>G06T 7/00</b>	(2007.01)
<b>G06T 11/00</b>	(2006.01)
<b>G01N 23/18</b>	(2008.01)
<b>G01N 23/083</b>	(2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.03.2016 PCT/EP2016/055718**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **22.09.2016 WO16146703**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.03.2016 E 16713324 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3271717**

54 Título: **Control y selección de calidad automatizados**

30 Prioridad:

**16.03.2015 GB 201504360**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.07.2020**

73 Titular/es:

**KATHOLIEKE UNIVERSITEIT LEUVEN (33.3%)  
K.U. Leuven R&D, Waaistraat 6, Box 5105  
3000 Leuven, BE;  
UNIVERSITEIT GENT (33.3%) y  
UNIVERSITEIT ANTWERPEN (33.3%)**

72 Inventor/es:

**VAN DAEL, MATTIAS;  
VERBOVEN, PIETER;  
NICOLAÏ, BART;  
DHAENE, JELLE;  
VAN HOOREBEKE, LUC y  
SIJBERS, JAN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 772 698 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

Control y selección de calidad automatizados

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere al campo de las pruebas no destructivas de un artículo o producto, por ejemplo, mediante el uso de imágenes de radiación ionizante. Más específicamente, se refiere a un método y sistema para inspección de artículos en línea, por ejemplo, para el control y/o selección de calidad automatizados, de un objeto, por ejemplo, de un artículo o producto, tal como un vegetal o una fruta, que es al menos parcialmente transparente a la radiación ionizante, por ejemplo, un objeto transparente a los rayos X. La invención se refiere además al uso de tal método y/o sistema para control de calidad y/o la selección de un objeto de calidad.

**10 Antecedentes de la invención**

La detección en línea de defectos internos en artículos o productos, por ejemplo, alimentos, usando rayos X es conocida en la técnica para detectar defectos que son fácilmente captados en radiografías. Particularmente, la formación de imágenes de rayos X ha llegado a ser una herramienta útil en muchas ramas de la industria para realizar pruebas no destructivas a fin de asegurar la calidad de un producto. Como la mayoría de los materiales son translúcidos a los rayos X, los defectos internos pueden ser visualizados sin cortar ni dañar el producto. Por ejemplo, en la técnica se conoce el uso de imágenes radiográficas de rayos X de dos dimensiones para las pruebas no destructivas de la calidad de los productos y/o para detectar los defectos en productos, por ejemplo, para la inspección en línea de productos alimenticios en la industria alimenticia. Una simple proyección radiográfica en 2D, en la que todas las características en el interior y el exterior del objeto están sobreimpuestas en una única imagen, puede proporcionar una manera rápida para visualizar el interior de un objeto en línea.

Los sistemas de rayos X son usados comercialmente para la detección de un cuerpo extraño y, todavía más limitado, para la detección de ciertos defectos internos comunes y propiedades no deseadas en sistemas alimenticios tal como la presencia de insectos en la fruta, por ejemplo como es expuesto por Haff y otros en "Detección de defectos y contaminantes en la industria alimenticia mediante rayos X", *Detección e instrumentación de calidad y seguridad de alimentos*, 2(4), pp 262-273, y por Jiang y otros en "Un algoritmo de segmentación de imágenes adaptativo para una inspección de cuarenta días de rayos X de frutas selectas", *Ordenadores y electrónica en agricultura*, 60(2), pp 190-200. También se conoce en la técnica el uso de imágenes de rayos X para la detección automática de espinas de pescado, por ejemplo, como expuesto por Mery y otros en "Detección automática de espinas de pescado usando imágenes de rayos X", *Diario de ingeniería alimentaria*, 105(3), pp 485-492.

Este procedimiento, como es conocido en la técnica, puede sin embargo tener varias desventajas. Por ejemplo, las diferencias de densidad tienen que ser lo suficientemente grandes para que los defectos y/o las propiedades no deseadas u objetos sean visibles en proyecciones radiográficas. Esto implica que este procedimiento pueda no ser utilizable en determinadas aplicaciones. Además, los algoritmos personalizados pueden necesitar ser desarrollados para cada tipo de defecto o propiedad no deseada que debería ser detectada. Esto puede llevar mucho tiempo, ciertamente cuando se tiene en cuenta que cuando se crea una imagen en diferentes instalaciones de soporte físico, la apariencia de estos defectos puede diferir sustancialmente.

Para detectar características sutiles puede ser necesaria una reconstrucción CT tridimensional completa del objeto, ya que determinados defectos internos no pueden ser detectados en las imágenes en proyección captadas desde un único punto de vista, o incluso evaluando simultáneamente una pluralidad de imágenes correspondientes a una pluralidad de vistas de proyección complementarias, por ejemplo imágenes que corresponden a dos o más vistas de proyección a lo largo de unos ejes de proyección mutuamente ortogonales. Por ejemplo, en la industria alimentaria, algunos defectos, tales como las irregularidades de oscurecimiento de la fruta, inherentemente muestran un contraste bajo con respecto a sus alrededores y pueden ser muy pequeñas.

Los métodos de formación de imágenes CT clásicos implican que esas proyecciones son tomadas desde muchas posiciones angulares alrededor de la muestra, bien rotando el par fuente-detector, por ejemplo, en una disposición comúnmente usada para exploradores médicos, o rotando la muestra del objeto mientras se obtiene una imagen del objeto, como puede ser conocido para instalaciones industriales. Este procedimiento puede tener varias implicaciones cuando se aplica en un sistema de inspección en línea para inspeccionar un objeto transportado por un sistema de transporte en línea. Por ejemplo, rotando el par fuente-detector alrededor de una cinta transportadora no es práctico debido a las altas velocidades que serían necesarias para mantener una velocidad con un rendimiento aceptable de la cinta transportadora. Un pórtico giratorio a alta velocidad necesitaría un soporte lógico muy caro, provocaría fuerzas masivas, implicaría unas limitaciones de seguridad adicionales y haría el soporte físico grande y voluminoso. Además, rotando la muestra objeto sobre un intervalo angular suficientemente grande para la formación de imágenes CT, mientras se mueve en una cinta transportadora, puede también no ser deseable debido a que la rotación necesitaría también una alta velocidad y un control preciso, lo que es prácticamente difícil de conseguir. Incluso si estos problemas pudieran ser eliminados, un algoritmo de procesamiento de imágenes tendría que ser desarrollado para cada tipo de defecto o propiedad no deseada que debería ser detectada.

- Debido a las limitaciones de coste, tiempo y soporte físico, una reconstrucción tomográfica 3D completa es por tanto difícil de conseguir, o incluso no factible, en una aplicación en línea, por ejemplo, en un sistema de clasificación en línea para clasificar objetos transparentes a los rayos X que se mueven en una corriente de objetos, por ejemplo artículos o productos, tales como un vegetal o una fruta, moviéndose en una cinta transportadora o un sistema de transporte similar. Además, la complejidad de las técnicas de formación de imágenes CT en 3D conocidas en la técnica pueden tener las desventajas de ser costosas y complejas y pueden sustancialmente comprometer el rendimiento deseado de la línea de producción cuando se proporciona una calidad de imagen suficiente para asegurar una aceptable capacidad de detección de defectos. Por ejemplo, la compensación entre una velocidad de adquisición alta y un alto contraste y resolución de imágenes, puede ser uno de los principales motivos por los que los rayos X CT 3D todavía no han tocado fondo como una herramienta de inspección en la industria de la alimentación. En otras ramas de la industria puede sin embargo ser conocido el uso de CT en línea o a la línea, por ejemplo, como una herramienta de metrología, por ejemplo, usando unos sistemas de entrega por lotes de alto rendimiento o un sistema de cinta transportadora de rendimiento continuo usando un procedimiento de exploración helicoidal. No obstante, tales procedimientos siguen siendo muy costosos y complejos.
- Se han realizado intentos de eludir los problemas antes mencionados. Por ejemplo, Rapiscan Systems desarrolló una exploración CT para la inspección de equipajes combinando un gran número de pares fuente-detector en una configuración, por ejemplo, el Rapiscan RTT™ 110 de Rapiscan Systems, Torrance, CA 90503 USA. Esta solución funcional pero expansiva puede alcanzar velocidades de 1.500-1.800 bolsas por hora, que corresponde a una velocidad de rendimiento de aproximadamente 0,5m/s que puede no ser suficientemente rápida para una aplicación de gran volumen y de un valor de aplicación bajo tal como la industria de la alimentación.
- En “Detección automatizada de nudos para tomografía calculada de alta velocidad en *Pinus sylvestris* L. y *Picea abies* (L.) Karst, usando el ajuste de elipse en superficies concéntricas”, Ordenadores y electrónica en agricultura, 96 (2013), pp 238-245, de Johansson y otros, se expuso un método que combina exploraciones tridimensionales y radiografías por rayos X. No obstante, una desventaja de este método es que el procesamiento de datos propuesto en este artículo de la técnica anterior está limitado a la estimación al diámetro del duramen y la densidad de los rollizos.
- Otro procedimiento es usar la traslación de un objeto en la cinta transformadora para conseguir proyecciones en un intervalo angular limitado. No obstante, una reconstrucción tridimensional a partir de datos de proyección en un intervalo angular limitado no es sencilla y puede introducir grandes artefactos de imágenes. La investigación sobre este tema ha sido informada, por ejemplo, por lovea y otro en “Tomografía traslacional pura – un Procedimiento no rotacional para Reconstrucción tomográfica”, Actas de la 9ª Conferencia Europea sobre NDT – ECNDT, Tu 1.4.1.
- El documento WO 2010/09493 describe un método para evaluar el estado de una amenaza de un producto líquido en inspección en un punto de control de seguridad. Proporciona un medio de almacenamiento legible por un ordenador que almacena un elemento de programa apropiado para la ejecución por un aparato computador para evaluar un estado de amenaza de un producto líquido en inspección en un punto de control de seguridad, estando el producto líquido comprendido por una botella que contiene un líquido, en donde la botella está al menos parcialmente llena con líquido. Para poner en práctica el método, entre otros, se realizan los siguientes pasos: 1) comparar la radiografía con las imágenes radiográficas de referencia simuladas de contenedores llenos con agua y seleccionar la mejor combinación de formas: esto identifica el tipo de contenedor, a continuación, 2) hacer lo mismo pero para diferentes líquidos en esa forma de contenedor para identificar el líquido en inspección y, a continuación, 3) procesar la referencia medida e identificada para desviaciones particulares.
- El documento EP 0875751 proporciona un método para comparar imágenes tridimensionales de datos explorados CT actuales y datos geométricos predeterminados de objetos que tienen unas características de huecos internos tales como cavidades y pasajes, mostrando estas características, y mostrando representaciones tridimensionales de la geometría de no conformancia entre los actuales datos explorados CT y los datos geométricos predeterminados. Se trata de un método de tomografía calculada tridimensional para inspeccionar y comparar la geometría actual con la geometría predeterminada de un objeto. Una geometría actual se compara con una geometría predeterminada de un objeto para detectar las desviaciones de forma de cuerpos rígidos a partir de una referencia invariable bien conocida.
- El documento EP 1.808.813 se refiere generalmente a la inspección de partes, y más particularmente a la detección de anomalías en partes manufacturadas terminadas. Este método para el examen no destructivo de partes incluye la producción de una imagen en 3-D de una muestra de una parte, extraer una nube de puntos de la imagen de la muestra de la parte, y registrar la nube de puntos en un sistema de coordenadas CAD. El método incluye además determinar los puntos en la nube de puntos de la imagen que están a más de una distancia especificada de las superficies en un modelo CAD 3-D de la parte que usa el mismo sistema de coordenadas, y utilizar los puntos determinados para determinar la presencia de anomalías o presentar una imagen de anomalías en la muestra de la parte.

**Compendio de la invención**

Es un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar unos medios y métodos buenos y eficientes para la inspección, clasificación y/o elección de un objeto móvil, por ejemplo, un artículo o producto que se mueve a lo largo de un trayecto predeterminado en una línea de producción, procesamiento o empaquetado.

5 El anterior objetivo se consigue por un método y dispositivo de acuerdo con la presente invención.

Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que un objeto de calidad pueda ser controlado y/o seleccionado basándose en un modelo basado en clasificación de defectos internos o deficiencias de este objeto.

Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que una cualidad de un objeto pueda ser clasificada, por ejemplo, la calidad de los artículos o productos, combinando una exploración 3D y unas radiografías de rayos X.

10 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que un método o sistema de acuerdo con realizaciones de la presente invención pueda ser aplicado para identificar anomalías en una amplia variedad de objetos, aplicando un modelo de la forma del objeto de interés como conocimiento previo.

Es además una ventaja de los sistemas de la presente invención que no sea necesario desarrollar algoritmos personalizados específicamente adaptados para cada tipo de defecto para ser detectado.

15 Es una ventaja de la presente invención que la cantidad de información que necesita ser recogida de un objeto, por ejemplo datos de exploración y/o de formación de imágenes, pueda ser relativamente baja, por ejemplo cuando se compara con métodos de la técnica anterior de similar funcionamiento en la detección de defectos, debidos a la incorporación de un extensivo conocimiento previo sobre los objetos en investigación de acuerdo con realizaciones de la presente invención, o sea el conocimiento anterior representado por un modelo de forma y una distribución promedio del valor gris.

20 Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención que un simple sistema de inspección y/o clasificación pueda ser puesto en práctica usando un soporte físico simple y barato, por ejemplo, relativamente simple y barato cuando es comparado con los sistemas de la técnica anterior que tienen un funcionamiento similar. Además, tal puesta en práctica puede no requerir cualesquiera partes móviles de la imagen y/o del soporte físico de detección, reduciendo así los costes en comparación con un explorador CT completo.

25 Es una ventaja de realizaciones de la presente invención que se requiera una reconstrucción tomográfica, ya que la clasificación puede ventajosamente ser realizada comparando dos imágenes en 2D. Hay además una ventaja de realizaciones de la presente invención que es que se pueda conseguir una alta velocidad de producción, por ejemplo, debido a los relativamente simples requerimientos del procesamiento. Es también una ventaja que las aplicaciones en línea, tales como el control de calidad automatizado y/o la selección de objetos que son transportados en línea en un sistema de transporte, sean factibles debido a las altas velocidades de producción conseguibles.

Es una ventaja de las realizaciones de la presente invención el que múltiples defectos no sean identificados uno por uno, ya que tales defectos son detectados simultáneamente como una gran desviación de un objeto de referencia.

35 Las realizaciones de la presente invención pueden combinar una clasificación basada en un modelo, la exploración en 3D y las imágenes radiográficas para detectar defectos internos detectables en radiografías y para detectar ventajosamente más características sutiles usando una radiografía simulada de una reconstrucción tridimensional de la imagen de un objeto de referencia.

40 En un primer aspecto, las realizaciones de la presente invención se refieren a un método de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto, el método de inspección no destructiva comprende mover, usando un sistema de transporte en línea, un objeto que es al menos parcialmente transparente a la radiación de una predeterminada calidad de radiación, por ejemplo un objeto al menos parcialmente transparente a los rayos X, a lo largo de un trayecto predeterminado entre una fuente de radiación estacionaria para emitir radiación de la calidad de radiación predeterminada, por ejemplo una fuente de radiación ionizante, y un detector de imágenes estacionarias, y a través de un campo de visión de un explorador tridimensional. El explorador tridimensional se selecciona a partir de un grupo que consta de un explorador lineal de laser, varias cámaras RGB, un explorador óptico 3D, un explorador activo sin contacto que usa emisiones de luz o de ultrasonidos, un explorador laser 3D de tiempo de vuelo, un explorador de laser 3D basado en triangulación, un explorador laser holográfico conoscópico, un explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema de formación de imágenes ópticas estereoscópicas, un sistema de formación de imágenes fotométricas, un láser lineal en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas. El método comprende además formar imágenes del objeto usando el detector de imágenes detectando la radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través del objeto para obtener una radiografía de la proyección de una estructura interna del objeto. El método comprende además explorar una superficie exterior del objeto usando el explorador tridimensional para obtener datos de exploración tridimensionales del objeto en la forma de una nube de puntos representativa de al menos parte de la superficie exterior. El método comprende además ajustar, usando un procesador, un modelo de

5 forma deformable del objeto de la nube de puntos para obtener un modelo de la superficie de la superficie exterior. El método comprende además crear, usando el procesador, un modelo sólido del modelo de la superficie teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia. El método comprende además simular, usando el procesador, una radiografía de referencia del modelo sólido, y comparar, usando el procesador, la radiografía de referencia con la radiografía de la proyección para detectar y/o medir las desviaciones internas del objeto con respecto al objeto de referencia. El paso de crear el modelo sólido y/o el paso de simular la radiografía de referencia tiene en cuenta una configuración espacial relativa predeterminada del detector de imágenes, la fuente de radiación y el explorador tridimensional.

10 El explorador tridimensional es un explorador 3D seleccionado del grupo que consta de un explorador lineal de laser, varias cámaras RGB, un explorador 3D óptico, un explorador activo sin contacto que usa emisiones de luz o ultrasonidos, un explorador laser 3D de tiempo de vuelo, un explorador de laser 3D basado en triangulación, un explorador laser holográfico conoscópico, un explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema de formación de imágenes ópticas estereoscópicas, un sistema de formación de imágenes fotométricas, un láser lineal en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas.

15 La exploración de la superficie exterior comprende generar una nube de puntos parcial del objeto. El ajuste comprende estimar la superficie exterior completa y posicionar el objeto ajustando el modelo de forma. La creación del modelo sólido comprende llenar en un volumen definido por el modelo de la superficie con la distribución del valor gris, en donde el volumen se corresponde con las coordenadas espaciales del objeto cuando es captado por el detector de imágenes. La simulación de la radiografía de referencia comprende simular un proceso de formación de imágenes del modelo sólido por una proyección hacia adelante usando la configuración espacial predeterminada del detector de imágenes y la fuente de radiación en las coordenadas espaciales.

20 En un método de acuerdo con la presente invención, el modelo de forma y la distribución del valor gris puede ser creada adquiriendo exploradores CT de una pluralidad de muestras de objetos de referencia fuera de línea y determinando el modelo de forma y la distribución del valor gris de las exploraciones CT para ser usados como un conocimiento previo durante los pasos de ajuste del modelo de forma y creando el modelo sólido en el tiempo de ejecución.

25 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la determinación del modelo de forma puede comprender extraer una pluralidad de superficies exteriores, correspondientes a la pluralidad de muestras de objetos de referencia, a partir de las exploraciones CT usando técnicas de procesamiento de imágenes, determinando una pluralidad de características espaciales correspondientes en la pluralidad de superficies exteriores, determinando una posición media y/o una variación en posición de cada una de la pluralidad de características espaciales correspondientes, y determinar el modelo de forma teniendo en cuenta las posiciones medias. El modelo de forma puede tener parámetros libres que pueden ser ajustados para tener en cuenta la posición del objeto, la orientación del objeto, la orientación del objeto y/o los modos de variación del objeto representativo de las variaciones en posición de la pluralidad de características espaciales correspondientes.

30 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el modelo de forma puede comprender un modelo lineal que parametriza una forma del objeto como una combinación lineal de una forma media y una pluralidad de modos de variación.

35 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la distribución del valor gris puede ser determinada como una imagen del volumen de referencia normalizado de la pluralidad de exploraciones CT.

40 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la determinación de la distribución del valor gris puede comprender la aplicación de un esquema de normalización de la superficie para obtener la imagen del volumen de referencia normalizado de una población de objetos representados por las muestras de objetos independientes de la forma de cualquier objeto individual.

45 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la determinación de la distribución del valor gris puede comprender la aplicación de un esquema de muestreo esférico normalizado para obtener la imagen del volumen de referencia normalizado y crear el modelo sólido puede comprender la aplicación de un esquema de muestreo esférico normalizado inverso para ajustar la imagen del volumen de referencia normalizado al modelo de la superficie.

50 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el movimiento del objeto puede comprender mover el objeto en línea en una cinta transportadora.

55 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el movimiento del objeto puede mover el objeto a una velocidad en el intervalo de las velocidades de la cinta transportadora de instalaciones comerciales, por ejemplo en el intervalo de 0,1 m/s a 0,7m/s.

En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, durante el movimiento del objeto a lo largo del trayecto predeterminado, el objeto puede primero atravesar el explorador tridimensional, y después, consecuentemente, puede atravesar el campo de visión del detector de imágenes.

5 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el objeto puede ser movido en línea a través de un campo de radiación de una pluralidad de sistemas de imágenes radiográficas, comprendiendo cada una una fuente de radiación, por ejemplo una fuente de radiación ionizante, y un detector de imágenes, y a través de una etapa de exploración de al menos un explorador tridimensional.

10 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la fuente de radiación, por ejemplo la fuente de radiación ionizante, y el detector de imágenes pueden ser dispuestos estáticamente con respecto al sistema de transporte en línea, por ejemplo fijado mecánicamente con respecto al sistema de transporte en línea.

15 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la fuente de radiación, por ejemplo la fuente de radiación ionizante, y el detector de imágenes puede ser fijado encima de una cinta transportadora sobre la que el objeto es transportado. En un segundo aspecto, las realizaciones de la presente invención se refieren a un sistema de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto. El sistema de inspección no destructiva comprende una fuente de radiación de una calidad de radiación predeterminada, por ejemplo una fuente de radiación ionizante y un detector de imágenes. La fuente de radiación y el detector de imágenes forman un sistema de formación de imágenes radiográficas para detectar la radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través de un objeto que es al menos parcialmente transparente a la radiación de la calidad de radiación predeterminada, por ejemplo un objeto al menos parcialmente transparente a los rayos X, para proporcionar una proyección radiográfica de una estructura interna del objeto. El sistema además comprende un explorador tridimensional para explorar una superficie exterior del objeto para obtener datos de exploración tridimensional del objeto en la forma de una nube de puntos parcial representativa de al menos parte de la superficie exterior. El sistema comprende también un sistema de transporte en línea para mover el objeto a lo largo de un trayecto predeterminado entre la fuente de radiación, por ejemplo la fuente de radiación ionizante, y el detector de imágenes, y a través de un campo de visión del explorador tridimensional.

25 El sistema comprende también un procesador adaptado para obtener la proyección radiográfica del detector de imágenes; obtener la nube de puntos parcial a partir del explorador tridimensional; ajustar un modelo de forma deformable del objeto de la nube de puntos para obtener un modelo de la superficie de la superficie exterior, en donde dicho ajuste comprende la estimación de la superficie exterior completa y la posición del objeto ajustando dicho modelo de forma deformable; crear un modelo sólido del modelo de la superficie teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia, en donde dicha creación del modelo sólido comprende llenar en un volumen definido por dicho modelo de la superficie con dicha distribución del valor gris, correspondiendo dicho volumen a las coordenadas espaciales del objeto cuando es formada la imagen por el detector de imágenes; simular una radiografía de referencia a partir del modelo sólido, en donde dicha simulación de dicha radiografía de referencia comprende simular un proceso de formación de imágenes del modelo sólido por proyección hacia adelante usando dicha configuración espacial predeterminada del detector de imágenes y la fuente de radiación en dichas coordenadas espaciales; y comparar la radiografía de referencia con la radiografía de la proyección para detectar y/o medir las desviaciones internas de las medidas del objeto con respecto al objeto de referencia. El procesador está además adaptado para crear el modelo sólido y/o simular la radiografía de referencia teniendo en cuenta una configuración espacial relativa predeterminada del detector de imágenes, la fuente de radiación y el explorador tridimensional.

La fuente de radiación, por ejemplo la fuente de radiación ionizante, es una fuente de radiación estacionaria y el detector de imágenes es un detector de imágenes estacionario.

45 El explorador tridimensional es un explorador 3D seleccionado del grupo que consta de un explorador lineal de laser, varias cámaras RGB, un explorador 3D óptico, un explorador activo sin contacto que usa emisiones de luz o ultrasonidos, un explorador laser 3D de tiempo de vuelo, un explorador laser 3D basado en triangulación, un explorador laser holográfico conoscópico, un explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema de formación de imágenes ópticas estereoscópicas, un sistema de formación de imágenes fotométricas, un láser lineal en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas.

Un sistema de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede además comprender una pluralidad de fuentes de radiación estacionarias, por ejemplo una pluralidad de fuentes de radiación ionizante estacionarias, y detectores de imágenes estacionarios, que forman una pluralidad de sistemas de imágenes radiográficas.

55 En un sistema de acuerdo con realizaciones de la presente invención el explorador tridimensional puede comprender una luz o fuente de laser estacionaria y un detector de luz estacionario.

En un sistema de acuerdo con realizaciones de la presente invención la fuente de radiación puede comprender una fuente de radiación ionizante adaptada para proporcionar un impulso de exposición de rayos X al objeto, y el detector de imágenes puede comprender un detector de imágenes digitales adaptado para proporcionar datos de

imágenes del objeto correspondientes al impulso de exposición a los rayos X como una entrada al procesador. El explorador tridimensional puede ser adaptado para proporcionar una exposición a los rayos de luz al objeto y puede comprender un detector digital para proporcionar datos relacionados con el objeto obtenido por la exposición a los rayos de luz como una entrada al procesador.

- 5 En un aspecto adicional, la presente invención puede también relacionarse con el uso de un método de acuerdo con realizaciones del primer aspecto de la presente invención para identificar objetos anómalos transportados en una línea de transporte en un proceso industrial.

- 10 Unos aspectos particulares y preferidos de la invención se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes que se acompañan. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden ser combinadas con características de las reivindicaciones independientes y con características de otras reivindicaciones dependientes según sea procedente y no solamente como explícitamente expuestas en las reivindicaciones.

Estos y otros aspectos serán evidentes a partir de y aclaradas con referencia a la o las realizaciones descritas posteriormente.

### **Breve descripción de los dibujos**

- 15 La Figura 1 ilustra un método ejemplar de acuerdo con realizaciones de la presente invención.  
La Figura 2 un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención.  
La Figura 3 ilustra un sistema ejemplar de acuerdo con realizaciones de la presente invención.  
La Figura 4 ilustra un procedimiento de normalización superficial usando un muestreo esférico que se refiere a realizaciones de la presente invención.
- 20 La Figura 5 muestra un ejemplo de técnicas básicas de procesamiento de imágenes que pueden ser aplicadas en un paso de calibración de un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención.  
La Figura 6 muestra una forma parametrizada de acuerdo con un modelo de forma que puede ser aplicado en realizaciones de la presente invención.
- 25 La Figura 7 ilustra un proceso de tiempo de ejecución en un ejemplo relacionado con realizaciones de la presente invención.  
La Figura 8 ilustra además el flujo del proceso de dicho ejemplo, con relación a realizaciones de la presente invención.  
La Figura 9 ilustra combinaciones forma-defecto relativas a un ejemplo para demostrar realizaciones de la presente invención.
- 30 Los dibujos son solamente esquemáticos y son no limitativos. En los dibujos el tamaño de algunos elementos puede estar exagerado y no dibujado a escala con fines ilustrativos.  
Cualesquiera signos de referencia en las reivindicaciones no serán realizados como limitando el alcance.  
En los diferentes dibujos los mismos signos de referencia se refieren a los mismos o análogos elementos.

### **Descripción detallada de las realizaciones ilustrativas**

- 35 La presente invención se describirá con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos pero la invención no está limitada a esto sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos descritos son solamente esquemáticos y no limitativos. En los dibujos el tamaño de algunos de los elementos puede estar exagerado y no dibujados a escala por fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no se corresponden con las reducciones reales para la práctica de la invención.
- 40 Además, los términos primero, segundo y los similares en la descripción y en las reivindicaciones se usan para distinguir entre elementos similares y no necesariamente para describir una secuencia, bien temporalmente, espacialmente, en la clasificación o en cualquier otra manera. Se ha de comprender que los términos así usados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención aquí descritas son capaces de operación en otras secuencias distintas de las aquí descritas o ilustradas.
- 45 Además, los términos superior, inferior y similares en la descripción y en las reivindicaciones se usan con fines ilustrativos y no necesariamente para describir posiciones relativas. Se ha de comprender que los términos así usados son intercambiables en circunstancias apropiadas y que las realizaciones de la invención aquí descritas son capaces de operación en otras orientaciones distintas de las aquí descritas o ilustradas.

Se ha de tener en cuenta que el término “que comprende”, usado en las reivindicaciones, no debería ser interpretado como estando limitado a los medios listados a continuación; no excluye otros elementos o pasos. Por lo tanto debe ser interpretado como especificando la presencia de las figuras, números enteros, pasos o componentes especificados, aunque no impide la presencia o la adición de una o más de otras características, números enteros, pasos o componentes, o grupos de ellos. Por lo tanto, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende unos medios A y B” no debería estar limitado a dispositivos que constan solamente de los componentes A y B. Significa que con respecto a la presente invención, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

La referencia a lo largo de esta especificación a “una sola realización” o “una realización” significa que una determinada propiedad, estructura o característica descritas en conexión con la realización está incluida en al menos una realización de la presente invención. Por lo tanto, las apariciones de las frases “en una sola realización” o “en una realización” en diversos lugares a lo largo de esta especificación no necesariamente todas se refieren a la misma realización pero pueden. Además, las propiedades, estructuras o características particulares pueden ser combinadas de cualquier manera apropiada, como sería evidente a una persona de experiencia ordinaria en la técnica a partir de esta exposición, en una o más realizaciones.

De forma similar se debería apreciar que en la descripción de realizaciones ejemplares de la invención, diversas características de la invención son a veces agrupadas conjuntamente en una única realización, figura o descripción de ella con el fin de racionalizar la exposición y ayudar a entender uno o más de los diversos aspectos de la invención. No obstante, este método de exposición no debe ser interpretado como reflejando una intención de que la invención reivindicada requiera más características que las expresamente expuestas en cada reivindicación. Más bien, como reflejan las siguientes reivindicaciones, los aspectos inventivos descansan en menos que todas las características de una única realización anteriormente expuesta. Por lo tanto, las reivindicaciones que siguen a la descripción detallada están aquí expresamente incorporadas en esta descripción detallada, con cada reivindicación consistente por sí sola como una realización independiente de esta invención.

Además, mientras que algunas realizaciones aquí descritas incluyen algunas pero no otras características incluidas en otras realizaciones, las combinaciones de características de diferentes realizaciones supuestamente están dentro del alcance de la invención, y forman diferentes realizaciones, como comprenderían los expertos en la técnica. Por ejemplo, en las siguientes reivindicaciones, cualquiera de las realizaciones reivindicadas puede ser usada en cualquier combinación.

En la presente descripción se exponen numerosos detalles específicos. No obstante, se comprende que las realizaciones de la invención pueden ser puestas en práctica sin estos detalles específicos. En otros casos métodos, estructuras y técnicas bien conocidos no han sido mostradas con detalle con el fin de no ocultar una comprensión de esta descripción.

En donde en realizaciones de la presente invención se hace referencia a “valor gris”, se hace referencia a un valor digital pixel o voxel. Particularmente, se puede referir a un valor escalar dependiente del lugar definido sobre un sistema de coordenadas de pixel o voxel. El valor gris de un pixel puede ser indicativo de una cantidad de radiación recibida por un correspondiente detector de imágenes, por ejemplo siendo proporcional a, o teniendo una relación funcional monótona con, una intensidad o magnitud de radiación. Por ejemplo, en imágenes volumétricas, el valor gris voxel puede ser proporcional a una medida local de atenuación de la calidad de radiación usada para la formación de imágenes por el material presente en el lugar voxel. Por ejemplo, para la formación de imágenes de rayos X, este valor gris voxel puede ser proporcional al coeficiente de atenuación lineal correspondiente a la atenuación de esta radiación de rayos X en el volumen voxel. Por ejemplo, el valor gris voxel puede ser normalizado en unidades Hounsfield.

En un primer aspecto la presente invención se refiere a un método de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto. Este método de inspección no destructiva comprende mover, usando un sistema de transporte en línea, un objeto que es al menos parcialmente transparente a una radiación de una calidad predeterminada, por ejemplo un objeto transparente a los rayos X, a lo largo de un trayecto predeterminado entre una fuente de radiación estacionaria para emitir la radiación de esta calidad predeterminada, por ejemplo una fuente de radiación ionizante, y un detector de imágenes estacionario, por ejemplo una fuente de radiación estacionaria, y un detector de imágenes estacionario, y a través de un campo de visión de un explorador tridimensional. El explorador tridimensional se selecciona del grupo que consta de un explorador lineal de laser, varias cámaras RGB, un explorador óptico 3D, un explorador activo sin contacto que usa emisiones de luz o de ultrasonidos, un explorador laser 3D de tiempo de vuelo, un explorador de laser 3D basado en triangulación, un explorador laser holográfico conoscópico, un explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema de formación de imágenes ópticas estereoscópicas, un sistema de formación de imágenes fotométricas, un láser lineal en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas. El método comprende además formar imágenes del objeto usando el detector de imágenes detectando la radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través del objeto para obtener una radiografía de la proyección de una estructura interna del objeto. El método comprende además explorar una superficie exterior del objeto usando el explorador tridimensional para obtener datos de exploración tridimensionales del objeto en la forma de una nube de puntos parcial representativa de al menos parte de la superficie exterior.

El método comprende además ajustar, usando un procesador, un modelo de forma deformable del objeto a la nube de puntos para obtener un modelo de la superficie de la superficie exterior, y crear, usando el procesador, un modelo sólido del modelo de la superficie teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia, por ejemplo un objeto de referencia sin defectos. El método comprende también simular, usando el procesador, una radiografía de referencia del modelo sólido y comparar, usando el procesador, la radiografía de referencia con la radiografía de proyección para detectar y/o medir las desviaciones internas, por ejemplo defectos, del objeto con respecto al objeto de referencia.

El paso de crear el modelo sólido y/o el paso de simular la radiografía de referencia tiene en cuenta una predeterminada configuración espacial relativa del detector de imágenes, la fuente de radiación y el explorador tridimensional, por ejemplo tal como para generar la radiografía de referencia en un sistema de coordenadas acorde con el sistema de coordenadas de la proyección radiográfica obtenida por la formación de imagen del objeto.

Las realizaciones de la presente invención pueden relacionarse con un método, y el método relacionado, usando una simulación radiográfica, que puede implicar usar una radiación ionizante para detectar una imagen radiográfica para la inspección de los defectos internos en un objeto, en el que las características adicionales pueden ser detectadas, por ejemplo más características sutiles, en el objeto comparando la imagen radiográfica obtenida con una radiografía simulada basada en una imagen de reconstrucción tridimensional completa de un objeto de referencia, ajustado a las limitaciones geométricas de una forma del objeto detectado por un explorador tridimensional.

Un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención pueden combinar un explorador tridimensional, por ejemplo comprendiendo una disposición de línea de laser y/o varias cámaras RGB, con proyección de imágenes, por ejemplo una proyección de formación de imágenes ópticas de un objeto que es (al menos parcialmente) ópticamente transparente o una radiografía de rayos X de un objeto que es (al menos parcialmente) a los rayos X. Con referencia a la Figura 2, los principios de trabajo de un método de acuerdo con realizaciones son ilustrados esquemáticamente. De acuerdo con realizaciones, un explorador 3D puede producir una nube de puntos parcial 31 explorando un objeto físico 37. La nube de puntos parcial 31 puede entonces ser usada para estimar la superficie exterior completa 32 del objeto ajustando un modelo de forma deformable, por ejemplo un modelo de forma estadística. Este modelo de la superficie, por ejemplo el modelo "hueco" del objeto, puede entonces ser llenado con una distribución de densidad de referencia, por ejemplo una distribución del valor gris representativa de un objeto promedio sin defectos, para producir un volumen completo 33 a partir del cual una radiografía 34 puede ser simulada 35, por ejemplo usando una proyección hacia adelante. Esta radiografía simulada 34 puede entonces ser comparada con una radiografía medida 36, por ejemplo una radiografía medida 36 obtenida por formación de imágenes 40 por proyección del objeto físico 37 usando un sistema de rayos X. Debido a que la radiografía simulada representa un objeto perfecto sin defectos, las diferencias observadas 41 pueden contribuir a los defectos internos.

Con referencia a la Figura 1, se muestra un método ejemplar 10 de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Por ejemplo, tal método 10 puede ser un método para un control de inspección no destructiva automático en tiempo real, por ejemplo para detectar daños o un defecto, de un objeto, por ejemplo un artículo o producto tal como un vegetal o una fruta. El método puede ser adaptado para un ensayo no destructivo de un artículo o producto, por ejemplo por el uso de formación de imágenes por radiación ionizante. El método puede ser adaptado para inspección de productos en línea, por ejemplo para control de calidad automatizado y/o selección de un objeto, por ejemplo de un artículo o producto, tal como un vegetal o una fruta, que sea al menos parcialmente transparente a la radiación ionizante, por ejemplo un objeto transparente a los rayos X. No obstante, las realizaciones de la presente invención no están necesariamente limitadas a éstos, por ejemplo un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención pueden igualmente relacionarse con la inspección del producto en línea de un objeto ópticamente transparente, por ejemplo un vidrio o un objeto polimérico transparente. Además, la persona experta comprenderá que las realizaciones de la presente invención pueden igualmente relacionarse con otras calidades de radiación, tal como rayos de electrones, radiación infrarroja, radiación ultravioleta, radiación de hadrones, u ondas acústicas.

Este método 10 de inspección no destructiva comprende mover 11 un objeto que es al menos parcialmente transparente a una calidad de radiación predeterminada, por ejemplo un objeto al menos parcialmente transparente a los rayos X, a lo largo de un trayecto predeterminado entre una fuente de radiación, para emitir una radiación que tenga dicha calidad de radiación, y un detector de imágenes y a través de un campo de visión de un explorador tridimensional. El campo de visión del explorador tridimensional se refiere a un volumen espacial en el que el explorador puede operar, cuando un objeto está situado en este volumen espacial, para obtener datos de exploración de este objeto.

Particularmente, el objeto puede ser movido a lo largo de este trayecto predeterminado mediante un sistema de transporte en línea, por ejemplo en una cinta transportadora. De acuerdo con realizaciones de la presente invención, el movimiento 11 del objeto puede comprender mover el objeto en línea en una cinta transportadora. De acuerdo con realizaciones de la presente invención, el movimiento 11 del objeto puede comprender mover el objeto a una velocidad en el intervalo de 0,1 m/s a 0,7 m/s, por ejemplo en una cinta transportadora.

La fuente de radiación y el detector de imágenes pueden formar un sistema de proyección de imágenes, por ejemplo un sistema de proyección de imágenes radiográficas, por ejemplo un sistema de proyección de imágenes de rayos X. La fuente de radiación puede por ejemplo comprender un tubo Röntgen, una fuente de radiación gamma o un acelerador lineal de partículas para generar una radiación de rayos X desde un objetivo adecuado.

5 La fuente de radiación ionizante y el detector de imágenes pueden estar dispuestos estáticamente con respecto al sistema de transporte en línea. Por ejemplo, la fuente de radiación y el detector de imágenes pueden comprender una fuente de radiación estacionaria y un detector de imágenes estacionario. La fuente de radiación ionizante y el detector de imágenes pueden por ejemplo ser fijados encima de una cinta transportadora en la que el objeto es transportado.

10 La fuente de radiación y el detector de imágenes pueden formar un sistema de formación de imágenes radiográficas. De acuerdo con realizaciones de la presente invención, el objeto puede ser movido 11 en línea a través de un campo de radiación de cada uno de una pluralidad de sistemas de producción de imágenes radiográficas, cada uno comprendiendo una fuente de radiación ionizante y un detector de imágenes, y a través de una etapa de exploración de al menos un explorador tridimensional. Por ejemplo, el método puede comprender combinar las nubes de puntos  
15 que caracterizan la superficie exterior del objeto obtenida por varios exploradores tridimensionales en diferentes lugares a lo largo de una línea de transporte tal como para mejorar el ajuste del modelo del modelo de forma a los datos de la nube de puntos agregados y/o evaluados. Por ejemplo, el método puede comprender formar imágenes del objeto a lo largo de diferentes ángulos de proyección por varios sistemas de formación de imágenes radiográficas, y realizar los pasos de simular 16 una referencia radiográfica y comparar 17 la referencia radiográfica  
20 para cada una de las radiografías de protección obtenidas desde los diferentes ángulos de proyección. De este modo, un defecto sutil que podría quedar oculto en una primera proyección radiográfica podría ser detectado en otra radiografía de la proyección.

El método 10 comprende además obtener unas imágenes 12 del objeto usando el detector de imágenes detectando la radiación emitida por la fuente de radiación. Esta radiación es además transmitida a través del objeto cuando se  
25 propaga desde la fuente al detector, por ejemplo tal como para codificar la información interna con respecto al objeto en las variaciones espaciales de la intensidad del campo de radiación sobre la superficie de detección del detector. Por lo tanto, se obtiene una radiografía de la proyección de una estructura interna del objeto.

El método 10 comprende además explorar 13 una superficie exterior del objeto usando un explorador tridimensional para obtener datos de exploración tridimensionales del objeto en la forma de una nube de puntos representativa de  
30 al menos parte de la superficie exterior. Por ejemplo, tal explorador tridimensional puede comprender un explorador lineal de laser o varias cámaras RGB. Tal explorador 3D puede ser un dispositivo adaptado para analizar un objeto físico para recoger datos sobre su forma, tal como para recoger datos que pueden ser usados para construir un modelo tridimensional parcial o digital completo del objeto. El explorador tridimensional puede ser un explorador óptico 3D. El explorador 3D puede comprender un explorador activo sin contacto, por ejemplo usando emisiones de luz o de ultrasonidos. Por ejemplo, el explorador 3D puede comprender un explorador de laser 3D de tiempo de vuelo, un explorador de laser 3D basado en triangulación o un explorador de laser holográfico conoscópico. El explorador 3D puede también comprender un explorador 3D de luz estructurado o un explorador 3D de luz modulado. El explorador 3D puede también comprender un explorador 3D pasivo sin contacto, tal como un sistema estereoscópico de formación de imágenes ópticas, un sistema de formación de imágenes fotométricas o un sistema  
40 de formación de imágenes de siluetas.

En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, durante el movimiento 11 del objeto a lo largo del trayecto predeterminado, el objeto puede primero atravesar el explorador tridimensional. Una nube de puntos procesada puede ser producida por el explorador tridimensional cuando el objeto pasa el explorador. Esta nube de puntos puede ser incompleta, por ejemplo debido a los artefactos de exploración en un lado inferior del objeto en  
45 donde es soportado por una cinta transportadora. Tal incompletitud puede ser eliminada estimando la cara exterior completa del objeto por medio de un modelo de forma, por ejemplo un modelo de forma estadístico, como se describe aquí más adelante. El objeto puede entonces, consecuentemente, atravesar el campo de visión del detector de imágenes en donde la imagen es formada 12.

Esta exploración 13 de la superficie exterior puede comprender la generación de una nube de puntos parcial del objeto, por ejemplo una nube de puntos parcial representativa de al menos un segmento superficial exterior del objeto que está posicionado y orientado en una línea de visión directa del explorador tridimensional. Por ejemplo, el explorador tridimensional puede ser adaptado para generar una nube de puntos tridimensional de puntos en la superficie exterior del objeto. Por ejemplo, el explorador tridimensional puede comprender una línea de laser y un sistema de cámaras RGB.

El método 10 comprende además ajustar 14 un modelo de forma del objeto a la nube de puntos, usando un procesador, para obtener un modelo de superficie de la superficie exterior. Por ejemplo, este ajuste puede comprender estimar una superficie exterior completa y la posición, por ejemplo una posición y orientación del objeto ajustando el modelo de forma a la nube de puntos, por ejemplo a la nube de puntos parcial. Ajustando el modelo de forma se puede obtener una superficie completa, por ejemplo un descriptor de la forma hueca. Este ajuste puede  
60 comprender determinar una pluralidad de parámetros del modelo de forma, por ejemplo determinando una

combinación lineal de componentes, un vector de traslación, un vector de rotación y/o una matriz de transformación afín. Este ajuste puede comprender un algoritmo de búsqueda para encontrar una combinación de parámetros correspondiente a un máximo o un mínimo de una función objetiva, por ejemplo tal como maximizar el solape entre el modelo de forma y la nube de puntos medida o minimizar una desviación entre el modelo de forma y la nube de puntos medida.

5 El método 10 comprende también crear 15 un modelo sólido del modelo de superficie, usando el procesador, teniendo en cuenta una distribución del valor gris, por ejemplo una distribución normalizada del valor gris, de un objeto de referencia, por ejemplo un objeto de referencia sin defectos. La creación del modelo sólido puede comprender llenar un volumen definido por el modelo de la superficie con la distribución del valor gris, en el cual este volumen se corresponde con las coordenadas espaciales del objeto cuando la imagen es formada por el detector de imágenes. Este volumen puede por ejemplo corresponder a las coordenadas espaciales del objeto debido a la estimación de la posición y/o la orientación del objeto en el ajuste antes mencionado.

10 Por ejemplo, un volumen de referencia normalizado, por ejemplo obtenido de un conjunto de datos CT previamente obtenidos de muestras de objetos de referencia, puede ser usado para producir una aproximación de una imagen volumétrica de un objeto de referencia conforme al modelo de forma. El modelo sólido puede por ejemplo comprender una imagen volumétrica, por ejemplo una aproximación de una exploración CT del objeto de referencia, obtenido por un muestreo posterior de un volumen de referencia normalizado usando un esquema de normalización superficial invertido. El objeto de referencia puede ser representativo de un ejemplo perfecto del objeto que ha pasado debajo del explorador tridimensional. Este ejemplo perfecto puede referirse a un ejemplo perfecto que tiene una forma de adaptación al objeto explorado, en la medida en que es conseguible por la parametrización del modelo de forma, aun no teniendo defectos o desviaciones anormales en la estructura interna de las muestras de objetos usadas para construir el volumen de referencia normalizado.

15 El método 10 comprende también simular 16 una radiografía de referencia del modelo sólido usando el procesador. Este paso de simulación de la radiografía de referencia puede comprender simular un proceso de formación de imágenes del modelo sólido por la proyección hacia adelante usando la configuración espacial predeterminedada del detector de imágenes y la fuente de radiación en las coordenadas espaciales del objeto cuando son captadas por el detector de imágenes. Esta radiografía de referencia puede por ejemplo ser simulada a partir del modelo sólido, por ejemplo la imagen volumétrica, usando un método de proyección hacia adelante.

20 El paso de crear 15 el modelo sólido y/o el paso de simular 16 la radiografía de referencia tiene en cuenta una configuración espacial relativa predeterminedada del detector de imágenes, la fuente de radiación y el explorador tridimensional, por ejemplo como para generar la radiografía de referencia en un sistema de coordenadas proporcionado con el sistema de coordenadas de la radiografía de la proyección obtenida por la formación de imágenes del objeto.

25 El método 10 comprende además comparar 17 la radiografía de referencia con la proyección radiográfica, usando el procesador, para detectar y/o medir las desviaciones internas, por ejemplo defectos, del objeto con respecto al objeto de referencia. Por ejemplo, la radiografía de la proyección medida puede ser comparada con la radiografía de referencia simulada, en la que cualesquiera diferencias entre la proyección modelada y medida puede ser indicativa de la presencia de defectos. Por lo tanto, si se detecta una diferencia sustancial, el objeto puede ser clasificado como defectuoso. El resultado de esta comparación puede llamar la atención de un operario, o puede ser considerado como una señal a un clasificador automático para retirar automáticamente el objeto de la línea de transporte en línea.

Un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención comprende obtener el modelo de forma y la distribución del valor gris en la forma de un modelo de forma predeterminedada y una distribución del valor gris como una entrada para ser recibida por el procesador.

35 Un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede comprender determinar el modelo de forma y la distribución del valor gris en una fase de calibrado, como se describe también más adelante.

40 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el modelo de forma y la distribución del valor gris pueden ser creados 21 adquiriendo unas exploraciones CT 22 de una pluralidad de muestras de objetos de referencia fuera de línea, por ejemplo en una fase de calibración inicial antes de la aplicación en línea del método, y determinando el modelo 23 de forma, por ejemplo construyendo un modelo CAD o aplicando un método de modelado de la superficie, y la distribución 24 del valor gris a partir de estas exploraciones CT para ser usadas como un conocimiento previo durante los pasos de ajuste del modelo de forma y crear el modelo sólido en el tiempo de ejecución, por ejemplo durante la aplicación en línea del método. Un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención puede comprender tal paso inicial de crear 21 el modelo de forma y la distribución del valor gris.

55 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la determinación 23 el modelo de forma puede comprender determinar un modelo de la superficie extrayendo 25 una pluralidad de superficies exteriores, que corresponden a la pluralidad de muestras de objetos de referencia, a partir de las exploraciones CT usando técnicas de procesamiento de imágenes. Por ejemplo, las técnicas de procesamiento de imágenes conocidas en la técnica

5 pueden ser aplicadas para construir tal superficie exterior, por ejemplo la segmentación de imágenes, la detección de bordes, la depuración morfológica, el preprocesamiento de imágenes y/o el posprocesamiento de imágenes. Tal procesamiento de imágenes puede por ejemplo comprender también el registro de imágenes de la pluralidad de exploraciones CT, por ejemplo la alineación de las imágenes en posición y orientación, para facilitar la detección de características espaciales correspondientes en el paso de determinar las correspondientes características espaciales discutidas más adelante.

10 La determinación 23 del modelo de forma puede además comprender la determinación 26 de una pluralidad de características espaciales correspondientes en la pluralidad de superficies exteriores, por ejemplo detectando cada característica espacial en cada una de la pluralidad de superficies exteriores de modo que cada característica espacial de la superficie exterior de un objeto de muestra corresponda a una característica de adaptación de la superficie exterior de cada uno de los otros objetos de muestra. Por ejemplo, tales características espaciales correspondientes pueden ser referidas como señales de referencia.

La determinación 23 del modelo de forma puede además comprender determinar 27 una posición media y/o una variación en la posición de cada una de las correspondientes características espaciales.

15 La determinación 23 del modelo de forma puede además comprender determinar el modelo de forma teniendo en cuenta las posiciones medias de cada una de la pluralidad de características espaciales correspondientes, por ejemplo teniendo en cuenta las posiciones medias y las variaciones de las posiciones.

20 De este modo, de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el modelo de forma puede tener unos parámetros libres que pueden ser ajustados para tener en cuenta la posición del objeto, la orientación del objeto y/o los modos de variación del objeto representativo de las variaciones en posición de la pluralidad de las correspondientes características espaciales.

25 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, el modelo de forma puede comprender un modelo lineal que parametriza una forma del objeto como una combinación lineal de una forma media y una pluralidad de modos de variación. Por ejemplo, esta forma media puede corresponder a una superficie construida usando las posiciones medias de cada una de la pluralidad de características espaciales correspondientes, mientras que los modos de variación pueden corresponder a las superficies de diferencia con respecto a esta forma media, de modo que el tramo lineal de la forma media y los modos de variación abarquen la pluralidad de superficies exteriores determinadas a partir de las exploraciones CT.

30 En un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención, la distribución del valor gris puede ser determinada 24 como una imagen normalizada del volumen de referencia a partir de la pluralidad de exploraciones CT. Por ejemplo, la determinación 24 del valor gris puede comprender la aplicación de un esquema de normalización superficial para obtener la imagen normalizada del volumen de referencia de una población de objetos representados por las muestras de objetos, de modo que la distribución del valor gris es definida independiente de la forma de cualquier objeto individual. De acuerdo con realizaciones de la presente invención, la distribución del valor gris puede ser determinada por la aplicación de un esquema 28 de muestreo esférico normalizado para obtener la imagen normalizada del volumen de referencia. Por ejemplo, la distribución del valor gris puede ser obtenida del conjunto de datos CT realizando un muestreo esférico, por ejemplo desde el centro de cada exploración, normalizado para la superficie de la muestra del objeto, por ejemplo normalizando la distancia radial con la superficie a uno para cada línea de muestreo radial. Por ejemplo, un esquema de muestreo esférico normalizado puede ser aplicado a cada uno de la pluralidad de exploraciones CT individualmente, y las imágenes del volumen de referencia normalizado resultante pueden ser agregadas aplicando un compendio estadístico sobre el conjunto de imágenes del volumen de referencia normalizado, por ejemplo promediando la pluralidad de imágenes del volumen de referencia.

45 De acuerdo con realizaciones de la presente invención, la creación 15 del modelo sólido puede comprender aplicar 29 un esquema de un esquema de muestreo esférico normalizado inverso para ajustar la imagen del volumen de referencia normalizado al modelo de la superficie. Por ejemplo, la imagen del volumen de referencia normalizado puede definir la estructura interna común de varias muestras de objetos de referencia explorados, independientemente de su forma. De este modo, cualquier forma definida por el modelo de la superficie de un objeto particular a mano puede ser llenada con esta imagen del volumen de referencia normalizado aplicando un esquema de muestreo esférico normalizado inverso.

55 En un segundo aspecto, la presente invención se refiere también a un sistema de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto. El sistema de inspección no destructiva comprende una fuente de radiación estacionaria, por ejemplo una fuente de radiación para emitir una radiación de una calidad de radiación predeterminada, por ejemplo una fuente de radiación ionizante, y un detector de imágenes estacionario, formando la fuente y el detector un sistema de formación de imágenes radiográficas para detectar la radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través de un objeto que es al menos parcialmente transparente a dicha calidad de radiación predeterminada, por ejemplo un objeto al menos parcialmente transparente a los rayos X, para proporcionar una radiografía de la proyección de una estructura interna del objeto. El sistema comprende además un explorador tridimensional para explorar una superficie exterior del objeto para obtener datos de exploración

tridimensionales del objeto en la forma de una nube de puntos parcial representativa de al menos parte de la superficie exterior. El explorador tridimensional es seleccionado del grupo que consta de un explorador lineal de laser, varias cámaras RGB, un explorador 3D óptico, un explorador activo sin contacto que usa luz o emisiones de ultrasonidos, un explorador de laser 3D de tiempo de vuelo, un explorador de laser 3D basado en triangulación, un explorador laser holográfico conoscópico, un explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema de formación de imágenes ópticas estereoscópicas, un sistema de formación de imágenes fotométricas, un láser lineal en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas. El sistema comprende además un sistema de transporte en línea para mover el objeto a lo largo de un determinado trayecto entre la fuente de radiación ionizante y el detector de imágenes y a través de un campo de visión del explorador tridimensional.

Un sistema de acuerdo con realizaciones de este segundo aspecto de la presente invención puede poner en práctica un método de acuerdo con realizaciones del primer aspecto de la presente invención. Por lo tanto, las características de un sistema de acuerdo con realizaciones del segundo aspecto de la presente invención pueden ser claras a una persona experta en la técnica a la vista de la descripción antes proporcionada en relación con realizaciones el primer aspecto de la presente invención. Igualmente, las características de un método de acuerdo con realizaciones del primer aspecto de la presente invención pueden ser claras a una persona experta en la técnica a la vista de la descripción antes proporcionada en relación con realizaciones del segundo aspecto de la presente invención.

El sistema de inspección no destructiva comprende además un procesador adaptado para obtener la radiografía de la proyección del detector de imágenes y para obtener la nube de puntos del explorador tridimensional. Este procesador está además adaptado para ajustar un modelo de forma deformable del objeto a la nube de puntos para obtener un modelo de superficie de la superficie exterior completa y la posición del objeto. El procesador está también adaptado para crear un modelo sólido de este modelo de la superficie teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia. El procesador está además adaptado para simular una radiografía de referencia de este modelo sólido y para comparar la radiografía de referencia con la radiografía de la proyección para detectar y/o medir las desviaciones internas del objeto con respecto al objeto de referencia. El procesador está también adaptado para crear el modelo sólido y/o simular la radiografía de referencia teniendo en cuenta una configuración espacial relativa predeterminada del detector de imágenes, la fuente de radiación y el explorador tridimensional.

Con referencia a la Figura 3, se muestra un sistema 50 de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Este sistema 50 de inspección no destructiva puede ser un dispositivo multimodal de formación de imágenes, por ejemplo, combinando un explorador 3D y un dispositivo de rayos X de formación de imágenes, para la inspección del artículo en línea.

El sistema 50 de inspección no destructiva comprende una fuente 2 de radiación ionizante y un detector 3 de imágenes, formando la fuente y el detector un sistema de formación de imágenes radiográficas para detectar la radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través de al menos un objeto parcialmente transparente a los rayos X para proporcionar una radiografía de proyección de una estructura interna del objeto. La fuente 2 de radiación ionizante puede ser una fuente de radiación estacionaria para emitir radiación, por ejemplo una fuente de rayos X estacionaria para emitir una radiación de rayos X. El detector 3 de imágenes puede ser un detector de imágenes estacionario, por ejemplo un detector de imágenes de rayos X digital, para captar una imagen de proyección o radiografía del objeto, por ejemplo un artículo o producto, detectando la radiación cuando es transmitida a través del objeto. La fuente 2 de radiación puede emitir la radiación ionizante en la dirección de un punto central de un área sensible a la radiación de detector 3 de imágenes, por ejemplo puede emitir radiación en una dirección media, por ejemplo a lo largo de una dirección 7 del eje del haz principal, la cual puede corresponder a una línea matemática que conecta el foco de la fuente a una ubicación central de píxeles en el detector 3. El detector 3 de imágenes puede constar de una línea de píxeles del detector, o una matriz bidimensional de píxeles del detector.

La fuente 2 de radiación puede emitir una radiación 7 en un ángulo cónico predeterminado tal como para cubrir, preferiblemente, de forma sustancial toda el área sensible a la radiación del detector 3 de imágenes. La fuente 2 puede también proporcionar un flujo de radiación suficientemente alto como para obtener una buena relación señal ruido cuando se forman imágenes del objeto 6 está usando el detector 3 de imágenes.

La fuente de radiación 2 puede comprender una fuente de luz, por ejemplo una fuente de luz para emitir luz en el intervalo espectral infrarrojo, próximo al infrarrojo, óptica y/o ultravioleta. La fuente de radiación 2 puede comprender una fuente de ondas acústicas.

La fuente 2 de radiación puede comprender una fuente radioactiva, por ejemplo un emisor gamma, o un tubo de rayos X. La fuente de rayos X puede por ejemplo emitir fotones que tienen unas energías en el intervalo de 100 eV a 400 eV, por ejemplo en el intervalo de 1 keV a 200 keV, por ejemplo en el intervalo de 10 keV a 100 keV. No obstante las realizaciones de la presente invención pueden también relacionarse con otros tipos de radiación, por ejemplo particularmente a tipos de radiación que puede ser transmitida a través del objeto para ser probado a lo largo de una trayectoria sustancialmente lineal, por ejemplo sin reflexión, refracción o difracción significativas de la onda de radiación, mientras que la absorción de la radiación en el objeto para ser probado no es ni muy alto ni muy

bajo, de modo que se puede conseguir un intervalo de contraste aceptable en la imagen radiográfica. Se ha de tener en cuenta que una persona experta es muy consciente de los tipos de radiación adecuados, como se conocen en la técnica, para la formación de imágenes por radiación de un objeto específico dadas sus propiedades materiales y dimensiones espaciales, y tiene conocimiento de las correspondientes fuentes y detectores de imágenes conocidos en la técnica para tal tipo de radiación, que de este modo pueden ser usados como la fuente de radiación 2 y el detector de imágenes 3 de acuerdo con realizaciones de la presente invención.

El detector de imágenes 3 está adaptado para captar una imagen de proyección o radiografía del objeto 6 detectando la radiación cuando es transmitida a través del objeto 6. La imagen de proyección puede ser obtenida por medio de un detector de imágenes 3 que está adaptado para captar, por ejemplo obtener o detectar, partes de la imagen de proyección en diferentes momentos en el tiempo, por ejemplo obteniendo la imagen de proyección no simultáneamente y/o en plazos que corresponden a plazos de exposición mutuamente disyuntivos. Por ejemplo, el detector de imágenes puede comprender una disposición unidimensional de píxeles, por ejemplo una disposición en línea, y una imagen bidimensional puede ser recogida mientras se mueve el objeto a través del campo de visión del sistema de formación de imágenes radiográficas.

El sistema 50 comprende además un explorador tridimensional 1 para explorar una superficie exterior del objeto para obtener datos de exploración tridimensional del objeto en la forma de una nube de puntos representativa de al menos parte de la superficie exterior. Este explorador tridimensional puede ser un dispositivo de exploración 3D, por ejemplo comprendiendo una línea de laser o varias cámaras RGB. El explorador 3D 1 puede comprender una o más fuentes 8 de explorador para emitir una radiación 9, y uno o más detectores 51 para captar la radiación reflejada 9 del objeto 6 mientras se mueve sobre el sistema de transporte 5. La fuente 8 de explorador puede comprender una o más fuentes de radiación, por ejemplo comprendiendo un laser y/o una fuente de luz. El explorador 1 puede usar una triangulación laser; en la que el detector 51 recoge la luz reflejada en el objeto. Usando una triangulación trigonométrica, usando una distancia predeterminada con exactitud entre la fuente de laser y el detector, así como un ángulo predeterminado con exactitud entre el laser y el sensor, el sistema puede calcular la distancia desde el punto en la superficie del objeto al explorador. El explorador 3D 1 puede también usar una técnica basada en impulsos, también conocida como exploración de tiempo de vuelo basada en una velocidad constante de la luz y un período de tiempo en el que la luz de una fuente de laser alcanza el objeto y se refleja de nuevo hacia el detector. El explorador 3D 1 puede operar en un modo de desplazamiento de fase, en el que la potencia de un haz de laser es modulada, y el explorador es adaptado para comparar la fase de la luz de laser enviada y la luz de laser en el detector después de la reflexión en el objeto. El explorador 3D 1 puede también comprender un sistema conoscópico, en el que un haz de laser es proyectado sobre la superficie y la inmediata reflexión a lo largo del mismo trayecto del rayo es transmitida a través de un cristal conoscópico y proyectada sobre un detector. El explorador 1 puede también usar un método estructurado de exploración de luz que proyecta una serie de patrones lineales sobre el objeto y detecta el borde del patrón proyectado con una cámara, y calcular la distancia igualmente.

El explorador 3D 1 puede producir datos de nube de puntos de la topología de la superficie tridimensional del objeto 6, el cual puede ser procesado, por ejemplo almacenado y procesado, en el procesador 4 descrito además más adelante, por ejemplo almacenado y procesado en un dispositivo de visión artificial. La nube de puntos puede constar de un número de puntos, por ejemplo coordenadas que identifican tales puntos, en la superficie del objeto 6, el cual permite que un modelo de forma geométrica sea ajustado a la nube como para describir la superficie del objeto de una manera completamente geométrica. Para limitar la nube de puntos necesaria para ajustar la forma geométrica, el procesador 4, por ejemplo el dispositivo de visión artificial, puede incluir una base de datos de formas de referencia que han sido guiados exteriormente de la categoría del objeto.

El sistema comprende también un sistema de transporte en línea 5 para mover el objeto a lo largo de un trayecto predeterminado entre la fuente de radiación ionizante y el detector de imágenes y a través de un campo de visión del explorador tridimensional. El trayecto predeterminado atraviesa de este modo un campo de visión del sistema de formación de imágenes radiográficas, por ejemplo tal como para permitir la formación de imágenes del objeto mientras se mueve a lo largo del trayecto predeterminado. El trayecto predeterminado también atraviesa un campo de visión del explorador tridimensional, por ejemplo tal como para permitir la exploración del objeto mientras se mueve a lo largo del trayecto predeterminado. Este sistema de transporte en línea puede comprender una línea de transporte para mover el objeto, por ejemplo el artículo o producto, entre la fuente de radiación y el detector de imágenes y, por ejemplo, bajo el explorador 3D.

El sistema de transporte en línea 5 puede comprender una línea de transporte para mover el objeto 6 a lo largo de un trayecto predeterminado a través del explorador 3D 1 y entre la fuente de radiación 2 y el detector de imágenes 3. Por ejemplo, la línea de transporte 5 puede ser adaptada para mover una corriente de objetos 6 a lo largo del trayecto predeterminado, por ejemplo moviendo cada objeto 6 en la corriente a lo largo del trayecto.

El objeto 6 puede así ser movido a lo largo de un trayecto en el explorador 3D 1 y entre el detector 3 y la fuente de radiación 2, por ejemplo a través de un campo de visión observado por el detector 3, por ejemplo un detector de rayos X digital, con respecto a un campo de radiación, por ejemplo un haz de rayos X, emitido por la fuente de radiación 2, por ejemplo un haz de rayos X divergente emitido desde un punto focal sustancialmente puntual de un tubo de rayos X y sustancialmente dirigido hacia un detector de imágenes de rayos X.

Esta línea de transporte puede por ejemplo comprender una cinta transportadora, por ejemplo una cinta transportadora que se mueve sobre la cual el artículo es soportado mientras es movido a lo largo de la trayectoria o un transportador aéreo del cual el artículo está colgando mientras es movido a lo largo de la trayectoria.

5 En operación, el objeto 6 para ser inspeccionado puede viajar a lo largo de una trayectoria formada por el trayecto predeterminado, en el volumen de espacio entre la fuente 8 del explorador y el detector de imágenes 51, por ejemplo de tal manera que las imágenes obtenidas por el detector de imágenes 51 puedan ser usadas por el procesador 4 para proporcionar una forma en 3D suficientemente precisa del objeto, es decir suficientemente precisa a la vista de las exigencias de inspección del producto impuestas por una aplicación específica.

10 En operación, el objeto 6 para ser inspeccionado puede entonces viajar a lo largo de una trayectoria formada por el trayecto predeterminado, en el volumen de espacio entre la fuente de radiación 2 y el detector de radiación 3, por ejemplo de tal manera que las imágenes obtenidas por el detector de imágenes 3 puedan ser usadas por el procesador 4 para proporcionar una imagen de proyección suficientemente precisa del objeto posicionado en la misma orientación en la línea de transporte como cuando viaja a través del explorador 3D, por ejemplo suficientemente precisa a la vista de las exigencias de inspección del producto impuestas por una aplicación específica. Alternativamente, un cambio de orientación y/o posición predeterminados del objeto cuando es explorado por el explorador 3D 1 y cuando son formadas imágenes por el sistema de formación de imágenes radiográficas puede ser tenido en cuenta por el procesador 4.

15 El sistema 50 de inspección no destructiva comprende además un procesador 4. Este procesador puede comprender un dispositivo de visión artificial. Tal dispositivo de visión artificial puede comprender una unidad de reconstrucción geométrica 3D para determinar la forma exterior tridimensional del objeto, por ejemplo el artículo o producto, basándose en los datos proporcionados por los datos del explorador tridimensional. El dispositivo de visión artificial puede comprender una unidad de representación del volumen en 3D para generar una representación interna del producto, y una unidad de generación de radiografías para determinar una imagen radiográfica de la representación interna del producto.

25 El procesador 4 puede tener una memoria asociada para almacenar códigos y/o datos de programas ejecutables. El procesador puede comprender, o puede estar integrado en un computador o estación de trabajo de procesamiento digital. El procesador puede comprender un soporte físico de uso general para ejecutar un código de soporte lógico tal como para instruir al procesador para realizar algunas o todas las tareas como se describen aquí más adelante. El procesador puede también comprender tal código de soporte lógico, por ejemplo almacenado en una memoria o en un portador de datos legible por un lector de almacenamiento de datos conectado a o parte del procesador. El procesador puede comprender un soporte físico adaptado específicamente para realizar algunas o todas las tareas aquí descritas más adelante, por ejemplo un circuito integrado de aplicación específica, un dispositivo de matriz de puerta programable de campo o un dispositivo similar de soporte físico programable conocido en la técnica. El procesador puede estar provisto de datos que representan una imagen del objeto, por ejemplo a través de una conexión al sistema de formación de imágenes radiográficas, y con datos que representan una exploración tridimensional del objeto, por ejemplo por medio de una conexión al explorador tridimensional. El procesador puede además almacenar estos datos en una memoria asociada con el procesador. Opcionalmente, un interfaz de usuario que tiene al menos una salida puede ser conectado operativamente al procesador, de modo que un usuario pueda recibir una salida del procesador y/o instrucciones de entrada al procesador.

30 El procesador 4 está adaptado para obtener la radiografía de la proyección del detector de imágenes y para obtener la nube de puntos del explorador tridimensional. Este procesador 4 puede formar una unidad de visión artificial para complementar la cadena de formación de imágenes después de la exploración 3D y de la recogida de imágenes radiográficas.

35 Este procesador está además adaptado para ajustar un modelo de forma del objeto a la nube de puntos para obtener un modelo de la superficie exterior del objeto. De este modo, la nube de puntos puede ser usada para calcular una superficie exterior completa del objeto ajustando un modelo de forma (SM) del objeto. Los modelos de forma pueden comprender cualquier método técnico para describir la forma tridimensional de un objeto. El modelo de forma puede ser rígido o deformable. Un modelo deformable puede ser interpretado como una generalización de una representación rígida. Así, los métodos y sistemas de acuerdo con realizaciones de la presente invención se refieren a modelos deformables. En ejemplos comparativos, por ejemplo cuando son aplicados a modelos rígidos, el grado de libertad relacionado con la deformación de la forma estará ausente. Un ejemplo de modelos rígidos son los resultantes del diseño ayudado por ordenador convencional (CAD). Tales modelos CAD pueden ser ampliamente disponibles para productos en entornos de producción, en donde productos sustancialmente idénticos necesitan ser inspeccionados. En este caso, el explorador 3D servirá para evaluar la exacta posición traslacional y rotacional del producto, por ejemplo sobre un transportador, basado en la nube de puntos medida. Un ejemplo de modelos de forma deformable de acuerdo con realizaciones de la presente invención son modelos de forma estadística (SSM), tales como los descritos por Heimann y otros en "Modelos de forma estadística para segmentación de imágenes médicas en 3D: una revista", *Análisis de imágenes médicas*, 13(4), páginas 543-63. En realizaciones de acuerdo con la presente invención el modelo de forma puede comprender un SSM obtenido por descomposición del componente principal, por ejemplo resultante en una forma media para la población del objeto y sus posibles desviaciones. No obstante, en otras realizaciones de acuerdo con la presente invención, otros métodos para definir el modelo de

forma pueden ser aplicadas, por ejemplo métodos paramétricos tales como los métodos paramétricos basados en armónicos esféricos. En caso de un modelo de forma deformable, el explorador 3D 1 puede ayudar a evaluar la posición traslacional y rotacional del objeto, y adicionalmente, puede servir para determinar un mejor ejemplo de ajuste de una población modelo a la forma del objeto del objeto 6.

5 El procesador 4 está también adaptado para crear un modelo sólido de este modelo de superficie teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia. Por ejemplo, el procesador 4, o sea la unidad de visión artificial, puede llenar el modelo de forma 3D de un objeto 6 para obtener una representación interna o una imagen volumétrica del objeto. De acuerdo con realizaciones de la presente invención se puede proporcionar una representación interna del objeto generando una distribución dentro de la representación del objeto que proporciona valores de una propiedad física del objeto que influye en la interacción de la radiación aplicada por la fuente de radiación ionizante 2 con el objeto. En una realización esta propiedad puede ser una densidad que determina la absorción de la energía de radiación de rayos X. En un ejemplo esta distribución de valores puede ser espacialmente uniforme dentro del objeto, por ejemplo el modelo completo en 3D del objeto es llenado con el mismo valor. Ésta puede, por ejemplo, ser una opción apropiada para objetos compuestos de un material que tiene una densidad uniforme. En otro ejemplo, esta distribución es normalizada para la superficie aplicando un muestreo esférico desde el centro de la forma en donde el radio es normalizado para la distancia a la superficie, como está ilustrado en la Figura 4. En otro ejemplo más, esta distribución puede ser normalizada aplicando un registro no rígido reversible a una muestra de referencia.

20 La distribución de valores puede además no ser uniforme, aunque dependientes de la posición. En realizaciones de acuerdo con la presente invención, la representación del objeto puede ser subdividida en elementos de volumen discretos, referidos como voxels, a los que pueden ser asignados valores diferentes. Esta distribución de valores puede representar unas estructuras internas en el objeto, por ejemplo, en un caso en el que el objeto consta de partes hechas de materiales diferentes que tienen una densidad diferente, por ejemplo incluyendo posiblemente la presencia de cavidades internas.

25 Tal distribución de valores puede ser obtenida de una base de datos 52 de conocimiento previo que contiene descripciones de referencia del objeto normalizado, por ejemplo descriptores en una forma legible por máquina y analizable por máquina, incluyendo por ejemplo la forma 3D y la representación interna y posiblemente otros datos estadísticos. Esta base de datos puede ser obtenida adoptando exploraciones volumétricas 3D de un número de muestras de objetos ejemplares, por ejemplo artículos sin defectos. Tales exploraciones volumétricas pueden por ejemplo ser obtenidas usando un sistema de formación de imágenes y de reconstrucción por tomografía, y puede ser usado para crear un modelo del objeto en consideración para ser usado como conocimiento previo durante el tiempo de ejecución.

30 La distribución de valores en la base de datos puede ser normalizada para la población de formas del objeto, es decir como está representado en la Figura 4, y puede ser muestreado de nuevo en la distancia medida de la forma descrita, o sea el modelo formado ajustado que forma un modelo superficial del objeto explorado, resultando así una representación, por ejemplo una imagen volumétrica, del objeto en investigación con referencia a las propiedades internas. Los métodos para obtener datos de volumen normalizados de la superficie pueden incluir unos esquemas de muestreo esférico normalizados de la superficie y registros basados en fluidos no rígidos para un volumen de referencia. El esquema de muestreo normalizado puede permitir obtener una distribución de densidades espaciales medias de una población de muestras, independientemente de la forma de las muestras individuales.

40 El procesador 4 está además adaptado para simular una radiografía de referencia a partir de su modelo sólido. El procesador está también adaptado para crear el modelo sólido y/o simular la radiografía de referencia teniendo en cuenta una configuración espacial relativa del detector de imágenes, la fuente de radiación y el explorador tridimensional. El procesador 4, es decir la unidad de visión artificial, puede producir una imagen de proyección de referencia o radiografía del objeto de referencia o artículo lleno usando el modelo de forma 3D medido y lleno y unas características predeterminadas de la fuente de radiación 2 y el detector 3, usando unos algoritmos de proyección adecuados. Las características predeterminadas pueden incluir un comportamiento policromático de la fuente y el detector, la posición de la fuente y el detector, el tamaño del detector y el tamaño del pixel, el tamaño del punto focal etc. Los algoritmos de proyección adecuados pueden incluir el trazado de líneas y los algoritmos de integración para determinar la cantidad de la energía de radiación que pasa a través del artículo.

50 El procesador 4 está también adaptado para comparar la radiografía de referencia, o sea obtenida por simulación, con la radiografía de la proyección, por ejemplo obtenida por una medición realizada por el sistema de formación de imágenes radiográficas, para detectar y/o medir las desviaciones internas de medida del objeto con respecto al objeto de referencia.

55 Este procesador 4, por ejemplo la unidad 4 de visión artificial, puede además ser programada para aplicar algoritmos de visión artificial para la detección de defectos en el objeto del que se ha formado una imagen. Por ejemplo, el procesador 4 puede comprender un ordenador o un conjunto de ordenadores programados para aplicar tales algoritmos de visión artificial. Las imágenes pueden ser analizadas para extraer información sobre posibles defectos combinando, tal como sustrayendo y/o analizando, la imagen de proyección de referencia con la imagen real captada por el detector 3. La reconstrucción y el análisis de visión del ordenador pueden ser tratados con una

60

potencia de cálculo adecuadamente adaptada y algoritmos bien desarrollados, como están disponibles en el estado de la técnica y pueden ser fácilmente aplicables por una persona experta. No obstante, se debe observar que una selección conveniente de algoritmos con una proyección adecuada y detección de defectos puede tener un efecto sobre las tolerancias señal-ruido en la cadena de formación de imágenes. Por lo tanto, es una ventaja adicional de realizaciones de la presente invención que pueda ser usada una mejora de las tolerancias de calidad en radiografías y/o detección de referencia para aumentar el rendimiento del sistema 50 sin necesitar una amplia reconfiguración del sistema 50.

Por ejemplo, la radiografía de referencia puede ser comparada con la radiografía de la proyección, por ejemplo usando una métrica de diferencia de imágenes para detectar una desviación del objeto de la población de muestras representada por el modelo de forma y la distribución del valor gris, por ejemplo aplicando un criterio de umbral de la métrica de diferencia de imágenes. No obstante, si se detecta una anomalía, otros algoritmos de visión artificial pueden ser usados para clasificar o determinar además la naturaleza de la anomalía. Es una ventaja que, para un sistema de transporte en línea que alimenta a una corriente de objetos a través de componentes de formación de imágenes que tienen una baja tasa de defectos, los algoritmos complejos de visión artificial para clasificar o determinar la naturaleza de los defectos necesitan solamente ser activados no frecuentemente. De este modo, un examen simple puede ser proporcionado de acuerdo con realizaciones de la presente invención que pueden no indebidamente impedir sustancialmente el rendimiento de tal sistema en línea.

Por ejemplo, el sistema 50 de inspección no destructiva puede ser un sistema o aparato de selección de objetos que comprende un procesador, por ejemplo teniendo una memoria asociada para almacenar programas y datos, de un ordenador o estación de trabajo. Tal sistema o aparato de selección de objetos puede además comprender un dispositivo que combina un explorador 3D, por ejemplo usando una línea de laser y/o varias cámaras RGB, y un sistema de radiografía de rayos X. Una salida de este dispositivo puede ser acoplada a una entrada del procesador del ordenador o estación de trabajo. En tal sistema o aparato de selección de objetos, que combina radiografías de rayos X, exploración 3D y procesamiento, el sistema de radiografía de rayos X puede proporcionar impulsos de exposición a la fuente de rayos X al objeto y puede proporcionar datos de imágenes del objeto correspondientes a tal impulso de exposición, por ejemplo por medio de un detector activable (digital), a la entrada del procesador. El procesador puede ser activable para obtener cualquier conjunto de datos de imágenes. El explorador 3D puede proporcionar una exposición del objeto a los rayos de luz y puede proporcionar datos de exploración del objeto correspondiente a tal impulso de exposición, por ejemplo por medio de un detector activable (digital), a la entrada del procesador, el cual es activable para obtener cada conjunto de datos de la exploración. El sistema o aparato de la selección de objetos puede además estar caracterizado por que el procesador, cuando está activado, ajusta un modelo de forma y un modelo de densidad a nubes de puntos parciales captadas por sistemas de detección 3D clásicos. En una realización de la presente invención el procesador del sistema antes descrito puede procesar los datos de exploración 3D en una nube de puntos, estimar su superficie exterior ajustando un modelo de forma (SM) para crear un modelo de superficie del objeto, usar una distribución del valor gris normalizado de la superficie para llenar el modelo de la superficie para producir una imagen de volumen completo de un objeto de referencia conforme a la forma del objeto, por ejemplo un objeto de referencia perfecto que no tenga defectos o anomalías pero la misma o similar forma, simular una radiografía de este modelo sólido obtenido llenando en el modelo superficial y analizar las diferencias entre la imagen radiográfica, por ejemplo la radiografía medida del objeto, y la radiografía simulada de la imagen del volumen completo perfecta para calcular o mostrar los defectos interno del objeto.

Una ventaja de las realizaciones de la presente invención es que los objetos anómalos pueden ser identificados usando un modelo de forma y una distribución del valor gris como conocimiento previo, de modo que un sistema de acuerdo con realizaciones de la presente invención pueda ser fácilmente adaptado a diferentes tipos de objetos proporcionando un modelo de forma adecuado y la distribución del valor gris como conocimiento previo.

Además a partir de aquí, se proporcionan ejemplos relativos a realizaciones de la presente invención. Estos ejemplos no deberían ser interpretados como limitando el alcance de la presente invención de cualquier manera, sino que son solamente proporcionados con fines informativos, por ejemplo para ayudar a la persona experta a la comprensión de los principios de trabajo de realizaciones de la presente invención y para ayudar a la persona experta en reducir la invención para practicar.

En un primer ejemplo, un conjunto de datos de formación se usa para formar los modelos usados en realizaciones de acuerdo con la presente invención. Este conjunto de datos de formación fue obtenido tomando exploraciones CT de un número de muestras sin defectos en un sistema industrial CT. En este ejemplo el modelo comprende dos partes: una forma exterior y una distribución de densidad interna.

Después de la reconstrucción de las exploraciones CT, la forma exterior de las muestras exploradas fue extraída usando técnicas básicas de procesamiento de imágenes tales como segmentación, detección de bordes y pre y post procesamiento, ilustrados en la Figura 5. Los puntos correspondientes, por ejemplo señales, en todas estas superficies fueron extraídos, después de lo cual se determinó la variación en posición de cada punto. El resultado de este proceso es una forma media con diversos modos de variación, que representan la variabilidad de la forma. Cualquier forma en la población representada por las muestras obtenidas puede entonces ser reconstruida por medio de una combinación lineal de la forma media y sus modos de variación, por ejemplo usando un método

expuesto por Heimann y otros, al que previamente se ha referido anteriormente. La Figura 6 muestra varias formas de manzanas al azar generadas con el método antes descrito.

El interior del objeto fue modelado con una distribución de densidad espacial media obtenida del conjunto de datos CT. Esto se hizo realizando un muestreo esférico desde cada centro de cada exploración, normalizado por la superficie de la muestra, como está ilustrado en la Figura 4. Tal esquema de muestreo normalizado permite obtener la distribución de densidad espacial media de una población de muestras, independientemente de la forma de las muestras individuales. Esto significa que el interior promedio de todas las muestras exploradas se describe independientemente de su forma. Esto también significa que cualquier forma obtenible variando los parámetros del modelo de forma antes descrito puede ser llenada con esta distribución de referencia aplicando un esquema de muestreo esférico normalizado inverso.

Durante el tiempo de ejecución el objeto puede primero atravesar un explorador 3D. Este explorador 3D puede estar basado en una línea de laser, cámaras RGB o cualquier otro sistema que produzca una nube de puntos tridimensional. La nube de puntos resultante puede ser incompleta, por ejemplo debido a que tales sistemas comúnmente pueden no ser capaces de detectar la parte inferior de un objeto. En combinación con el modelo de forma que fue construido durante la formación, como se ha descrito anteriormente, puede sin embargo ser usado para aproximar la forma exterior completa del objeto. Una vez que esta forma –hueca - es conocida, puede ser combinada con la distribución de densidad espacial media mediante un muestreo posterior de esta distribución, por ejemplo usando un esquema de muestreo normalizado inverso. La forma “llena” resultante puede ser una aproximación de una exploración CT de un ejemplo perfecto del objeto que pasó debajo del explorador 3D, por ejemplo teniendo la misma o muy similar forma pero asumiendo que no están presentes defectos en él. Una radiografía de rayos X puede ser simulada calculando una proyección hacia delante de este modelo. En un paso final el objeto pasa a través de un explorador de radiografías de rayos X. La radiografía “medida” resultante es comparada con la “simulada”. Debido a que el objeto modelado es perfecto, por ejemplo sin defectos, cualesquiera diferencias entre la proyección modelada y medida indica la presencia de objetos, permitiendo así ser clasificada como “defectuosa” o “no conforme”. Este proceso en el tiempo de ejecución se ilustra esquemáticamente en la Figura 7. Además, el flujo del proceso se ilustra esquemáticamente en la Figura 8.

La Figura 2 muestra una optimización y simulación relativa a realizaciones de la presente invención. Esta ilustración ejemplifica un procedimiento aplicado a una muestra cúbica rígida con una anomalía esférica con una diferencia de densidad del 10%. La nube de puntos medida y el modelo 3D proporcionado se usan para evaluar la posición rotacional y traslacional de la muestra. Cuando combinada con la distribución de densidad del conocimiento previo se obtiene un perfecto caso del objeto, del cual se simula una radiografía. Ésta es entonces comparada con una radiografía medida para identificar la anomalía.

La Figura 8 muestra una optimización y simulación similares relativas a realizaciones de la presente invención. Esta ilustración muestra un procedimiento aplicado a una muestra con una forma variable compleja: una manzana con una anomalía esférica con una diferencia del 10% con respecto al tejido circundante. La muestra que pasa a través de la instalación resulta en una nube de puntos medida y una radiografía medida. El modelo de forma deformable proporcionado es combinado con la nube de puntos y la distribución de densidad media para resultar en un perfecto ejemplo de la muestra. De este perfecto caso se simula una radiografía, la cual es comparada con la radiografía medida para identificar la anomalía.

Otro ejemplo para ilustrar las características y ventajas de un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención se muestran en la Figura 9. La Figura 9 muestra dos formas diferentes, respectivamente un elipsoide 91 y un toroide 92, combinados con diferentes tipos de defectos, por ejemplo defectos elipsoidales, esféricos y toroidales, con una densidad contrastante. En la segunda fila 93 de la figura se muestran unas radiografías de rayos X realizadas desde una orientación al azar de los objetos. En la tercera fila 94, está representada la diferencia entre la radiografía medida, por ejemplo mostrada en la segunda fila 93, y la radiografía simulada obtenida usando la forma 3D sin defectos, por ejemplo mostrada en la primera fila 95. Mientras que puede ser muy difícil distinguir los defectos en las radiografías medidas, estos defectos pueden ser fácilmente visibles en las imágenes de comparación, por ejemplo ilustradas en la tercera fila 94, por ejemplo de tal modo que el procesamiento de las imágenes podría ser fácilmente realizada.

En este ejemplo, 1.250 muestras con intensidades de defectos variables y 1.250 muestras sin defectos fueron procesadas por un método de acuerdo con realizaciones de la presente invención. Una clasificación Bayesiana simple validada cruzada 10 veces usando la suma simple de todos los valores de píxeles en las imágenes de comparación podría correctamente identificar el 97,4% de las muestras como conteniendo un defecto o no. No obstante, para conseguir el mismo resultado de acuerdo con métodos conocidos en la técnica, unos algoritmos independientes de procesamiento de imágenes, por ejemplo incluyendo un umbral, podrían tener que ser desarrolladas para cada combinación forma-defecto para detectar defectos en las radiografías medidas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método (10) de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto, comprendiendo el método de inspección no destructiva:
- 5 - mover (11) usando un sistema de transporte en línea un objeto que es al menos transparente a la radiación de una calidad de radiación predeterminada, a lo largo de un trayecto predeterminado entre una fuente de radiación estacionaria, para emitir radiación de dicha calidad de radiación predeterminada, a lo largo de un trayecto predeterminado entre una fuente de radiación estacionaria, para emitir una radiación de dicha calidad de radiación predeterminada, y un detector de imágenes estacionario, y a través de un campo de visión de un explorador tridimensional;
  - 10 - la formación de imágenes (12) de dicho objeto usando el detector de imágenes detectando dicha radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través de dicho objeto para obtener una proyección radiográfica de una estructura interna de dicho objeto;
  - 15 - explorar (13) una superficie exterior de dicho objeto usando el explorador tridimensional para obtener datos de exploración tridimensionales de dicho objeto en la forma de una nube de puntos representativa de al menos parte de dicha superficie exterior;
  - ajustar (14), usando un procesador, un modelo de forma deformable de dicho objeto a dicha nube de puntos para obtener un modelo de superficie de dicha superficie exterior;
  - crear (15), usando dicho procesador, un modelo sólido de dicho modelo superficial teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia;
  - 20 - simular (16), usando dicho procesador, una radiografía de referencia de dicho modelo sólido; y
  - comparar (17) usando dicho procesador, dicha radiografía de referencia con dicha radiografía de proyección para detectar y/o medir las desviaciones internas de dicho objeto con respecto al objeto de referencia,
- en donde cada paso de crear (15) el modelo sólido y/o dicho paso de simular (16) dicha radiografía de referencia tiene en cuenta una configuración espacial relativa predeterminada de dicho detector de imágenes, dicha fuente de radiación y dicho explorador tridimensional, en donde cada explorador tridimensional es un explorador 3D seleccionado del grupo que consta de un explorador lineal de laser, varias cámaras RGB, un explorador 3D óptico, un explorador sin contacto activo que usa emisiones de luz o ultrasonidos, explorador 3D de tiempo de vuelo, un explorador de laser 3D basado en triangulación, un explorador de laser holográfico conoscópico, un explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema óptico estereoscópico de formación de imágenes, un sistema fotométrico de formación de imágenes, una línea de laser en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas,
- en donde dicha exploración (13) de dicha superficie exterior comprende generar una nube de puntos parcial de dicho objeto, en donde dicho ajuste (14) comprende estimar la superficie exterior completa y la posición del objeto ajustando dicho modelo de forma, en donde dicha creación (15) del modelo sólido comprende llenar en un volumen definido por dicho modelo superficial con dicha distribución del valor gris, dicho volumen correspondiente a las coordenadas espaciales del objeto cuando está formada su imagen por el detector de imágenes, y en donde dicha simulación (16) de dicha radiografía de referencia comprende simular un proceso de formación de imágenes del modelo sólido mediante una proyección hacia adelante usando dicha configuración espacial predeterminada del detector de imágenes y la fuente de radiación en dichas coordenadas espaciales.
- 40 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el modelo de forma y dicha distribución del valor gris son creadas (21) obteniendo (22) exploraciones CT de una pluralidad de muestras del objeto de referencia fuera de línea y determinando el modelo de forma (23) y la distribución del valor gris (24) de dichas exploraciones CT para ser usados como un conocimiento previo durante dichos pasos de ajuste (14) del modelo de forma y creando (15) el modelo sólido en el tiempo de ejecución.
- 45 3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde la determinación (23) de dicho modelo de forma comprende:
- extraer (25) una pluralidad de superficies exteriores, correspondientes a dicha pluralidad de muestras de objetos de referencia, de dichas exploraciones CT usando técnicas de procesamiento de imágenes,
  - 50 - determinar (26) una pluralidad de características espaciales correspondientes en dicha pluralidad de superficie exteriores,
  - determinar (27) una posición media y/o una variación en posición de cada una de dicha pluralidad de características espaciales correspondientes, y

- determinar (23) el modelo de forma teniendo en cuenta dicha posición media, dicho modelo de forma que tiene unos parámetros libres que pueden ser ajustados para la posición del objeto, la orientación del objeto y/o los modos de variación del objeto representativo de dichas variaciones en posición de dicha pluralidad de características espaciales correspondientes.
- 5 4. El método de acuerdo con la reivindicación 3, en donde dicho modelo de forma comprende un modelo lineal que parametriza una forma del objeto como una combinación lineal de una forma media y una pluralidad de modos de variación.
- 5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde dicha distribución del valor gris está determinada (24) como una imagen de volumen de referencia normalizado de dicha pluralidad de exploraciones CT.
- 10 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, en donde la determinación (24) de la distribución del valor gris comprende aplicar un esquema de normalización de la superficie para obtener la imagen del volumen de referencia de una población de objetos representados por dichas muestras de objetos independientes de la forma de cualquier objeto individual.
- 15 7. El método de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la determinación (24) de la distribución del valor gris comprende aplicar (28) un esquema de muestreo esférico normalizado para obtener la imagen del volumen de referencia normalizado y en donde la creación (15) de dicho modelo sólido comprende aplicar (29) un esquema de muestreo esférico normalizado inverso para ajustar la imagen del volumen de referencia normalizado a dicho modelo superficial.
- 20 8. El método de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en el que dicho movimiento (11) de dicho objeto comprende mover dicho objeto en línea sobre una cinta transportadora.
- 9. El método de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en donde, durante dicho movimiento (11) de dicho objeto a lo largo de dicho trayecto predeterminado, dicho objeto primero pasa a través de dicho explorador tridimensional, y a continuación, consecuentemente, pasa a través del campo de visión del detector de imágenes.
- 25 10. El método de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en donde dicho objeto se mueve (11) en línea a través de un campo de radiación de cada uno de un sistema de formación de imágenes radiográficas, comprendiendo cada uno una fuente de radiación ionizante y un detector de imágenes, y a través de una etapa de exploración de al menos un explorador tridimensional.
- 30 11. El método de acuerdo con cualquiera de las anteriores reivindicaciones, en donde dicha fuente de radiación y dicho detector de imágenes están estadísticamente dispuestos con respecto a dicho sistema de transporte en línea.
- 12. Un sistema (50) de inspección no destructiva para la inspección en línea de un objeto (6), comprendiendo el sistema de inspección no destructiva:
  - 35 - una fuente de radiación (2) y un detector (3) de imágenes que forman un sistema de formación de imágenes radiográficas para detectar la radiación emitida por la fuente de radiación y transmitida a través de un objeto (6) que es al menos parcialmente transparente a dicha radiación, para proporcionar una radiografía de la proyección de una estructura interna de dicho objeto;
  - 40 - un explorador tridimensional (1) para explorar una superficie exterior de dicho objeto (6) para obtener datos de exploración tridimensional de dicho objeto en la forma de una nube de puntos parcial representativa de al menos parte de dicha superficie exterior;
  - un sistema de transporte (5) en línea para mover el objeto (6) a lo largo de un trayecto predeterminado entre la fuente de radiación (2) y el detector (3) de imágenes y a través de un campo de visión del explorador tridimensional (1); y
  - 45 - un procesador (4) adaptado para:
    - obtener dicha radiografía de proyección de dicho detector de imágenes,
    - obtener dicha nube de puntos parcial de dicho explorador tridimensional,
    - ajustar un modelo de forma deformable de dicho objeto a dicha nube de puntos parcial para obtener un modelo superficial de dicha superficie exterior, en donde dicho ajuste comprende estimar la superficie exterior completa y
    - 50 la posición del objeto ajustando dicho modelo de forma,
    - crear un modelo sólido de dicho modelo superficial teniendo en cuenta una distribución del valor gris de un objeto de referencia, en donde dicha creación del modelo sólido comprende llenar en un volumen definido por dicho

modelo superficial con dicha distribución del valor gris, correspondiendo dicho volumen a las coordenadas espaciales del objeto cuando ha sido formada la imagen por el detector de imágenes,

5 - simular una radiografía de referencia de dicho modelo sólido, en donde dicha simulación de dicha radiografía de referencia comprende simular un proceso de formación de imágenes del modelo sólido por proyección hacia adelante usando dicha configuración espacial predeterminada del detector de imágenes y la fuente de radiación en dichas coordenadas espaciales; y

- comparar dicha radiografía de referencia con dicha radiografía de proyección para detectar y/o medir las desviaciones internas de dicho objeto con respecto al objeto de referencia,

10 en donde el procesador está además adaptado para crear dicho modelo sólido y/o simular dicha radiografía de referencia teniendo en cuenta una configuración espacial relativa de dicho detector de imágenes, dicha fuente de radiación y dicho explorador tridimensional, en donde dicho explorador tridimensional es un explorador 3D seleccionado del grupo que consta de un explorador lineal de láser, varias cámaras RGB, un explorador óptico 3D, un explorador activo sin contacto que usa emisiones de luz o ultrasonidos, un explorador de láser 3D de tiempo de vuelo, un explorador de láser 3D basado en triangulación, un explorador láser holográfico conoscópico, un  
15 explorador 3D de luz estructurada, un explorador 3D de luz modulada, un sistema de formación de imágenes ópticas estereoscópicas, un sistema de formación de imágenes fotométricas, una línea de láser en combinación con un sistema de cámaras RGB y un explorador 3D de formación de imágenes de siluetas,

en donde dicha fuente de radiación (2) es una fuente de radiación estacionaria y dicho detector de imágenes (3) es un detector de imágenes estacionario.

20 13. El sistema de acuerdo con la reivindicación 12, en donde dicho sistema comprende además una pluralidad de fuentes de radiación (2) estacionarias y detectores (3) de imágenes estacionarios formando una pluralidad de sistemas radiográficos de formación de imágenes.

25 14. El sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, en donde dicha fuente de radiación (2) está adaptada para proporcionar un impulso de exposición de rayos X a dicho objeto (6) y dicho detector de imágenes (3) es un detector de imágenes digitales adaptado para proporcionar datos de imágenes de dicho objeto correspondientes a dicho impulso de exposición de rayos X como una entrada a dicho procesador, y en donde dicho explorador tridimensional (1) está adaptado para proporcionar una exposición de dicho objeto a los rayos luminosos y comprende un detector digital para proporcionar datos relativos a dicho objeto obtenidos por dicha exposición a los rayos luminosos como una entrada a dicho procesador.

30 15. El uso de un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11 para identificar objetos anómalos transportados en una línea de transporte en un proceso industrial.

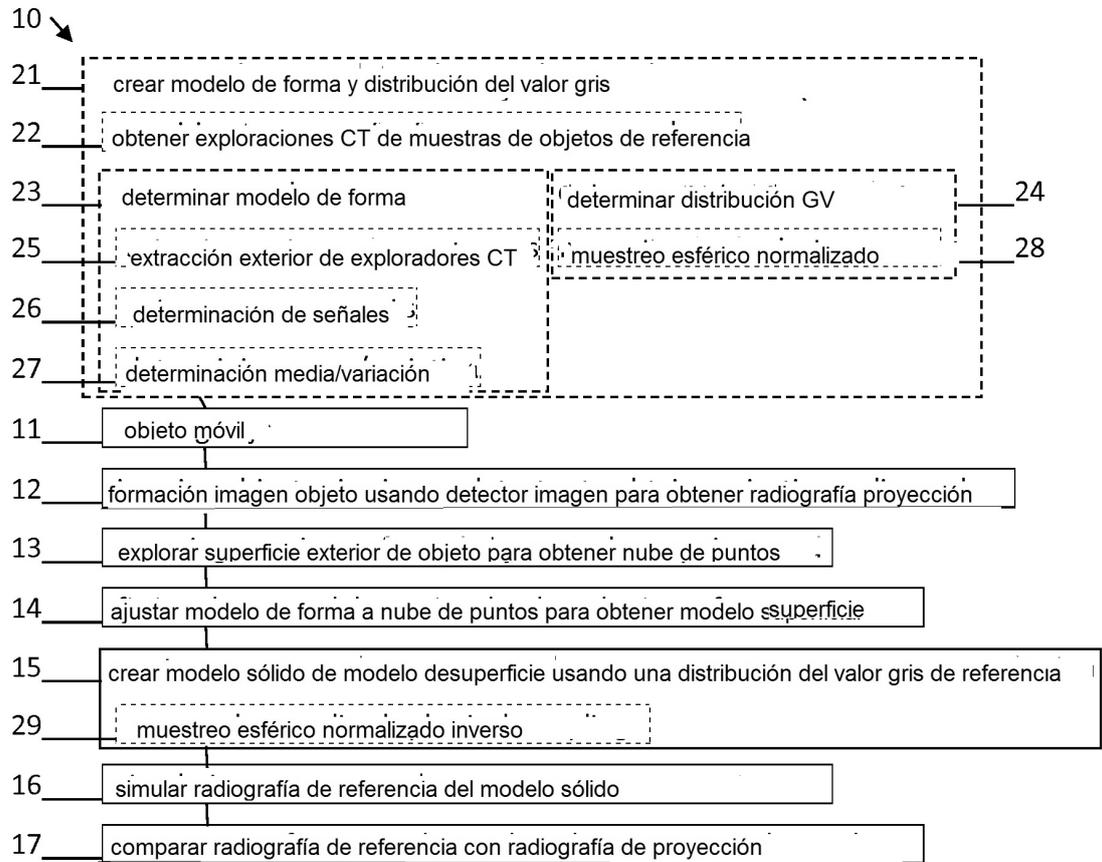


FIG 1

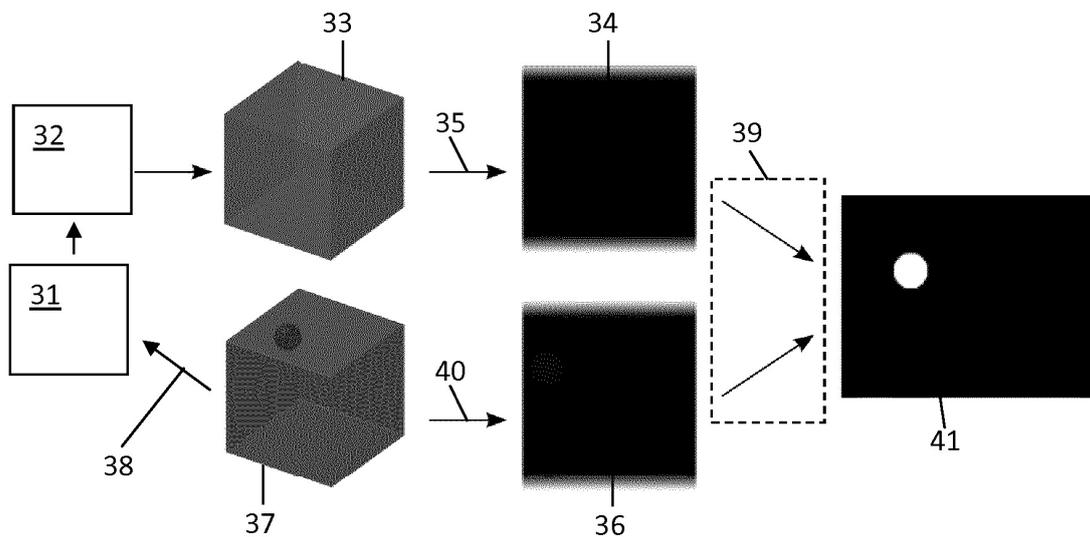
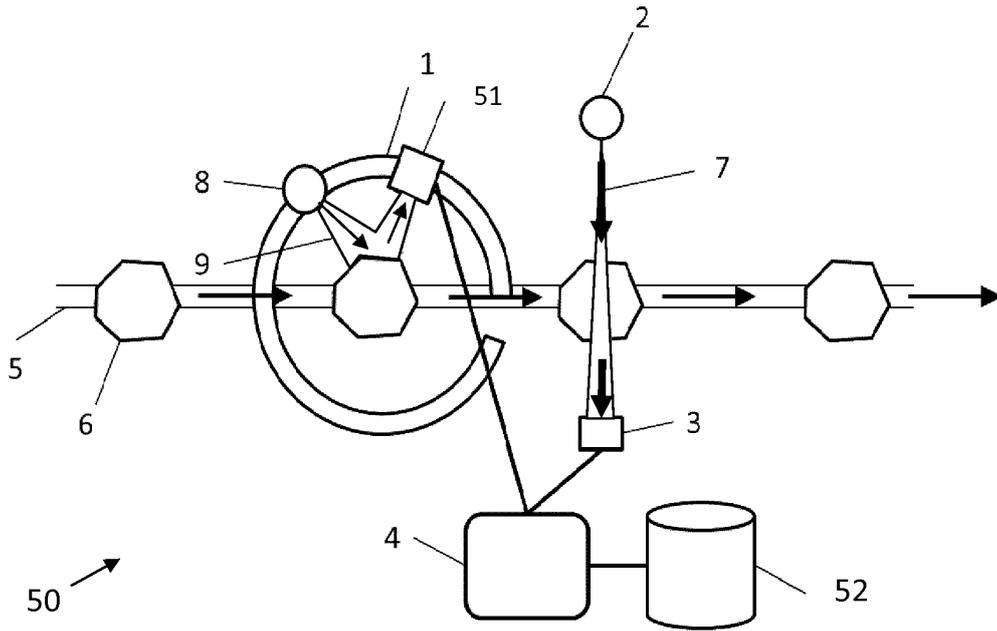
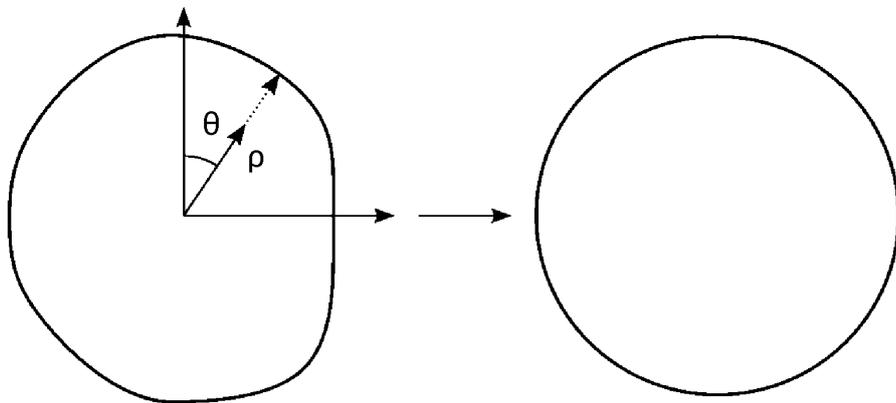


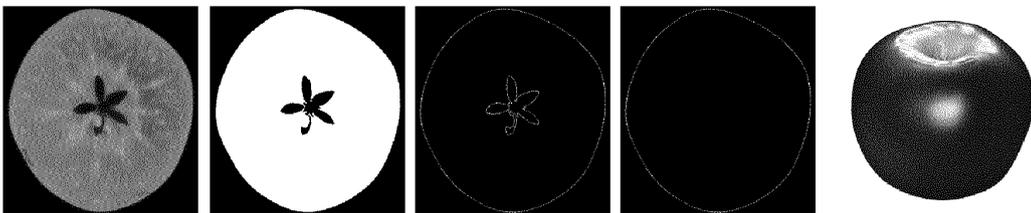
FIG 2



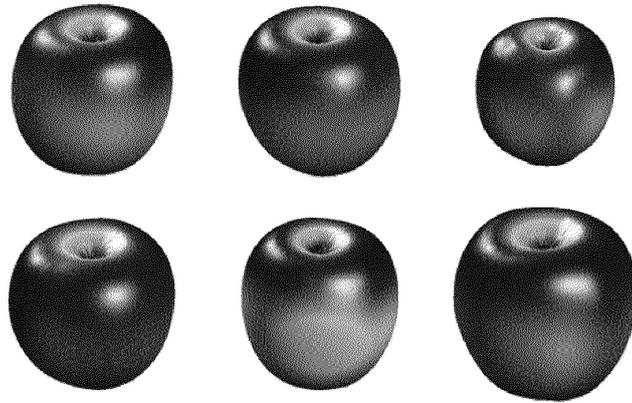
**FIG 3**



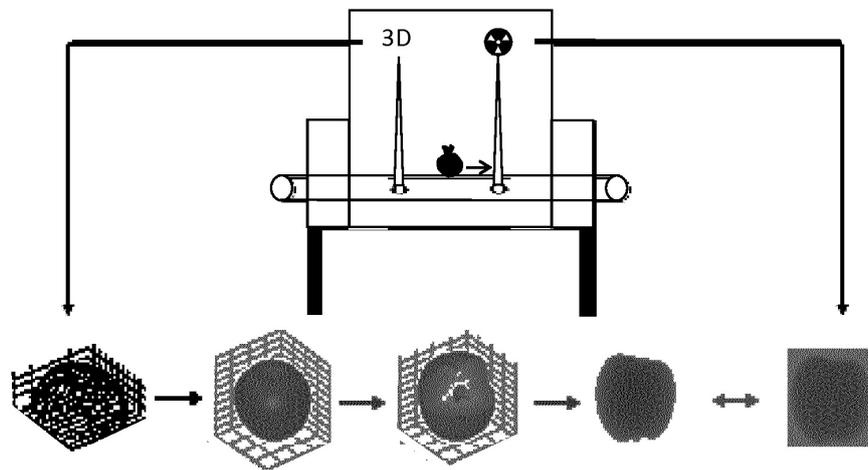
**FIG 4**



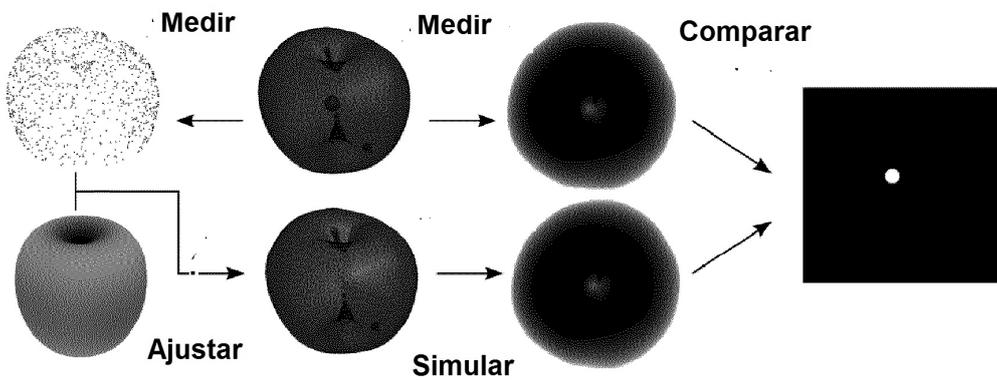
**FIG 5**



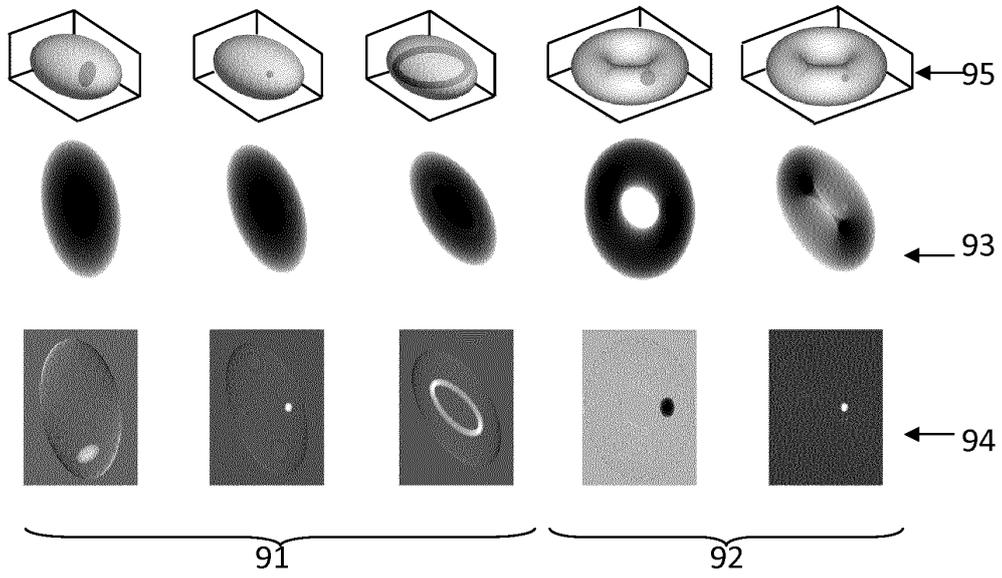
**FIG 6**



**FIG 7**



**FIG 8**



**FIG 9**