(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 801 395**

(51) Int. CI.:

G01B 11/25 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.08.2008 PCT/US2008/074354**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **12.03.2009 WO09032641**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2008 E 08829922 (7)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.04.2020 EP 2188589**

(54) Título: **Sistema y método para la medición tridimensional de la forma de objetos materiales**

(30) Prioridad:

28.08.2007 US 846494

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.01.2021

(73) Titular/es:

ARTEC EUROPE S.À R.L. (100.0%)
20 Rue des Peupliers
2328 Luxembourg, LU

(72) Inventor/es:

LAPA, NIKOLAY L. y
BRAILOV, YURY A.

(74) Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

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

Sistema y método para la medición tridimensional de la forma de objetos materiales

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

La presente descripción se refiere a la medición tridimensional ("3D") de objetos materiales.

Discusión de los antecedentes

Existen dispositivos y métodos conocidos para realizar mediciones sin contacto de una forma de superficie 3D de un objeto material, como mediante el uso de un método de triangulación de luz estructurada. El método de triangulación para medir la forma de la superficie de objetos materiales utiliza la proyección de luz sobre la superficie del objeto que es, generalmente, una amplitud modulada, modulada en el tiempo y / o modulada en longitud de onda ("luz estructurada"). Una imagen de luz estructurada proyectada sobre la superficie de un objeto (en lo sucesivo denominada "la imagen") es capturada por una cámara en una dirección diferente de la dirección en la que se proyecta la luz estructurada. La imagen se analiza para calcular la forma de la superficie del objeto. Una serie de parámetros impactan los resultados del análisis, como los parámetros del sistema particular que forma la luz estructurada y escanea la imagen, la forma de la superficie, la distancia entre la superficie del objeto y los componentes del sistema, la orientación del objeto en relación con los componentes del sistema. Como generalmente la mayoría de los parámetros enumerados se conocen previamente o se identifican fácilmente, con la excepción de la forma del objeto, la distancia entre la superficie del objeto y los componentes del sistema, la orientación del objeto en relación con los componentes del sistema, es posible determinar la forma de la superficie del objeto mediante el uso de un método de triangulación para analizar la imagen.

El documento US20040005092A1 describe una matriz de proyección que comprende una pluralidad de elementos de proyección discretos. Se obtiene una matriz de imágenes de una escena con la luz proyectada sobre ella que se codifica mediante el uso de la matriz de proyección. La información de correspondencia se determina para cada elemento en la matriz de imágenes, donde la información de correspondencia se puede usar para determinar cuál de la pluralidad de elementos en la matriz de proyección corresponde a un elemento de imagen particular. La determinación de la información de correspondencia para cada elemento en el conjunto de imágenes se puede hacer independientemente de la información de correspondencia para otros elementos en el conjunto de imágenes.

Resumen

De acuerdo con aspectos de la presente invención, se proporciona un sistema y un método como se define en las reivindicaciones adjuntas. Los aspectos permiten identificar fácilmente una correspondencia entre los elementos codificados en la luz estructurada y la imagen capturada al restringir el número de direcciones en las cuales la luz estructurada puede deformarse en una dirección conocida, proporcionando de esta manera un sistema y método de forma rápida y precisa obteniendo la medición 3D de la forma de la superficie de los objetos mediante el uso de una metodología de triangulación de luz estructurada sin contacto.

Dibujos

Las características y los objetos mencionados anteriormente de la presente descripción serán más evidentes con referencia a la siguiente descripción tomada junto con los dibujos adjuntos en donde los números de referencia similares denotan elementos similares y en los cuales:

La Figura 1 es una representación en diagrama de bloques de un sistema para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 2 es un diagrama geométrico del diseño y la relación entre un proyector, una cámara y un objeto medido mediante el uso de la triangulación.

La Figura 3 es un ejemplo de una diapositiva y la imagen correspondiente en un sistema de triangulación de luz estructurada.

Las Figuras 4A-4C son ejemplos representativos de patrones de luz estructurados utilizados en un sistema de triangulación de luz estructurada.

La Figura 5 es una ilustración de los meridianos del proyector y la cámara de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 6 es una vista en perspectiva parcial de la regla geométrica de posicionamiento de meridianos en el sistema para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 7 es un ejemplo representativo del posicionamiento relativo geométrico del proyector con respecto a la cámara en el sistema para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 8 es una ilustración de las posiciones del proyector y el meridiano de la cámara para el posicionamiento relativo del proyector y la cámara de la Figura 7.

La Figura 9 es un ejemplo representativo del posicionamiento relativo geométrico del proyector con respecto a la cámara en el sistema para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 10 es una ilustración de las posiciones meridianas del proyector y la cámara para el proyector relativo y la posición de la cámara de la Figura 9.

La Figura 11 es un ejemplo representativo del posicionamiento relativo geométrico del proyector con respecto a la cámara en el sistema para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 12 es una ilustración de las posiciones del proyector y el meridiano de la cámara para el posicionamiento relativo del proyector y la cámara de la Figura 11.

La Figura 13 es una ilustración de una estructura de luz representativa generada por el sistema para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 14 es una ilustración de una imagen representativa capturada tomada de un objeto plano correspondiente a la estructura ligera de la Figura 13 para el posicionamiento relativo del proyector y la cámara de la Figura 7 de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

La Figura 15 es una ilustración de una imagen representativa capturada tomada de un objeto no plano correspondiente a la estructura de luz de la Figura 13 para el posicionamiento relativo del proyector y la cámara de la Figura 7 de acuerdo con una o más modalidades de la presente descripción.

Descripción detallada

En general, la presente descripción incluye un sistema y un método para la medición 3D de la forma de objetos materiales. Ciertas modalidades de la presente descripción se discutirán ahora con referencia a las Figuras mencionadas anteriormente, en donde los números de referencia similares se refieren a componentes similares.

Con referencia ahora a la Figura 1, una ilustración de diagrama de bloques de un sistema 100 para la medición 3D de la forma de objetos materiales se muestra generalmente de acuerdo con una o más modalidades. El sistema 100 incluye una unidad óptica 102 y un dispositivo informático 104. La unidad óptica 102 produce luz estructurada con uno o más proyectores 106. En una modalidad, el proyector 106 es un proyector de diapositivas que incluye una fuente de luz 126 y un dispositivo 122 de modulación de luz para modular la luz emitida desde la fuente de luz 126. El dispositivo 122 de modulación de luz puede ser de tipo diapositiva que incluye una diapositiva, un tipo de pantalla de cristal líquido (LCD) que incluye una pantalla de cristal líquido u otro dispositivo para crear luz estructurada, donde dicho dispositivo se denominará en lo sucesivo diapositiva 122. El proyector incluye además una lente 181 que tiene un vértice 124 para proyectar una imagen de diapositiva como luz estructurada 113 alrededor de un cono de luz 114 sobre la superficie 110 de un objeto 111 que se está midiendo. De acuerdo con esta y otras modalidades, la luz estructurada 113 también puede generarse mediante el uso de otros métodos, tales como métodos de generación de luz interferencial, muaré y difractiva.

En una o más modalidades, el proyector 106 proyecta luz estructurada en una longitud de onda seleccionada de una de las longitudes de onda ópticas, visibles e infrarrojas. En una o más modalidades, el proyector 106 comprende una linterna. En una o más modalidades, el proyector 106 es una fuente de luz continua.

La unidad óptica 102 incluye una cámara 108 u otro dispositivo de detección de imágenes para capturar una imagen de la luz estructurada 113 que actúa sobre la superficie 110 del objeto 111. En una o más modalidades, la cámara 108 incluye una lente 180 que tiene un vértice 130, un receptor de radiación de matriz 128 y un controlador de cámara 132. La lente 180 forma la imagen en la superficie del receptor de radiación de matriz 128. El controlador de cámara 132 funciona como una unidad de procesamiento y gestión de señal electrónica que controla el funcionamiento del receptor de radiación de matriz 128 y puede convertir la imagen capturada por el receptor 128 a otro formato (por ejemplo, VGA, bmp, jpeg, etc.) según se desee o requiera antes de que la imagen capturada se transfiera a la salida

de la cámara 134. La cámara 108 incluye un campo de visión 118 que abarca una parte de la superficie 110 del objeto 111. El proyector 106 incluye un eje óptico central 112 del proyector y la cámara 108 incluye un eje óptico central 116 de la cámara, de manera que el ángulo de triangulación 120 es el ángulo que se extiende entre donde se cruzan el eje óptico 112 del proyector y el eje óptico 116 de la cámara.

El dispositivo informático 104 analiza la imagen capturada recibida desde la salida de la cámara 134 para realizar los cálculos deseados, tales como, pero sin limitarse a la forma 3D de la superficie 110 del objeto 111, la distancia al objeto 111 y la orientación de la superficie 110 siendo capturado. El dispositivo informático 104 también puede controlar el proyector 106 y la cámara 108 y sus diversos componentes incluidos en el mismo.

Con referencia ahora al diagrama de disposición geométrica de la Figura 2, el funcionamiento de la unidad óptica 100 se describirá con mayor detalle con respecto a una o más modalidades. El centro 124 de las pupilas de entrada y salida de la lente de proyección 181 del proyector 106 son en una o más modalidades el vértice de la luz estructurada proyectada 113, mientras que el centro 130 de las pupilas de entrada y salida de la lente 180 de la cámara 108 son en una o más modalidades el vértice del campo de visión 118 de la cámara.

Mediante el uso de un método de triangulación, se proyectan una pluralidad de puntos en la diapositiva 122 sobre la superficie 110 de un objeto 111 y luego se asignan uno a uno a los puntos respectivos en la imagen capturada que es capturada por la cámara 108. La posición de cada punto en la imagen capturada depende de una variedad de factores, como la distancia a la superficie 110 del objeto 111 y la forma y orientación de la superficie 110 en relación con la unidad óptica 102. Para reconstruir la forma y la posición de la superficie 110 que se está midiendo, cada punto en la imagen capturada está asociado con un punto respectivo en la diapositiva 122 y luego la forma, posición y / u orientación de la superficie 110 se deriva de las coordenadas de los puntos mediante el uso de técnicas de triangulación conocidas por los expertos en la materia. La Figura 2 ilustra un posible método para calcular la forma de una superficie 110 en un cierto punto basado en los puntos correspondientes en la diapositiva 122 y en la imagen capturada en el receptor 128.

Con referencia ahora a la Figura 3, se proporciona un ejemplo ilustrativo que muestra una vista en perspectiva de cómo se utilizan una imagen proyectada y una imagen capturada para determinar la forma de la superficie 110 de un objeto 111. Una diapositiva 122 que tiene un patrón de líneas 162 realiza una modulación de amplitud de la luz proyectada desde la fuente de luz 126 para proyectar el patrón como luz estructurada 113 desde el proyector 106 sobre la superficie 110 del objeto 111. Entonces aparece un patrón de líneas 186 en la superficie 110. La cámara 108 graba la imagen capturada 140 resultante correspondiente de la luz estructurada 113 que actúa sobre la superficie 110. En este ejemplo, la complejidad de calcular la forma de la superficie 110 reside en la complejidad de identificar la correspondencia entre las líneas 185 en el patrón en la imagen capturada 140 y las líneas 162 en el patrón en la diapositiva 122. A veces puede ser difícil determinar la correspondencia adecuada entre las líneas en la imagen 140 y la diapositiva 122 porque todas las líneas tienen una apariencia similar y es difícil saber qué línea 162 en la diapositiva 122 generó una línea dada 185 en la imagen capturada 140. Además, a medida que la forma del objeto 11 se vuelve más compleja, con mayor frecuencia se pueden romper las líneas y más compleja se vuelve la tarea de encontrar correspondencia entre la diapositiva 122 y la imagen capturada 140.

Para simplificar la tarea de buscar correspondencia entre puntos en la imagen capturada 140 y la diapositiva 122, la luz proyectada 113 puede estructurarse para representar un conjunto de elementos distintos que pueden identificarse en la imagen capturada 140. La introducción de esta heterogeneidad en la imagen capturada 140 se denomina "codificación". La Figuras 4A-4C ilustra varios ejemplos no reivindicados de luz estructurada codificada 113 que pueden proyectarse sobre la superficie 110 del objeto 111.

A pesar de la presencia de codificación, la tarea de identificar elementos de luz estructurada en una imagen capturada por la cámara 108 sigue siendo compleja, especialmente debido a la presencia de deformación en perspectiva causada por la finitud de la distancia entre la superficie del objeto 110 y el proyector 106 y la cámara 108. La deformación en perspectiva distorsiona la imagen capturada 140 de la luz estructurada 113 en dos direcciones y depende de la forma de la superficie 110 en cada punto de la imagen capturada 140. Como resultado, cada elemento de la luz estructurada proyectada 113 puede cambiar, girar o torcer de manera impredecible su forma en la imagen capturada 140, de modo que su identificación requerirá una búsqueda bidimensional en la imagen capturada 140 considerando todas sus posibles deformaciones (giro, deformación de la forma). La complejidad asociada con dicha búsqueda a menudo conduce a errores frecuentes en la detección de elementos de luz estructurados en la imagen capturada 140, lo que da como resultado errores que miden la forma de la superficie 110 del objeto. La tarea de búsqueda también requiere algoritmos de búsqueda intensivos en recursos, lo que prolonga el tiempo de registro o requiere un sistema informático o dispositivo informático 104 más potente, y por lo tanto más grande y más costoso.

En una o más modalidades, el sistema 100 simplifica la tarea de detectar elementos de luz estructurada 113 en la imagen 140 capturada por la cámara 108 al restringir el número de direcciones en las que la luz estructurada 113 puede deformarse en una dirección conocida, organizando una secuencia de código de luz estructurada 113 en esa dirección, y mediante el uso de métodos especiales de codificación de luz estructurada, logrando así una imagen 3D más efectiva y eficiente.

Basado en una geometría epipolar afinada, si dos cámaras miran el mismo objeto o escena, es posible dibujar una línea recta a través de cada punto en la imagen de la cámara, con todos los puntos del objeto o escena correspondientes a esa línea a lo largo de una línea recta en la imagen de la otra cámara, independientemente de la forma del objeto o escena. Este principio se puede aplicar al escaneo de la forma de la superficie mediante el uso de la triangulación de luz estructurada para determinar la forma 3D de un objeto material.

En una o más modalidades, el sistema 100 y el método asociado para la medición 3D de la forma de objetos materiales utiliza el supuesto de que, independientemente de la posición del proyector 106 y la cámara 108 entre sí, es posible dibujar una línea recta 187 a través de cada punto de la diapositiva 122, de manera que, cuando el patrón proyectado en la luz estructurada 113 se proyecta sobre la superficie 110 del objeto 111, existe una línea recta 188 correspondiente en la imagen 140 capturada por la cámara 108, independientemente de la forma de la superficie 110 que se captura. Cualquier par de tales líneas 187 y 188 forma una correspondencia uno a uno, donde dichas líneas se denominarán "meridianos" en lo sucesivo y, en particular, "meridianos de cámara 188" para la imagen capturada por la cámara 108 y como "meridianos de proyector 187" para la luz estructurada proyectada 113 del proyector 106, como se ilustra a modo de ejemplo en la Figura 5. En una modalidad, los meridianos del proyector 187 y los meridianos de la cámara 188 son líneas representativas que se pueden representar en las superficies de la diapositiva 122 y el receptor de radiación de matriz 128, pero en realidad no son parte del patrón que se proyecta sobre el objeto 111 y capturado por la cámara 108.

En una o más modalidades, como se ilustra en la Figura 6, la posición de los meridianos 187 se determina proyectando la luz estructurada 113 desde la lente del proyector 181 sobre la superficie 110 del objeto 111, donde cada uno de los meridianos del proyector 187 se ubicará en un plano 125 que se extiende desde el vértice 124 de la luz estructurada 113 proyectada desde el proyector 106 a la superficie 110. Cada uno de los meridianos de la cámara 188 en el receptor de radiación de matriz 128 también se ubicará en uno de los planos 125 respectivos que también se extiende desde el vértice 130 del campo de visión de la cámara 118 de la cámara 108 en el espacio del objeto 111. Los meridianos de proyector y cámara 187 y 188 que se encuentran en el mismo plano 125 en el espacio del objeto 111 forman un par correspondiente.

Como tal, hay una interrelación directa entre el proyector y los meridianos de cámara 187 y 188 y los planos 125 que se extienden desde los vértices 124 y 130. Los planos 125 podrían considerarse similares a una pista de luz para el proyector y los meridianos de cámara 187 y 188 en el espacio del objeto 111. En otras palabras, el proyector y los meridianos de cámara 187 y 188 pueden considerarse imágenes de los planos 125 en la superficie deslizante 122 y del receptor de radiación de matriz 128 fabricadas por el proyector y las lentes de cámara 180 y 181.

Si bien es posible cualquier cantidad de orientaciones posibles entre el proyector 106, la cámara 108 y el objeto 111, ahora se describirán varios arreglos de posicionamientos ejemplares para ilustrar la relación del proyector y los meridianos 187 y 188 de la cámara en relación con la colocación del proyector 106 y la cámara 108.

Con referencia a la Figura 7, en una o más modalidades, una línea 150 que conecta el vértice 124 de la luz estructurada 113 proyectada desde el proyector 106 con el vértice 130 del campo de visión 118 de la cámara 108 es perpendicular al eje óptico del proyector 112. En esta modalidad, los meridianos 187 del proyector son estrictamente paralelos, donde se proporciona una ilustración del proyector y los meridianos 187 y 188 de la cámara correspondientes a esta modalidad en la Figura 8.

Con referencia a la Figura 9, en una o más modalidades, una línea 152 que conecta el vértice 124 de la luz estructurada 113 proyectada desde el proyector 106 con el vértice 130 del campo de visión 118 de la cámara 108 es perpendicular al eje óptico 116 de la cámara. En esta modalidad, los meridianos 187 de la cámara son estrictamente paralelos, donde se proporciona una ilustración del proyector y los meridianos 187 y 188 de la cámara correspondientes a esta modalidad en la Figura 10.

Con referencia a la Figura 11, en una o más modalidades, una línea 154 que conecta el vértice 124 de la proyección central 113 del proyector 106 con el vértice 130 de la proyección central 118 de la cámara 108 no es perpendicular ni al eje óptico del proyector 112 ni a la cámara eje óptico 116. En esta modalidad, ni los meridianos 187 del proyector ni los meridianos 188 de la cámara deben ser estrictamente paralelos, como se ilustra en la Figura 12.

En una o más modalidades, la luz estructurada 113 proyectada por el proyector 106 se puede organizar para restringir el número de posibles direcciones y deformaciones en la imagen capturada, simplificando de esta manera la tarea de identificar elementos estructurados de luz en la imagen capturada y, en ciertos casos, logrando una linealización completa del algoritmo de cálculo de la forma de la superficie. En una modalidad, el número de posibles direcciones y deformaciones está restringido a uno entre los meridianos.

En una o más modalidades, la diapositiva 122 se selecciona de manera que se forme una luz estructurada 113 que posea al menos dos elementos codificados que se encuentran dentro de un plano 125 que pasa a través de los vértices 124, 130 del proyector 106 y la cámara 108. En una o más modalidades, la luz estructurada 113 puede formarse como un patrón que incluye una pluralidad de diferentes grupos de elementos codificados, en donde todos los elementos codificados en cada grupo de elementos codificados se encuentran dentro del mismo plano respectivo 125 que pasa

a través de los vértices 124, 130 del proyector 106 y la cámara 108. Diferentes grupos de elementos codificados se encontrarán en diferentes planos 125. En uno o más ejemplos, tales elementos codificados podrían representarse por regiones con formas, formas y / o longitudes variables. De acuerdo con la invención, haciendo referencia a la modalidad ilustrativa mostrada en la Figura 13, la luz estructurada 113 está formada como una estructura 160 que posee dos elementos codificados 164 y 165 representados por regiones de diferente grosor. Los elementos codificados están ubicados uno por uno a lo largo de la pluralidad de líneas paralelas 162, de modo que su secuencia dentro de cada línea 162 forma una línea sólida con grosores variables de longitudes variables. Al mismo tiempo, todos los elementos codificados se encuentran en una pluralidad de meridianos paralelos 187 que conjuntamente con las líneas 162 forman una cuadrícula. De esta manera, un grupo que incluye una secuencia de regiones codificadas 164 y 165 de diferentes grosores a lo largo de cada meridiano 187 formará una secuencia única en relación con las secuencias de las regiones codificadas 164 y 165 en el otro meridiano adyacente 187. Se entiende que se pueden generar otros tipos de patrones para generar los elementos codificados o las regiones codificadas 164 y 165 en la luz estructurada 113.

Mediante el uso de dicha estructura ligera 160 de la Figura 13, partes de imágenes capturadas representativas 140 grabadas por la cámara 108 en base al posicionamiento relacional del proyector 106 y la cámara 108 de la Figura 7 se ilustran en las Figuras 14 y 15 para objetos planos representativos (Figura 14) y objetos no planos (Figura 15). A partir de estas Figuras, se puede ver que los grupos de elementos codificados 164 y 165 se encuentran en un meridiano de proyector respectivo 187 en la diapositiva 122 y también se ubicarán en el meridiano de cámara respectivo 188 en la imagen 140 (donde los meridianos de proyector 187 y el los meridianos de cámara 188 se ilustran como líneas verticales en estas Figuras). La forma particular de la superficie 110 del objeto 111 que se analiza hará que los elementos codificados 164 y 165 en la imagen 140 se muevan solo en una dirección a lo largo de los meridianos de la cámara 188. Se puede realizar una medición 3D deseada de la superficie 110 analizando el movimiento y / o la posición de los elementos codificados 164 a lo largo de los meridianos de la cámara 188 con respecto a la posición de los elementos codificados respectivos 164 y 165 en la diapositiva 122 y también con respecto al movimiento y / o posición de los otros elementos codificados 164 y 165 en el mismo grupo de elementos codificados 164 o 165 a lo largo de los mismos o diferentes meridianos de cámara 188.

La estructura 160 puede usarse para cualquiera de las modalidades descritas aquí. Para ser utilizado para una modalidad particular, la estructura 160 debe ajustarse en un campo de la corredera 122 haciendo zoom, cambiando o alterando de otro modo la estructura 160. Además, la estructura 160 puede distorsionarse según sea necesario para que los grupos de elementos codificados 164 y 165 de la estructura 160 coincidan con los meridianos elegidos para la modalidad particular.

El sistema informático 104 puede comprender un sistema informático de propósito general que sea adecuado para implementar el método para la medición 3D de la forma de objetos materiales de acuerdo con la presente descripción. El sistema informático 104 es solo un ejemplo de un entorno informático adecuado y no pretende sugerir ninguna limitación en cuanto al alcance de uso o funcionalidad de la invención. En diversas modalidades, el presente sistema y método para la medición 3D de la forma de objetos materiales es operativo con numerosos otros entornos o configuraciones de sistemas informáticos de propósito general o de propósito especial. Los ejemplos de sistemas informáticos, entornos y / o configuraciones bien conocidos que pueden ser adecuados para su uso con la invención incluyen, entre otros, computadoras personales, servidores, dispositivos portátiles o de mano, sistemas multiprocesadores, sistemas basados en microprocesadores, programables electrónica de consumo, PC en red, minicomputadoras, computadoras mainframe, entornos informáticos distribuidos que incluyen cualquiera de los sistemas o dispositivos anteriores, y similares.

En diversas modalidades, los algoritmos de triangulación y el método para la medición 3D de la forma de objetos materiales pueden describirse en el contexto general de instrucciones ejecutables por computadora, tales como módulos de programa, ejecutados por una computadora. En general, los módulos de programa incluyen rutinas, programas, objetos, componentes, estructuras de datos, etc. que realizan tareas particulares o implementan tipos particulares de datos abstractos. Estos algoritmos y métodos también se pueden practicar en entornos informáticos distribuidos donde las tareas son realizadas por dispositivos de procesamiento remoto que están vinculados a través de una red de comunicaciones. En un entorno informático distribuido, los módulos de programa pueden ubicarse en medios de almacenamiento informáticos locales y remotos, incluidos los dispositivos de almacenamiento de memoria. En una modalidad, el sistema informático 104 implementa la medición de forma 3D de objetos ejecutando uno o más programas informáticos. Los programas de computadora pueden almacenarse en un medio de memoria o medio de almacenamiento, como una memoria y / o ROM, o pueden proporcionarse a una CPU a través de una conexión de red u otra conexión de E / S.

El sistema y el método formados de acuerdo con las modalidades descritas en el presente documento proporcionan la medición 3D de la forma de objetos materiales mediante el uso de la triangulación de luz estructurada sin contacto. Dicho sistema y método son capaces de medir de forma rápida y precisa las coordenadas de una nube de puntos (es decir, estructura luminosa) proyectadas sobre la superficie de objetos de material de forma compleja en un sistema de coordenadas referenciado al sistema. Estas enseñanzas se pueden aplicar a una amplia gama de problemas científicos y de ingeniería que requieren datos precisos sobre la forma de la superficie de un objeto, la distancia a la superficie o su orientación espacial. El presente sistema y método tiene solicitudes útiles en muchos campos, que

incluyen, entre otros, imágenes digitales, control de formas de piezas, animación por computadora, captura de formas de objetos que tienen valor cultural, histórico o científico, reconocimiento de formas, topografía, visión artificial, procedimientos médicos, posicionamiento especial de dispositivos y robots, etc.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para la medición 3D de la forma de un objeto material (111), que comprende:
un proyector de luz (106) para proyectar un patrón de luz estructurado sobre una superficie (110) de dicho objeto (111), en donde dicho proyector de luz comprende una fuente de luz (126), una diapositiva (122) con un patrón de diapositivas ubicado en una superficie de diapositivas, y una lente de proyector (181) con un vértice de la lente de proyector (124);
un dispositivo (108) para capturar una imagen de dicho patrón de luz estructurado reflejado en dicho objeto, en donde dicho dispositivo para capturar una imagen comprende una lente de dispositivo (180) con un vértice de la lente de dispositivo (130); y
un dispositivo informático (104) para determinar una medida relacionada con la forma de dicho objeto mediante el uso de un algoritmo de triangulación basado en una correspondencia entre puntos en dicho patrón de diapositivas y dicha imagen;
en donde dicho patrón de diapositivas comprende una pluralidad de elementos codificados (164, 165), en donde los elementos codificados incluyen dos elementos codificados (164, 165) representados por regiones de diferente grosor de modo que su secuencia forme una línea continua con grosores variables de longitudes variables,
en donde cada uno de dichos elementos codificados se asigna a uno de al menos un primer grupo o un segundo grupo, cada uno de los cuales al menos dicho primer grupo y dicho segundo grupo comprenden al menos dos de dichos elementos codificados,
en donde al menos un primer meridiano (187) y un segundo meridiano (187) están definidos en dicha superficie de diapositivas, donde dicho primer meridiano está definido por una intersección entre dicha superficie de diapositivas y un primer plano (125) que pasa a través de dicho vértice de la lente del proyector (124) y a través de dicho vértice de la lente del dispositivo (130), y dicho segundo meridiano está definido por una intersección entre dicha superficie de diapositivas y un segundo plano (155) que pasa a través de dicho vértice de la lente del proyector y a través de dicho vértice de la lente del dispositivo, y
en donde dichos elementos codificados de dicho primer grupo están ubicados a lo largo de dicho primer meridiano y dichos elementos codificados de dicho segundo grupo están ubicados a lo largo de dicho segundo meridiano.

2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el proyector de luz (106) se caracteriza además por un eje óptico central (112), en donde además el proyector de luz y el dispositivo para capturar (108) una imagen, están dispuestos de manera que una línea que se extiende entre el vértice del proyector y el vértice del dispositivo es perpendicular al eje óptico central del proyector de luz.

3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el dispositivo para capturar (108) una imagen incluye además un eje óptico central (116), en donde además el proyector de luz (106) y el dispositivo para capturar una imagen están dispuestos de manera que una línea que se extiende entre el vértice del proyector y el vértice del dispositivo son perpendiculares al eje óptico central del dispositivo para capturar una imagen.

4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el proyector de luz (106) es una fuente de linterna.

5. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el patrón de luz estructurado comprende una pluralidad de elementos codificados (164, 165) que se pueden agrupar de manera variable de manera que todos los elementos codificados en cada grupo formen una secuencia única en relación con las secuencias de elementos codificados en grupos adyacentes de elementos codificados.

6. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el dispositivo informático (104) determina una forma tridimensional de la superficie.

7. Un método para la medición 3D de la forma de un objeto material (111), que comprende:
proyectar un patrón de luz estructurado desde un proyector de luz (106) sobre una superficie de un objeto (111), en donde el proyector de luz comprende una fuente de luz (126), una diapositiva (122) con un patrón de diapositivas ubicado en una superficie de diapositivas, y una lente de proyector (181) con un vértice de la lente de proyector (124);
capturar una imagen del patrón de luz estructurado reflejado en la superficie del objeto con un dispositivo para capturar una imagen, en donde dicho dispositivo para capturar una imagen comprende una lente de dispositivo (180) con un vértice de la lente de dispositivo (130); y
determinar una medida relacionada con la superficie del objeto mediante el uso de un algoritmo de triangulación basado en una correspondencia entre puntos en dicho patrón de diapositivas y dicha imagen, en donde dicho patrón de diapositivas comprende una pluralidad de elementos codificados (164, 165), en donde los elementos codificados incluyen dos elementos codificados (164, 165) representados por regiones de diferente grosor de modo que su secuencia forme una línea continua con grosores variables de longitudes variables, en donde dichos elementos codificados se asignan a uno de al menos primer grupo o segundo grupo, cada uno de los cuales primer grupo y segundo grupo comprende al menos dos de dichos elementos codificados,

en donde al menos un primer meridiano (187) y un segundo meridiano (187) están definidos en dicha superficie de diapositivas, donde dicho primer meridiano está definido por una intersección entre dicha superficie de diapositivas y un primer plano (125) que pasa a través de dicho vértice de la lente del proyector (124) y a través de dicho vértice de la lente del dispositivo (130), y dicho segundo meridiano está definido por una intersección entre dicha superficie de diapositivas y un segundo plano (155) que pasa a través de dicho vértice de la lente del proyector y a través de dicho vértice de la lente del dispositivo, y
en donde dichos elementos codificados de dicho primer grupo están ubicados a lo largo de dicho primer meridiano y dichos elementos codificados de dicho segundo grupo están ubicados a lo largo de dicho segundo meridiano.

8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el proyector de luz (106) se caracteriza además por un eje óptico central (112), que comprende además disponer el proyector de luz y el dispositivo para capturar (108) una imagen de manera que una línea que se extiende entre el vértice del proyector de luz y el vértice del dispositivo (130) es perpendicular al eje óptico central del proyector de luz.

9. El método de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además proyectar la luz estructurada desde una fuente de linterna.

10. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde el patrón de luz estructurada comprende una pluralidad de elementos codificados (164, 165) que se pueden agrupar de manera variable de manera que todos los elementos codificados en cada grupo formen una secuencia única en relación con las secuencias de elementos codificados en otros grupos adyacentes de elementos codificados.

11. El método de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además determinar una forma tridimensional de la superficie (110).

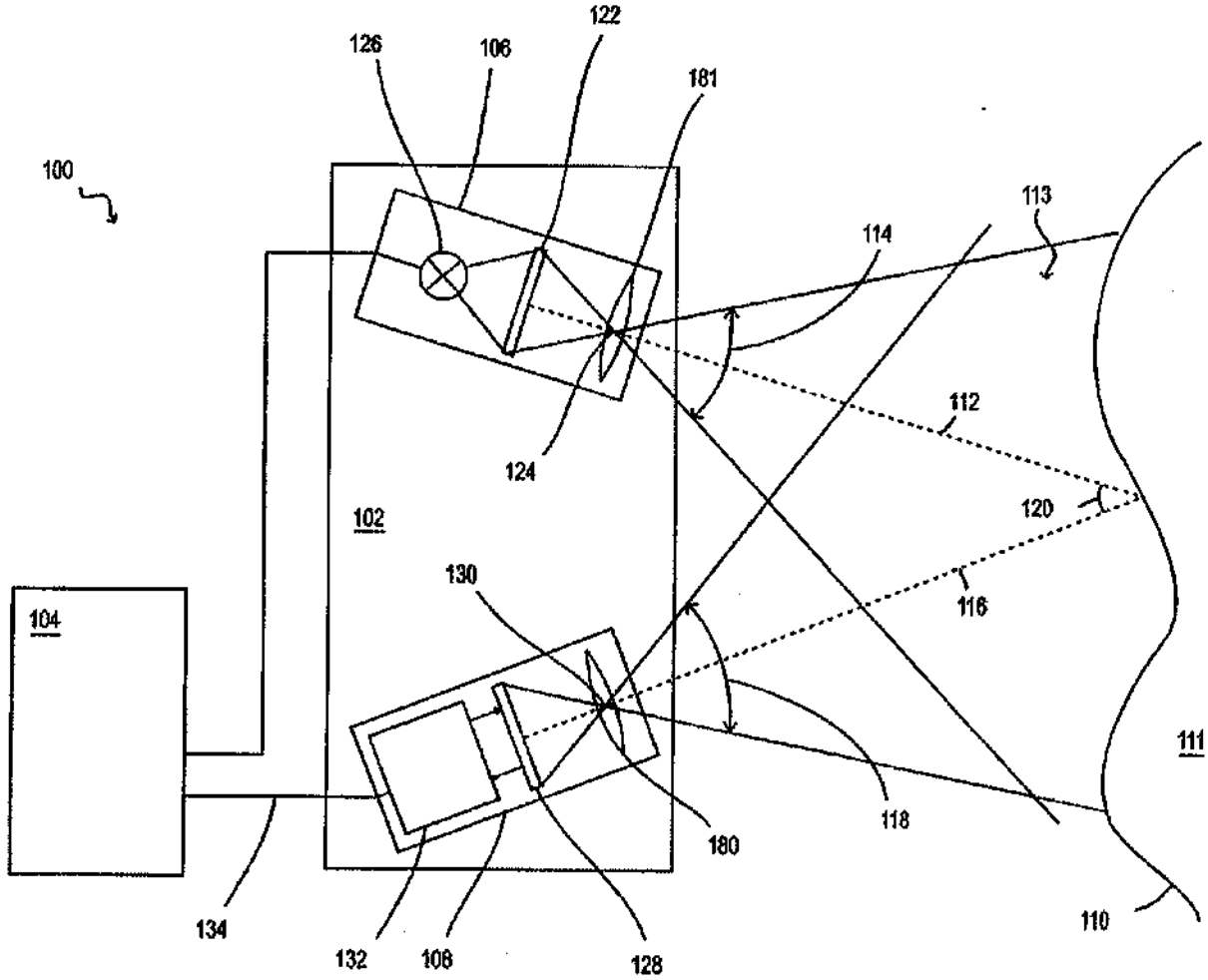
100
126
106
122
181
113
114
112
124
102
120
130
116
104
111
118
180
134
132
108
128
110

Figura 1

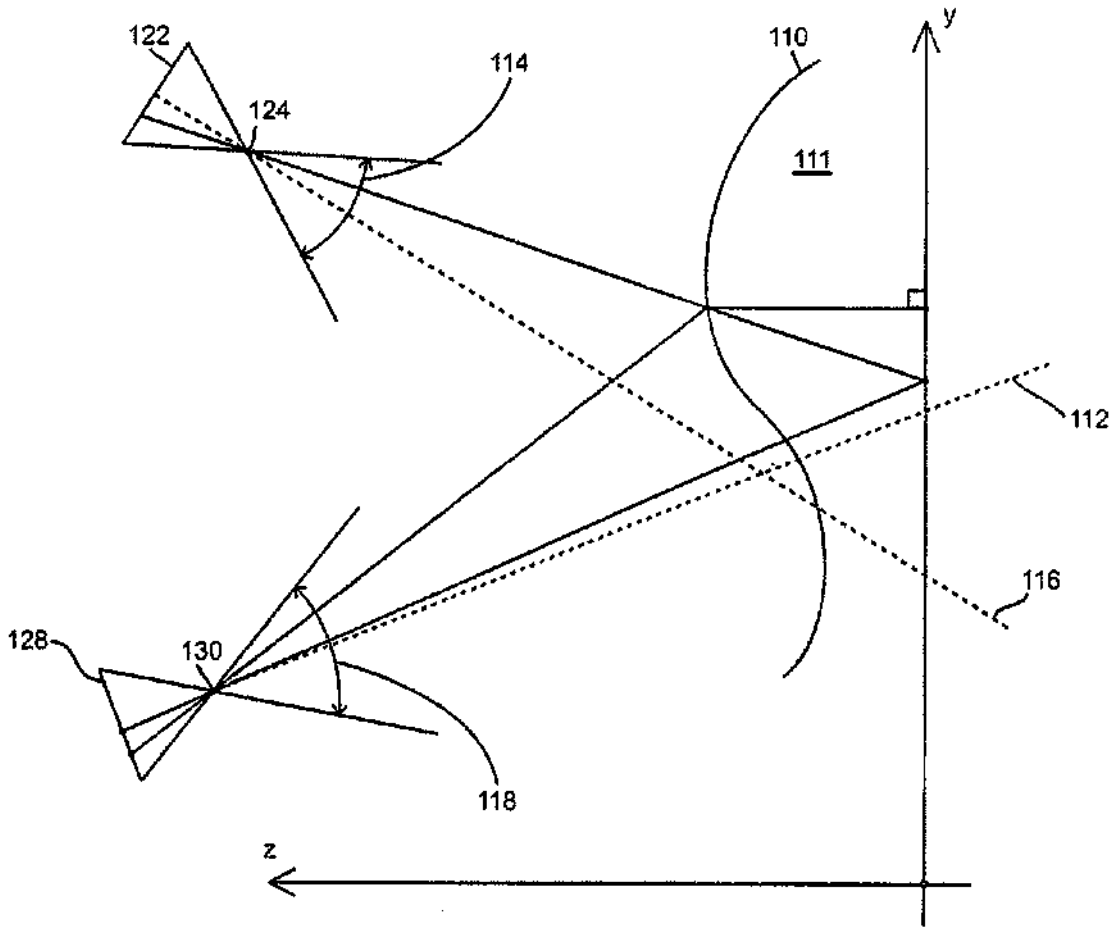

Figura 2

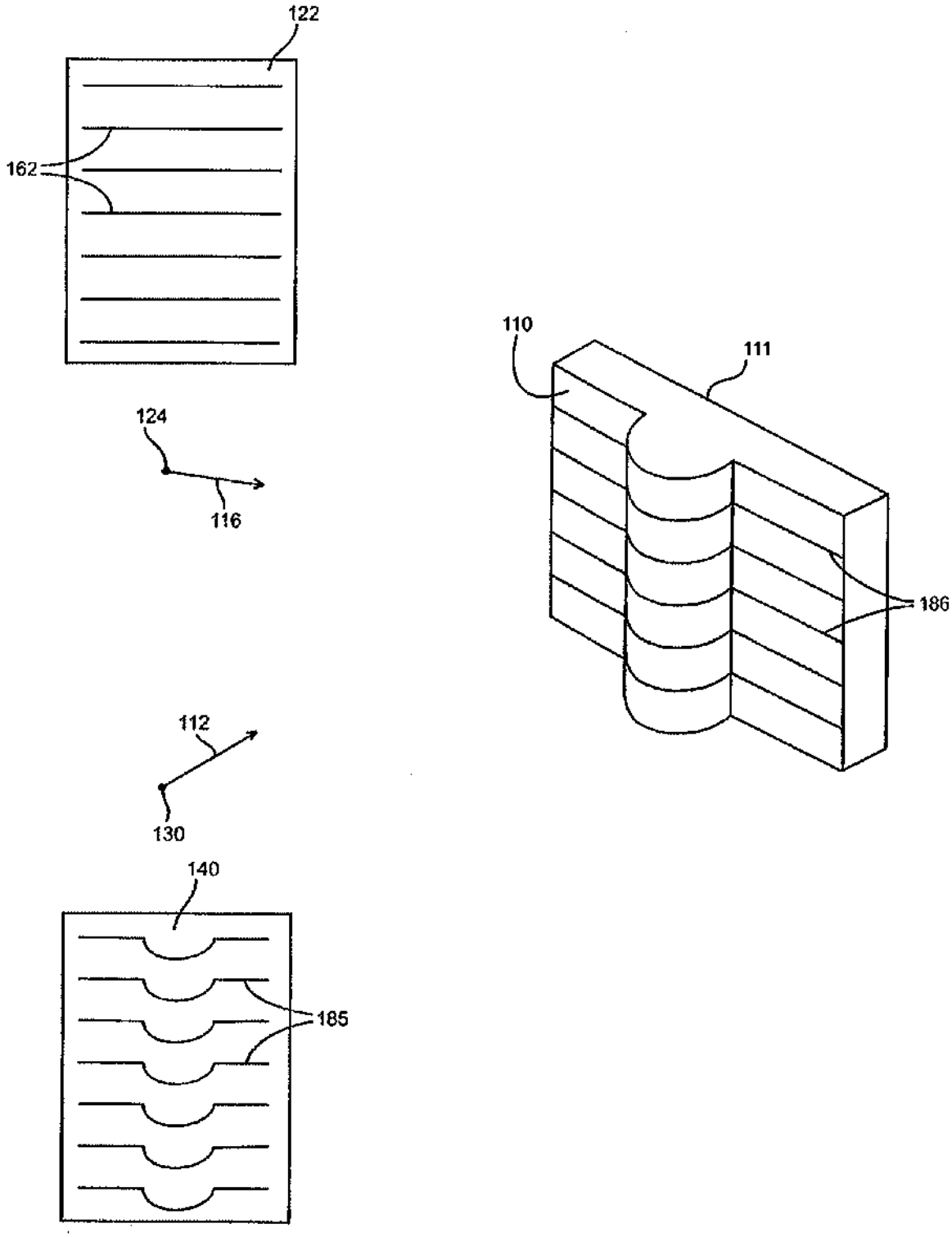

Figura 3

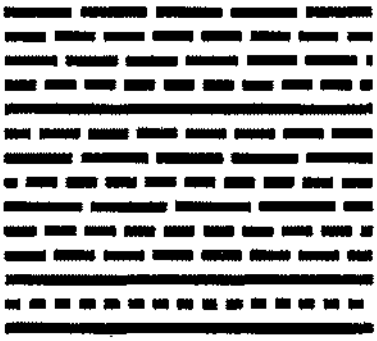

Figura 4a

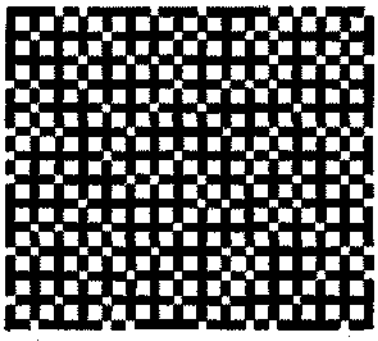

Figura 4b

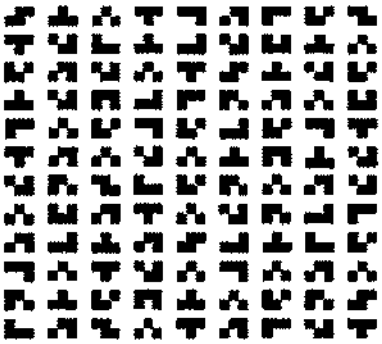

Figura 4c

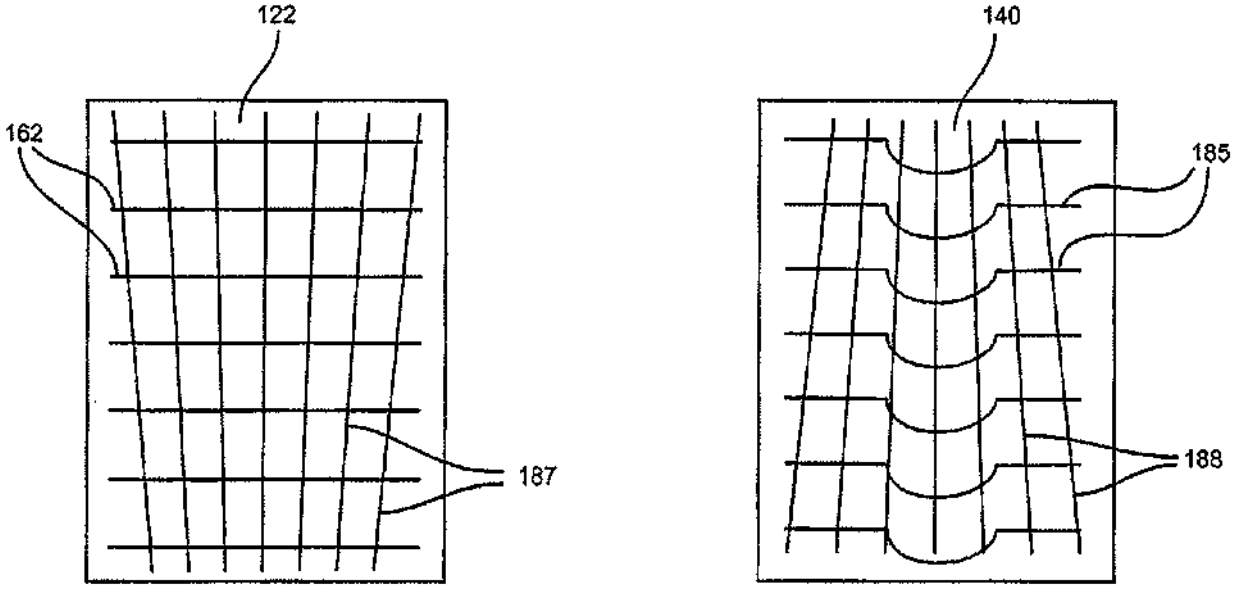

Figura 5

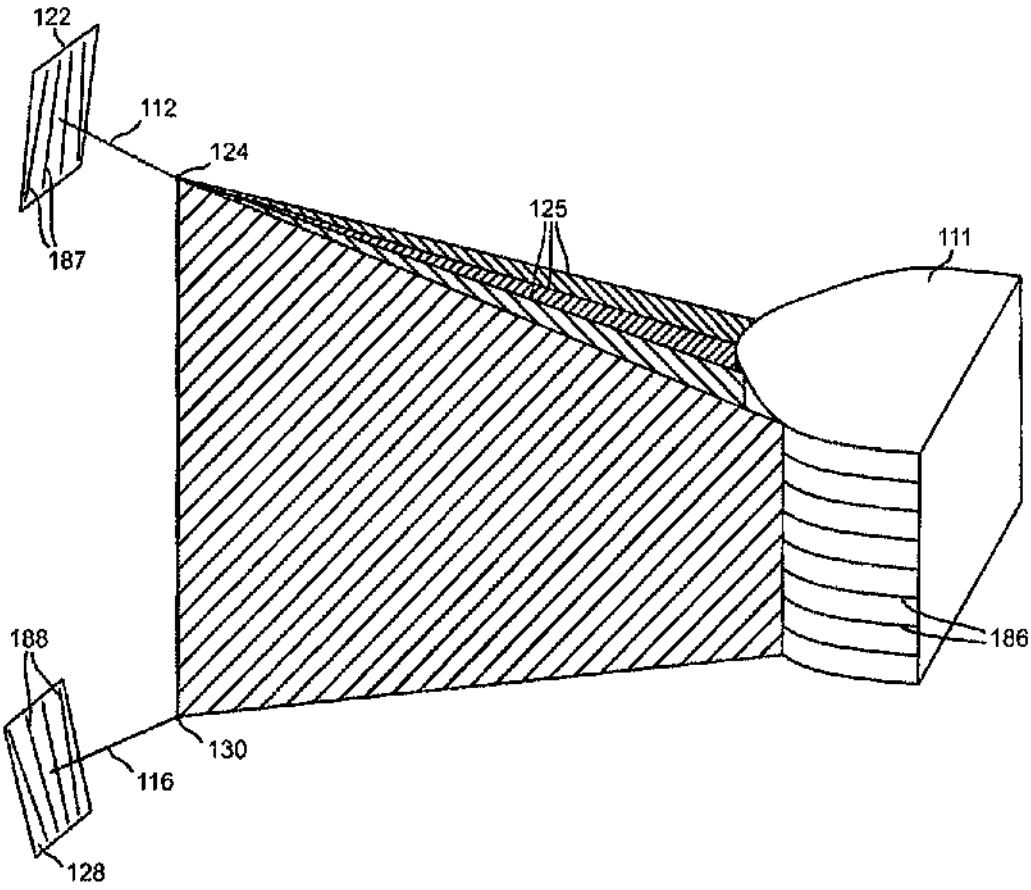

Figura 6

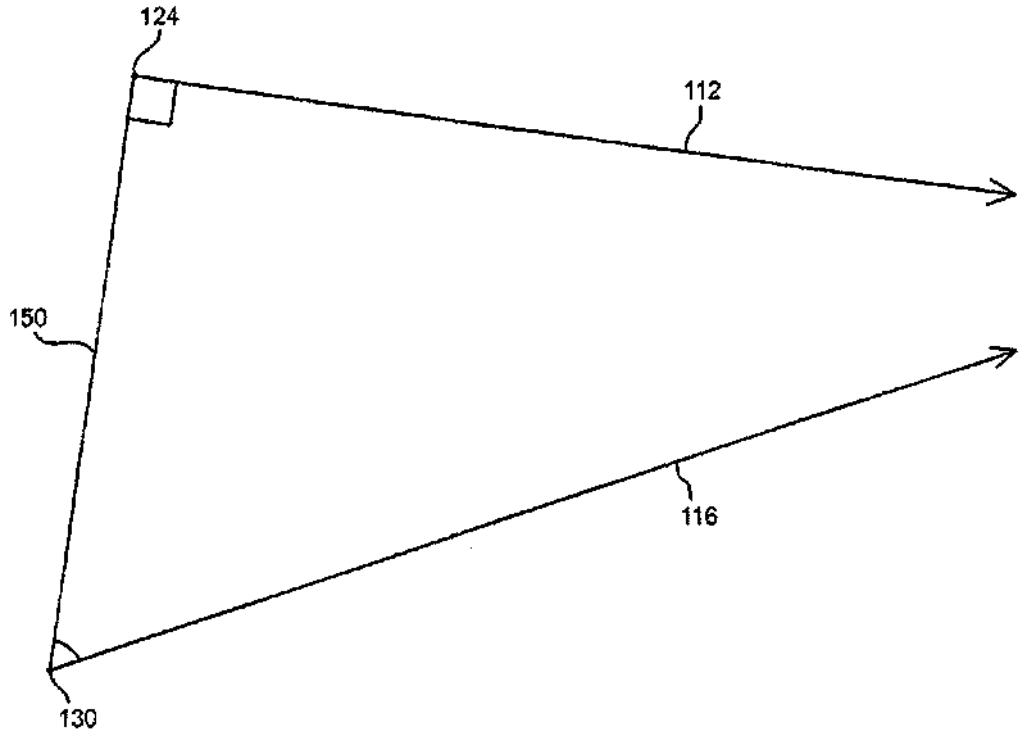

Figura 7

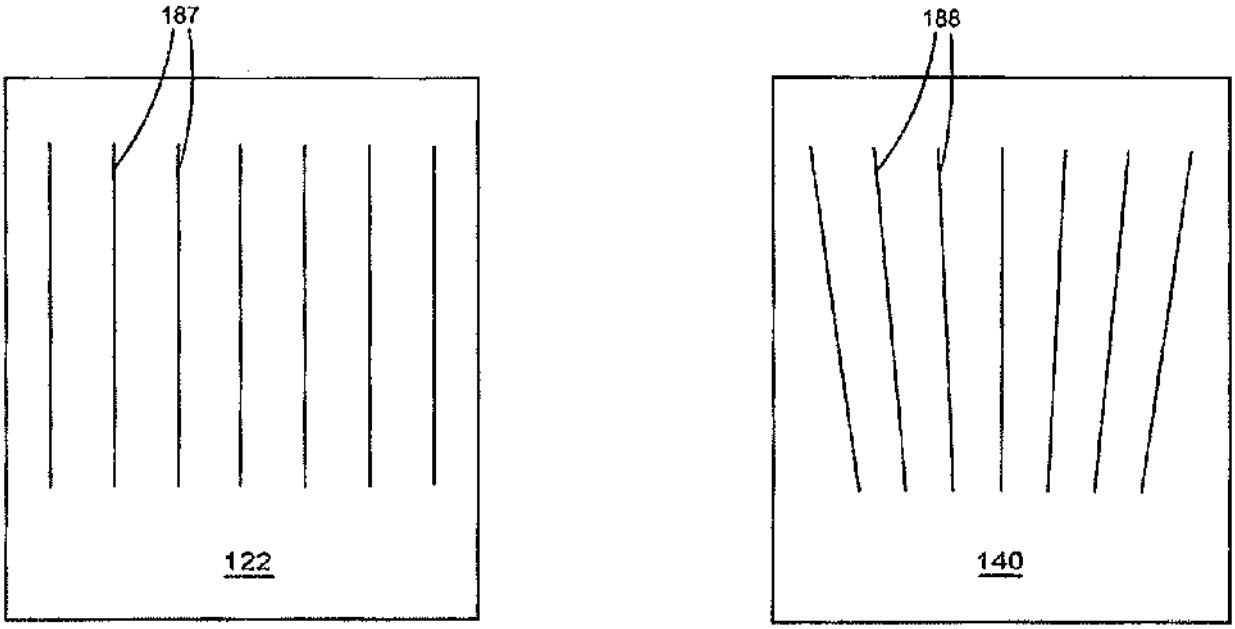

Figura 8

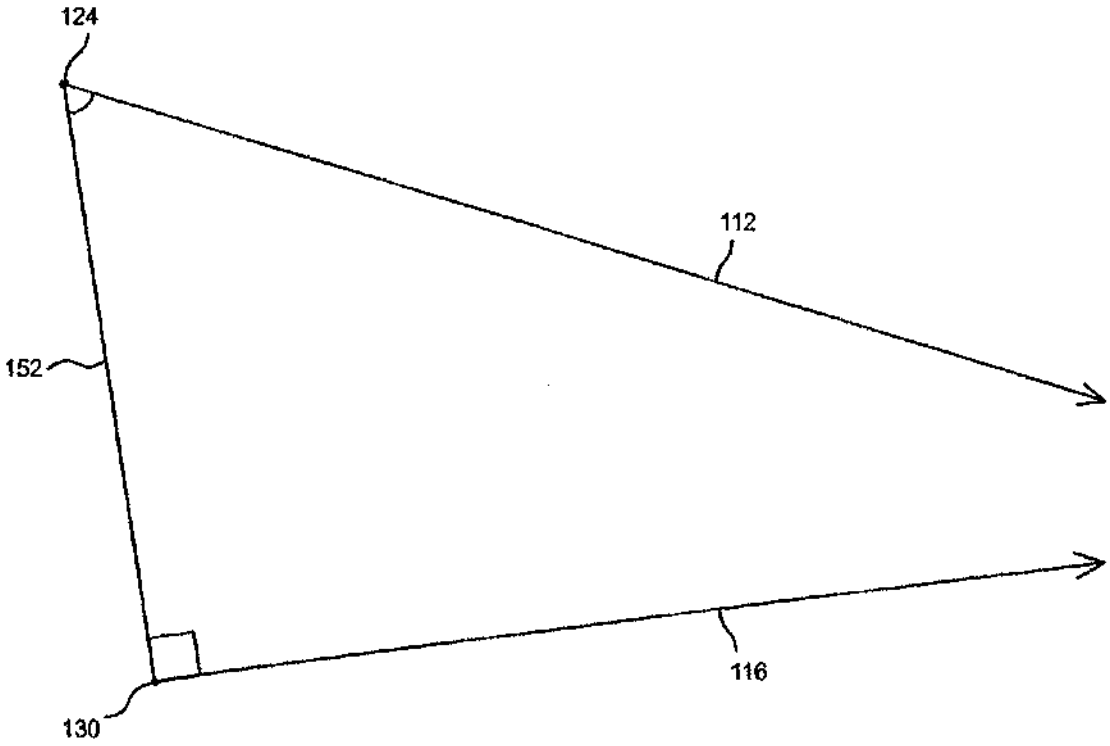

Figura 9

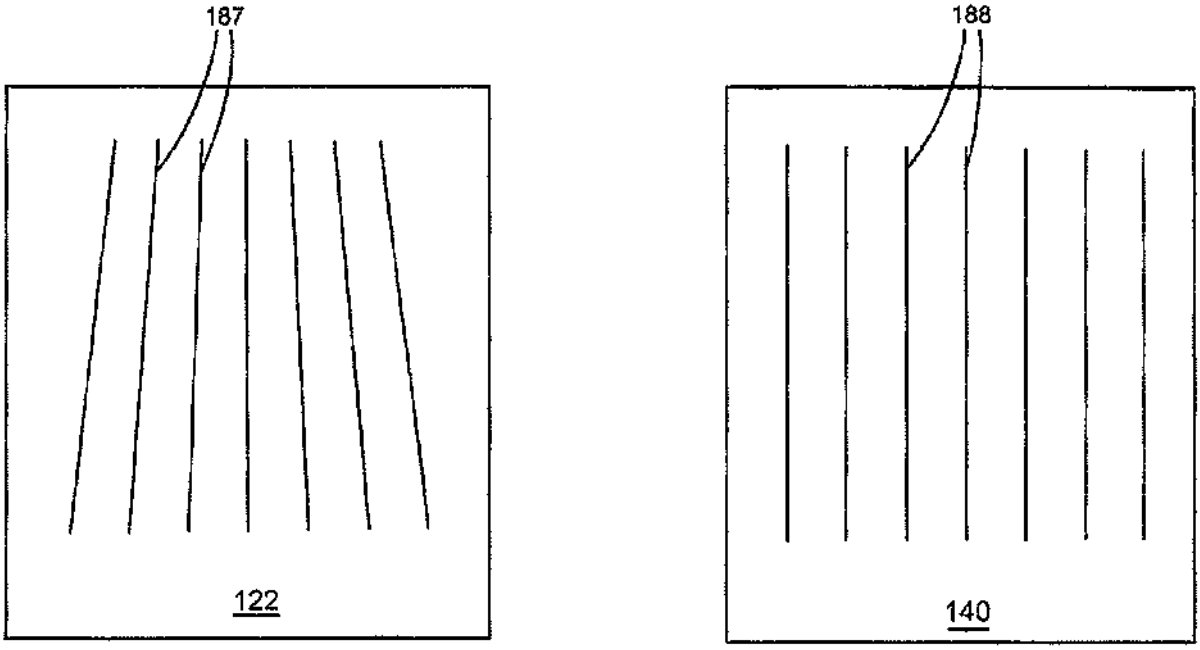

Figura 10

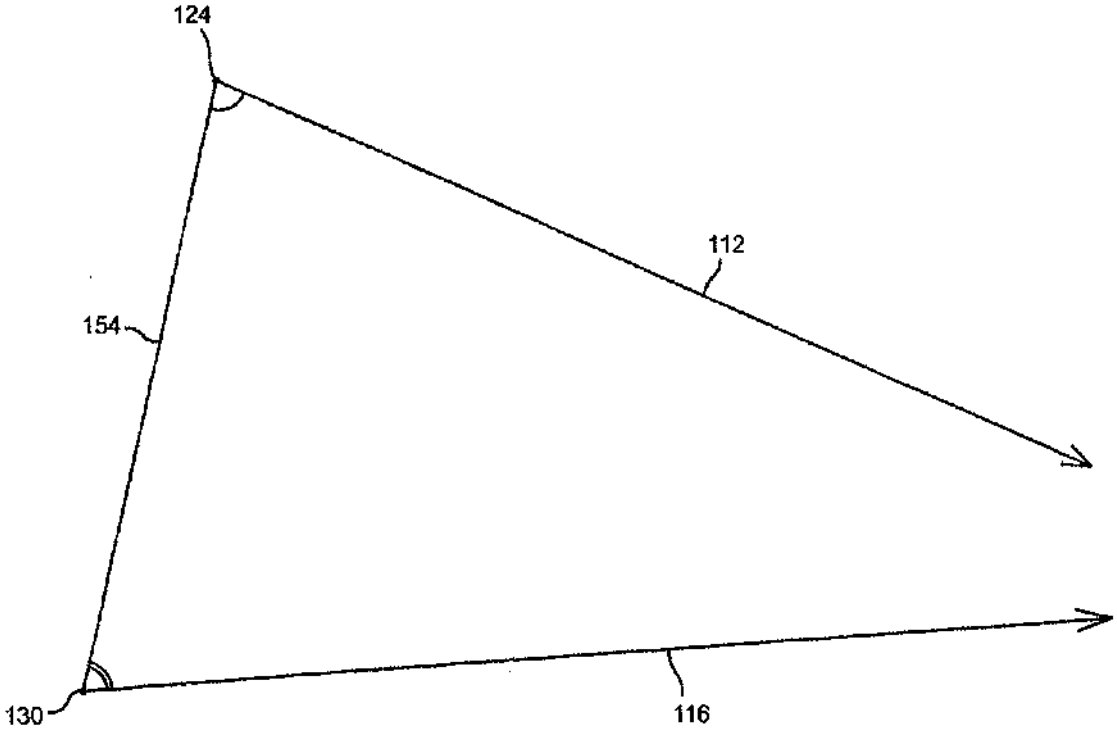

Figura 11

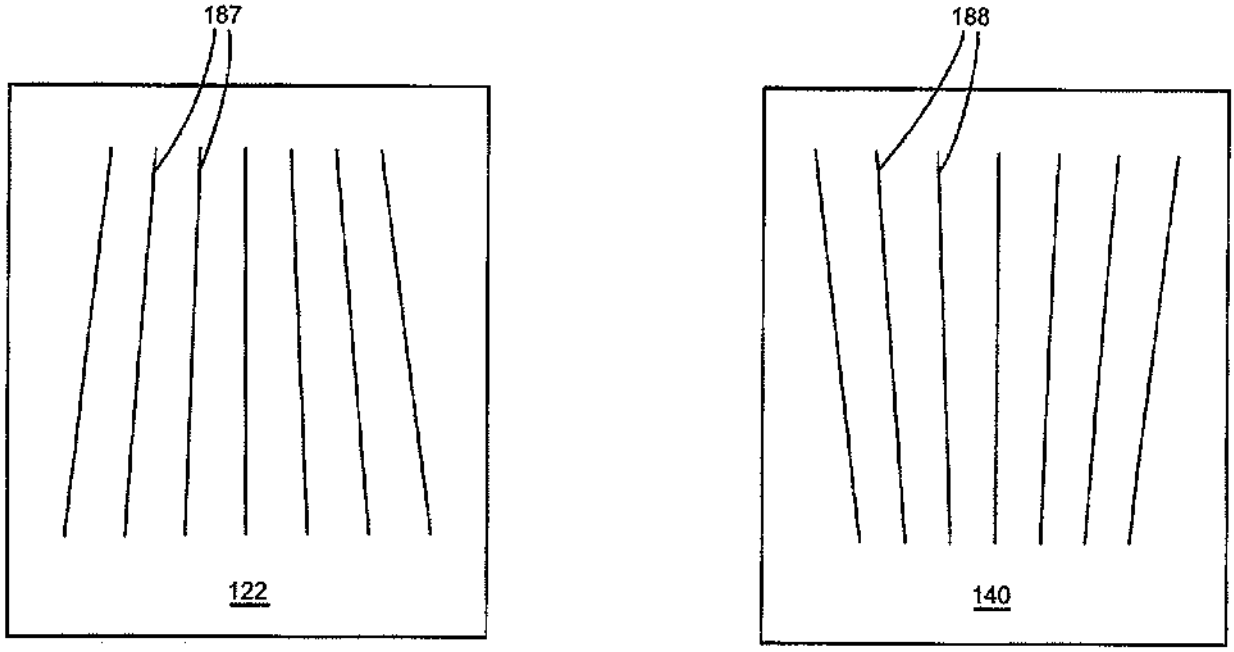

Figura 12

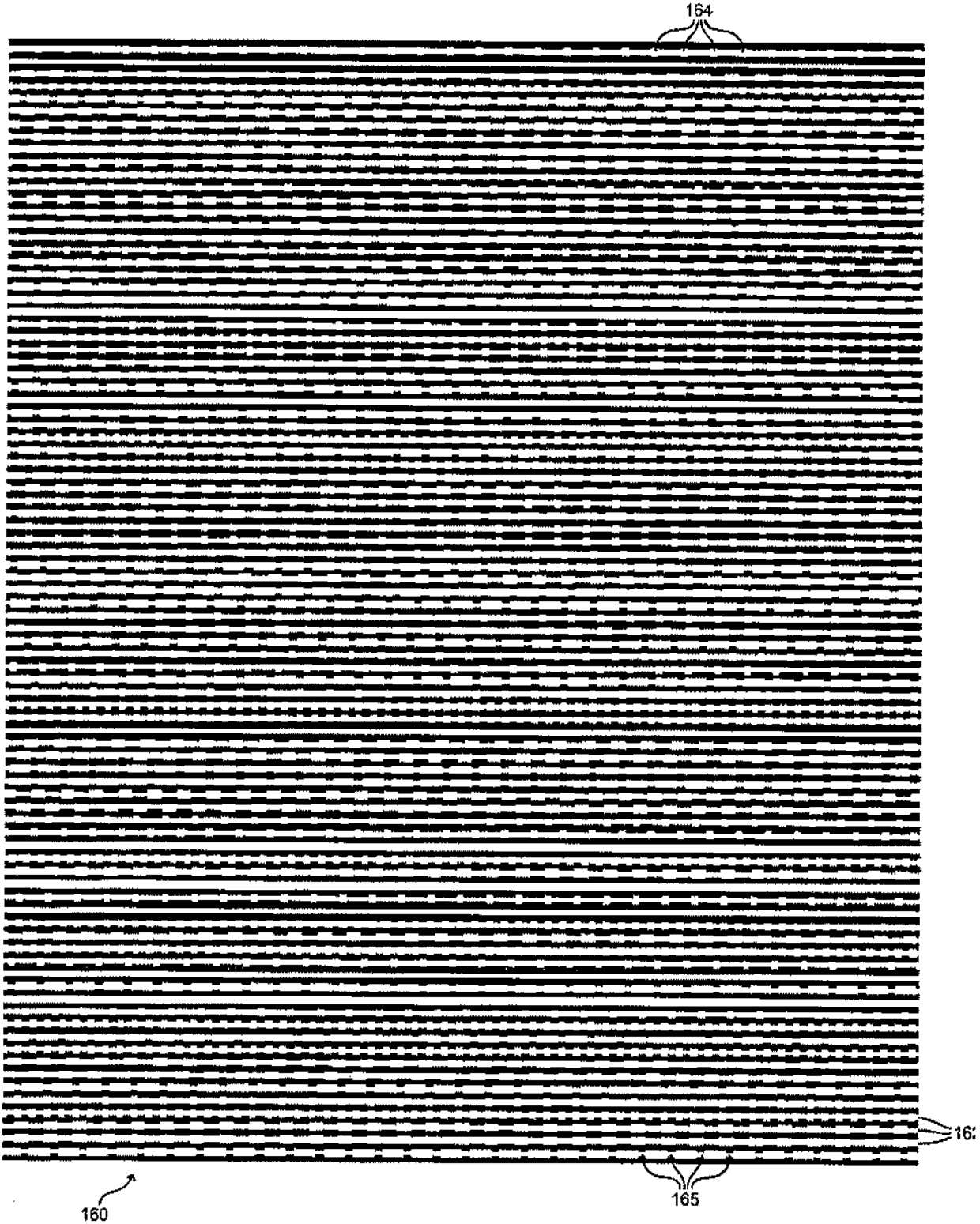

Figura 13

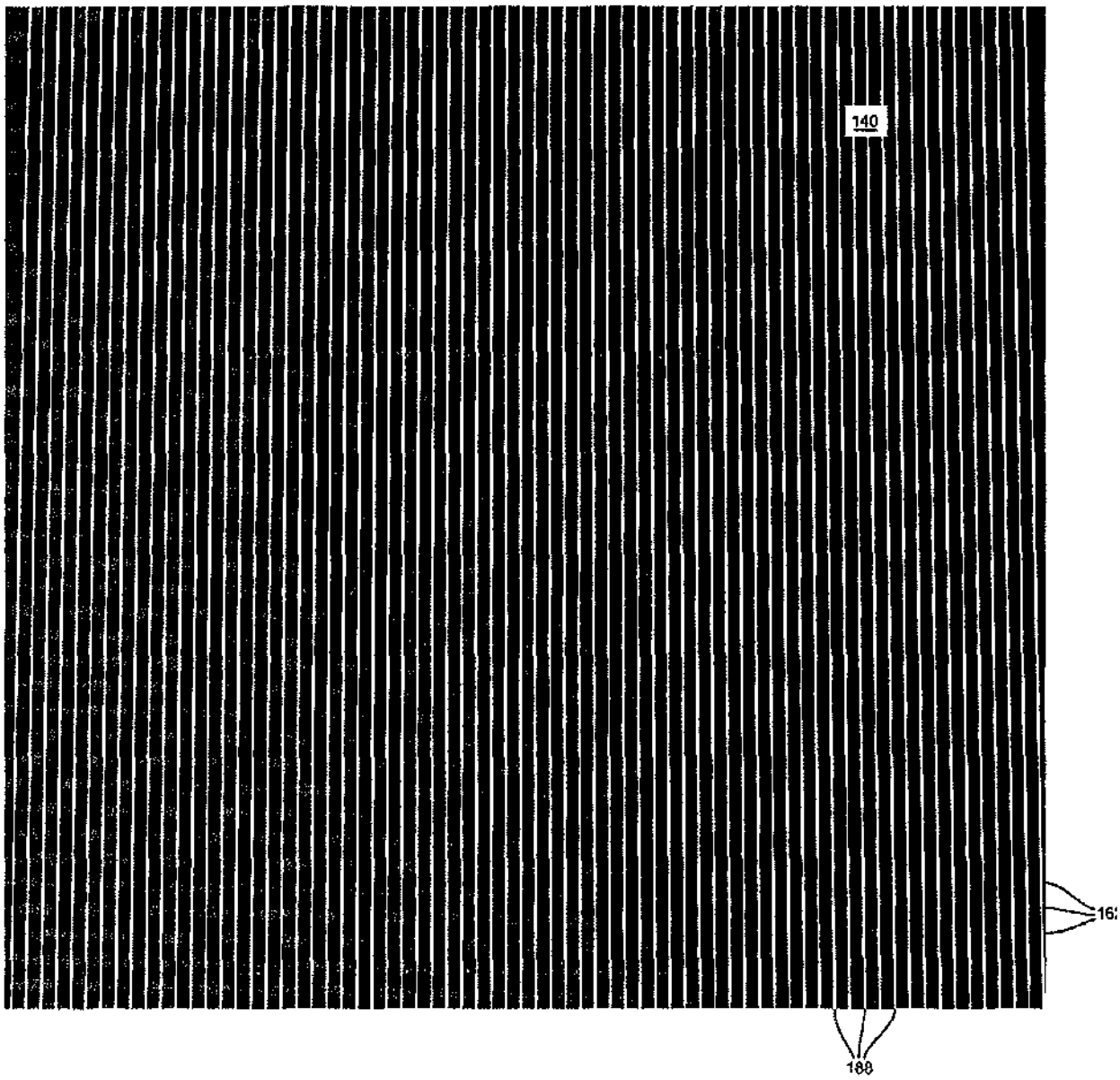

Figura 14

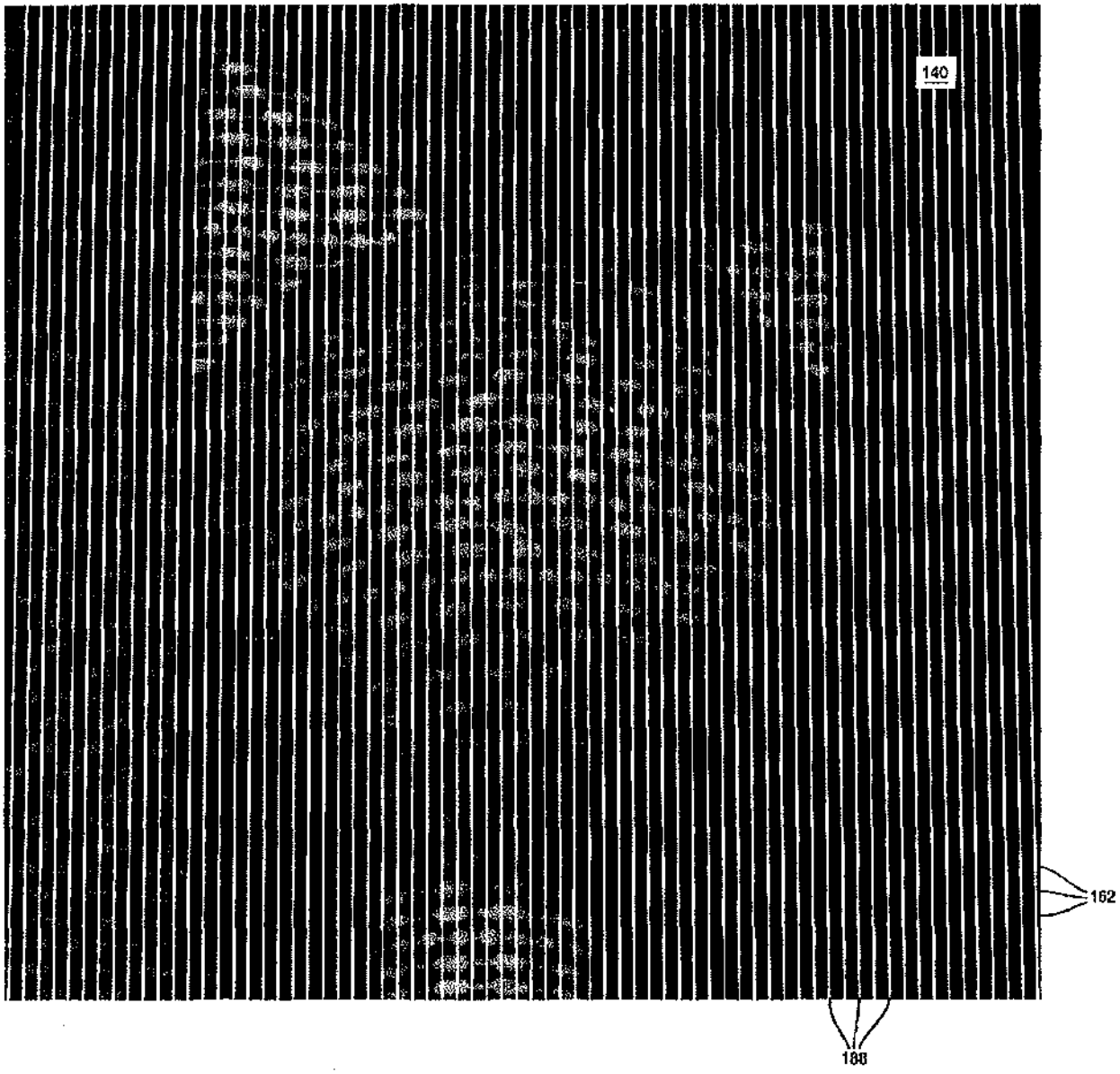

Figura 15