

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 222**

51 Int. Cl.:

G01T 1/29

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2011** **E 11738777 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2015** **EP 2585853**

54 Título: **Calibración de una sonda en pticografía**

30 Prioridad:

28.06.2010 GB 201010822

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

21.05.2015

73 Titular/es:

**PHASE FOCUS LIMITED (100.0%)
The Bioincubator 40 Leavygreave Road
Sheffield S3 7RD, GB**

72 Inventor/es:

MAIDEN, ANDREW

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 536 222 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

Calibración de una sonda en pticografía

- 5 La presente invención se refiere a un método y a un aparato para proporcionar datos de imágenes del tipo que pueden utilizarse para construir una imagen de una región de un objeto de destino. En particular, pero no exclusivamente, la presente invención se refiere a un método para proporcionar dichos datos de imágenes mediante un proceso iterativo haciendo uso de una función de sonda desconocida.
- 10 Antecedentes
- 15 Muchos tipos de técnicas de imagen son conocidas por derivar información espacial acerca de un objeto destino (a veces referido como una muestra). Sin embargo, a menudo no es posible obtener directamente una imagen de la muestra destino por medios convencionales tales como la microscopía de campo brillante. Por ejemplo en la obtención de imagen de transmisión convencional un objeto se irradia por iluminación de onda plana. Las ondas dispersas por el objeto se reinterfieren por un lente para formar la imagen. En el caso de la obtención de imágenes de longitud de onda muy corta (rayos X o electrones) esta técnica tiene muchas dificultades conocidas asociadas con aberraciones e inestabilidades introducidas por el lente que limitan la resolución y la interpretación de la imagen resultante. La resolución alcanzable típica es muchas veces mayor que el límite teórico. Se conocen otros tipos de técnicas de obtención de imágenes pero muchas de ellas tienen problemas tales como límites de resolución, tiempos largos de recolección de datos o la necesidad de un equipo complejo y costoso.
- 20 En muchos casos es posible derivar algunas de las propiedades de la muestra mediante la medición de la forma en que se dispersa la radiación incidente. La distribución de la radiación dispersa a cierta distancia de una muestra se conoce como un patrón de difracción y si la radiación es suficientemente coherente, es posible formar una imagen de la muestra a partir de la medición de su patrón de difracción. Una técnica para la formación de esta imagen se nombra pticografía. Aquí, una muestra objetivo se ilumina por una onda frontal suficientemente coherente, conocida como 'sonda', cuya intensidad se concentra en una región lateral localizada donde interactúa con la muestra. Un conjunto de patrones de difracción se registran a continuación por uno o más detectores, con cada patrón correspondiente a una posición lateral relativa diferente de la muestra y la sonda. Estas posiciones se eligen de tal manera que un área de interés de la muestra esté cubierta por múltiples posiciones superpuestas de la sonda. Un ejemplo de esta técnica para la obtención de imágenes de alta resolución se describe en WO 2005/106531. La técnica que se revela en WO 2005/106531 se conoce ahora por los expertos en la técnica como el sistema iterativo pticográfico (o PIE). Este implica proporcionar radiación incidente desde una fuente de radiación a un objeto destino; detectar, a través de al menos un detector, la intensidad de la radiación dispersada por el objeto destino y proporcionar datos de imagen sensibles a la intensidad detectada sin el posicionamiento de alta resolución de la radiación incidente o de la abertura posterior al objeto destino en relación con el objeto de destino; y el uso de la intensidad detectada para producir datos de imagen para la construcción de una imagen de una región del objeto destino. Las datos de imagen pueden producirse usando un proceso iterativo utilizando una función de sonda portátil suavemente variable tal como una función de transmitancia o función de iluminación.
- 25
- 30 PIE proporciona una poderosa técnica para la recuperación de datos de imágenes relativas a una zona de un objeto a partir de un conjunto de mediciones de patrones de difracción. Cada patrón de difracción se forma mediante la iluminación de un objeto con una conocida onda frontal de radiación coherente con el requisito de que la intensidad de la onda frontal se concentre dentro de una región lateral localizada donde interactúe con el objeto. Ejemplos de tal onda frontal sería la que se genera a una corta distancia más allá de una abertura cuando se ilumina por una onda plana, o la mancha focal que se genera por un lente convexo iluminado por una onda plana. La técnica también es aplicable a situaciones en las que el objetivo se ilumina por la radiación de una onda plana y la abertura posterior al objeto de destino se usa para seleccionar la iluminación que se dispersa por una región del objeto.
- 35
- 40 En este sentido un patrón de difracción es la distribución de intensidad que se produce por una configuración óptica cierta distancia más allá del objeto y en un plano normal a la dirección de propagación de la onda frontal de iluminación. Este plano se designa como el plano de medición y las mediciones que se realizan en este plano se denotan como $\Psi_k(u)$ siendo u un apropiado vector coordenado. Hay que señalar que cuando la distancia entre el plano de medición y un plano de la muestra es pequeña el patrón de difracción se conoce como patrón de difracción de campo cercano. Cuando esta distancia es grande el patrón de difracción se conoce como patrón de difracción de campo lejano.
- 45
- 50
- 55

La pticografía hace uso de varios patrones de difracción grabados en el plano de medición utilizando un dispositivo de grabación adecuado, tal como una cámara CCD o algo similar. Las posiciones laterales del objeto y la iluminación localizada de la onda frontal son diferentes para cada patrón.

Una limitación de PIE es el requisito de que, a fin de proporcionar datos de imágenes útiles, las características de la función de la sonda (por ejemplo, la función de transmitancia asociada con la abertura posterior al objeto destino o la función de iluminación asociada con la radiación incidente) deben conocerse o estimarse. Este requiere el consumo de tiempo en la preparación de las técnicas y puede dar lugar a imprecisiones si la función de la sonda utilizada es inexacta.

Esta limitación de PIE puede abordarse mediante la técnica revelada en WO2010/064051. La técnica descrita en WO2010/064051 se refiere a una extensión del sistema iterativo pticográfico o ePIE. Esta técnica comienza con una estimación inicial aproximada de la sonda de onda frontal y una estimación inicial aproximada de la muestra objetivo. Cada iteración del ePIE produce estimaciones actualizadas de la sonda y de la muestra. Las estimaciones iniciales no tienen por qué ser exactas; es posible que el algoritmo produzca una imagen dada sólo mediante una suposición inicial aproximada de la forma de la sonda. Sin embargo, es posible que el algoritmo se rehúse a producir una imagen precisa. En algunos casos cada iteración del ePIE producirá estimaciones de la muestra y de la sonda que son menos precisos que los que resultan de la iteración anterior, y el algoritmo se dice que diverge.

Es un objetivo de la presente invención mitigar al menos parcialmente los problemas mencionados anteriormente.

La pticografía es aplicable a la obtención de imágenes ya sea por el modo de reflexión (donde el haz de iluminación se refleja desde la muestra objetivo) o por el modo de transmisión (donde el haz de iluminación se transmite a través de la muestra destino.) Aquí, cuando se utiliza la transmisión/propagación/difusión debe entenderse que la reflexión/reflector/reflejo igualmente podría utilizarse.

Breve resumen de la descripción

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método como se expone en la reivindicación adjunta 1.

El patrón de difracción de referencia se puede basar en la intensidad de la radiación detectada por al menos un detector.

La radiación detectada por al menos un detector puede reflejarse desde el objeto destino de referencia, o puede transmitirse a través del objeto destino de referencia.

La aproximación inicial para la función de sonda puede utilizarse para determinar los datos de imagen para un objeto destino o una pluralidad de estos.

El objeto destino de referencia puede ser el primer objeto destino para el cual se determinan los datos de imagen.

La determinación de una aproximación inicial para una función de sonda puede comprender: estimar, basado en el patrón de difracción de referencia, la potencia de radiación incidente sobre un área de la sonda del objeto destino de referencia, y la selección de la aproximación inicial para la función de la sonda de tal manera que la aproximación inicial para la función de sonda tenga una intensidad media igual a la intensidad media estimada.

La estimación de una intensidad media puede comprender: realizar una transformada de Fourier rápida en el patrón de difracción de referencia para producir una matriz de números complejos, y la suma de los valores absolutos de los números complejos producirá un número real, en el que la selección de la aproximación inicial para la función de sonda comprende: tomar la raíz cuadrada del número real para producir un número de valor real, N, la selección de la aproximación inicial para la función de la sonda, P, será $P = MN/K$, donde M es una matriz que representa el área de la sonda, y K es un factor de normalización.

K puede ser la suma de los valores en la matriz M.

Una estimación del área de la sonda puede proveerse, en el que los valores en la matriz M son cero fuera del área estimada de la sonda y son 1 dentro del área estimada de la sonda, y K es igual al número de valores 1 en la matriz M.

Un aspecto de la invención proporciona un medio de almacenamiento de datos legibles por un sistema que comprende instrucciones ejecutables por un ordenador que, cuando se ejecutan, realizan el método anterior.

Las modalidades de la invención pueden aplicarse para mejorar el rendimiento de los métodos y sistemas de ePIE mediante la proporción de una reducción o eliminación de la probabilidad de divergencia durante el refinamiento iterativo de la función de la sonda.

Breve descripción de las figuras

Las modalidades de la presente invención se describirán de ahora en adelante, a modo de un único ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- La Figura 1 ilustra la incidencia en un objeto destino;
- La Figura 2 ilustra la función de sonda y la formación de un patrón de difracción con un objeto destino;
- La Figura 3 ilustra un algoritmo de recuperación de fase; y
- La Figura 4 ilustra la función de sonda y la formación de un patrón de difracción sin el objeto destino.
- La Figura 5 ilustra la función de sonda y la formación de un patrón de difracción con un objeto de calibración.
- La Figura 6 ilustra un aparato para proporcionar datos de imagen que pueden usarse para construir una imagen de alta resolución en la región de un objeto destino.

Descripción detallada

En los dibujos los mismos números de referencia se refieren a las partes similares.

La Figura 1 ilustra cómo un patrón de dispersión puede desarrollarse y utilizarse para determinar datos de imagen correspondientes a la información sobre la estructura de un objeto destino. Se entenderá que el término objeto destino se refiere a cualquier muestra o elemento colocado en la trayectoria de la radiación incidente que provoca la dispersión de la radiación. Se entenderá que el objeto de destino debe ser al menos parcialmente transparente a la radiación incidente. El objeto destino puede o no tener algún tipo de estructura repetitiva. Alternativamente el objeto de destino puede estar total o parcialmente reflectante en cuyo caso el patrón de dispersión se mide con base a la radiación reflejada.

La radiación incidente 10 es provocada por caer sobre el objeto destino 11. Debe entenderse que el término radiación generalmente se interpretará como la energía de una fuente de radiación. Esto incluirá la radiación electromagnética incluyendo rayos X, partículas emitidas como los electrones y/u ondas acústicas. Dicha radiación puede representarse por una función de onda $\Psi(\mathbf{r})$. Esta función de onda incluye una parte real y una parte imaginaria como se entenderá por los expertos en la técnica. Esto puede representarse por el módulo de las funciones de onda y fase. $\Psi(\mathbf{r})^*$ es el conjugado complejo de $\Psi(\mathbf{r})$ y $\Psi(\mathbf{r})\Psi(\mathbf{r})^* = |\Psi(\mathbf{r})|^2$ donde $|\Psi(\mathbf{r})|^2$ es una intensidad que puede medirse por la función de onda.

La radiación incidente 10 se dispersa a medida que pasa a través y más allá de la muestra 11. Como tal la función de onda de la radiación incidente a medida que sale de la muestra serán modificadas en amplitud y fase con respecto a la función de onda de la radiación incidente próxima al objetivo previo de la muestra. La dispersión que se produce puede incluir difracción de Fourier, refracción y/o difracción de Fresnel y cualquier otra forma de dispersión en el cual las características de la radiación incidente se modifican como resultado de la propagación después de la muestra. Si una disposición de detectores tales como un detector CCD 12 están dispuestos a una larga distancia de la muestra entonces el patrón de difracción se forma en un plano de difracción 13. Se formará un patrón de difracción de Fourier si los detectores 12 se encuentran a una distancia D de la muestra donde D es lo suficientemente largo como para que el patrón de difracción se forme efectivamente de una fuente puntual. Si el plano de difracción se forma más cerca de la muestra, mediante la localización de los detectores más cercanos, se formará un patrón de difracción de Fresnel.

La radiación incidente 10 cae sobre una primera superficie del objeto destino 11. La radiación incidente se dispersa en la muestra y la radiación transmitida se propaga a través de un plano de difracción 13 donde se forma el patrón de difracción.

La Figura 2 ilustra el proceso de la figura 1 en más detalles. La radiación 10 se enfoca aproximadamente, por ejemplo mediante un lente débil, de modo que se ilumine la región de la primera superficie del objeto destino. La lente débil puede por supuesto comprender cualquier aparato de enfoque apropiado, tal como un conjunto de placas y un suministrador de voltaje para un haz de electrones o una superficie reflectante de rayos X. Este débil enfoque es suficiente para limitar sustancialmente el haz de radiación de sondeo. Por lo tanto, no es necesario enfocar la radiación aunque por supuesto la radiación fuertemente enfocada se podría utilizar. Aquí el objeto destino proporciona una función objetivo $O(\mathbf{r})$ que representa la fase y la amplitud de la alteración introducida en una onda incidente como resultado de pasar a través del objeto de interés. La radiación incidente que ilumina sobre el objeto destino representa una función de sonda $P(\mathbf{r})$ que forma una función de iluminación tal como el que se genera por un perfil cáustico o de iluminación que se forma por un lente u otro componente óptico. $P(\mathbf{r})$ es el valor estacionario complejo de este campo de onda calculado en el plano del objeto. La función de onda de salida $\psi(\mathbf{r}, \mathbf{R})$ define la radiación dispersada a medida que sale de la superficie corriente abajo del objeto destino. Como esta onda de salida se propaga a través del espacio se formará un patrón de difracción $\Psi(\mathbf{u})$ en el plano de difracción 13.

Debe entenderse que en lugar de un enfoque de iluminación sobre el objetivo débilmente (o de hecho fuertemente), la

radiación desenfocada puede utilizarse con una abertura posterior al objetivo. Una abertura se encuentra posterior al objeto destino para seleccionar de este modo la región del objetivo de la investigación. La abertura se forma en una cubierta de manera que la abertura define el "soporte". El soporte está en el área de una función donde esta función no es cero. En otras palabras fuera del soporte de la función es cero. Fuera del soporte de la cubierta de bloques de la transmitancia de la radiación. El término abertura describe una función de transmisión localizada de radiación. Este puede representarse por una variable compleja en dos dimensiones que tienen un valor modular entre 0 y 1. Un ejemplo es una cubierta que tiene una región con una abertura física con variación de la transmitancia.

La radiación incidente caería así sobre el lado superior de la muestra y se dispersa por la muestra como esta se transmite. La onda de muestra $O(r)$ se forma así como una función de onda de salida de la radiación después de la interacción con el objeto. De este modo $O(r)$ representa una función compleja de dos dimensiones de manera que cada punto en $O(r)$, donde r es un vector bidimensional de coordenadas, se asocia con un número complejo. $O(r)$ representará físicamente una onda de salida que emanaría del objeto que está iluminado por una onda plana. Por ejemplo, en el caso de la dispersión de electrones, $O(r)$ representaría la fase y la amplitud de la alteración introducida en una onda incidente como resultado de pasar a través del objeto de interés. La abertura proporciona una función de sonda de $P(r)$ (o función de transmisión) que selecciona una parte de la función de onda de salida objeto para el análisis. Se entenderá que en lugar de seleccionar una abertura de una rejilla de transmisión u otra con función de filtrado pueden situarse corriente abajo de la función objeto. La función de sonda de $P(r-R)$ es una función de transmisión de abertura donde dicha abertura se encuentra en la posición R . La función de sonda puede representarse como una función compleja cuyo valor complejo se da por un módulo y una fase los cuales representan las alteraciones de módulo y la fase introducidas por la sonda en una onda plana perfecta incidente sobre ella.

La función de onda de salida $\psi(r,R)$ es una función de onda de radiación medida a la salida de la abertura. Esta onda de salida $\psi(r,R)$ forma un patrón de difracción $\Psi(u)$ en un plano de difracción. Aquí r es un vector de coordenadas en el espacio real y u es un vector de coordenadas en el espacio de difracción.

Se entenderá que tanto con las modalidades de formación de abertura y de no formación de abertura que se describe respecto a las Figuras 1 y 2 si el plano de difracción en el que se detecta la radiación dispersa se mueve más cerca de la muestra se detectan los patrones de difracción de Fresnel en lugar de los patrones de difracción de Fourier. En tal caso la función de propagación de la onda de salida $\psi(r,R)$ para el patrón de difracción $\Psi(u)$ será una transformada de Fresnel en lugar de una transformada de Fourier.

La Figura 3 ilustra un proceso iterativo de acuerdo con una modalidad de la presente invención que puede utilizarse para recuperar datos de imágenes del tipo que puede utilizarse para construir una imagen de la superficie de un objeto a partir de un conjunto de patrones de difracción. El proceso iterativo 30 que se ilustra comienza con una suposición 31 del objeto y una suposición 32 sobre la forma de la función de sonda que se utiliza. Por consiguiente estas suposiciones iniciales se sustituyen mediante la ejecución de suposiciones en el proceso iterativo. Las aproximaciones iniciales para la función objetivo puede ser una distribución aleatoria o puede ser una aproximación calculada previamente basadas en otras mediciones o cálculos realizados con anterioridad. La aproximación inicial para la función de la sonda se describe con más detalle a continuación. Las suposiciones se modelan en un número de puntos de muestra y por lo tanto se representan mediante matrices. Estas matrices pueden almacenarse y manipularse mediante un ordenador u otra unidad de tratamiento. Apropiadamente los puntos de la muestra son equidistantes y forman una matriz rectangular. La función de estimación de la sonda después de k iteraciones se denota por $P_k(r)$ y la imagen recuperada después de k iteraciones por $O_k(r)$. Las suposiciones originales para la función de la sonda y la función objeción son por tanto $P_0(r)$ y $O_0(r)$ respectivamente donde r es un vector de coordenadas apropiado.

Si el actual vector de traslación referente con las posiciones relativas del objeto y la función de la sonda se denota como R_k entonces la interacción entre la supuesta distribución de objetos y la función de la sonda puede modelarse

$$\psi_k(r, R_k) = O_k(r) \cdot P(r - R_k) \dots\dots\dots 1$$

Este es la actual onda frontal de salida. De acuerdo con las modalidades de la presente invención el proceso iterativo se utiliza para actualizar el objeto supuesto 33. La supuesta función sonda actualizada 34 también se calcula de forma iterativa.

En lo referente a la actualización del objeto supuesto el primer paso es determinar la onda frontal de salida $\psi(r, R_k)$ en el paso 35. Esto se lleva a cabo utilizando la ecuación 1 que se señaló anteriormente. El siguiente paso es propagar la onda frontal de salida para el plano de medición que se lleva a cabo utilizando un modelo de propagación adecuado para la onda frontal coherente. La propagación se representa por el operador T donde:

$$\psi_k(u) = \tau[\psi_k(r, R_k)] \dots\dots\dots 2$$

5 El transformador T anterior que se mostró como la etapa 36 genera una onda frontal propagada $\Psi_k(u)$ donde u referencia las coordenadas en el plano de medición. Como $\Psi_k(u)$ es un valor complejo puede escribirse como:

$$\psi_k(u) = A_k(u) \exp(i\theta_k(u)) \dots\dots\dots 3$$

10 Siguiendo al modelado de esta onda frontal debe compararse con un patrón de difracción medido. Si el objeto supuesto es correcto, entonces la siguiente igualdad se cumple para cada valor de k.

$$A_k(u) = \sqrt{\Omega_k(u)} \dots\dots\dots 4$$

15 El módulo de la onda frontal de salida propagada iguala a la raíz cuadrada de la intensidad del patrón de difracción registrado $\Omega_k(u)$. Generalmente este no será el caso de que el objeto supuesto no represente correctamente el objeto verdadero en los puntos de muestra. Para hacer cumplir la igualdad el módulo de la onda frontal de salida propagada se sustituye por la raíz cuadrada de la intensidad del patrón de difracción registrado como:

$$\psi'_k(u) = \sqrt{\Omega_k(u)} \exp(i\theta_k(u)) \dots\dots\dots 5$$

20 En la etapa 37 el módulo de la onda frontal de salida propagada se sustituye por la raíz cuadrada de la intensidad del patrón de difracción registrado $\Omega_k(u)$.

25 La onda frontal corregida se propaga luego de vuelta al plano del objeto utilizando el operador inverso de propagación:

$$\psi'_k(r, R_k) = \tau^{-1}[\psi'_k(u)] \dots\dots\dots 6$$

30 Esta etapa de propagación inversa 39 proporciona la forma corregida de la onda de salida $\psi'_k(r, R_k)$. El paso 40 de actualización entonces se ejecuta para producir un objeto supuesto mejorado $O_{k+1}(r)$. La etapa de actualización 40 se lleva a cabo de acuerdo a:

$$O_{k+1}(r) = O_k(r) + \alpha \frac{P_k^*(r-R_k)}{|P_k(r-R_k)|_{\text{máx}}^2} (\psi'_k(r, R_k) - \psi_k(r, R_k)) \dots\dots\dots 7$$

35 Esta función de actualización se etiqueta como U1 en la Figura 3 que genera la actualización del objeto supuesto $O_{k+1}(r)$. El parámetro α regula la velocidad de cambio del objeto supuesto. Este valor se debe ajustar entre 0 y 2 como los valores superiores pueden conducir a la inestabilidad en la actualización del objeto supuesto. De acuerdo con las modalidades de la presente invención la función de la sonda se reconstruye en la mayoría de las veces de la misma manera que la función objetivo. Apropriadamente la suposición de la función de la sonda se realiza simultáneamente con la actualización del objeto supuesto. (Se apreciará que la función de la sonda opcionalmente se podría actualizar con más frecuencia o menos frecuencia que la función objetivo). Con el fin de lograr esto, otro patrón de difracción, que actúa como un patrón de difracción de calibración, puede grabarse en el plano de medición con el objeto destino que se eliminó del sistema. Este patrón de difracción de calibración puede registrarse antes que el objeto destino cuando está en marcha o después de la retirada del objeto destino después de que se han medido los patrones de difracción anteriormente mencionados, o puede ser una combinación de patrones de difracción registrados antes y después de que objeto destino se sitúe debidamente. Alternativamente, el patrón de difracción de calibración puede registrarse en el plano de medición con el objeto de calibración 511 en lugar del objeto destino. Una vez más, este patrón de difracción de calibración puede registrarse antes que el objeto destino cuando está en marcha o después de la retirada del objeto destino después de que se han medido los patrones de difracción anteriormente mencionados, o puede ser una combinación de patrones de difracción registrados antes y después de que objeto destino se sitúe debidamente. El objeto de calibración 511 es un objeto con una función objetivo conocida, de tal manera que la función de la sonda pueda derivarse a partir del patrón de difracción medido y la función objetivo.

La medición del patrón de difracción se ilustra en la Figura 4. Una disposición alternativa se muestra en la Figura 5, en la

que el patrón de difracción de calibración se mide usando un objeto de calibración 511, que tiene una función objetivo conocida, en lugar del objeto destino. El patrón de difracción de calibración se denota como la medición $\Omega_P(u)$.

En la etapa 32 $P_0(r)$ se elige la estimación inicial de la función de la sonda, como se describe con más detalle a continuación. Procediendo de una manera similar a los pasos de corrección/actualización detallados anteriormente en la etapa 46 de actualización se hace uso de una función de actualización U2, la cual es:

$$P_{k+1}(r - R_k) = P_k(r - R_k) + \beta \frac{O_k^*(r)}{|O_k(r)|_{max}^2} \left(\psi'_k(r, R_k) - \psi_k(r, R_k) \right) \dots\dots\dots 8$$

El resultado de esta función de actualización genera la estimación de funcionamiento para la función de la sonda. El parámetro β regula la velocidad de cambio de la sonda supuesta. Este valor debe ajustarse entre 0 y 2 como los valores superiores pueden conducir a la inestabilidad en la actualización del objeto supuesto. La ejecución de la suposición para la función de sonda puede utilizarse en la etapa 35 para generar la onda frontal de salida.

Un método iterativo alternativa al de la Figura 3 puede usarse en algunas modalidades que se describen en el documento WO 2010/064051.

Como se ha señalado anteriormente, en algunos casos el algoritmo falla en la producción de una imagen precisa debido a la divergencia del algoritmo. Los inventores han descubierto que puede producirse divergencia cuando la intensidad de la sonda de la onda frontal no se incorpora con precisión en su estimación inicial. Si la intensidad del modelado (supuesto) es demasiado grande o demasiado pequeña, cada iteración del ePIE producirá estimaciones de la muestra y de la sonda que son menos precisos que los que resultan de la iteración anterior, y el algoritmo diverge.

De acuerdo con las modalidades de la presente invención, esta divergencia se evita o se hace menos probable al proporcionar a la ePIE una intensidad de estimación inicial de la sonda que utilice un patrón de difracción de referencia, medido con el uso de una muestra de referencia. Este patrón de difracción puede grabarse de la misma manera que los medidos a partir de la muestra objetivo y, de hecho uno de estos patrones en algunas modalidades pueden utilizarse como patrón de difracción de referencia. Cuando la radiación es reflejada desde la muestra de referencia que se mide es preferible que el patrón de difracción de referencia sea de un área de la muestra que refleja una alta proporción de intensidad de la sonda incidente. Cuando la cantidad medida es la radiación transmitida a través de la muestra de referencia es preferible que el patrón de referencia sea de un área que transmite la mayor parte de la intensidad de la sonda incidente. Esto asegura que la intensidad del patrón de difracción de referencia sea aproximadamente igual a la intensidad de la sonda. La selección de la muestra de referencia no está particularmente limitada, y como se señaló anteriormente puede ser una muestra destino. Alternativamente, cuando se utiliza un objeto de calibración 511 para determinar el patrón de difracción de calibración, este puede utilizarse como patrón de difracción de referencia.

El patrón de difracción medido se utiliza para calcular la potencia de radiación incidente sobre la muestra en el área de la sonda. Esta potencia calculada puede usarse entonces, junto con un conocimiento aproximado de la zona de la sonda, para encontrar una intensidad promedio, o alternativamente una amplitud promedio, de la radiación incidente a través del área de la sonda. Aquí, el término área de la sonda se utiliza para expresar que el área de la muestra que da lugar a la medición del patrón de difracción.

De acuerdo con el ejemplo de esta modalidad, la sonda inicial se forma mediante la realización de una Transformada Rápida de Fourier (FFT) en el patrón de difracción de referencia (por ejemplo, la intensidad medida con el uso de una muestra de referencia). Esto da lugar a una matriz de números complejos, cuyos valores absolutos se suman después para obtener un valor representativo de la potencia de la radiación incidente en la zona de la sonda. Se toma entonces la raíz cuadrada de esta suma para obtener un único valor de número real N representativo de la amplitud RMS de la radiación integrada sobre el área de la sonda. Ahora se realiza una estimación de la zona fuera de la cual la verdadera sonda cae a un nivel bajo de intensidad, para obtener la forma aproximada de la sonda. Esto se representa en un ordenador por una matriz M cuyos valores son cero (0) cuando la sonda se considera por debajo de la intensidad del umbral y uno (1) cuando se considera se encuentra por encima del umbral. El número total de 1's en M se calcula para dar un número real de valor K . La estimación inicial de la sonda se representa a continuación, en el ordenador por la matriz P , donde:

$$P = MN/K \dots\dots\dots 9$$

Es decir, cada entrada de la matriz M se multiplica por N y se divide por K . Esto resulta en una aproximación inicial para la función de sonda que tiene aproximadamente la misma amplitud, y así la misma intensidad, como la radiación incidente

promedio a través del área de la sonda. La estimación inicial para la función de la sonda es cero fuera del área aproximada de la sonda y tiene un valor constante, uniforme dentro de la zona de la sonda.

Como sería evidente para el experto en la materia, algunas o todas de las operaciones matemáticas anteriores pueden realizarse usando un ordenador.

De acuerdo con estas modalidades, la probabilidad de divergencia durante el refinamiento iterativo de la función de la sonda se reduce o se elimina proporcionando una aproximación inicial para la función de la sonda que tiene una intensidad adecuada, mediante la selección de la intensidad de la función de la sonda supuesta para obtener un promedio estimado de la intensidad, basado la medida del patrón de difracción de referencia.

En algunas modalidades preferidas, la estimación de la intensidad de la sonda se puede utilizar en múltiples procesos algorítmicos iterativos de varias muestras de destino. Es decir, puede que no sea necesario recoger la estimación inicial de la intensidad de la sonda para cada muestra objetivo investigada.

La Figura 6 ilustra un aparato para proporcionar datos de imagen que pueden usarse para construir una imagen de alta resolución de una región de un objeto destino de acuerdo con la modalidad anteriormente descrita ilustrada en las figuras 1 y 2. Una fuente de radiación 50 proporciona iluminación en un lente 51 que enfoca débilmente la radiación sobre una región seleccionada de un objetivo 11. La radiación incidente tiene una función de onda incidente 52 y una función de onda de salida 53. Esta de función de onda de salida se propaga a través de la distancia D donde se forma un patrón de difracción en una matriz de detectores 12. La distancia D es ventajosa y suficientemente larga para que la función de onda de salida propagada 53 forme un patrón de difracción de Fourier en un campo lejano. La matriz de detectores proporciona al menos un detector que puede detectar la intensidad de la radiación dispersada por el objeto destino 11. Se prevé un dispositivo de localización 54 el cual puede ser un micro activador y puede localizar el objeto de destino en una o más ubicaciones como se desee con respecto al objeto de destino. De esta manera la radiación de la fuente 50 se puede hacer incidir sobre diferentes ubicaciones de la superficie de corrientes arriba del objetivo 11.

Alternativamente, en algunas aplicaciones puede ser ventajoso que la distancia D sea suficientemente pequeña para que la función de onda de salida propagada 53 forme un patrón de difracción de Fresnel en la matriz de detectores en un campo cercano.

Una unidad de control 55 proporciona señales de control al micro activador y también recibe los resultados de medición de intensidad de cada uno de los detectores de píxeles en la matriz de detectores 12. La unidad de control 55 incluye un microprocesador 56 y una base de datos 57 junto con una interfaz de usuario 58 que puede incluir una pantalla de usuario y un teclado de entrada de usuario. La unidad de control puede estar conectada a un dispositivo de procesamiento adicional, tal como un ordenador portátil o PC 59 para el control remoto. Alternativamente, se entenderá que la unidad 55 de control se puede proporcionar mediante un ordenador portátil o PC. La unidad de control 55 puede controlar automáticamente la producción de datos de imagen en tiempo real. Alternativamente, un usuario puede utilizar la interfaz de usuario 58 para seleccionar áreas del objeto destino para la obtención de imágenes o proporcionar otras entradas del usuario.

En el uso la fuente de radiación 50 se ilumina el lente 51 con radiación. El objeto destino 11 esté selectivamente localizado por el activador 54 bajo el control de la unidad de control 55. La radiación forma un patrón de difracción que se detecta en ubicaciones respectivas por cada uno de los detectores en la matriz de detectores 12. Los resultados de estos detectores es la entrada a la unidad de control y se pueden almacenar en la base de datos 57. Si sólo se utiliza una posición para derivar los datos de imagen, el microprocesador utiliza esta información detectada junto con instrucciones del programa que incluye información sobre el algoritmo anteriormente señalado para derivar los datos de imagen. Sin embargo, si se requiere una o más posiciones adicionales antes de finalizar los datos de imagen, la unidad de control emite señales próximos al activador 54 quien localiza la muestra en otra ubicación seleccionada. El activador puede colocar la muestra en una de las diferentes posiciones existentes. Después de la reubicación un patrón de difracción formado en la matriz de detectores se mide y los resultados se almacenan en la unidad de control. Como un ejemplo la matriz 12 puede ser una matriz CCD de 1200 x 1200 píxeles. Si no se requieren más mediciones de la intensidad los datos de imagen en esta etapa pueden ser generados por la unidad de control de acuerdo con los dos conjuntos de resultados almacenados recientemente utilizando el algoritmo indicado anteriormente. Los datos de imágenes primarios pueden mostrarse o una imagen de alta resolución generada a partir de los datos de las imágenes pueden mostrarse en la interfaz de usuario 1209 o en la pantalla remota de una PC u otro dispositivo similar. Alternativamente o adicionalmente los datos de imagen en sí pueden utilizarse para determinar características asociadas con el objeto destino (por ejemplo, valores de datos que se comparan con los valores predeterminados).

El activador puede utilizarse para mover el objeto destino fuera de la trayectoria óptica para permitir que el patrón de

difracción sin el objeto destino se mida. Alternativamente este movimiento puede efectuarse por otro activador (no mostrado) o por la interferencia del usuario.

5 Según una modalidad adicional de la invención, un difusor cubre una abertura posterior al objetivo. El difusor está dispuesto para difundir la onda frontal del objetivo de modo que la radiación incidente sobre la muestra se extienda de forma más uniforme sobre todos los ángulos de difracción en el patrón de difracción medido. Mediante la realización de las mediciones necesarias para recuperar la función de iluminación, o la función de la sonda, con el difusor en su lugar, el efecto del difusor se puede recuperar automáticamente. Por lo tanto, el difusor puede difundir la onda frontal del objetivo de una manera arbitraria, y no es necesario conocer a priori la naturaleza del difusor.

10 La presencia del difusor conduce a una reducción en el rango dinámico del patrón de difracción. Como la mayoría de detectores han limitado rango dinámico, la reducción de la gama dinámica del patrón de difracción puede permitir una representación más fiel del patrón de difracción que se determine. Además, como la radiación incidente sobre la muestra se extiende de manera más uniforme sobre todos los ángulos de difracción, el flujo incidente que se requiere para proporcionar los datos de imagen se pueden reducir, disminuyendo así la posibilidad de causar daños en el objeto destino.

15 Cualquier tipo de difusor que tenga una función de transferencia arbitraria se puede utilizar. Como se entenderá por el experto en la materia, la elección del difusor dependerá de las propiedades de la radiación que se utilice, y el efecto de difusión que se desee. Por ejemplo, para la luz visible el difusor puede comprender un difusor de vidrio esmerilado.

20

Reivindicaciones

1. Un procedimiento implementado por ordenador para proporcionar datos de imagen para la construcción de una imagen de una región de un objeto destino (11), que comprende:
 proporcionar radiación suficientemente coherente;
 proporcionar un patrón de difracción de referencia de un objeto destino de referencia, en el que el patrón de difracción de referencia se base en una intensidad de radiación detectada por al menos un detector (12);
 determinar una estimación inicial para una función de sonda (32) basada en el patrón de difracción de referencia; y
 determinar, mediante un proceso iterativo (30) que se basa en la estimación inicial para la función de la sonda (32) y una aproximación inicial para una función objetivo (31), los datos de imagen para dicha región del objeto destino, en el que en el proceso iterativo la función objetivo se actualiza en respuesta a una intensidad de la radiación detectada por al menos un detector (12) formado por la iluminación del objeto destino con dicha radiación suficientemente coherente que tenga una extensión lateral localizada, o con el uso de una abertura del objeto destino.
2. El método de la reivindicación 1 en el que la radiación detectada por al menos un detector (12) se refleja desde el objeto de destino de referencia.
3. El método de la reivindicación 1 en el que la radiación detectada por al menos un detector (12) se transmite a través del objeto destino de referencia.
4. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que la estimación inicial para la función de la sonda se utiliza para determinar los datos de imagen para una o una pluralidad de objetos de destino.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que el objeto de destino de referencia es un primer objeto de destino para el cual se determina los datos de imagen.
6. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes en el que se determina una aproximación inicial para la función de sonda comprende:
 estimar, basado en el patrón de difracción de referencia, una potencia de radiación incidente sobre un área de la sonda del objeto destino de referencia, y
 la selección de la aproximación inicial para la función de la sonda de tal manera que la aproximación inicial para la función de la sonda tenga una intensidad media igual a la intensidad media estimada.
7. El método de la reivindicación 6, en el que la estimación de una intensidad media comprende:
 realizar una transformada rápida de Fourier sobre el patrón de difracción de referencia para producir una matriz de números complejos, y
 sumando los valores absolutos de los números complejos para producir un número real, y en donde la selección de la aproximación inicial para la función sonda comprende:
 tomando la raíz cuadrada del número real para producir un número de valor real, N , la selección de la aproximación inicial para la función de la sonda, P , será $P = MN/K$, donde M es una matriz que representa el área de la sonda, y K es un factor de normalización.
8. El método de la reivindicación 7, en el que K es la suma de los valores en la matriz M .
9. El método de la reivindicación 7, comprende además proporcionar una estimación de la área de la sonda, en donde Los valores en la matriz M son cero fuera del área de la sonda estimada y son 1 dentro del área de la sonda estimado, y K es igual al número de valores 1 en la matriz M .
10. Una máquina para el almacenamiento de datos legibles que comprende instrucciones ejecutables por ordenador el cual, al ser ejecutado por un ordenador, realizan el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

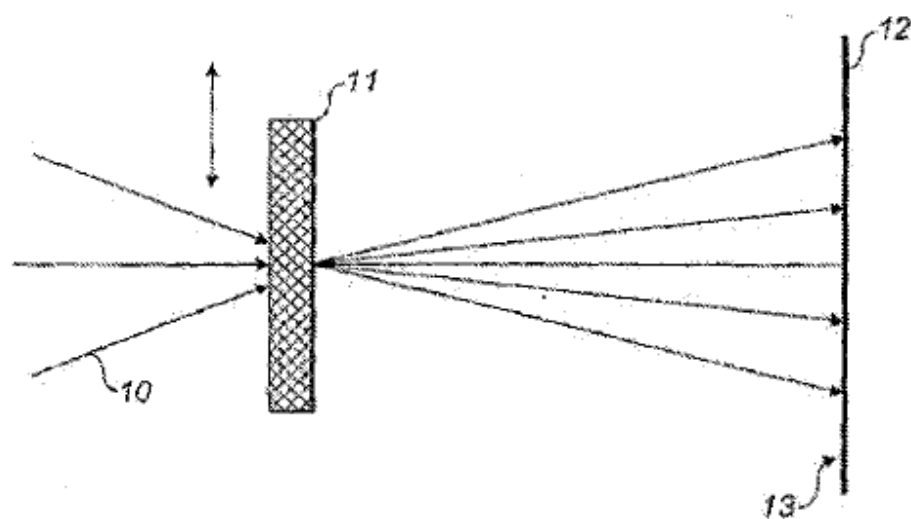


FIG. 1

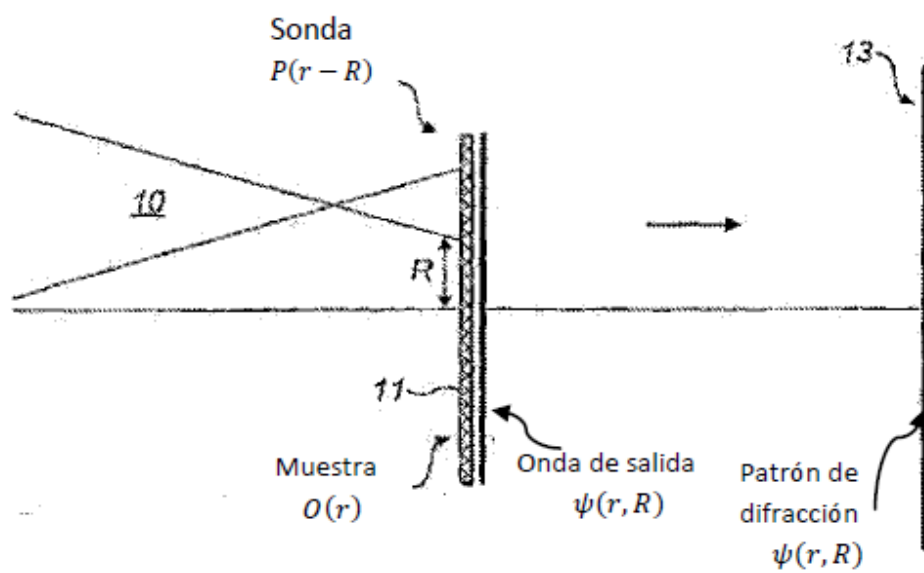


FIG. 2

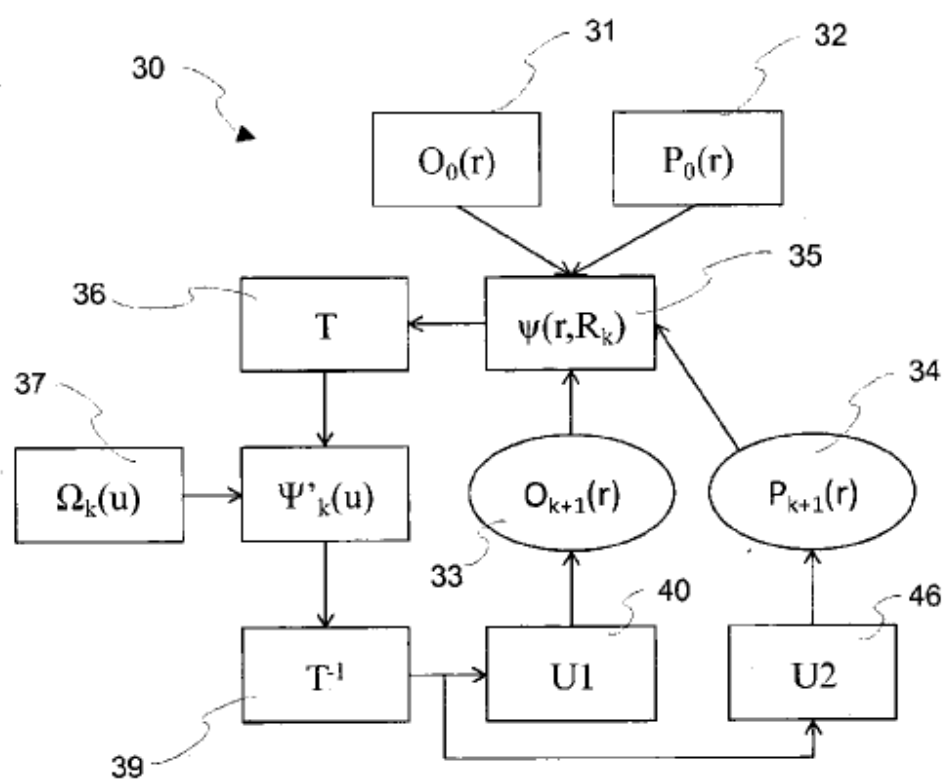


FIG. 3

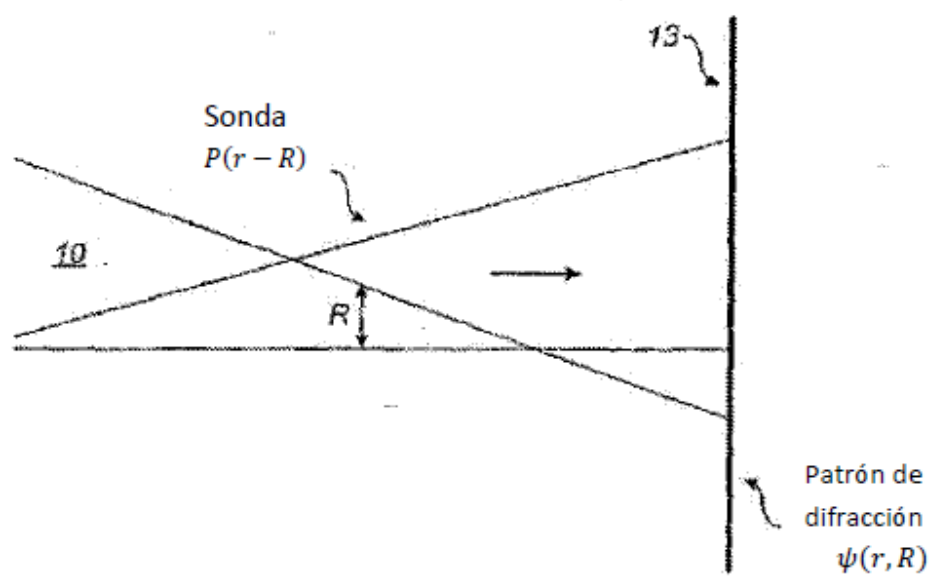


FIG. 4

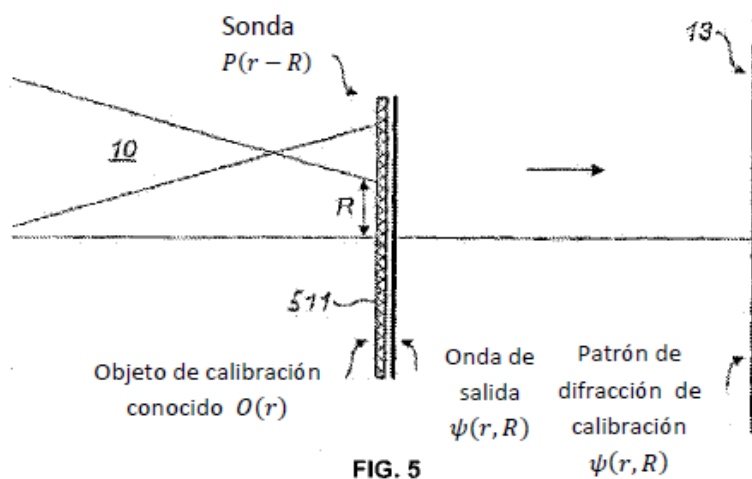


FIG. 5

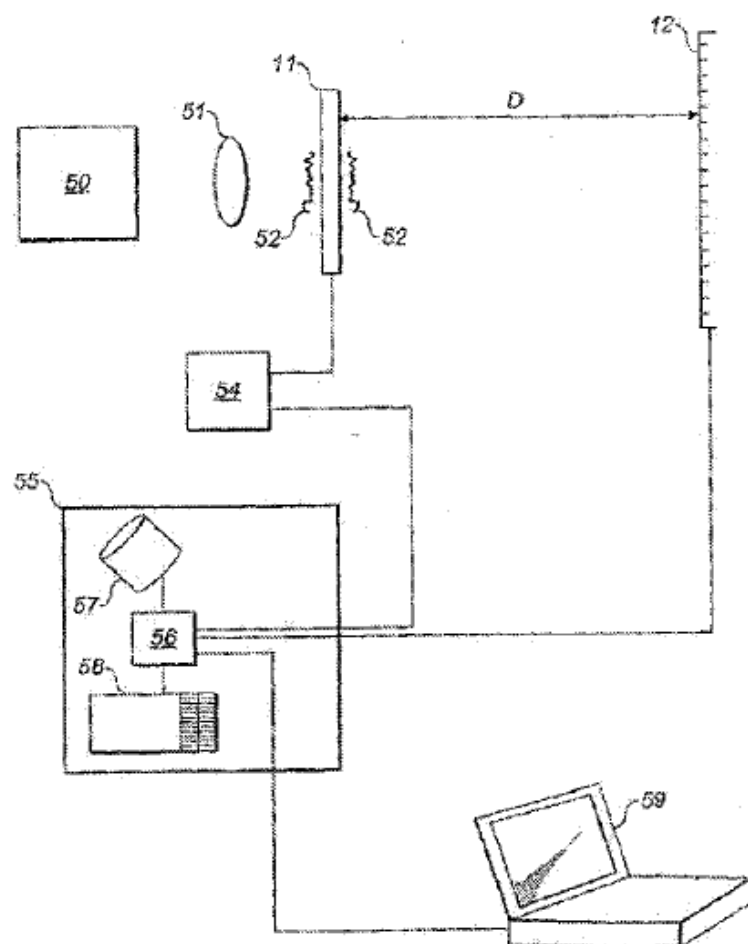


FIG. 6