

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 383 526**

51 Int. Cl.:
G06T 3/40

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04817612 .7**

96 Fecha de presentación: **29.12.2004**

97 Número de publicación de la solicitud: **1702304**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **20.09.2006**

54 Título: **Procedimiento y sistema de superresolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen, y dispositivo utilizado para la puesta en ejecución de dicho procedimiento**

30 Prioridad:
31.12.2003 FR 0315628

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.06.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.06.2012

73 Titular/es:
**MAUNA KEA TECHNOLOGIES
9, RUE D'ENGHIEN
75010 PARIS, FR**

72 Inventor/es:
**BERIER, Frédéric y
PERCHANT, Aymeric**

74 Agente/Representante:
Díaz Nuñez, Joaquín

ES 2 383 526 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

Procedimiento y sistema de superresolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen, y dispositivo utilizado para la puesta en ejecución de dicho procedimiento.

5 [0001] La invención presente se refiere a un procedimiento y un sistema de superresolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen, así como a un dispositivo utilizado la aplicación de dicho procedimiento.

10 [0002] Se trata de una aplicación particularmente interesante en el dominio de la imaginología médica. No obstante, la invención es de un campo más amplio ya que puede aplicarse a cualquier dominio en el cual se realiza la imaginología por medio de una guía compuesta de varias fibras ópticas, como por ejemplo en el ámbito de observación del interior de un dispositivo manufacturado.

15 [0003] La guía de imagen permite obtener una imagen. Dicho dispositivo permite desviar el barrido láser, la fuente de luz y el receptor lejos del objeto que hay que observar. Por ejemplo en un sistema de barrido láser con obtención de una imagen confocal, la guía de imagen es un conjunto de varios millares de fibras ópticas cuya disposición espacial es idéntica en la entrada y en la salida.

20 [0004] El extremo distal, es decir próximo al objeto que hay que observar y, por lo tanto, lejos de la fuente de luz, es asociado a un cabezal constituido por ópticas con el fin de enfocar el haz láser en el objeto que hay que observar. Dicha guía de imagen permite observar el objeto en profundidad, con una resolución lateral y un campo de observación que dependen del aumento de las ópticas, de la distancia entre los núcleos de la guía de imagen y del diámetro de la guía. Modificando el aumento, podemos hacer variar la resolución, en detrimento del campo. Del mismo modo, una guía de imagen similar, pero con una distancia entre los núcleos más pequeña permite obtener los mismos resultados. En ambos casos, cuando la resolución es más pequeña, el campo visual también disminuye.

25 [0005] Una guía de imagen es una estructura fija cuya relación entre la superficie útil y el número de núcleos presentes define la resolución del sistema. Para un mismo campo visual, y por tanto, una misma superficie de guía de imagen, la distancia entre los núcleos entre fibras no puede ser reducida debido a tensiones físicas y tecnológicas. En primer lugar, entran en juego las tensiones de fabricación. Y en segundo lugar, las tensiones físicas vinculadas a la diafonía de la guía y a las propiedades ópticas de las fibras que permiten guiar la luz alrededor de las longitudes de ondas visibles.

30 [0006] Así los límites físicos de guiado por paquete de fibras ópticas no permiten obtener una mejor resolución de aumento y de campo fijo.

35 [0007] En numerosas aplicaciones de la imaginología confocal fibrada, la búsqueda de una mejor resolución es primordial. En una aplicación médica por ejemplo, la visión de una célula o de los componentes de la célula requiere una resolución que puede ir más allá de los límites físicos de esta tecnología.

40 [0008] Existen numerosos trabajos de superresolución realizados a partir de una cámara clásica, donde el esquema de muestreo es regular y dispuesto en una rejilla cuadrada o rectangular. Estos trabajos utilizan masivamente la regularidad espacial del muestreo. Conocemos particularmente trabajos sobre la superresolución donde el muestreo producto de un conjunto de adquisiciones es un muestreo entrelazado. Por ejemplo, podemos citar las publicaciones siguientes:

45 [0009] H. Shekarforoush y R. Chellappa. "Data-driven multi-channel super - resolution with application to video sequences". Journal of the Optical Society of America A, 16 (3): 481 - 492, Mar. 1999.;

50 [0010] R Komprobst, R. Peeters, T. Vieville, G. Malandain, S.Mierisova, S. Sunaert, y O. Faugerasand R. Van Hecke; "Superresolution in mri and its influye in statistical analysis"; Technical Report nO 4513, INRIA, Julio 2002; y

55 [0011] S. Lertrattanapanich y N.K. Bose; "High resolution image formation from low resolution frames using delaunay triangulation"; IEEE Transactions on Images Processing, vol. 11 (nO 12), Diciembre 2002.

60 [0012] Finalmente, conocemos trabajos que describen un sistema en el que el movimiento entre varias vistas es bastante libre y produce un muestreo realmente irregular. La función de transferencia del sistema descrito es espacialmente variante, y la relación entre la anchura de la función de transferencia y la distancia que separa los puntos de muestreo no es constante en la adquisición, lo que tiene como consecuencia tener en cuenta las ópticas del sistema, y por tanto, una resolución bastante compleja. Dicho sistema se divulga particularmente en los documentos siguientes:

65 [0013] A. Patti, M. Sezan, y M. Tekalp; "Superresolution video reconstruction with arbitrary sampling lattices and nonzero aperture time"; IEEE Trans. on Image Processing, páginas 1064-1078, Agosto 1997; y

[0014] Andrew J. Patti y Yucel Altunbasak; "Artifact reduction for set theoretic super resolution image reconstruction with edge adaptive constraints and higher-order interpolants"; IEEE Transactions on Image Processing,10(I): 179-186, Enero 2001.

5 **[0015]** Conocemos el documento US 6466 618 que describe un sistema para obtener una imagen de alta resolución a partir de varias imágenes de baja resolución. Cada imagen de baja resolución se obtiene por inserción de un filtro cromático sobre un captador CCD. Cada filtro consta de una red diferente de la red del captador CCD. El sistema descrito en este documento utiliza pequeños movimientos de los objetos visualizados.

10 **[0016]** También conocemos el documento US 4.618.884 que describe un dispositivo de adquisición de imagen mediante una guía de imagen. Se adquieren diferentes imágenes desplazando una plaqueta al extremo distal de la guía de imagen que queda fija.

15 **[0017]** La invención presente tiene por objeto aumentar la resolución de una imagen adquirida a través de una guía de imagen. Otro objetivo destacable de la invención es aplicar el concepto de superresolución a una guía de imagen.

[0018] Además, la invención tiene por objeto mejorar la resolución de una imagen a campo constante adquirida a través de una guía de imagen aumentando el número de puntos de medida por unidad de superficie.

20 **[0019]** Alcanzamos por lo menos uno de los objetivos anteriormente mencionados con un procedimiento para aumentar la resolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen constituida por varias fibras ópticas, el extremo próximo de esta guía de imagen que está conectado a un dispositivo de barrido láser previsto para emitir un haz láser en cada fibra óptica de la guía de imagen y recoger cada haz de retorno en el momento de una adquisición, y el extremo distal está asociado a una cabeza óptica para enfocar el haz láser emitido por la guía de imagen en un objeto de observación. Según la invención, para una posición determinada de la cabeza óptica, este procedimiento consta de las siguientes etapas:

- Realización de varias adquisiciones a través de la guía de imagen, cada adquisición se realiza para una desviación espacial determinada de dicho extremo distal de la guía de imagen con respecto a la cabeza óptica,
- 30 - Transformación de los datos de cada adquisición en una nube de puntos ponderada por la potencia óptica medida sobre el objeto a través de cada fibra óptica de la guía de imagen,
- Registro de cada nube de puntos con respecto a una nube de puntos tomados como referencia,
- Superposición de las nubes de puntos así registrados, y
- 35 - Reconstrucción de una imagen final a partir de esta superposición.

[0020] Con el procedimiento según la invención, realizamos una adquisición redundante de un mismo objeto antes de una etapa de reconstrucción de la imagen final. Para una posición determinada de la cabeza óptica, realizamos varias adquisiciones, cada adquisición corresponde a una posición determinada de la guía de imagen.

40 **[0021]** Para el resto de la descripción, la etapa de registro de nube de puntos es un abuso de lenguaje lo cual significa, de hecho, que trata cada nube de puntos para registrar las imágenes que corresponden a estas nubes de puntos, sin reconstruir forzosamente estas imágenes.

45 **[0022]** En particular, una sola adquisición a través de la guía de imagen es equivalente a una adquisición sobre una rejilla irregular (que es el emplazamiento de las fibras), llamado más adelante muestreo del objeto. El desplazamiento de la guía de imagen en el tubo vuelve a desplazar el esquema de muestreo que es la disposición de las fibras individuales en la guía de imagen. Con dos adquisiciones, obtendremos dos muestreos del mismo objeto, pero desviados espacialmente. Sobreponiéndolas, obtendremos un muestreo con dos veces más puntos de medida. Multiplicando el procedimiento, obtendremos una nube de puntos de muestreo más importante. El muestreo resultante es irregular y debe ser reconstruido en forma de una imagen.

50 **[0023]** La etapa de la transformación de los datos adquiridos puede ir seguida de la aplicación de un filtro para eliminar artefactos debidos a la presencia de la guía de imagen. Este filtro puede consistir en un procedimiento de tratamiento de imagen adquirida por medio de una guía constituida por varias fibras ópticas. Más concretamente, para cada fibra óptica, aislamos sobre la imagen adquirida (los datos brutos) una zona que corresponde a esta fibra óptica, luego utilizamos la información de esta zona para estimar la potencia transmitida por esta fibra, y la potencia que proviene del objeto observado a través de esta misma fibra. Una representación del objeto observado es, por tanto, una nube de puntos ponderada que se puede reconstruir en forma de una imagen por interpolación de dicha nube de puntos ponderada sobre una rejilla cuadrada. Dicha transformación (estimación de la potencia + interpolación) permite eliminar el motivo debido a las fibras ópticas.

[0024] Según un modo de ejecución de la invención, la etapa de registro consta las etapas siguientes:

- Corrección de las distorsiones geométricas,
- 65 - Reconstrucción de una imagen de referencia designada por una imagen fija por interpolación de una nube de puntos de referencia llamada nube de puntos fija,

- Para cada una de las demás nubes de puntos, designada como nube de puntos móvil, reconstrucción de una imagen llamada móvil, y optimización de un error cuadrático medio calculado entre dicha imagen móvil y dicha imagen fija.

5 **[0025]** Ventajosamente, calculamos el error cuadrático medio considerando sólo los píxeles correspondientes a los puntos de dichas nubes de puntos móviles.

10 **[0026]** El algoritmo de interpolación es por ejemplo una continuación de aproximaciones B-splines iterativa particularmente divulgada en el documento siguiente: Seungyong Lee, George Wolberg, y Sung Yong Shin; "Scattered data interpolation with multilevel b-splines"; IEEE transactions visualization and computer graphics, 3 (3), Julio-Septiembre 1997.

15 **[0027]** Ventajosamente, la nube de puntos de referencia puede corresponder a una posición de la guía de imagen en reposo.

[0028] Según la invención, la etapa de registro puede consistir, por ejemplo, en registrar cada nube de puntos en función de las distancias de las desviaciones predeterminadas obtenidas por una etapa de calibrado de los desplazamientos de la guía de imagen.

20 **[0029]** Preferentemente, en cada adquisición, para desviar la guía de imagen con respecto a la cabeza óptica, aplicamos por lo menos una tensión al menos sobre una banda piezoeléctrica, que es solidaria por lo menos con el extremo distal de esta guía de imagen. A modo de ejemplo, utilizamos cuatro bandas que constituyen un tubo piezoeléctrico que rodea al menos el extremo distal de la guía de imagen, y aplicamos, para cada desplazamiento del extremo distal de la guía de imagen, un par de tensiones opuestas respectivamente sobre dos bandas opuestas. Además, la desviación espacial se obtiene por un movimiento sensiblemente de traslación lateral del extremo distal de la guía de imagen según dos direcciones ortogonales o por lo menos no colineales.

25 **[0030]** Ventajosamente, podemos realizar la etapa de calibrado aplicando las etapas siguientes sobre un número limitado de nubes de puntos obtenidas mediante la adquisición de un objetivo de referencia dispuesto en lugar de dicho objeto de observación:

- Corrección de las distorsiones geométricas,
- Reconstrucción de una imagen de referencia, designada por una imagen fija, por interpolación de una nube de puntos de referencia llamada nube de puntos fija,
- 35 - Para cada una de las demás nubes de puntos, designadas por una nube de puntos móvil, reconstrucción de una imagen llamada móvil, y optimización de un error cuadrático medio calculado entre dicha imagen móvil y dicha imagen fija,
- Elaboración de un modelo lineal que describe la distancia de desviación obtenida entre la imagen fija y la imagen móvil en función de la tensión aplicada sobre la banda piezoeléctrica para realizar esta desviación.

40 **[0031]** El calibrado permite validar un modelo de desplazamientos lineales en función de la tensión aplicada y estimar un coeficiente de desviación en función de las medidas. Las nubes de puntos ulteriores se registran, pues, utilizando este modelo lineal.

45 **[0032]** Además, podemos realizar la etapa de reconstrucción de la imagen final por medio de un algoritmo llamado de aproximación B-splines iterativo para el cual la superposición está considerada como una nube de puntos irregulares. Este algoritmo posee un buen comportamiento matemático, una buena estabilidad, y un coste razonable en tiempo de cálculo.

50 **[0033]** El problema de la reconstrucción a partir de varias adquisiciones es el mismo que el de la reconstrucción que conoce sólo una sola adquisición con un sistema no lineal. Suponemos aquí que la función de transferencia equivalente del sistema es espacialmente variable, y que el muestreo es irregular.

55 **[0034]** La etapa de reconstrucción de la imagen final puede ir seguida de una etapa de deconvolución de la imagen final si el muestreo así sintetizado es redundante.

60 **[0035]** Según otro aspecto de la invención, se propone un dispositivo para aumentar la resolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen constituidas por varias fibras ópticas, el extremo próximo de esta guía de imagen que está conectado a un dispositivo de barrido láser previsto para emitir un haz láser en cada fibra óptica de la guía de imagen y recoger cada haz de retorno en el momento de una adquisición, el extremo distal está asociado a una cabeza óptica para enfocar el haz láser emitido por la guía de imagen en un objeto de observación. Según la invención, la cabeza óptica consta de medios ópticos solidarios de esta cabeza óptica. El dispositivo consta, además, de un tubo piezoeléctrico que rodea la guía de imagen y solidario con esta guía de imagen, al menos a dicho extremo distal, para desviar espacialmente este extremo distal con respecto a la cabeza óptica en respuesta a una consigna de desviación. Esta consigna es preferentemente un par de tensiones aplicadas sobre el tubo piezoeléctrico.

- 5 **[0036]** El tubo piezoeléctrico está ventajosamente constituido al menos por cuatro bandas cerámicas independientes que ocupan cada una de ellas un cuarto del tubo. Las caras internas y externas de cada banda pueden estar recubiertas de un material metálico, como la plata, de modo que la aplicación de tensiones opuestas sobre dos bandas opuestas respectivamente, desvía el extremo distal del tubo utilizando el efecto piezoeléctrico transversal. Más precisamente, las bandas cerámicas pueden ser dirigidas de dos en dos en ambas direcciones ortogonales.
- 10 **[0037]** Se propone también un sistema para aumentar la resolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen constituidas por varias fibras ópticas, el extremo próximo de esta guía de imagen está conectado a un dispositivo de barrido láser previsto para emitir un haz láser en cada fibra óptica de la guía de imagen y recoger cada haz de retorno en el momento de una adquisición, el extremo distal está asociado a una cabeza óptica para enfocar el haz láser emitido por la guía de imagen en un objeto de observación. Según la invención, para una posición determinada de la cabeza óptica, este sistema consta de:
- 15 - Medios para realizar varias adquisiciones a través de la guía de imagen,
 - Medios para desviar espacialmente, en cada adquisición, dicho extremo distal de la guía de imagen con respecto a la cabeza óptica,
 - Medios para transformar los datos de cada adquisición en una nube de puntos ponderada por la potencia óptica medida sobre el objeto a través de cada fibra óptica de la guía de imagen,
 20 - Medios para registrar cada nube de puntos,
 - Medios para sobreponer las nubes de puntos así registradas, y
 - Medios para reconstruir una imagen final a partir de esta superposición.
- 25 **[0038]** La invención presente se comprenderá mejor y aparecerán otras ventajas a la luz de la descripción a la que le seguirá un ejemplo de realización, descripción hecha en referencia a los dibujos sobre los cuales:
- 30 - La figura 1 es una vista esquemática fragmentada en el sistema global según la invención;
 - La figura 2 es una vista esquemática del tubo piezoeléctrico que rodea la guía de imagen;
 - La figura 3 es una vista esquemática que ilustra el desplazamiento del extremo de la guía de imagen;
 - La figura 4 es una vista esquemática que ilustra una superposición irregular de nubes de puntos; y
 - La figura 5 es un esquema de los bloques que ilustran el principio de registro de las nubes de puntos.
- 35 **[0039]** En la figura 1 vemos un haz ordenado de fibras ópticas flexibles (particularmente varias decenas de millares) que forman una guía de imagen 1 con, sobre su extremo próximo, una fuente de luz 2 y un sistema de inyección de fibras que permite iluminar las fibras una a una y, sobre su extremo distal, una cabeza óptica 3 que permite enfocar el haz saliente de la fibra iluminada en un punto situado a una profundidad determinada del objeto 4 observado. El sistema de inyección consta de varios elementos ópticos 5 precedidos de un sistema de barrido de fibras 6, como un desviador, que permite barrer las fibras una a una a gran velocidad. Cada fibra se utiliza por turnos para transmitir el haz de iluminación y también el haz de retorno correspondiente que proviene del objeto observado. La resolución espacial se obtiene por enfoque del haz láser en un punto y por el carácter confocal que reside en la filtración espacial del objeto observado por las mismas fibras que las que han servido para la iluminación. Esto permite recibir, por medio de un fotodetector 9, exclusivamente la señal que proviene del objeto observado y realizar una imagen punto por punto.
- 40 **[0040]** El extremo distal de la guía de imagen se inserta en un tubo piezoeléctrico 7, éste mismo montado en un tubo rígido 3 que forma una cabeza óptica y que consta de unas ópticas 8 colocadas en la salida de la guía de imagen 1. El tubo piezoeléctrico 7 permite desplazar la guía de imagen 1 al interior de la cabeza óptica 3 que queda fija con respecto al objeto observado. Así evitamos los problemas debidos al frotamiento de la cabeza óptica sobre el objeto observado.
- 50 **[0041]** En la figura 2 vemos en perspectiva la configuración del tubo piezoeléctrico 7. Este tubo 7 consta de cuatro cerámicas que ocupan cada una de ellas un cuarto de cilindro. El tubo 7 está recubierto de plata en las caras interna y externa con el fin de utilizar el efecto piezoeléctrico transversal. Este fenómeno explica la deformación de un cristal cuando éste mismo se sumerge en un campo eléctrico, resulta de la existencia de dipolos eléctricos en la configuración cristalina.
- 55 **[0042]** Cuando se aplica una tensión entre la cara interna y externa de una cerámica, ésta se alarga (o se estrecha según el signo de la tensión) y se vuelve más fina (respectivamente más ancha). El barrido se hace, por tanto, aplicando una tensión positiva sobre una de las cerámicas y la tensión opuesta sobre la cerámica opuesta. Como una cara se alarga y la cara opuesta se acorta, el tubo 7 se dobla y su extremo libre se desplaza. También es posible desviar el extremo distal de las fibras según dos ejes ortogonales en ambos sentidos. La figura 3 ilustra un desplazamiento del tubo piezoeléctrico 7 según un eje. Los trazos continuos representan la posición de reposo, sin desviación. Las líneas de puntos representan el extremo del tubo piezoeléctrico 7 desplazado hacia arriba, arrastrando así la desviación del extremo distal de la guía de imagen 1. En cambio las ópticas 8a y 8b, solidarias con la cabeza óptica, así como el objeto observado 4 se mantienen fijas. El desplazamiento del extremo distal de la guía de imagen corresponde a un desplazamiento del punto de impacto del haz láser sobre el objeto observado.
- 60
65

- 5 **[0043]** Para cada par de tensiones aplicadas sobre el tubo piezoeléctrico 7, se realiza una deformación, y la adquisición efectuada a través de la guía de imagen 1 se desvía, de este modo, una distancia proporcional a las tensiones aplicadas.
- 10 **[0044]** El procedimiento de superresolución según la invención consta de una primera etapa en la cual para una posición fija determinada de la cabeza óptica, se realizan una serie de adquisiciones. Para cada adquisición, el haz láser barre el conjunto de las fibras ópticas. El fotodetector 9 recupera entonces un conjunto de datos brutos que se pueden representar colocándolos sobre una rejilla que sigue la orden del barrido láser. Vemos aparecer para cada fibra de cúpulas representativas de la posición de las fibras en la guía con respecto al barrido láser. La desviación del extremo distal de la guía de imagen 1 no cambia la disposición o la posición de las fibras ópticas en el extremo próximo de la guía de imagen. En cambio el objeto observado a través de estas cúpulas parecidas a una rejilla con orificios se desplaza cuando el tubo piezoeléctrico 7 se deforma.
- 15 **[0045]** A continuación, estos datos brutos se transforman en nube de puntos ponderada por la potencia óptica medida sobre el objeto, a través de cada fibra de la guía de imagen. Esta transformación permite que cada punto represente la información efectivamente vista por cada fibra en el curso del barrido láser. También podemos aplicar un filtro a cada nube de puntos para eliminar artefactos (rejilla) vinculados a la presencia de la guía de imagen.
- 20 **[0046]** Realizando varias adquisiciones con diferentes posiciones del extremo distal de la guía de imagen, es como si hubiéramos creado puntos de muestreo desplazados por ejemplo verticalmente y horizontalmente. El número de adquisiciones y las direcciones son limitados únicamente por la precisión del tubo piezoeléctrico 7.
- 25 **[0047]** Sobre la figura 4, vemos para cada fibra, una zona de influencia que se puede definir como la anchura de la función de transferencia óptica de cada fibra combinada con la de las ópticas colocadas entre la salida de la guía de imagen y el objeto observado. Observamos que la función de transferencia de una fibra no es obligatoriamente igual a la de la fibra siguiente. En la práctica podemos considerarlas todas diferentes, por lo menos en su anchura.
- 30 **[0048]** Antes de poder sobreponer las nubes de puntos, hay que registrarlas. En efecto, adquirimos el mismo objeto, pero el esquema de muestreo se desplaza. Después de la corrección de las distorsiones geométricas del sistema, la desviación se reduce a una traslación que se calcula comparando todas las adquisiciones del mismo objeto con una adquisición de referencia, en general donde el tubo piezoeléctrico 7 está en reposo (por convenio).
- 35 **[0049]** El problema de registro de las imágenes es un asunto bastante clásico y existen numerosas técnicas. El problema consiste en registrar dos imágenes de un mismo objeto tomadas antes y después de la desviación gracias al mecanismo piezoeléctrico. En este caso, el modelo de transformación subyacente es un modelo de traslación. Por lo tanto, el número de parámetros que hay que calcular es únicamente de dos (x, y). Sin embargo, el modelo de transformación del caso presente difiere de muchos estudios porque se utiliza una rejilla irregular.
- 40 **[0050]** En este caso, buscamos la mejor transformación minimizando una función de coste de dos parámetros (los valores de la traslación según los ejes de traslación). Podemos considerar por ejemplo que los problemas en los bordes son despreciables porque los desplazamientos son pequeños. La solución buscada es, por tanto, próxima a (0,0).
- 45 **[0051]** El principio del algoritmo retenido se ilustra sobre la figura 5. De modo general, vamos a definir una nube de puntos de referencia, designada a continuación como nube de puntos fija. A continuación, vamos a interpolar esta nube de puntos fija para reconstruir una imagen designada a continuación como imagen fija 10.
- 50 **[0052]** En particular, la interpolación de la nube de puntos fija para obtener la imagen fija se realiza utilizando el algoritmo de aproximación b-spline iterativo divulgado en el documento de Seungyong Lee *et alii.*, y que se describe brevemente un poco más abajo. Con el fin de no calcular cada vez el valor de la interpolación, realizamos una interpolación sobre una rejilla regular fina y preferentemente cuadrada, luego escogemos al valor próximo más cercano. De este modo, obtenemos una interpolación bastante lisa y muy rápida de calcular.
- 55 **[0053]** A continuación, realizamos una interpolación de cada una de las demás nubes de puntos, designada a continuación como nube de puntos móvil, para reconstruir una imagen móvil. Luego optimizamos el error cuadrático medio entre cada imagen móvil y la imagen fija. Ventajosamente, no realizamos, como ocurre con el caso clásico, un cálculo pixel por pixel entre dos imágenes, sino que realizamos un cálculo teniendo en cuenta sólo los píxeles que corresponden a los puntos de la nube de puntos móvil. La ventaja es que se gana un tiempo considerable.
- 60 **[0054]** La optimización se realiza con un bucle cuyas etapas son:
- Una etapa de transformación 14 en la cual se definen los parámetros de traslación que van a ser estimados en el bucle;
- 65 Una etapa de interpolación 12 de la transformación, en la cual se traslada la nube de puntos móvil inicial por la transformación en curso;

Una etapa de cálculo de distancia 13, en la cual se mide una distancia entre la imagen móvil surgida de la nube de puntos móvil 11 trasladada y la imagen fija 10 que representa la nube de puntos fija. Esta distancia es un error cuadrático medio estimado entre los puntos de la nube de puntos móvil y la imagen fija interpolada;

5 Una etapa de optimización en la cual se utiliza un optimizador 15 a base del gradiente, como un gradiente conjugado.

El optimizador 15 estima las variaciones locales de la distancia anteriormente calculada con el fin de encontrar una nueva transformación (por ej. traslación) que permita disminuir el valor de la distancia (es decir optimizarla) al próximo bucle.

10 **[0055]** Salimos del bucle cuando la función distancia no disminuye más.

[0056] Con el fin de evitar realizar el proceso de registro que acabamos de describir para todas las nubes de puntos, vamos a efectuar este proceso de registro para un objeto de referencia con un número limitado de adquisiciones. Para hacerlo, reemplazamos el objeto observado por el objeto de referencia como un objetivo de calibrado o más concretamente como un objetivo de resolución, por ejemplo. Los resultados obtenidos en el momento de este registro de un número limitado de nubes de puntos permiten, a continuación, contrastar las diferencias del tubo piezoeléctrico en función de las tensiones aplicadas. El conjunto guía de imagen 1 y cabeza óptica 3 puede girar con respecto al eje del barrido de la parte confocal 5, 6, se ha de estimar, por tanto, por lo menos el eje de los desplazamientos así como sus direcciones. Para eso, realizamos un número limitado de desviaciones posibles, por ejemplo 64, y se registran con respecto a una referencia común, por ejemplo una nube de puntos obtenida cuando el tubo piezoeléctrico está en reposo. Después, efectuamos una regresión lineal sobre el conjunto de las parejas de tensión aplicada sobre la piezoeléctrica-desviación medida por registro. Si este modelo es lineal y tiene una precisión satisfactoria (muy inferior a la distancia entre los núcleos), consideramos que el modelo es válido, y podemos utilizarlo directamente más tarde en las adquisiciones posteriores realizadas sobre el objeto de medida, sin tener que registrar de nuevo las imágenes representadas por las nubes de puntos. Este modo de realización preferente permite, por tanto, un tratamiento mucho más rápido ya que las nubes de puntos adquiridas con el objeto observado no sufren todo el proceso de registro con interpolación. Este proceso se realiza sólo para 64 nubes de puntos adquirido con un objetivo de resolución u otro.

30 **[0057]** Podemos también tratar, en un modo no preferente, de utilizar directamente el objeto observado más bien como un objetivo de resolución para elaborar el modelo lineal a partir de un número limitado de nubes de puntos.

[0058] En caso de que el modelo no sea lineal, o si fuese impreciso, o si hubiese histéresis, no podríamos utilizarlo. Conviene pues, en este caso, ejecutar el modo degradado descrito anteriormente, es decir interpolar y después registrar cada nube de puntos que debe ser objeto de superresolución.

[0059] Cuando se conocen todas las desviaciones, hacemos experimentar a cada muestreo la desviación correspondiente, y las superponemos. De este modo, conseguimos una adquisición sintética con tantos puntos como adquisiciones. La reconstrucción se efectúa, entonces, en dos tiempos. En primer lugar, aproximamos, o interpolamos, la nube de puntos ponderada resultante con métodos clásicos. Tenemos bien en cuenta el hecho de que esta nube resultante es irregular. Utilizamos, por ejemplo, la aproximación iterativa de B-splines tal como se definió anteriormente en el momento del registro. Este algoritmo puede se describe brevemente a continuación:

45 **[0060]** Sea f la función que hay que reconstruir. Vamos a expresar f en forma de una función B-spline bicúbica uniforme definida sobre una red rectangular Φ que cubre el soporte de f . La función obtenida es, por tanto, C^2 . Señalamos $\Phi_{i,j}$ los valores asociados con los nudos de la red. Sin pérdida de generalidad, suponemos que esta red está compuesta por puntos de coordenadas enteras sobre un rectángulo del plano.

50 **[0061]** Conociendo los valores de los puntos de control $\Phi_{i,j}$, f se determina por:

$$f(x, y) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 [\Phi_{|x|-1+k, |y|-1+l} B_k(x-|x|) B_l(y-|y|)] \quad (1)$$

[0062] B-spline se determina por:

55
$$B_0(t) = \frac{1}{6}(1-t)^3$$

$$B_1(t) = \frac{1}{6}(3t^3 - 6t^2 + 4)$$

$$B_2(t) = \frac{1}{6}(-3t^3 + 3t^2 + 3t + 1)$$

$$B_3(t) = \frac{1}{6}t^3$$

- 5 **[0063]** La estimación de los puntos de control $\Phi_{i,j}$ se efectúa por aproximaciones iterativas, utilizando enrejados jerárquicos. Pasamos de una escala a la escala siguiente depurando el enrejado de un factor 2. Cada punto del muestreo va a influir sobre los 16 puntos de control. Sin invertir el conjunto del sistema, vamos calcular en cada escala las contribuciones de las escalas precedentes localmente, y deducir los residuos que hay que estimar para esta escala. Cada punto del muestreo va a influir sobre los 16 puntos de control más próximos.
- 10 **[0064]** Este algoritmo permite obtener una interpolación en la convergencia del algoritmo (número finito de iteraciones). En este caso, podemos considerar dos casos límites para el tamaño del enrejado. El primero es el caso en el que no existe un solo punto de control $\Phi_{i,j}$ que no esté influido por lo menos por un punto del muestreo. El segundo es el caso en el que dos puntos cualesquiera del muestreo no pueden influir sobre un mismo punto de control. Estos dos casos permiten calcular el tamaño del enrejado de salida, y el tamaño del enrejado que permite alcanzar la convergencia. Estos tamaños se pueden calcular empíricamente suponiendo que el reparto de los puntos es el de un muestreo hexagonal. Observamos el histograma de las distancias entre los puntos próximos de muestreo (en el sentido de su diagrama de Voronoï), y guardamos el cuantil al 5 % (u otro porcentaje pequeño). Esta distancia mínima es de hecho la distancia entre dos desviaciones.
- 15 **[0065]** Otros algoritmos permiten reconstruir una nube de puntos con resultados satisfactorios. La originalidad reside en la formalización del problema en forma de interpolación o de aproximación de una nube de puntos irregulares.
- 20 **[0066]** Según la invención, a continuación realizamos eventualmente una etapa de deconvolución de la señal haciendo la aproximación de que el sistema es lineal invariable, y tomando una función de transferencia media de una fibra de la guía de imagen. Se puede utilizar, por ejemplo, una filtración de Wiener.
- 25 **[0067]** Por supuesto, la invención no está limitada a los ejemplos que acaban de describirse y se pueden aplicar numerosas modificaciones a estos ejemplos sin salir del marco de la invención.

REIVINDICACIONES

- 5 **1.** Procedimiento para aumentar la resolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen constituido por varias fibras ópticas, el extremo próximo de esta guía de imagen está conectada a un dispositivo de barrido láser previsto para emitir un haz láser en cada fibra óptica de la guía de imagen y recoger cada haz de retorno en el momento de una adquisición, el extremo distal está asociado a una cabeza óptica para enfocar el haz láser emitido por la guía de imagen en un objeto de observación, **caracterizado porque**, para una posición determinada de la cabeza óptica, este procedimiento consta de las etapas de:
- 10 - Realización de varias adquisiciones a través de la guía de imagen, cada adquisición se realiza para una desviación espacial determinada de dicho extremo distal de la guía de imagen con respecto a la cabeza óptica,
 - Transformación de los datos de cada adquisición en una nube de puntos ponderada por la potencia óptica medida sobre el objeto a través de cada fibra óptica de la guía de imagen,
 - Registro de cada nube de puntos con respecto a una nube de puntos tomados como referencia,
- 15 - Superposición de las nubes de puntos así registrados, y
 - Reconstrucción de una imagen final a partir de esta superposición.
- 2.** Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la etapa de la transformación de los datos adquiridos va seguida de la aplicación de un filtro para eliminar artefactos debidos a la presencia de la guía de imagen.
- 20 **3.** Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la etapa de registro consta de las siguientes etapas:
- 25 - Corrección de las distorsiones geométricas,
 - Reconstrucción de una imagen de referencia designada como imagen fija, por interpolación de una nube de puntos de referencia llamada nube de puntos fija,
 - Para cada una de las demás nubes de puntos, designada como nube de puntos móvil, reconstrucción de una imagen llamada móvil, y optimización de un error cuadrático medio calculado entre dicha imagen móvil y dicha imagen fija.
- 30 **4.** Procedimiento según la reivindicación 3, **caracterizado porque** se calcula el error cuadrático medio considerando sólo los píxeles que corresponden a los puntos de dichas nubes de puntos móviles.
- 35 **5.** Procedimiento según la reivindicación 3 ó 4, **caracterizado porque** la interpolación consiste en un algoritmo llamado de aproximación B-splines iterativo.
- 6.** Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizado porque** la nube de puntos fija corresponde a una posición de la guía de imagen en reposo.
- 40 **7.** Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado porque** la etapa de registro consiste en registrar las nubes de puntos en función de las distancias de desviación predeterminadas obtenidas por una etapa de calibrado de los desplazamientos de la guía de imagen.
- 45 **8.** Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** en cada adquisición, para desviar la guía de imagen con respecto a la cabeza óptica, aplicamos al menos una tensión por lo menos sobre una banda piezoeléctrica, que es solidaria por lo menos del extremo distal de esta guía de imagen.
- 50 **9.** Procedimiento según las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizado porque** se realiza la etapa de calibrado aplicando las etapas siguientes sobre un número limitado de nubes de puntos obtenidas por adquisición de un objetivo de referencia dispuesto en lugar de dicho objeto de observación:
- 55 - Corrección de las distorsiones geométricas,
 - Reconstrucción de una imagen de referencia designada como imagen fija por interpolación de una nube de puntos de referencia llamada nube de puntos fija,
 - Para cada otra una de las demás nubes de puntos, designada como nube de puntos móvil, reconstrucción de una imagen llamada móvil, y optimización de un error cuadrático medio calculado entre dicha imagen móvil y dicha imagen fija,
 - Elaboración de un modelo lineal que describe la distancia de desviación obtenida entre la imagen fija y la imagen móvil en función de la tensión aplicada sobre la banda piezoeléctrica para realizar esta desviación.
- 60 **10.** Procedimiento según la reivindicación 8 ó 9, **caracterizado porque** se utilizan cuatro bandas que constituyen un tubo piezoeléctrico que rodea por lo menos el extremo distal de la guía de imagen, y **porque** se aplican, para cada desplazamiento del extremo distal de la guía de imagen, un par de tensiones opuestas sobre respectivamente las dos bandas opuestas.
- 65

11. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la desviación espacial se consigue por un movimiento sensiblemente de traslación lateral del extremo distal de la guía de imagen según dos direcciones ortogonales.
- 5 12. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** se realiza la etapa de reconstrucción de la imagen final por medio de un algoritmo llamado de aproximación B-splines iterativo para el cual la superposición está considerada como una nube de puntos irregulares.
- 10 13. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado porque** la etapa de reconstrucción de la imagen final va seguida de una etapa de deconvolución de la imagen final.
- 15 14. Dispositivo para aumentar la resolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen constituido por varias fibras ópticas, el extremo próximo de esta guía de imagen está conectado a un dispositivo de barrido láser previsto para emitir un haz láser en cada fibra óptica de la guía de imagen y recoger cada haz de retorno en el momento de una adquisición, el extremo distal está asociado a una cabeza óptica para enfocar el haz láser emitido por la guía de imagen en un objeto de observación, **caracterizado porque** la cabeza óptica consta de medios ópticos solidarios de esta cabeza óptica, y **porque** el dispositivo consta además de un tubo piezoeléctrico que rodea la guía de imagen y es solidario de esta guía de imagen, por lo menos a dicho extremo distal, para desviar espacialmente este extremo distal con respecto a la cabeza óptica en respuesta a una señal de desviación.
- 20 15. Dispositivo según la reivindicación 14, **caracterizado porque** el tubo piezoeléctrico está constituido por lo menos por cuatro bandas cerámicas independientes que ocupan cada una, un cuarto del tubo.
- 25 16. Dispositivo según la reivindicación 15, **caracterizado porque** las caras interna y externa de cada banda están recubiertas de material metálico, como plata, de modo que la aplicación de tensiones opuestas sobre dos bandas opuestas respectivamente, desplaza el extremo distal del tubo utilizando el efecto piezoeléctrico transversal.
- 30 17. Dispositivo según la reivindicación 15 ó 16, **caracterizado porque** las bandas cerámicas se dirigen de dos en dos, en ambas direcciones ortogonales.
- 35 18. Sistema que ejecuta el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, para aumentar la resolución de imágenes confocales adquiridas a través de una guía de imagen constituido por varias fibras ópticas, el extremo próximo de esta guía de imagen está conectado a un dispositivo de barrido láser previsto para emitir un haz láser en cada fibra óptica de la guía de imagen y recoger cada haz de retorno en el momento de una adquisición, el extremo distal está asociado con una cabeza óptica para enfocar el haz láser emitido por la guía de imagen en un objeto de observación, **caracterizado porque**, para una posición determinada de la cabeza óptica, este sistema consta de:
- 40 - Medios para realizar varias adquisiciones a través de la guía de imagen,
 - Medios para desviar espacialmente, en cada adquisición, dicho extremo distal de la guía de imagen con respecto a la cabeza óptica,
 - Medios para transformar datos de cada adquisición en una nube de puntos ponderada por la potencia óptica medida sobre el objeto a través de cada fibra óptica de la guía de imagen,
 - Medios para registrar cada nube de puntos,
- 45 - Medios para superponer las nubes de puntos así registradas, y medios para reconstruir una imagen final a partir de esta superposición.

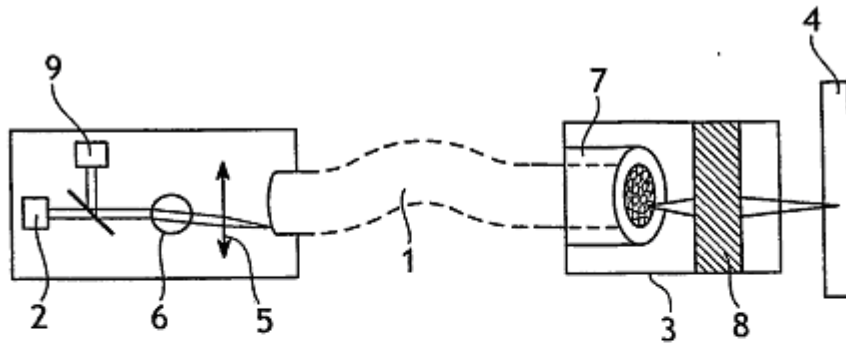


FIG.1

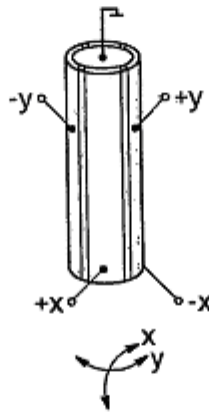


FIG.2

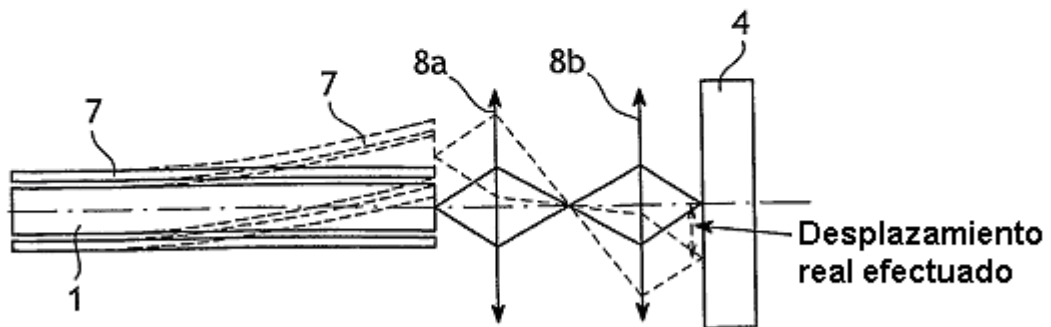
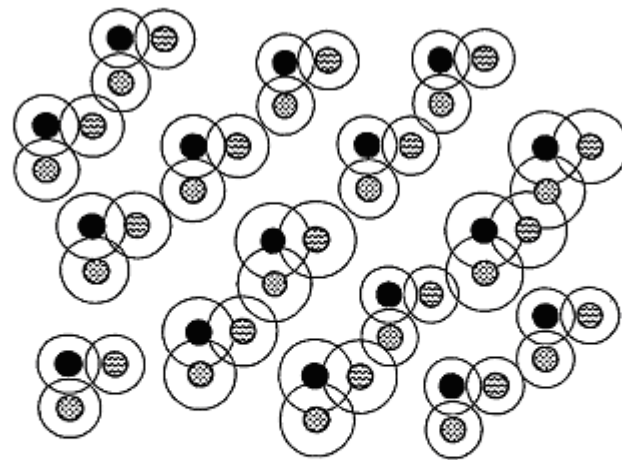


FIG.3



- 1ª Adquisición
- ▨ 2ª Adquisición
- ▩ 3ª Adquisición
- : Centro de una fibra
- : Zona de influencia de una fibra

FIG.4

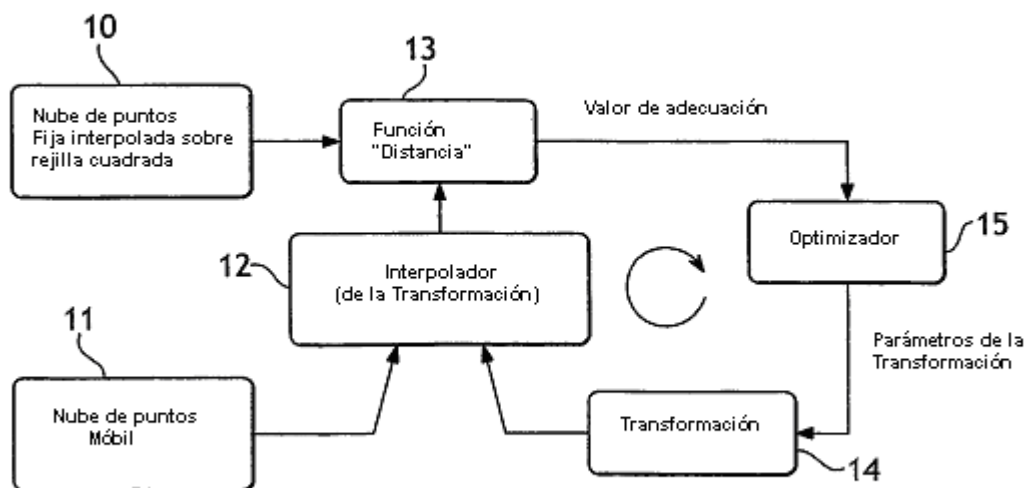


FIG.5