

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 770**

51 Int. Cl.:  
**G11B 7/0065** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08707229 .4**  
96 Fecha de presentación: **24.01.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2118895**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.11.2009**

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE LECTURA DE UN HOLOGRAMA DE FOURIER REGISTRADO SOBRE UN MEDIO DE ALMACENAMIENTO HOLOGRÁFICO Y UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO HOLOGRÁFICO.**

30 Prioridad:  
**06.02.2007 HU 0700131 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**06.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**06.03.2012**

73 Titular/es:  
**BAYER INNOVATION GMBH  
MEROWINGERPLATZ 1  
40225 DÜSSELDORF, DE**

72 Inventor/es:  
**SÜTÖ, Attila y  
ERDEI, Gábor**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

**ES 2 375 770 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 de lectura de un holograma de Fourier registrado sobre un medio de almacenamiento holográfico y un sistema de almacenamiento holográfico

5 La presente invención se orienta hacia un sistema para leer hologramas de Fourier; en particular, a un procedimiento de lectura de un holograma de Fourier registrado sobre un medio de almacenamiento holográfico y a un sistema de almacenamiento holográfico.

10 El almacenamiento de datos holográficos se basa en el concepto de registro del patrón de interferencia de un haz de señales codificadas con datos (también denominado un haz objeto) que lleva los datos y de un haz de referencia en un medio de almacenamiento holográfico. En general, se usa un modulador espacial de luz (SLM) para crear el haz objeto y el medio de almacenamiento holográfico puede ser, por ejemplo, un fotopolímero o cristal foto-refractario, o cualquier otro material que sea adecuado para registrar las amplitudes relativas de, y las diferencias de fase entre, el haz objeto y el haz de referencia. Después de que se crea un holograma en el medio de almacenamiento, la proyección del haz de referencia en el medio de almacenamiento interactúa con, y reconstruye, el haz objeto original codificado con datos, que puede ser detectado por un detector tal como una cámara de una formación de CCD (Detectores Acoplados con Carga), o similares. El haz objeto reconstruido, codificado con datos, se menciona generalmente en la tecnología como el mismo holograma reconstruido. Según esta terminología, la reconstrucción de un holograma significa la reconstrucción del haz objeto original codificado con datos; y la lectura del holograma significa detectar el holograma reconstruido, en particular, una imagen del holograma reconstruido. Se adapta esta terminología en la presente memoria.

20 La grabación de hologramas está influida en gran medida por el solapamiento espacial del haz objeto y del haz de referencia, mientras que la lectura de hologramas está sumamente afectada por la posición relativa del haz de referencia reconstructor y del holograma almacenado en el medio de almacenamiento. La lectura de un medio de almacenamiento holográfico puede lograrse de manera relativamente sencilla si tanto el haz de referencia como el haz objeto cubren un sector relativamente grande sobre la superficie del medio de almacenamiento. La tolerancia del desplazamiento entre el centro del holograma y el centro del haz de referencia es de aproximadamente el 10% del tamaño del diámetro del haz, lo que usualmente está dentro de los límites mecánicos de los sistemas convencionales. Sin embargo, la reducción del tamaño del holograma lleva a una mayor demanda sobre la alineación del haz de referencia y del holograma al leer el medio. La alineación de alta precisión también puede ser necesaria, por ejemplo, en el caso de multiplexar y / o cifrar con seguridad los datos holográficos almacenados.

30 Hay muchos procedimientos conocidos para multiplexar y / o cifrar hologramas. Tales procedimientos pueden implicar la codificación en fase del haz objeto y / o del haz de referencia, tanto en el plano real como en el plano de Fourier, o en ambos. Un procedimiento de, y el dispositivo para, el multiplexado codificado en fase y el cifrado por codificación en fase del haz de referencia se revela en el documento WO 02/05270 A1. Al aplicar el multiplexado codificado en fase o el cifrado, la tolerancia del desplazamiento entre el centro del haz de referencia y el holograma durante la reconstrucción del holograma puede caer hasta un 1% del diámetro del haz. La desalineación del haz y del holograma se asocia generalmente a la desalineación de los componentes ópticos del sistema, lo cual puede deberse a impactos mecánicos, cambios de temperatura, etc. También es un problema común de los sistemas diseñados para recibir un medio de almacenamiento extraíble, tal como las tarjetas de identificación holográfica.

40 El documento US 7.116.626 B1 enseña un procedimiento de microlocalización para superar el problema, anteriormente identificado, de la desalineación. El objeto del procedimiento descrito es aumentar las prestaciones de un sistema de almacenamiento holográfico, es decir, la calidad de la imagen modulada, asegurando la correcta alineación de diversos componentes del sistema, tales como un SLM, con diversos dispositivos, tales como fuentes de luz, lentes, detectores y el medio de almacenamiento. La técnica de alineación se centra en la "coincidencia de píxeles", es decir, la alineación de los píxeles de un SLM, de la imagen holográfica almacenada y del detector, de modo tal que cada píxel del SLM se proyecte sobre un único píxel del detector, dando como resultado una mejor eficacia de la recuperación de datos. El procedimiento implica mover físicamente todos, o algunos de, dichos componentes, y se sugiere un servomecanismo para controlar la localización de los componentes, en base a la retroalimentación asociada a una desalineación obtenida a partir de la imagen detectada.

50 Se describen diversos procedimientos ejemplares para determinar la desalineación de las imágenes detectadas. En un ejemplo, la desalineación se basa en la medición de una métrica de canal asociada a la imagen detectada. La métrica de canal es generalmente una cantidad escalar que indica la desalineación de píxeles, p. ej., la intensidad media de píxeles o la SNR (Razón entre señal y ruido). Las métricas de canal indican la magnitud o el grado de desalineación, pero no la dirección de la desalineación. En consecuencia, a fin de minimizar los errores de grabación de píxeles, es necesario desplazar al menos un componente del sistema, y la métrica de canal ha de recalcularse en la nueva posición del componente. Puede llevar un gran número de etapas hallar la posición óptima de los componentes respectivamente entre sí, lo que puede consumir mucho tiempo.

En otro ejemplo, la desalineación se basa en la medición de una métrica de páginas asociada a la imagen detectada. Las métricas de páginas incluyen generalmente píxeles de referencia, es decir, patrones conocidos de píxeles o marcas de registro, tales como bloques de píxeles situados dentro de los datos codificados del usuario, o en regiones fronterizas alrededor de los datos codificados del usuario. Los patrones de píxeles conocidos pueden detectarse y usarse para determinar desalineaciones de diversos componentes del sistema de almacenamiento holográfico. El inconveniente de esta solución es que los hologramas han de proporcionarse con los bloques de píxeles de referencia, que ocupan un apreciable espacio de datos si son muy grandes, y que son difíciles de localizar en la imagen si son demasiado pequeños. Los bloques de píxeles de referencia sirven para calcular la función de dispersión puntual (PSF) del sistema, que es una información clave usada por los servoprocedimientos conocidos, responsables de la alineación de los componentes del sistema. Sin embargo, sería deseable tener servoprocedimientos que no requieran la PSF del sistema.

El objeto de la invención es proporcionar una manera sencilla de detectar la desalineación de componentes de un sistema de almacenamiento de datos holográficos, sin necesidad de aplicar bloques de píxeles de referencia, o de tener que resituar los componentes repetidamente.

Este objeto es logrado por el procedimiento según la reivindicación 1 y el sistema de almacenamiento holográfico según la reivindicación 14.

Los detalles adicionales de la invención serán evidentes a partir de las figuras adjuntas y las realizaciones ejemplares.

La Fig. 1a es una vista esquemática de una realización ejemplar de un sistema de almacenamiento holográfico de tipo reflector, según la invención.

La Fig. 1b es una vista esquemática de otra realización ejemplar de un sistema de almacenamiento holográfico de tipo transmisor, según la invención.

La Fig. 2 muestra un patrón ejemplar de códigos de haz de referencia, generado por un modulador espacial de luz.

La Fig. 3 ilustra el desplazamiento del patrón de códigos de haz de referencia en un píxel del SLM.

La Fig. 4 muestra otro patrón ejemplar de códigos de haz de referencia, generado por un modulador espacial de luz.

La Fig. 5 muestra un bloque ejemplar de código de datos que usa codificación de modulación rara.

La Fig. 6 muestra el bloque reconstruido de código de datos del bloque de código de datos ilustrado en la Fig. 5.

La Fig. 7 es un diagrama de una función de SNR ejemplar graficada con respecto al desplazamiento de píxeles del SLM.

La Fig. 8 es un diagrama de una servofunción ejemplar.

La Fig. 9 es un diagrama comentado de la función de SNR en la Fig. 7 que ilustra cómo se obtiene la servofunción en la Fig. 8.

La Fig. 1a es una vista esquemática que muestra una primera realización ejemplar de un sistema 1 de almacenamiento holográfico según la invención. El sistema 1 comprende una fuente 2 de luz que proporciona un haz 3 de referencia. La fuente 2 de luz consiste, en general, de un láser y de un expansor de haz. En una realización preferida la fuente 2 de luz está seguida por un modulador espacial de luz (SLM) 4 que codifica el haz 3 de referencia. El sistema 1 comprende adicionalmente un detector 5 y un medio (no mostrado) para recibir un medio 6 de almacenamiento holográfico que lleva un holograma 7. El detector 5 puede ser una cámara de una CCD, un CMOS (Semiconductor complementario de óxido metálico), una matriz de fotodiodos o cualquier otro tipo conocido de detector, que comprenda elementos sensores dispuestos en una formación de píxeles.

El holograma 7 es un holograma de Fourier, debido a su menor sensibilidad a los defectos superficiales del medio de almacenamiento con respecto a la de los hologramas de planos de imágenes. En el caso de un holograma de Fourier, el patrón de código de fase exhibido por el SLM 4, usado para la codificación en fase del haz 3 de referencia, se conforma como imagen sobre la transformada de Fourier de un haz objeto al crear el holograma 7. Debido a su buena eficacia de difracción y a la baja selectividad de longitud de onda, p. ej., puede usarse un holograma de polarización delgado como el holograma 7. Medios adecuados de almacenamiento holográfico son, p. ej., los polímeros fotoanizotrópicos del tipo azo-benceno.

Esta realización está diseñada para leer el medio 6 de almacenamiento holográfico en la modalidad reflectora: el haz 3 de referencia se refleja desde un espejo 8 detrás del medio 6 y el haz objeto reconstruido 9 es sometido a la transformada inversa de Fourier sobre el plano de formación de imágenes del detector 5, para capturar una imagen del holograma reconstruido 7. El haz reflejado 9 y el haz 3 de referencia están separados entre sí por un hendedor 10 de

haces, que puede ser un hendedor neutral de haces o un hendedor de haces de polarización, en el caso de hologramas de polarización, o bien otros elementos cualesquiera de separación de haces, tales como un cubo hendedor de haces con una discontinuidad de capa central, según lo revelado en el documento EP 1 492 095 A2.

5 El haz 3 de referencia codificado se genera con el SLM 4 y es conformado en imágenes en el plano del holograma 7 por un sistema de formación de imágenes. Este sistema de formación de imágenes comprende, preferiblemente, lentes 11 y 12 de Fourier primeros y segundos, dispuestos antes y después del hendedor 10 de haces, según se conoce en la tecnología. Además, puede interponerse una abertura 13 entre el primer lente 11 de Fourier y el hendedor 10 de haces, mejorando la calidad de formación de imágenes al limitar el diámetro del haz y proporcionar la ventaja adicional de restringir la definición del SLM 4, según se explicará más adelante.

10 La codificación del haz de referencia puede ser una codificación de fase, una codificación de amplitud, una codificación de polarización o cualquier otra codificación de modulación de luz conocida en la tecnología. En una realización preferida, la codificación del haz de referencia es la codificación de fase, para evitar la pérdida de información presente en la codificación de amplitud. El código de fase puede ser, por ejemplo, una clave de seguridad para leer un holograma cifrado 7, o una clave para leer un holograma multiplexado 7. Sin embargo, la invención también se refiere a aplicaciones distintas al cifrado o al multiplexado. También es aplicable en todos los casos donde no puede excluirse un despeje mecánico, lo que lleva a una cierta incertidumbre sobre la posición del medio 6 de almacenamiento insertado; por tanto, el haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento repetidamente deben resituarse respectivamente entre sí, especialmente si el medio 6 de almacenamiento se retira a menudo o si ha de leerse una pluralidad de medios 6 de almacenamiento con el sistema 1.

20 Además de la codificación de fase del haz de referencia, el SLM 4 también puede usarse como una abertura que crea un haz circular 3 de referencia fácil de situar. Esto es útil para reducir la diafonía entre los hologramas en la reconstrucción de hologramas cuando múltiples hologramas 7 se graban a poca distancia entre sí en el medio 6 de almacenamiento.

25 Si no se aplica ninguna codificación del haz de referencia, el SLM 4 puede omitirse por completo, o bien puede usarse como una abertura que crea un haz circular 3 de referencia fácil de situar.

30 La Fig. 1b ilustra otra realización preferida del sistema 1 de almacenamiento holográfico según la invención, que está adaptada tanto para la lectura como la grabación del medio 6 de almacenamiento holográfico. En esta realización, el medio 6 de almacenamiento se lee en la modalidad de transmisión. En consecuencia, el detector 5 se dispone sobre el lado opuesto del medio 6 de almacenamiento para detectar el haz objeto reconstruido 9, transformado, según la transformada inversa de Fourier, sobre el plano de conformación de imágenes del detector 5, por un tercer lente 111 de Fourier. En este caso, el hendedor 10 de haces se usa para unir el haz 3 de referencia y un haz objeto 3' que viene desde un haz objeto SLM 4', cuando el sistema 1 se usa para grabar un holograma 7 sobre un medio 6 de almacenamiento. El haz objeto 3' puede ser proporcionado por una fuente distinta de luz (no mostrada), o bien puede usarse la misma fuente 2 de luz que proporciona el haz 3 de referencia para proporcionar ambos haces 3 y 3', según se conoce en la tecnología.

40 El detector 5 está conectado con una unidad 14 de servocontrol, que es responsable de situar el haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento respectivamente entre sí. La unidad 14 de servocontrol analiza la imagen detectada por el detector 5 y calcula una servoseñal, según se explicará más adelante. En una primera realización, la posición relativa del haz 3 de referencia y del medio 6 de almacenamiento puede cambiarse exhibiendo un patrón de códigos de haz de referencia en distintas posiciones en el SLM 4. La servoseñal se usa para controlar la posición del patrón de códigos exhibido por el SLM 4. La unidad 14 de servocontrol puede ser, por ejemplo, un ordenador o un sistema incrustado, que incluye un procesador de señales digitales (DSP) o una formación de compuertas programables en el terreno (FPGA) que controla el SLM 4.

45 La Fig. 2 ilustra un patrón 15 de código de haz de referencia, exhibido en el SLM 4. El patrón 15 de código de haz de referencia es, preferiblemente, un patrón de código de fase. Como puede verse en esta realización, cada píxel 16 de código de haz de referencia consiste en 5 x 5 píxeles 17 del SLM. El número de píxeles 17 del SLM usados para exhibir un único píxel 16 de código puede variar, según la aplicación. El uso de píxeles 16 de código que consisten en más de un píxel 17 de SLM admite una manera sencilla de desplazar el patrón 15 de código. Por ejemplo, para desplazar el patrón 15 de código en un píxel 17 del SLM hacia la derecha, cada píxel 16a de código se desplaza en una fila de píxeles 17 del SLM, según se ejemplifica en la Fig. 3. El nuevo píxel 16b de código es exhibido por un nuevo bloque de 5 x 5 píxeles 17 del SLM, que consiste en 5 x 4 píxeles 17 del SLM, solapados con el píxel original 16a de código y los 1 x 4 píxeles 17 del SLM a la derecha del píxel original 16a de código. El patrón 15 de código puede desplazarse en cualquier dirección, siguiendo el concepto precedente, lo que incluye direcciones no paralelas a las filas o columnas de los píxeles 17 del SLM.

55 Un holograma 7 grabado con un específico patrón 15 de código de haz de referencia sólo puede reconstruirse con un patrón 15 de código de haz de referencia idéntico, o sumamente similar, al usado para grabar el holograma 7; de tal

manera, la codificación del haz 3 de referencia admite el cifrado o el multiplexado de seguridad. El patrón 15 de código de haz de referencia, por ejemplo, puede tener un tamaño de 10 x 10 píxeles 16 de código, lo que conduce a  $2^{100}$  posibles combinaciones de código. Sin embargo, con el fin del cifrado y multiplexado con seguridad, el holograma 7 no debería ser legible con patrones 15 de código de haz de referencia, que no sean los usados para grabar el holograma 7. Por lo tanto, sólo debería usarse un conjunto de patrones 15 de código lo suficientemente distintos, entre los posibles patrones totales 15 de código, lo cual, en la práctica, es aún un número muy grande, p. ej., podrían usarse alrededor de  $2^{25}$  combinaciones de código. Un procedimiento para generar patrones diferentes 15 de código se revela en el documento WO 02 / 05270.

El uso de la abertura 13 tiene la ventaja adicional de restringir la definición del SLM 4, de modo tal que los píxeles individuales 17 del SLM no sean distinguibles sobre la imagen detectada por el detector 5 mientras sea aún perceptible el efecto de codificación de los píxeles 16 de código. Para evitar efectos de viñetas cerca de los bordes del SLM 4, la abertura 13 se dispone en el plano de Fourier del SLM 4 (o en su vecindad próxima), a fin de filtrar los componentes de alta frecuencia en el espacio de Fourier, difuminando de tal modo la imagen resultante.

En las aplicaciones donde el SLM 4 se usa como una abertura para crear un haz circular fácil de situar, el patrón 15 de código de haz de referencia puede ser un sencillo círculo interior 18 transmisor de luz, con un área 19 limítrofe externa no transparente, según se ilustra en la Fig. 4. Esto puede lograrse, por ejemplo, usando el SLM 4 como un modulador de amplitud y reduciendo la amplitud del área limítrofe 19, manteniendo a la vez la amplitud de la luz dentro del círculo transmisor 18, creando de tal modo el haz 3 de referencia circular fácil de situar. El haz 3 de referencia circular puede situarse fácilmente cambiando la modulación de amplitud de los píxeles individuales 17 del SLM, a fin de crear el círculo interno 18 transmisor de luz en otra ubicación del SLM 4.

Un procedimiento conocido para realizar la modalidad de modulación de amplitud es proporcionar un polarizador antes, y un analizador después, del SLM 4. La polarización del haz 3 de referencia que cae dentro del círculo interno 18 puede dejarse sin cambios por parte del SLM 4, mientras que puede rotarse en 90 grados dentro del área limítrofe externa 19. Sólo la polarización sin cambios pasará a través del analizador, creando así el haz circular 3 de referencia fácil de situar.

El haz circular 3 de referencia fácil de situar puede proporcionarse asimismo junto con la codificación de fase, bien usando el mismo SLM 4 de codificación de haz de referencia, o uno adicional, dispuesto a lo largo del trayecto óptico del haz 3 de referencia. El mismo SLM puede usarse para la modulación simultánea de fase y amplitud, p. ej., en la modalidad de modulación ternaria de los SLM especiales. El uso de dos SLM para modulación separada de fase y amplitud requiere elementos ópticos adicionales para conformar las imágenes de los dos SLM entre sí.

En una segunda realización, la unidad 14 de servocontrol actúa sobre uno o más medios 20, 21, 22 de desplazamiento (Fig. 1a) para desplazar mecánicamente uno o más componentes (respectivamente, el medio 6 de almacenamiento, el SLM 4 y la fuente 2 de luz) del sistema 1 respectivamente entre sí. El medio 20, 21, 22 de desplazamiento puede incluir microactivadores u otros dispositivos para desplazar físicamente los componentes del sistema 1. De manera similar a la realización anteriormente descrita, la unidad 14 de servocontrol analiza la imagen detectada por el detector 5 y calcula una servoseñal, que se usa para controlar el medio 20, 21, 22 de desplazamiento, dispuesto para desplazar, respectivamente, el medio 6 de almacenamiento, el SLM 4 y la fuente 2 de luz. Los tres medios 20, 21, 22 de desplazamiento pueden estar presentes, o solamente algunos de ellos. También es posible proporcionar elementos adicionales, ópticos o mecánicos, que influyan sobre la posición del haz incidente 3 de referencia con respecto al medio 6 de almacenamiento. Estos también pueden ser controlados por la unidad 14 de servocontrol. Existe una posibilidad adicional al combinar las realizaciones primera y segunda.

El holograma 7 puede contener una página de datos o más páginas de datos, en el caso de hologramas multiplexados. Estas páginas de datos están preferiblemente compuestas de una pluralidad de bloques 24 de código de datos. Un bloque ejemplar 24 de código de datos se muestra en la Fig. 5. El bloque 24 de código de datos consiste en 4 x 4 píxeles 25 de código de datos, representando cada uno una variable binaria ("activa" o "inactiva"). Aunque hay  $2^{16}$  posibles patrones, sólo se usa una fracción de ellos para codificar las unidades de información (p. ej., letras, números, símbolos, etc.) almacenadas en el holograma 7. Normalmente, es suficiente usar un par de cientos de distintos bloques 24 de código de datos para codificar la información. Por ejemplo, puede usarse un conjunto de 256 bloques 24 de código de datos para codificar los símbolos de la tabla de códigos ASCII.

Los bloques 24 de código de datos pueden generarse, por ejemplo, usando codificación de modulación de peso constante (siendo la razón de los píxeles 25 de código de datos "activos" e "inactivos" aproximadamente 1:1), o bien codificación de modulación rala (una razón esencialmente inferior de píxeles 25 de código de datos "activos", según se ilustra en la Fig. 5: 3 píxeles 25 de código de datos "activos" y 13 píxeles 25 de código de datos "inactivos"). El conjunto de bloques 24 de código de datos se genera, preferiblemente, por codificación de modulación rala y los bloques 24 de código de datos del conjunto se escogen para que difieran entre sí tanto como sea posible. Es conocido en la técnica un procedimiento para generar tal conjunto de bloques 24 de código de datos. Por ejemplo, la codificación y descodificación de datos usando bloques de código de datos generados por codificación de modulación, usando una

tabla de búsqueda, es descrita por A. Sütö et al. (Optimización de la densidad de datos en sistema holográfico de Fourier usando filtrado espacial de luz y codificación de modulación rala”, Optik, Revista Internacional para la Luz y la Óptica Electrónica, Vol. 115, 12, págs. 541 a 546, 2004).

5 Al leer el holograma 7, la unidad 14 de servocontrol compara algunos de, o todos, los bloques 26 de código de datos reconstruidos (ilustrados en la Fig. 6), detectados por el detector, con los elementos del conjunto de bloques 24 de código de datos usados para grabar la página de datos transportada por el holograma 7, a fin de decidir qué bloque 24 específico de código de datos se está leyendo. Si la posición relativa del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento, así como la codificación (si la hubiera) del haz de referencia, es la misma que cuando se grabó el holograma 7, entonces cada bloque 26 de código reconstruido coincide sólo con un elemento del conjunto de bloques 24 de código de datos. Sin embargo, si el haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento está desalineados o la codificación del haz 3 de referencia de lectura difiere de la del haz 3 de referencia de grabación, entonces los bloques 26 de código de datos reconstruidos de la página de datos no coinciden con ninguno de los elementos del conjunto de bloques 26 de código de datos exactamente, aunque pueden parecerse a más de uno de ellos.

15 La unidad 14 de servocontrol calcula un valor característico de la imagen detectada por el detector 5 en una posición relativa dada del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento. El valor característico puede ser cualquier propiedad cuantificada adecuada de la imagen que indique la desalineación del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento.

En una realización preferida, el valor característico es la razón entre señal y ruido (SNR) de un cierto número de bloques 26 de código de datos reconstruidos:

20

$$(1) SNR = \frac{E(SNR_{\text{bloque}})}{E(SNR_{\text{bloque}})^2 - E(SNR_{\text{bloque}})^2}$$

en la que E es la función del valor esperado y  $SNR_{\text{bloque}}$  significa la razón entre señal y ruido de un bloque 26 de código de datos reconstruidos.

25 La  $SNR_{\text{bloque}}$  puede calcularse para todos los bloques 26 de código de datos reconstruidos o para un cierto número de bloques 26 de código de datos reconstruidos. Por ejemplo, es posible seleccionar al menos 100, preferiblemente al menos 300, incluso más preferiblemente al menos 600 bloques 26 de código de datos reconstruidos, para calcular el valor anterior de la SNR en el caso de una página de datos que consiste en aproximadamente 2000 bloques 24 de código de datos. Los bloques 26 examinados de código de datos reconstruidos pueden tomarse de la misma área en la imagen detectada, o bien pueden seleccionarse a fin de representar a regiones importantes de la página de datos, como será evidente a un experto.

La razón entre señal y ruido de un bloque 26 de código de datos reconstruidos puede calcularse de diversas maneras; una forma preferida de obtener la  $SNR_{\text{bloque}}$  es calcular la razón del valor de correlación máximo y medio entre el bloque 26 de código de datos reconstruidos y todos los posibles elementos del conjunto de bloques 24 de código de datos:

35

$$(2) SNR_{\text{bloque}} = \frac{\text{máx}_i(b_j * v_j)}{\text{promedio}_i(b_j * v_j)}$$

en la que

$\text{máx}(\cdot)$  significa el máximo del argumento tomado sobre los valores del índice,

$\text{promedio}(\cdot)$  significa el promedio del argumento tomado sobre los valores del índice,

40 el símbolo \* significa el producto escalar,

$b_j$  significa el j-ésimo componente del bloque 26 de código de datos reconstruidos, que es un vector de dimensión n x m en un caso general y un vector de dimensión 16 en el caso específico expuesto anteriormente, donde los bloques 24 de código de datos son formaciones de píxeles de dimensión 4 x 4, y

45  $v_j$  significa el j-ésimo componente del i-ésimo bloque 24 de código de datos del conjunto de bloques 24 de código de datos, que es, de manera similar a  $b_j$ , un vector de dimensión 16 en este caso específico.

Por ejemplo, el i-ésimo vector  $v_j$  que representa al bloque 24 de código de datos mostrado en la Fig. 5 es [000010100000100], cuyo 5º componente es  $v_5 = 1$ .

En otro ejemplo,  $SNR_{\text{bloque}}$  se calcula como la diferencia entre el máximo valor y el segundo mayor valor de correlación entre un bloque 26 de código de datos reconstruidos y todos los posibles bloques 24 de código de datos del conjunto de bloques 24 de código de datos:

$$(3) SNR_{\text{bloque}} = \underset{i}{\text{máx}} (b_j * v_j) - \underset{i \neq k}{\text{máx}_2} (b_j * v_j)$$

donde  $\text{máx}_2(.)$  significa el segundo mayor valor del argumento tomado sobre los valores del índice  $i$ , y se obtiene omitiendo el índice  $k$  hallado para producir el máximo de la función  $\text{máx}(.)$ .

Se dispone de muchas otras posibilidades para calcular SNR y  $SNR_{\text{bloque}}$ , como será evidente para un experto.

Una vez que está obtenido el valor de la SNR para una posición relativa dada del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento, la unidad 14 de servocontrol decide si este valor de SNR corresponde a un estado alineado o a un estado desalineado del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento respectivamente entre sí y, en caso de una desalineación, la servounidad 14 determina la posición relativa alineada del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento, dando una calidad de imagen satisfactoria. Una vez que la posición relativa alineada está determinada, la unidad 14 de servocontrol genera una servoseñal para actuar sobre todos, o parte de, los componentes del sistema 1, a fin de fijar la posición relativa del haz 3 de referencia y el medio de almacenamiento en la posición relativa alineada, desplazando todos, o una parte de, los componentes, físicamente y / u ópticamente, según se ha descrito anteriormente. Una vez que el haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento están en su posición relativa alineada, puede detectarse o capturarse una imagen con una calidad de imagen satisfactoria, para su uso posterior.

A fin de distinguir entre un estado alineado y un estado desalineado, y de determinar el grado de desalineación, el sistema 1 se calibra por adelantado para una aplicación específica. La calibración puede llevarse a cabo usando un haz 3 de referencia y un holograma de calibración grabado en un medio 6 de almacenamiento, por lo cual el medio 6 de almacenamiento que lleva el holograma de calibración se inserta en la misma ubicación donde ha de leerse más tarde el medio 6 de almacenamiento que lleva el holograma 7. Preferiblemente, el haz 3 de referencia se codifica con un patrón 15 de código de haz de referencia general, representativo del conjunto de patrones 15 de código de haz de referencia usados para grabar el holograma 7 y, preferiblemente, el holograma de calibración es un holograma que fue grabado usando un haz objeto 3' codificado con una página de datos representativa de los elementos del conjunto de bloques 24 de código de datos usados para codificar la información en el holograma 7. En ciertas aplicaciones, puede usarse uno entre un conjunto de medios 6 de almacenamiento a leer, para proporcionar el holograma de calibración o, alternativamente, se usa asimismo cada medio 6 de almacenamiento con fines de calibración, a fin de facilitar la lectura más rápida del medio 6 de almacenamiento en el futuro. Esto es especialmente ventajoso cuando se usa el mismo sistema 1 tanto para grabar como para leer los hologramas 7, por ejemplo, el sistema 1 ilustrado en la Fig. 1b. En este caso, la calibración puede realizarse después de grabar el holograma 7 y antes de retirarlo por primera vez del sistema 1.

Además, en aplicaciones donde se usa un número pequeño de patrones 15 de código de haz de referencia, la calibración puede realizarse para todos los posibles patrones 15 de código de haz de referencia aplicados. Este puede ser el caso para hologramas multiplexados, donde sólo un pequeño número de las páginas de datos se almacenan en el mismo holograma. De manera similar, en aplicaciones donde sólo son posibles un pequeño número de páginas de datos, la calibración puede realizarse para todos los hologramas de calibración posibles que llevan estas páginas de datos.

Se entiende que el holograma, u hologramas, de calibración puede(n) coincidir con el holograma, u hologramas, 7 a reconstruir con el sistema 1.

En la primera etapa de la calibración se obtiene una función característica graficando un cierto número de valores característicos calculados para un cierto número de posiciones relativas del haz 3 de referencia y el holograma de calibración. El valor de calibración se calcula de la misma, o esencialmente la misma, manera en que se calculará para identificar la desalineación del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento al leer este último.

En la realización preferida, expuesta anteriormente, el valor característico es la SNR calculada a partir de la  $SNR_{\text{bloque}}$  de todos, o un cierto número de, los bloques 26 de código de datos reconstruidos. Tomando la realización donde la posición relativa del haz 3 de referencia y el holograma, u holograma de calibración, se fija desplazando ópticamente el patrón 15 de código de haz de referencia exhibido por el SLM 2, los valores de SNR obtenidos en las distintas posiciones relativas pueden graficarse con respecto al desplazamiento del patrón 15 de código medido en píxeles 16 del SLM. La Fig. 7 muestra una función ejemplar de SNR graficada con respecto al desplazamiento de píxeles del SLM. La función de SNR es esencialmente una curva Gaussiana simétrica, en general, independientemente de la manera exacta de calcular los valores individuales de  $SNR_{\text{bloque}}$  y del número exacto de bloques 26 de código de datos reconstruidos usados, siempre que este número sea lo suficientemente alto como para dar una muestra representativa

para los bloques 24 de código de datos de la página de datos. La función de SNR ilustrada en la Fig. 7 se obtuvo usando la ecuación (2) para todos los bloques 26 de código de datos reconstruidos.

5 Debería observarse que el origen de las ordenadas puede fijarse para que corresponda al máximo valor de SNR; sin embargo, esto no es obligatorio, ya que las posiciones relativas, y un cambio en las posiciones relativas, pueden describirse usando también un desplazamiento.

10 La función de SNR graficada en la Fig. 7 se refiere a un problema de localización unidimensional. Por ejemplo, el medio 6 de almacenamiento puede estar incorporado en una tarjeta de crédito o una tarjeta de identificación que, cuando se inserta en el sistema 1 de almacenamiento holográfico, se sujeta estrechamente a lo largo de la dirección de dos ejes perpendiculares, mientras que puede desplazarse a lo largo de un tercer eje perpendicular correspondiente a la línea de inserción. En este caso, la posición relativa del medio 6 de almacenamiento y el haz 3 de referencia sólo puede variar a lo largo del tercer eje, lo que conduce a un problema de localización unidimensional. Si la posición del medio 6 de almacenamiento insertado puede variar asimismo a lo largo de los ejes primero y segundo, entonces es necesario efectuar la localización en dos y tres dimensiones, respectivamente. La localización del medio 6 de almacenamiento con respecto al haz 3 de referencia a lo largo de más de un eje puede llevarse a cabo cambiando posteriormente la posición relativa del medio 6 de almacenamiento y el haz 3 de referencia a lo largo de todos los ejes, a fin de hallar la posición relativa alineada a lo largo de cada eje sucesivamente. La posición relativa del medio 6 de almacenamiento y el eje 3 de referencia sólo puede cambiarse a lo largo de dos ejes, desplazando el patrón 15 de código de haz de referencia del SLM 4. Para la localización tridimensional, el desplazamiento del patrón 15 de código puede combinarse con el desplazamiento físico del medio de almacenamiento a lo largo del eje óptico, o el desplazamiento del foco del sistema 1. Alternativamente, puede obtenerse una función de SNR de dos o tres variables. Sólo la localización unidimensional se expondrá en mayor detalle, siendo los casos bidimensionales y tridimensionales una sencilla extensión de la localización unidimensional.

Después de haber obtenido la función de SNR, la segunda etapa de la calibración es obtener una servofunción a partir de la misma, lo que también es realizado por la unidad 14 de servocontrol.

25 Una servofunción preferida se obtiene tomando pares de valores de SNR en dos posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$  del haz 3 de referencia y el holograma de calibración almacenado en un medio 6 de almacenamiento. Las posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$  son tales que la diferencia entre la distancia del haz 3 de referencia y el holograma de calibración en la posición relativa  $x_1$  y  $x_2$  es  $d$ . Por ejemplo, si la localización se lleva a cabo desplazando el patrón 15 de código de haz de referencia, las posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$  corresponden a dos ubicaciones del patrón 15 de código en el SLM 4, y  $d$  es la distancia entre las dos posiciones (preferiblemente medida en el número de píxeles 17 del SLM). El valor más pequeño de SNR se divide luego entre el mayor, por lo cual el resultado para cada par de posiciones relativas cae entre 0 y 1. Los resultados se grafican con respecto a un desplazamiento  $s$  del punto medio entre las posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$  con respecto al origen. En el ejemplo anterior, el desplazamiento  $s$  sería la posición del patrón de código a media distancia entre las posiciones de patrón de código primera y segunda (es decir, las posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$ ). La servofunción se representa en la Fig. 8 y la Fig. 9 ilustra cómo se obtiene. A fin de simplificar, se supone que la posición relativa cero del haz 7 de referencia y el holograma de calibración (es decir, el origen) coincide con el estado alineado correspondiente a la máxima SNR. Sin embargo, la servofunción puede calcularse también con un desplazamiento, como será evidente para un experto.

40 En el ejemplo ilustrado en las Figs. 8 y 9, la función de SNR es una distribución Gaussiana centrada en las abscisas, mientras que la servofunción es una función decreciente con su máximo valor 1 (correspondiente a  $SNR(x_1) = SNR(x_2)$ ) en el desplazamiento  $s = 0$ .

45 Ha de observarse que la servofunción puede construirse de un buen número de maneras distintas, siendo la única condición que la servofunción sea invertible. En el contexto de la presente invención, una servofunción invertible es una función que permite obtener la magnitud y dirección (es decir, el signo algebraico) de un desplazamiento  $s$  a partir de cualquier valor funcional. Por ejemplo, una servofunción invertible puede obtenerse integrando la función de SNR entre una primera posición relativa  $x_1$  y una segunda posición relativa  $x_2$ , siendo  $d$  la diferencia de distancias entre el haz 3 de referencia y el holograma de calibración para las dos posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$ , y graficando los servovalores obtenidos con respecto a  $x_1$  (en lugar de  $s$ ).

50 La localización del haz 3 de referencia con respecto al medio 6 de almacenamiento a fin de leer el holograma 7 almacenado en el medio 6 de almacenamiento se realiza de la siguiente manera al usar la servofunción preferida anteriormente explicada.

55 El valor de SNR es calculado por la unidad 14 de servocontrol en una primera posición relativa  $x_1$  del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento. Luego se fija una segunda posición relativa  $x_2$  entre el haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento, definiendo las posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$ , primera y segunda, la diferencia  $d$ , según lo presentado anteriormente. En consecuencia, se calcula un segundo valor de SNR en la segunda posición relativa  $x_2$ . El valor de SNR más pequeño se divide entre el mayor. El resultado se usa para determinar la posición relativa



alineada que produce el mayor valor de SNR, es decir, la posición alineada del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento. Al localizar el haz 3 de referencia y el holograma 7, la abscisa de línea discontinua en la Fig. 9 sería el origen esperado, es decir, la posición relativa alineada esperada (suponiendo que la posición relativa alineada esperada sea el punto medio de las dos posiciones relativas  $x_1$  y  $x_2$ ). Si la posición relativa alineada esperada corresponde a la presente posición relativa alineada, entonces  $SNR(x_1) = SNR(x_2)$ , según se ha explicado anteriormente. Si hay un desplazamiento  $s$  entre la posición relativa alineada esperada y la efectiva, entonces el cociente de los dos valores de SNR difiere de 1. El desplazamiento  $s$  puede obtenerse a partir de la servofunción previamente grabada, tomando la inversa de la servofunción en  $SNR(x_1)/SNR(x_2)$ , según se indica en la Fig. 8. Considerando cuál de los dos valores de SNR se usó como divisor, el signo algebraico del desplazamiento  $s$  también puede determinarse fácilmente. La posición relativa del haz 3 de referencia y el medio 6 de almacenamiento se fija entonces para que corresponda a la posición relativa alineada, usando el desplazamiento  $s$  obtenido.

En particular, la localización anterior puede llevarse a cabo realizando las siguientes etapas:

- 1) calcular el valor de SNR en una primera ubicación del patrón 14 de haz de referencia en el SLM 4, correspondiente a la primera posición relativa  $x_1$ ,
  - 2) desplazar el patrón 14 de código en un número  $d$  de píxeles 17 del SLM en el SLM 4, a fin de obtener una segunda posición relativa  $x_2$ ,
  - 3) calcular el valor de la SNR en la segunda posición relativa  $x_2$ ,
  - 4) dividir el valor más pequeño de SNR ( $SNR(x_1)$ ) entre el mayor valor de SNR ( $SNR(x_2)$ ),
  - 5) obtener el desplazamiento  $s$  a partir del valor  $SNR(x_1)/SNR(x_2)$  de la servofunción,
  - 6) desplazar el patrón 14 de código en
    - \* un número  $(d/2 + s)$  de píxeles 17 del SLM, a partir de la primera posición relativa  $x_1$ , si  $SNR(x_1) < SNR(x_2)$
    - \* un número  $(d/2 - s)$  de píxeles 17 del SLM, a partir de la primera posición relativa  $x_1$ , si  $SNR(x_1) > SNR(x_2)$
 para obtener la posición relativa alineada, y
  - 7) leer el holograma 7 en la posición relativa alineada.
- A fin de mejorar la precisión de la localización, las etapas anteriores pueden repetirse para otros pares de posiciones relativas primera y segunda, correspondientes a patrones 14 de código exhibidos a una distancia entre sí de un número  $d$  de píxeles 17 del SLM, y puede calcularse un promedio a partir de las posiciones relativas alineadas obtenidas para cada par, eliminando así posibles errores.

Las realizaciones anteriormente descritas están concebidas solamente como ejemplos ilustrativos y no han de considerarse como limitadoras de la invención. Diversas modificaciones serán evidentes para un experto en la técnica, sin apartarse del alcance de la protección determinada por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para leer un holograma (7) de Fourier grabado en un medio (6) de almacenamiento holográfico con un sistema (1) de almacenamiento holográfico, comprendiendo el procedimiento las etapas de
- 5 a. calcular un valor característico a partir de una imagen detectada de un holograma (7) de Fourier reconstruido en al menos dos posiciones relativas de un haz (3) de referencia y dicho medio (6) de almacenamiento, siendo cada uno de los valores característicos indicación de una desalineación del haz (3) de referencia y dicho medio (6) de almacenamiento en la respectiva posición relativa,
- b. calcular un servovalor a partir de los valores característicos medidos,
- 10 c. determinar una posición relativa alineada de dicho haz (3) de referencia y dicho medio (6) de almacenamiento por medio de una servofunción predeterminada, usando el servovalor calculado, siendo dicha servofunción generada por medio de un procedimiento de calibración que usa los valores característicos de un holograma de calibración,
- d. fijar la posición relativa del haz (3) de referencia y dicho medio (6) de almacenamiento en dicha posición relativa alineada, y
- e. detectar una imagen en dicha posición relativa alineada.
- 15 2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la servofunción predeterminada se genera por medio de un procedimiento de calibración que comprende las etapas de
- obtener una función característica cambiando una posición relativa del haz (3) de referencia y un holograma de calibración, respectivamente entre sí, siendo el holograma de calibración un holograma (7) de Fourier, y calcular un valor característico de una imagen detectada del holograma de calibración reconstruido en cada posición relativa que
- 20 indique una desalineación de dicho haz de referencia y dicho holograma de calibración en la respectiva posición relativa, y
- calcular una servofunción invertible a partir de dicha función característica, para ser usada como la servofunción predeterminada.
- 25 3. El procedimiento según la reivindicación 1 o 2, en el cual dicho holograma de Fourier comprende una pluralidad de bloques (24) de código de datos, siendo cada bloque de código de datos uno entre un conjunto de bloques de código de datos.
4. El procedimiento según la reivindicación 3, en el cual cada bloque (24) de código de datos de dicho conjunto de bloques de código de datos es una formación de píxeles de dimensión n x m, preferiblemente n x n, incluso más preferiblemente 4 x 4, con un patrón único.
- 30 5. El procedimiento según la reivindicación 3 o la reivindicación 4, en el cual dicho conjunto de bloques (24) de código de datos se obtiene por codificación de modulación usando una tabla de búsqueda.
6. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el cual dicho holograma de calibración comprende una pluralidad de bloques (24) de código de datos, siendo cada bloque de código de datos uno entre dicho conjunto de bloques de código de datos, preferiblemente, una pluralidad de bloques de código de datos que sean representativos de dicho conjunto de bloques de código de datos.
- 35 7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el cual dicho holograma (7) de Fourier a leer y dicho holograma de calibración son hologramas codificados en fase, grabados usando un modulador espacial de luz (SLM, 4) para crear un haz objeto codificado en fase.
8. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en el cual la función característica es una función de razón entre señal y ruido (SNR), calculada como
- 40

$$SNR = \frac{E(SNR_{bloque})}{E(SNR_{bloque}^2) - E(SNR_{bloque})^2}$$

en la que E es la función de valor esperado y SNR<sub>bloque</sub> significa la razón entre señal y ruido de un bloque de código de datos.

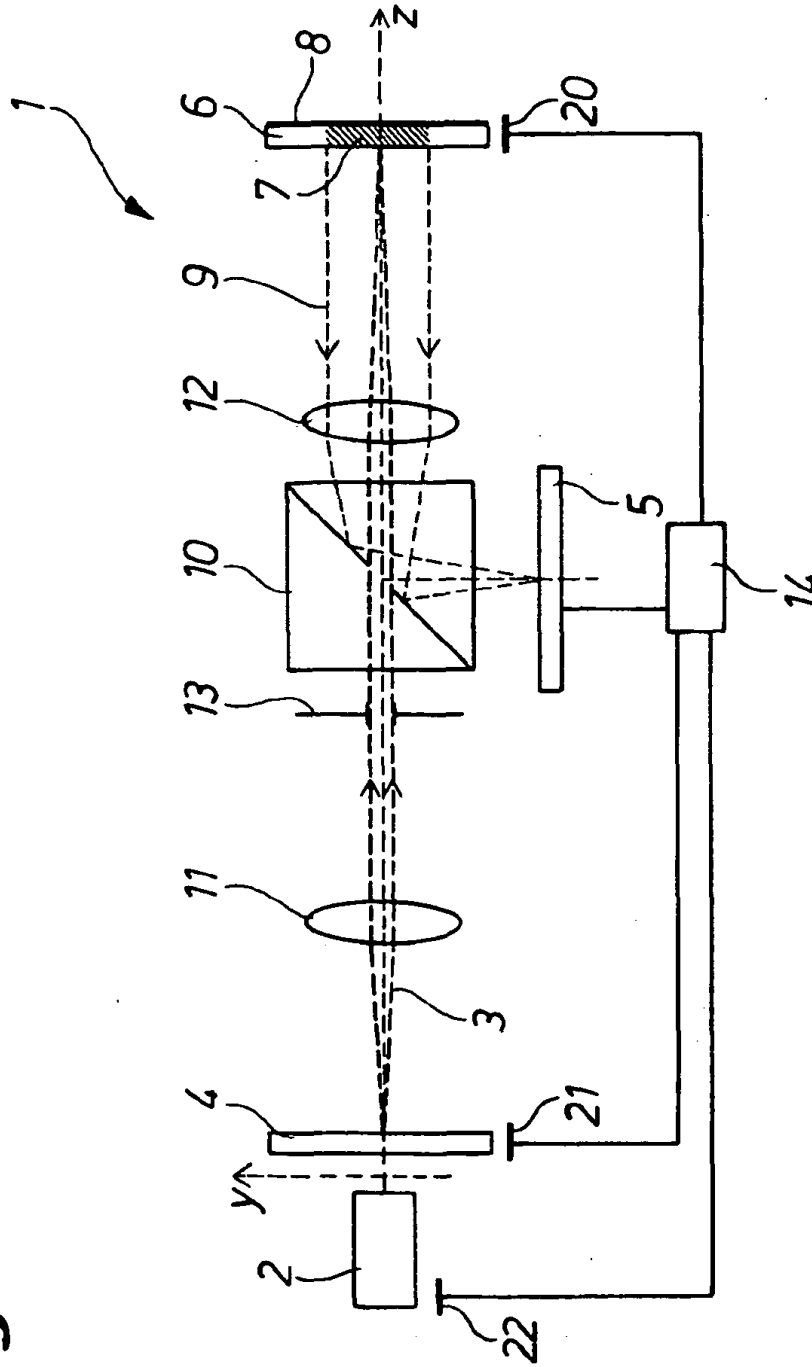
- 45 9. El procedimiento según la reivindicación 8, en el cual SNR<sub>bloque</sub> se calcula como la razón entre el valor máximo y el valor medio de correlación de un bloque de código de datos reconstruidos y de todos los bloques de código de datos de dicho conjunto de bloques de código de datos.

10. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, en el cual
- al generar dicha servofunción predeterminada, se calcula una pluralidad de servovalores a partir de la función característica, siendo cada servovalor calculado indicación de una razón de dos valores característicos de dos posiciones relativas con una diferencia previamente dada entre la distancia del primer haz de referencia y el holograma de calibración, siendo la variable de la servofunción el punto medio entre las dos posiciones relativas; y
  - al leer dicho holograma (7) de Fourier, se calcula el servovalor a partir de una razón de dos valores característicos que se calculan en dos posiciones relativas que tengan dicha diferencia previamente dada entre la distancia del haz de referencia y el holograma a leer.
11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 2 a 10, en el cual dicho haz (3) de referencia es codificado por un código de haz de referencia
12. El procedimiento según la reivindicación 11, en el cual dicho código de haz de referencia es uno entre un conjunto de códigos de haz de referencia.
13. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, en el cual el haz de referencia está codificado por un modulador espacial de luz (SLM, 4).
14. Un sistema (1) de almacenamiento holográfico para leer un holograma (7) de Fourier grabado en un medio (6) de almacenamiento holográfico, comprendiendo dicho sistema (1) un medio de generación del haz (3) de referencia, un medio de recepción del medio (6) de almacenamiento y un detector (5) para detectar un holograma reconstruido, en el que dicho sistema (1) comprende adicionalmente una unidad (14) de servocontrol adaptada para ejecutar el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13.

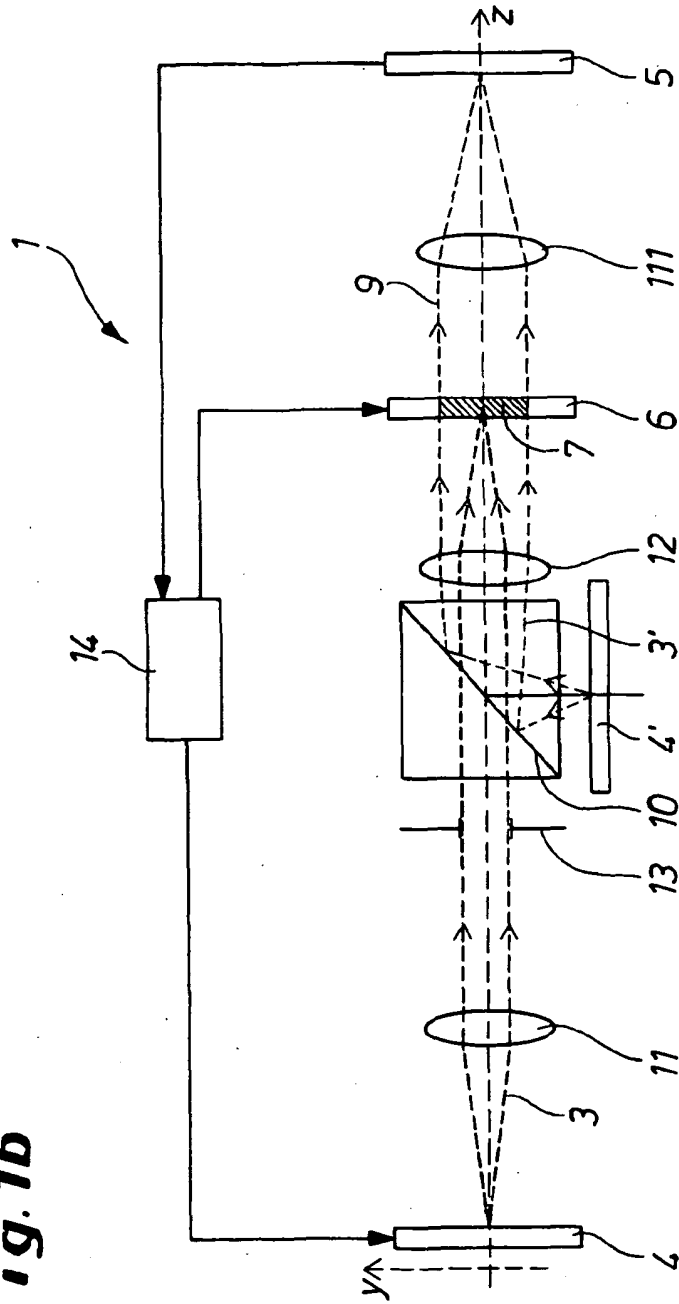
20

25

**Fig. 1a**



**Fig. 1b**



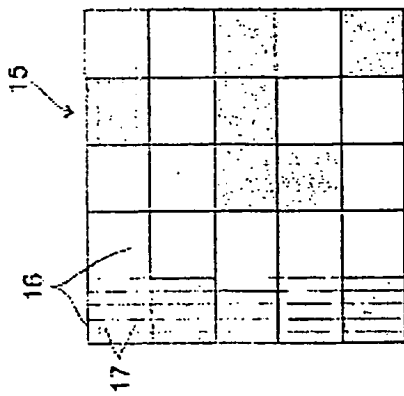


Fig. 2

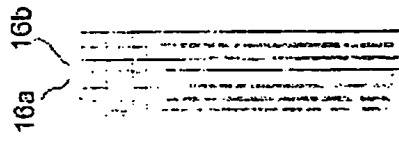


Fig. 3

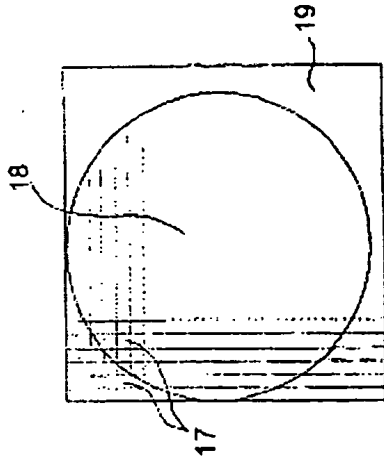


Fig. 4

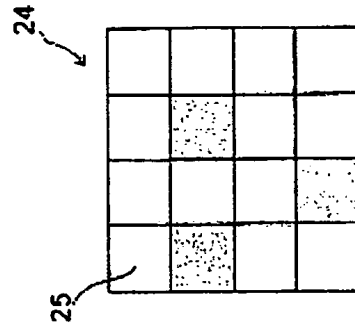


Fig. 5

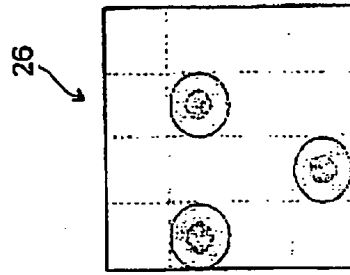
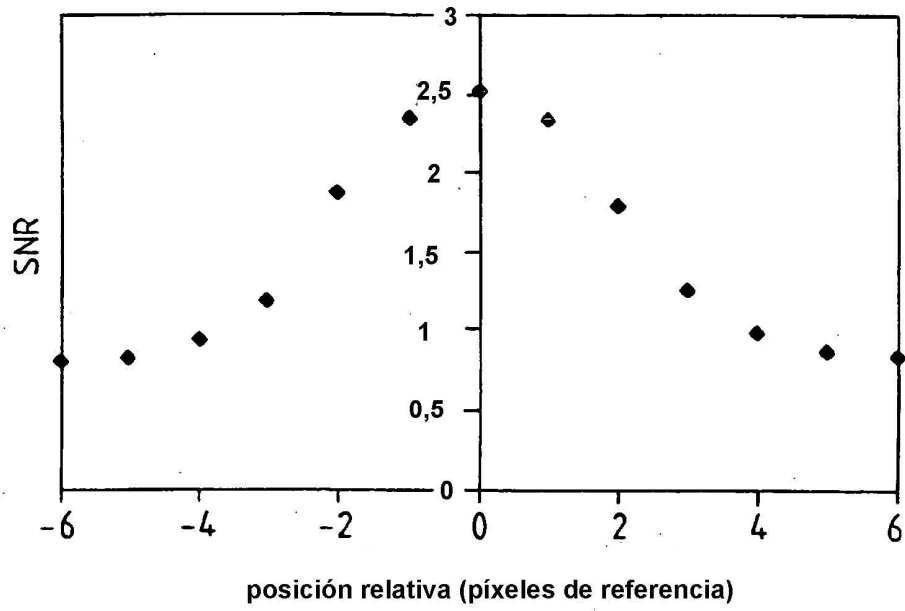
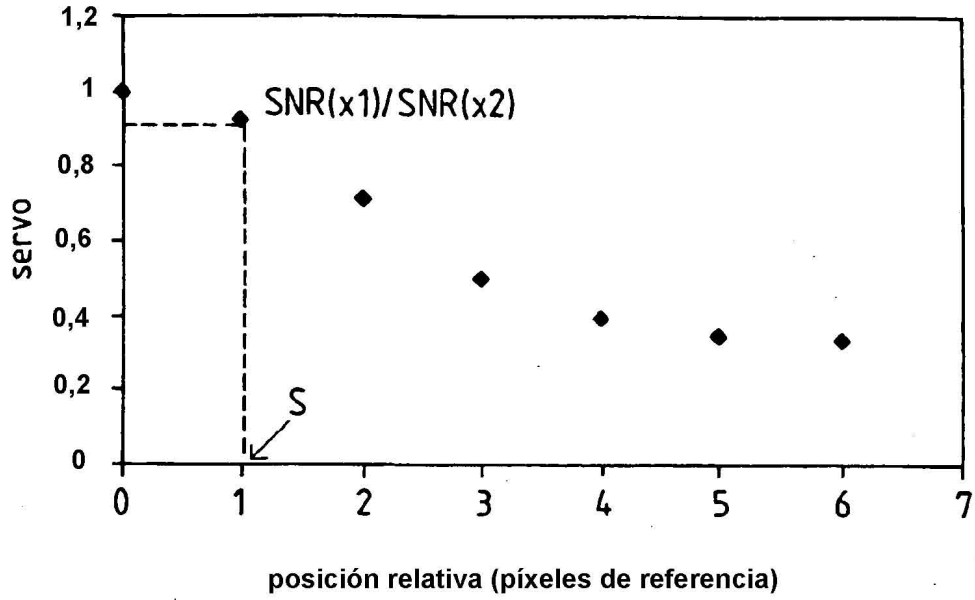


Fig. 6

**Fig.7**



**Fig.8**



**Fig.9**

