

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 649**

51 Int. Cl.:

G03H 1/08 (2006.01)

G02B 27/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2013 PCT/GB2013/053403**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.06.2014 WO14096862**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2013 E 13812041 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2936252**

54 Título: **Proyección de imágenes holográficas con corrección holográfica**

30 Prioridad:

21.12.2012 GB 201223416

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

17.02.2020

73 Titular/es:

**TWO TREES PHOTONICS LTD (100.0%)
1a Garforth Place
Knowlhill Buckinghamshire MK5 8PG, GB**

72 Inventor/es:

**CHRISTMAS, JAMIESON y
MASIYANO, DACKSON**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 742 649 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

Proyección de imágenes holográficas con corrección holográfica

5 Campo de la invención

La presente descripción se refiere al campo de la proyección de imágenes. Las realizaciones descritas en esta invención se refieren en general a la proyección de imágenes holográficas y a un procedimiento para la misma. Más específicamente, las realizaciones descritas en esta invención se refieren en general a una pantalla de visualización frontal y a un procedimiento de proyección de imágenes holográficas usando un parabrisas.

Antecedentes

15 La luz dispersada a partir de un objeto contiene tanto información de amplitud como de fase. Esta información de amplitud y de fase puede ser capturada en, por ejemplo, una placa fotosensible mediante técnicas de interferencia bien conocidas para formar un registro holográfico, u «holograma», que comprende franjas de interferencia. El «holograma» se puede reconstruir iluminándolo con luz adecuada para formar una reconstrucción holográfica, o imagen de reproducción, representativa del objeto original.

20 Se ha hallado que una reconstrucción holográfica de calidad aceptable puede ser formada a partir de un «holograma» que contiene solo información de fase relacionada con el objeto original. Tales registros holográficos pueden ser referidos como hologramas de solo fase. La holografía generada por ordenador puede simular numéricamente el procedimiento de interferencia, usando por ejemplo, técnicas de Fourier, para producir un holograma de solo fase generado por ordenador. Un holograma de solo fase generado por ordenador se puede usar para producir una reconstrucción holográfica representativa de un objeto.

El término «holograma» se refiere por tanto al registro que contiene información sobre el objeto y que se puede usar para formar una reconstrucción representativa del objeto. El holograma puede contener información sobre el objeto en la frecuencia, o dominio de Fourier.

30 Se ha propuesto el uso de técnicas holográficas en un sistema de proyección de imágenes bidimensionales. Una ventaja de proyectar imágenes usando hologramas de solo fase es la capacidad de controlar muchos atributos de imagen a través del procedimiento de cálculo, por ejemplo, la relación de aspecto, la resolución, el contraste y el margen dinámico de la imagen proyectada. Una ventaja adicional de los hologramas de solo fase es que no se pierde energía óptica por medio de la modulación de amplitud.

35 Un holograma de solo fase generado por ordenador puede ser «pixelado». Es decir, el holograma de solo fase puede representarse en una matriz de elementos de fase discretos. Cada elemento discreto puede denominarse «píxel». Cada píxel puede actuar como un elemento de modulación de la luz, tal como un elemento de modulación de fase. Un holograma de solo fase generada por ordenador se puede representar por tanto en una matriz de elementos de modulación de fase tales como un modulador espacial de luz de cristal líquido (SLM, por sus siglas en inglés). El SLM puede ser reflectante, lo que significa que la luz modulada se emite desde el SLM en reflejo.

40 Cada elemento de modulación de fase, o píxel, puede variar en el estado para proporcionar un retardo de fase controlable para luz incidente en ese elemento de modulación de fase. Un matriz de elementos de modulación de fase, tales como un SML de cristal líquido sobre silicio (LCOS, por sus siglas en inglés) puede representar por tanto (o «mostrar») una distribución de retardo de fase determinado por ordenador. Si la luz incidente en la matriz de los elementos de modulación de fase es coherente, la luz se modulará con la información holográfica, u holograma. La información holográfica puede estar en la frecuencia, o en el dominio de Fourier.

45 Alternativamente, la distribución de retardo de fase puede registrarse en una kinoforma. La palabra «kinoforma» puede ser usada generalmente para referirse a un registro holográfico de solo fase, u holograma.

50 El retardo de fase puede ser cuantificado. Es decir, cada píxel puede establecerse como uno de un número discreto de niveles de fase.

55 La distribución de retardo de fase puede aplicarse a una onda de luz incidente (iluminando el SLM-LCOS, por ejemplo) y reconstruirse. La posición de la reconstrucción en el espacio puede ser controlada mediante el uso de una lente relativa a la transformada de Fourier óptica para formar la reconstrucción holográfica, o «imagen», en el dominio espacial. Alternativamente, ninguna lente relativa a la transformada de Fourier puede requerirse sin la reconstrucción tiene lugar en el campo lejano.

60 Un holograma generado por ordenador se puede calcular de diversas maneras, incluyendo el uso de algoritmos tales como Gerchberg-Saxton. El algoritmo de Gerchberg-Saxton se puede usar para derivar información de fase en el dominio de Fourier a partir de la información de amplitud en el dominio espacial (tal como una imagen 2D). Es decir, la información de fase relacionada con el objeto puede ser «recuperada» a partir de la intensidad, o amplitud,

solamente la información en el dominio espacial. En consecuencia, se puede calcular una representación holográfica de solo fase de un objeto en el dominio de Fourier.

5 La reconstrucción holográfica se puede formar al iluminar el holograma en el dominio de Fourier y realizar una transformada de Fourier óptica, usando una lente relativa a la transformada de Fourier, por ejemplo, para formar una imagen (reconstrucción holográfica) en un campo de reproducción, tal como una pantalla. La figura 1 muestra un ejemplo del uso de un SLM reflectante, tal como un SLM-LCOS, para producir una reconstrucción holográfica en una ubicación de campo de reproducción, según la presente descripción.

10 Una fuente de luz (110), por ejemplo un láser o diodo láser, se dispone para iluminar el SLM (140) a través de una lente de colimación (111). La lente de colimación provoca un frente de onda generalmente plano de luz que llegará a ser incidente en el SLM. La dirección del frente de onda es ligeramente anormal (por ejemplo, dos o tres grados de distancia de ser realmente ortogonal al plano de la capa transparente). La disposición es tal que la luz de la fuente de luz se refleja fuera de una superficie posterior reflejada del SLM e interactúa con una capa de modulación de fase para formar un frente de onda de salida (112). El frente de onda de salida (112) se aplica a la óptica que incluye una lente relativa a la transformada de Fourier (120), que tiene su zona de enfoque en una pantalla (125).

15 La lente relativa a la transformada de Fourier (120) recibe un haz de luz modulada en fase que sale del SLM y realiza una transformación de frecuencia-espacio para producir una reconstrucción holográfica en la pantalla (125) en el dominio espacial.

20 En este procedimiento, la luz, en el caso de un sistema de proyección de imágenes, la luz visible, a partir de la fuente de luz se distribuye a través del SLM (140), y a través de la capa de modulación de fase (es decir, la matriz de elementos de modulación de fase). La luz que sale de la capa de modulación de fase puede distribuirse a través del campo de reproducción. Cada píxel del holograma contribuye a la imagen de reproducción como un todo. Es decir, no existe una correlación una a una entre puntos específicos en la imagen de reproducción y elementos de modulación de fase específicos.

25 El algoritmo de Gerchberg Saxton considera el problema de recuperación de fase cuando las secciones transversales de intensidad de un haz de luz $I_A(x,y)$ e $I_B(x,y)$, en los planos A y B, respectivamente, son conocidas e $I_A(x,y)$ e $I_B(x,y)$ están relacionadas por una única transformada de Fourier. Con las secciones transversales de intensidad dadas, se encuentra una aproximación a la distribución de fase en los planos A y B, $\Phi_A(x,y)$ y $\Phi_B(x,y)$, respectivamente. El algoritmo de Gerchberg-Saxton aporta soluciones a este problema siguiendo un procedimiento iterativo.

30 El algoritmo de Gerchberg-Saxton aplica de forma iterativa limitaciones espaciales y espectrales mientras transfiere repetidamente un conjunto de datos (amplitud y fase), representativo de $I_A(x,y)$ e $I_B(x,y)$, entre el dominio espacial y el dominio (espectral) de Fourier. Las limitaciones espaciales y espectrales son $I_A(x,y)$ e $I_B(x,y)$, respectivamente. Las limitaciones, ya sea en el dominio espacial o espectral, se imponen a la amplitud del conjunto de datos. La información de fase correspondiente se recupera a través de una serie de iteraciones.

35 Un proyector holográfico puede ser proporcionado usando dicha tecnología. Dichos proyectores han encontrado aplicación en pantallas de visualización frontal para vehículos.

40 El uso de pantallas de visualización frontal en automóviles es cada vez más popular. Las pantallas de visualización frontal se dividen en dos categorías principales, aquellas que usan un combinador (una pantalla de vidrio independiente cuyo fin es reflejar una imagen virtual en el campo visual del conductor) y aquellas que usan el parabrisas del vehículo para lograr el mismo fin.

45 La figura 2 muestra una pantalla de visualización frontal de ejemplo que comprende una fuente de luz 206, un modulador espacial de luz 204 dispuesto para modular espacialmente la luz desde la fuente de luz con datos holográficos representativos de una imagen para proyección, una transformada de Fourier óptica 205, un difusor 203, un espejo de forma libre 201, un parabrisas 202 y una posición visual 207. La figura 2 muestra el sistema denominado «visión indirecta» en el que una imagen real de la reconstrucción holográfica se forma en un campo de reproducción en el difusor 203. Por lo tanto, una reconstrucción holográfica se proyecta sobre el difusor 203 y puede ser vista desde la posición visual 207 al enfocarse en el difusor 203. La imagen proyectada es vista a través de un primer espejo libre de forma de reflexión 201 y un segundo parabrisas de reflexión 202. El difusor actúa para aumentar la apertura numérica del sistema holográfico, iluminando completamente los espejos de forma libre, permitiendo así que la imagen virtual sea vista por un conductor, por ejemplo.

50 Sin embargo, un problema con el uso de un parabrisas 202 como el llamado «combinador» es que la curvatura del parabrisas aplica una potencia de lente a la imagen virtual que se está mostrando. Este problema se complica aún más por las diferentes curvaturas del parabrisas 202 que existen de izquierda a derecha y de arriba a abajo. Normalmente, esta compleja función de lentes es corregida mediante el uso de un espejo de forma libre 201 diseñado cuidadosamente. Sin embargo, estos espejos son extremadamente complejos para diseñar con aberraciones mínimas y son extremadamente costosos de fabricar con la precisión requerida. La presente descripción tiene como objetivo abordar estos problemas y proporcionar un proyector mejorado.

El documento US 2008/0192312 se refiere a una visualización de información holográfica para un vehículo de motor para la proyección de un elemento de visualización virtual.

- 5 El documento WO 2012/147271 describe un dispositivo de visualización que comprende fuentes de luz, conjuntos ópticos de iluminación, unidades de generación del patrón de difracción y una unidad de control de visualización.

Resumen de la invención

- 10 Los aspectos de la invención se definen en las reivindicaciones independientes adjuntas.

Se proporciona un procedimiento mejorado de la proyección de una imagen objetivo. En particular, se proporciona un procedimiento de proyección usando un elemento óptico que tiene una potencia óptica con variación espacial, tal como un parabrisas para un vehículo. La potencia óptica del elemento óptico se compensa combinando los datos del contenido de las imágenes con datos que tienen un efecto de lente. Ventajosamente, se proporciona un sistema que puede compensar de manera ajustable el componente óptico irregular.

Breve descripción de los dibujos

- 20 Las realizaciones se describirán ahora respecto a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un SLM reflectante, tal como un LCOS, dispuesto para producir una reconstrucción holográfica en una ubicación de campo de reproducción;

- 25 la figura 2 muestra el denominado proyector holográfico de «visión indirecta» para una pantalla de visualización frontal de un vehículo;

la figura 3 muestra un algoritmo de ejemplo para un ordenador que genera un holograma de solo fase;

- 30 la figura 4 muestra una iniciación de fase aleatoria de ejemplo para el algoritmo de ejemplo de la figura 3;

la figura 5 muestra un canal de una pantalla de visualización frontal de «visión directa» para un vehículo;

- 35 la figura 6 muestra una «visión directa» para una pantalla de visualización frontal de un vehículo según la invención;

la figura 7 es un algoritmo para el cálculo de un holograma Fresnel según las realizaciones; y

la figura 8 es un diagrama esquemático de un SLM-LCOS.

- 40 En los dibujos, los números de referencia similares se refieren a partes similares.

Breve descripción de los dibujos

- 45 Las imágenes 2D generadas holográficamente son conocidas por poseer ventajas significativas sobre sus homólogos convencionalmente proyectados, especialmente en términos de definición y eficiencia.

Se han desarrollado algoritmos modificados basados en Gerchberg-Saxton, véase, por ejemplo, la solicitud PCT pendiente de tramitación publicada WO 2007/131650.

- 50 La figura 3 muestra un algoritmo modificado que recupera la información de fase $\psi[u,v]$ de la transformada de Fourier del conjunto de datos que da lugar a una información de amplitud conocida $T[x,y]$ 362. La información de amplitud $T[x,y]$ 362 es representativa de una imagen objetivo (por ejemplo, una fotografía). La información de fase $\psi[u,v]$ se usa para producir un holográfico representativo de la imagen objetivo en un plano de imagen.

- 55 Puesto que la magnitud y la fase se combinan intrínsecamente en la transformada de Fourier, la magnitud transformada (así como la fase) contiene información útil acerca de la precisión de los conjuntos de datos calculados. Por ende, el algoritmo puede proporcionar una respuesta sobre la información tanto de amplitud como de fase.

- 60 El algoritmo mostrado en la fig. 3 puede ser considerado como que tiene una entrada de onda compleja (que tiene información de amplitud 301 e información de fase) y una salida de onda compleja (que tiene también información de amplitud 311 e información de fase 313). Para el fin de esta descripción, la información de amplitud y de fase son consideradas por separado a pesar de que se combinan intrínsecamente para formar un conjunto de datos. Es preciso recordar que la información tanto de amplitud como de fase son en sí funciones de las coordenadas espaciales (x,y) para la imagen de campo lejano y (u,v) para el holograma, ambas pueden considerarse como distribuciones de amplitud y fase.

- 65

Con referencia a la fig. 3, el bloque de procesamiento 350 produce una transformada de Fourier a partir del primer conjunto de datos que tiene información de magnitud 301 e información de fase. El resultado es un segundo conjunto de datos, que tiene información de magnitud e información de fase $\psi_n[u,v]$ 305. La información de amplitud a partir del bloque de procesamiento 350 se establece para una distribución representativa de la fuente de luz aunque se retiene la información de fase $\psi_n[u,v]$ 305. La información de fase 305 se cuantifica mediante el bloque de procesamiento 354 y la salida como información de fase $\psi[u,v]$ 309. La información de fase 309 se pasa al bloque de procesamiento 356 y se combina con la nueva magnitud por el bloque de procesamiento 352. El tercer conjunto de datos 307, 309 se aplica al bloque de procesamiento 356 que realiza una transformada de Fourier inversa. Esto produce un cuarto conjunto de datos $R_n[x,y]$ en el dominio espacial que tiene información de amplitud 311 e información de fase 313.

A partir del cuarto conjunto de datos, su información de fase 313 forma la información de fase de un quinto conjunto de datos, aplicado con el primer conjunto de datos de la próxima iteración. Su información de amplitud $R_n[x,y]$ 311 es modificada por la resta de información de amplitud $T[x,y]$ 362 de la imagen objetivo para producir un conjunto de información de amplitud 315. La información de amplitud a escala 315 (a escala por α) se resta de la información de amplitud objetivo $T[x,y]$ 362 para producir información de amplitud de entrada $\eta[x,y]$ 301 del quinto conjunto de datos para su aplicación como primer conjunto de datos para la siguiente iteración. Esto se expresa matemáticamente en las siguientes ecuaciones:

$$R_{n+1}[x, y] = F^{-1}\{\exp(i\psi_n[u, v])\}$$

$$\psi_n[u, v] = \angle F\{\eta \cdot \exp(i\angle R_n[x, y])\}$$

$$\eta = T[x, y] - \alpha(|R_n[x, y]| - T[x, y])$$

en las que:

F^{-1} es la transformada de Fourier inversa.

F es la transformada de Fourier directa.

R es el campo de reproducción.

T es la imagen objetivo.

\angle es la información angular.

Ψ es la versión cuantificada de la información angular.

ϵ es la nueva magnitud objetivo, $\epsilon \geq 0$.

α es un elemento de ganancia ~ 1 .

El elemento de ganancia α puede estar predeterminado en función del tamaño y la tasa de los datos de imagen objetivo entrantes.

En ausencia de información de fase de la iteración anterior, la primera iteración del algoritmo usa un generador de fase aleatoria para suministrar información de fase aleatoria como punto de partida. La figura 4 muestra una iniciación de fase aleatoria de ejemplo.

En una modificación, la información de amplitud resultante del bloque de procesamiento 350 no se descarta. La información de amplitud objetivo 362 se resta de la información de amplitud para producir una nueva información de amplitud. Un múltiplo de información de amplitud se resta de la información de amplitud 362 para producir la información de amplitud de entrada para un bloque de procesamiento 356. Además, como alternativa, la fase no se incorpora en su totalidad y solo se incorpora una proporción de porción respecto a su cambio durante las dos últimas iteraciones.

En consecuencia, pueden formarse los datos en el dominio de Fourier representativos de una imagen de interés. Las realizaciones se refieren a hologramas de fase a modo de ejemplo y se puede apreciar que la presente descripción también es igualmente aplicable a los hologramas de amplitud.

En resumen, los inventores han reconocido que los problemas causados por el uso de un combinador que tiene una

potencia óptica con variación espacial, tal como un parabrisas de un vehículo, pueden abordarse usando un sistema denominado de «visión directa», en lugar de un sistema de «visión indirecta», y combinando los datos en el dominio de Fourier representativos de la imagen con los datos en el dominio de Fourier que tienen un efecto de lente que compensa la potencia óptica añadida por el combinador. Los datos pueden combinarse por adición simple. A este respecto, el holograma comprende primeros datos representativos de la imagen real para la proyección y segundos datos que comprenden una función de lente. En particular, esta estrategia permite un ajuste en tiempo real de la compensación si, por ejemplo, el sistema de proyección se vuelve a alinear durante su uso y se usa una región diferente del combinador. Tal realineación puede ser necesaria si se mueve, por ejemplo, un espectador. La figura 5 muestra un sistema denominado de «visión directa» para una pantalla de visualización frontal que comprende una fuente de luz 501, un SLM 504, un espejo de forma libre 503, un parabrisas 502 y una posición visual 505. En concreto, la lente en el ojo del espectador realiza la transformada de Fourier necesaria. Un sistema de visión directa no comprende por lo tanto una lente de Fourier. Si los rayos del SLM son colimados entonces el ojo tendrá que enfocar la mirada en el infinito para una imagen nítida para formarse en la retina. No obstante, si se añaden datos en el dominio de Fourier que comprenden un efecto de lente a los datos en el dominio de Fourier representativos de la imagen, los rayos de luz dejarán de ser colimados y el ojo tendrá que enfocar la mirada en la longitud focal definida por el efecto de lente para un campo de reproducción nítida que se formará en la retina.

En las realizaciones, se combinan los datos en el dominio de Fourier que tienen un efecto de lente, por ejemplo, añadidos a los datos en el dominio de Fourier representados de la imagen de proyección para compensar, o incluso invertir, el impacto de la potencia óptica del parabrisas. El experto en la materia sabe cómo calcular los datos en el dominio de Fourier que tienen un efecto de lente requerido y cómo añadir tales datos a otros datos en el dominio de Fourier.

Se describe, por lo tanto, un procedimiento de proyección que usa un elemento óptico que tiene una potencia óptica con variación espacial, comprendiendo el procedimiento: combinar los datos en el dominio de Fourier representativos de una imagen 2D con los datos en el dominio de Fourier que tienen un primer efecto de lente para producir primeros datos holográficos, modular espacialmente la luz con los primeros datos holográficos para formar un primer haz de luz con modulación espacial; redirigir el primer haz de luz con modulación espacial usando el elemento óptico al iluminar una primera zona del elemento óptico con el primer haz con modulación espacial; en el que el primer efecto de lente compensa la potencia óptica del elemento óptico en la primera región.

Dado que el SLM puede tener una baja apertura numérica, la reconstrucción holográfica solo será visible para un ojo. Por lo tanto, se usan dos SLM para proporcionar dos proyecciones holográficas. Véase la figura 6. Como cada ojo verá una proyección diferente, cada proyección refleja un área, o región, diferente del parabrisas 608 y 607. Es probable que tenga una potencia óptica diferente y esta se corrija, o compense, de forma individual. En concreto, los inventores han reconocido que las diferentes proyecciones se ven afectadas de manera diferente por el parabrisas y cada proyección se corrige de forma independiente según la presente descripción.

Con más detalle, la figura 6 muestra una primera fuente de luz 601a que ilumina una primera matriz de píxeles que se modulan espacialmente 603a. Un primer holograma está representado en los píxeles 603a. El primer holograma comprende datos de imagen y primeros datos de lente 604a. Los datos de imagen son datos representativos de una imagen 2D para proyección. Los primeros datos de lente 604a son datos que proporcionan un primer efecto de lente. La luz con modulación espacial incide sobre una primera región 607 de un parabrisas 602. La luz es redirigida por el parabrisas 602 a una primera región 609a de un plano de visión 609. Se proporciona una trayectoria óptica correspondiente para un segundo holograma. Una segunda fuente de luz 601b ilumina una segunda matriz de píxeles que se modulan espacialmente 603b. Un segundo holograma está representado en los píxeles 603b. El segundo holograma comprende datos de imagen y segundo datos de lente 604b. Los datos de imagen son datos representativos de una imagen 2D para proyección. Los segundos datos de lente 604b son datos que proporcionan un segundo efecto de lente. En las realizaciones, los primeros datos de lente 604a son diferentes de los segundos datos de lente 604b. La luz con modulación espacial incide sobre una segunda región 608 del parabrisas 602. La luz es redirigida por el parabrisas 602 a una segunda región 609b del plano de visión 609. En las realizaciones, la primera región 609a y la segunda región 609b del plano de visión no se superponen y, opcionalmente, son sustancialmente adyacentes.

Por lo tanto, se describe un procedimiento de proyección usando un elemento óptico que tiene una potencia óptica con variación espacial, comprendiendo el procedimiento: combinar los datos en el dominio de Fourier representativos de una imagen 2D con los datos en el dominio de Fourier que tienen un primer efecto de lente para producir primeros datos holográficos; combinar los datos en el dominio de Fourier representativos de la imagen 2D con los datos en el dominio de Fourier que tienen un segundo efecto de lente para producir segundos datos holográficos; modular espacialmente la luz con los primeros datos holográficos para formar un primer haz de luz con modulación espacial y modular espacialmente con luz con los segundos datos holográficos para formar un segundo haz de luz con modulación espacial; redirigir los primer y segundo haces de luz con modulación espacial usando el elemento óptico al iluminar una primera región del elemento óptico con el primer haz con modulación espacial e iluminar una segunda región del elemento óptico con el segundo haz con modulación espacial; en el que los primer y segundo efectos de lente compensan la potencia óptica del elemento óptico en las primera y segunda regiones, respectivamente.

5 El primer efecto de lente es diferente del segundo efecto de lente. Los primer y segundo efectos de lente pueden ser seleccionados o calculados de forma independiente. Puede entenderse que en este sentido, las diferentes potencias ópticas de las primera y segunda regiones del elemento óptico se compensan individualmente. Se considera que los primer y segundo hologramas se configuran de forma independiente para compensar la potencia óptica con variación espacial y compleja del elemento óptico.

10 En concreto, esta estrategia evita la necesidad de un espejo de forma libre caro al compensar la potencia óptica compleja del parabrisas que usa hologramas compensados individualmente. Además, ventajosamente, se puede entender que el sistema se puede ajustar con facilidad para compensar los diferentes ángulos de visión o las diferentes formas de parabrisas, por ejemplo. Además, se puede apreciar que si se perfila la curvatura del parabrisas, el sistema puede responder dinámicamente a los cambios al seleccionar diferentes datos de lente. En las realizaciones, se proporciona, por tanto, una pantalla de visualización frontal que puede usarse en cualquier vehículo sin modificación física.

15 Se puede entender que, en las realizaciones, los primer y segundo efectos de lente invierten sustancialmente la potencia óptica del elemento óptico en las primera y segunda regiones, respectivamente.

20 En algunas realizaciones, el holograma es un holograma de solo fase y el efecto de lente es proporcionado por una lente de solo fase. El holograma de solo fase puede calcularse en tiempo real o recuperarse de un repositorio tal como una base de datos. El holograma puede calcularse usando un algoritmo tipo Gerchberg-Saxton o cualquier otro algoritmo para generar un holograma en el dominio de Fourier. El experto en la materia entenderá que el holograma puede igualmente ser un holograma de amplitud, o un holograma de amplitud y fase, y el efecto de lente puede ser proporcionado entonces por un holograma de amplitud, o un holograma de amplitud y fase.

25 Opcionalmente, debido a la baja apertura numérica de algunos SLM, determinadas realizaciones incluyen un mecanismo de seguimiento ocular para asegurar que el conductor sea capaz de ver los hologramas en todo momento (en la llamada área de cuenca ocular). En estas realizaciones, se usa un espejo móvil u otro mecanismo de dirección de luz, acoplado al sistema de seguimiento ocular. El elemento óptico se dispone para redirigir los primer y segundo haces de luz con modulación espacial a un plano de visión.

30 Cada ojo recibe solo un haz con modulación espacial. La separación preferente de los haces en el plano de visión depende de la separación de los ojos. En una realización, los primer y segundo haces de luz con modulación espacial son sustancialmente adyacentes al plano de visión. Si los haces se superponen en el plano de visión, puede producirse una interferencia óptica. Por lo tanto, los primer y segundo haces de luz con modulación espacial no se superponen en el plano de visión.

35 Las dos reconstrucciones holográficas se compensan respectivamente de manera que cada ojo ve sustancialmente la misma imagen. Si las dos imágenes difieren, puede provocar confusión. En una realización, el primer haz de luz con modulación espacial redirigido tiene una convergencia o divergencia sustancialmente igual a la del segundo haz de luz con modulación espacial redirigido.

40 La luz puede ser modulada espacialmente usando un modulador espacial de luz tal como un cristal líquido sobre silicio SLM. Puede entenderse que los datos holográficos se escriben en el SLM, de modo que una onda plana de luz incidente se modula espacialmente con los datos holográficos. A este respecto, puede considerarse que los píxeles del SLM «muestran» o «representan» los datos holográficos.

45 La modulación espacial se proporciona mediante la representación de los primer y segundo datos holográficos en al menos un modulador espacial de luz; y mediante la iluminación de al menos un modulador espacial de luz con una onda plana para formar los primer y segundo haces de luz con modulación espacial correspondientes a los primer y segundo datos holográficos, respectivamente.

50 Las realizaciones ventajosas se refieren a una pantalla de visualización frontal para un vehículo usando el parabrisas del vehículo como un elemento óptico para redirigir la luz al espectador. A este respecto, el parabrisas puede considerarse un combinador óptico. Es decir, en las realizaciones, el elemento óptico es un parabrisas de vehículo. Sin embargo, el experto en la materia apreciará que la presente descripción es adecuada para compensar la potencia óptica no deseada proporcionada por cualquier componente óptico.

55 Se describe un proyector correspondiente que tiene: medios de procesamientos dispuestos para combinar datos en el dominio de Fourier representativos de una imagen 2D con los datos en el dominio de Fourier que tienen un primer efecto de lente para producir primeros datos holográficos; y al menos un modulador espacial de luz que comprende una matriz de píxeles dispuestos para representar los primeros datos holográficos; un elemento óptico que tiene una potencia óptica con variación espacial, en el que el elemento óptico comprende una primera región que tiene una primera potencia óptica, en el que el primer efecto de lente compensa la primera potencia óptica.

60 Los medios de procesamiento se disponen además para combinar los datos en el dominio de Fourier representativos de la imagen 2D con los datos en el dominio de Fourier que tienen un segundo efecto de lente para producir segundos

datos holográficos; el al menos un modulador espacial de luz comprende además una matriz de píxeles dispuestos para representar los segundos datos holográficos; en el que el elemento óptico comprende además una segunda región que tiene una segunda potencia óptica; y en el que el segundo efecto de lente compensa la segunda potencia óptica.

5 El proyector usa dos SLM para proporcionar las dos reconstrucciones holográficas. Es decir, en las realizaciones, el proyector comprende un primer modulador espacial de luz que comprende una matriz de píxeles dispuestos para representar los primeros datos holográficos y un segundo modulador espacial de luz que comprende una matriz de píxeles dispuestos para representar los segundos datos holográficos.

10 En las realizaciones, el proyector comprende además una fuente de luz dispuesta para iluminar el al menos un modulador espacial de luz con una onda plana.

15 En una realización, una única fuente de luz se divide usando un divisor de haces u otro divisor óptico y se usa para iluminar ambos moduladores de luz espaciales.

Puede entenderse que una pantalla de visualización frontal puede mostrar una variedad de información como se conoce en la técnica. Los hologramas correspondientes a todas las visualizaciones posibles pueden por tanto ser precalculados y almacenados en un repositorio, o calculados en tiempo real. En una realización, el proyector comprende además un repositorio en el dominio de Fourier representativos de una pluralidad de imágenes en 2D. Del mismo modo, en las realizaciones, se proporciona un repositorio de datos en el dominio de Fourier que tienen diferentes efectos de lente. En otras realizaciones, se proporciona una tabla de consulta de la potencia óptica del elemento óptico como una función de posición (por ejemplo, coordenadas x e y) de manera que los datos de lente apropiados se pueden aplicar para compensar el elemento óptico.

20 Las realizaciones descritas en esta invención se refieren a la holografía de Fourier solamente a modo de ejemplo. La presente descripción es igualmente aplicable a la holografía de Fresnel en el que las funciones de lentes de Fresnel se aplican durante el cálculo del holograma. La figura 7 muestra un algoritmo holográfico de Fresnel de ejemplo para calcular los datos en el dominio de Fourier representativos de una imagen objetivo para proyección.

30 La condición de inicio 701 para el algoritmo de recuperación de fase es que cada píxel tiene amplitud de unidad pero una fase aleatoria proporcionada por una función de iniciación de fase aleatoria. Una función de fase de Fresnel 703 se añade a los datos de fase. La función de amplitud y fase resultante es transformada por Fourier 705. La imagen objetivo (solo amplitud) 709 se resta del componente de amplitud y se aplica una ganancia controlable 711. La imagen objetivo 709 se añade al componente de amplitud y se realiza una transformada de Fourier inversa 715. La función de lente de Fresnel 717 se resta y la fase se cuantifica 719. La información de fase resultante forma el holograma 723. Una iteración adicional del bucle puede realizarse al añadir la función de lente de Fresnel 721 de nuevo y al repetir la transformada de Fourier 715 y las etapas posteriores hasta obtener un holograma de calidad «aceptable».

40 La calidad del holograma reconstruido puede verse afectada por el denominado problema de orden cero que es una consecuencia de la naturaleza de difracción de la reconstrucción. Tal luz de orden cero puede considerarse como «ruido» e incluye, por ejemplo, luz especularmente reflejada, y otra luz no deseada del SLM.

45 Este «ruido» se centra en general en el punto focal de la lente de Fourier, dando lugar a un punto brillante en el centro de un holograma reconstruido. Convencionalmente, la luz de orden cero es simplemente bloqueada, sin embargo, esto significaría claramente reemplazar el punto brillante con un punto oscuro.

No obstante, puesto que el holograma contiene información tridimensional, es posible desplazar la reconstrucción en un plano diferente en el espacio, véase, por ejemplo, la solicitud PCT publicada WO 2007/131649.

50 Alternativamente, podría usarse un filtro selectivo angularmente para eliminar solo los rayos colimados de orden cero. Otros procedimientos de gestión de orden cero también pueden usarse.

55 Si bien las realizaciones descritas en esta invención se refieren a la visualización de un holograma por fotograma, la presente descripción no está de ninguna manera limitada a este respecto y más de un holograma puede ser mostrado en el SLM en un momento dado.

60 Por ejemplo, las realizaciones implementan la técnica de «mosaico», en la que el área superficial del SLM se divide además en una serie de mosaicos, cada uno de los cuales está situado con una distribución de fase similar o idéntica a la del mosaico original. Cada mosaico pertenece por tanto a un área superficial más pequeña que si se usa toda el área asignada del SLM como un patrón de gran fase. Cuanto menor sea el número de componente de frecuencia en el mosaico, más alejados estarán los píxeles reconstruidos cuando se produzca la imagen. La imagen se crea en el orden cero de difracción, y resulta preferible que los primer y posteriores órdenes sean desplazados lo suficiente para que no se solapen con la imagen y puedan ser bloqueados por medio de un filtro espacial.

65 Como se mencionó anteriormente, la imagen producida por este procedimiento (ya sea con mosaico o sin él)

comprende puntos que forman píxeles de la imagen. Cuanto mayor sea el número de mosaicos usados, más pequeños llegarán a ser estos puntos. Si se toma el ejemplo de una transformada de Fourier de una onda sinusoidal infinita, se produce una sola frecuencia. Esta es la salida óptima. En la práctica, si solo se usa un mosaico, este corresponde a una entrada de un único ciclo de una onda sinusoidal, con valores cero extendiéndose en las direcciones positiva y negativa de los nodos terminales de la onda sinusoidal hasta el infinito. En lugar de una única frecuencia que se produce a partir de su transformada de Fourier, el componente de frecuencia principal se produce con una serie de componentes de frecuencia a cada lado de ella.

El uso de mosaico reduce la magnitud de estos componentes de frecuencia adyacentes y como resultado directo de esto, se produce menos interferencia (constructiva o destructiva) entre los píxeles de imágenes adyacentes, mejorando así la calidad de imagen.

Preferentemente, cada mosaico es un mosaico entero, aunque es posible usar fracciones de un mosaico.

Aunque las realizaciones se refieren a las variantes del algoritmo de Gerchberg-Saxton, el experto en la materia comprenderá que otros algoritmos de recuperación de fase pueden implementar el procedimiento mejorado descrito en esta invención.

El experto en la materia entenderá que el procedimiento mejorado descrito en esta invención es igualmente aplicable al cálculo de un holograma usado para formar una reconstrucción tridimensional de un objeto.

Igualmente, la presente descripción no se limita a la proyección de una imagen monocromática.

Una reconstrucción holográfica en 2D a color puede producirse y existen dos procedimientos principales de lograr esto. Uno de estos procedimientos se conoce como «color de fotograma secuencial» (FSC, por sus siglas en inglés). En un sistema de FSC, se usan tres láseres (rojo, verde y azul) y cada láser es proyectado en sucesión en el SLM para producir cada fotograma del vídeo. Los colores funcionan en ciclos (rojo, verde, azul, rojo, verde, azul, etc.) a una velocidad lo suficientemente rápida de manera que un observador humano ve una imagen policromática de una combinación de los tres láseres. Cada holograma es por lo tanto un color específico. Por ejemplo, en un vídeo a 25 fotogramas por segundo, el primer fotograma se produciría al proyectar el láser rojo durante $1/75^a$ de un segundo, a continuación el láser verde se proyectaría durante $1/75^a$ de un segundo, y por último, el láser azul se proyectaría durante $1/75^a$ de un segundo. El siguiente fotograma se produce a continuación, comenzando con el láser rojo, y así sucesivamente.

Un procedimiento alternativo, que se denominará como «colores espacialmente separados» (SCC, por sus siglas en inglés) implica que los tres láseres son proyectados al mismo tiempo, pero teniendo diferentes trayectorias ópticas, por ejemplo, usando cada una un SLM diferente, o un área diferentes de un único SLM, y a continuación combinándolas para formar la imagen en color.

Una ventaja del procedimiento de color de fotograma secuencial (FSC) es que se usa la totalidad de SLM para cada color. Esto significa que la calidad de las tres imágenes a color producidas no se verá comprometida, ya que todos los píxeles en el SLM se usan para cada una de las imágenes en color. Sin embargo, una desventaja del procedimiento FSC es que la imagen total producida no será tan brillante como una imagen correspondiente producida por el procedimiento SCC por un factor de aproximadamente 3, ya que cada láser solo se usa durante una tercera parte del tiempo. Este inconveniente podría potencialmente ser abordado mediante la sobrealimentación de los láseres, o el uso de láseres más potentes, pero esto requeriría más potencia a usar, lo que implicaría mayores costos y haría que el sistema sea menos compacto.

Una ventaja del procedimiento de SCC (colores espacialmente separados) es que la imagen es más brillante debido a los tres que se están proyectando al mismo tiempo. Sin embargo, si debido a las limitaciones de espacio se requiere usar solo un SLM, el área superficial del SLM puede dividirse en tres partes iguales, actuando en efecto como tres SLM separados. El inconveniente de esto es que la calidad de cada imagen de un solo color se reduce, debido a la disminución del área superficial del SLM disponible para cada imagen monocromática. La calidad de la imagen policromática se reduce en consecuencia. La disminución del área superficial del SLM disponible significa que pueden usarse menos píxeles en el SLM, reduciendo así la calidad de la imagen. La calidad de la imagen se reduce debido a que su resolución se reduce.

En las realizaciones, el SLM es un dispositivo de cristal líquido sobre silicio (LCOS). Los SLM LCOS tienen la ventaja de que las líneas de señal, las líneas de compuerta y los transistores están por debajo de la superficie reflejada, que se traduce en altos factores de llenado (normalmente superiores a 90 %) y altas resoluciones.

Los dispositivos LCOS están ahora disponibles con píxeles entre $4,5 \mu\text{m}$ y $12 \mu\text{m}$.

La estructura de un dispositivo de LCOS se muestra en la figura 8.

Un dispositivo de LCOS se forma usando un sustrato de silicio monocristalino (802). Tiene una matriz 2D de electrodos

de aluminio planos cuadrados (801), separada por un hueco (801a), dispuesta en la superficie superior del sustrato. Cada uno de los electrodos (801) pueden ser abordados a través del conjunto de circuitos (802a) enterrados en el sustrato (802). Cada uno de los electrodos forma un espejo plano respectivo. Una capa de alineación (803) está dispuesta en la matriz de electrodos, una capa de cristal líquido (804) está dispuesta en la capa de alineación (803).
5 Una segunda capa de alineación (805) está dispuesta en la capa de cristal líquido (804) y una capa transparente plana (806), por ejemplo de vidrio, está dispuesta en la segunda capa de alineación (805). Un único electrodo transparente (807), por ejemplo de ITO se dispone entre la capa transparente (806) y la segunda capa de alineación (805).

10 Cada uno de los electrodos cuadrados (801) define, junto con la región superpuesta del electrodo transparente (807) y el material de cristal líquido intermedio, un elemento de modulación de fase controlable (808), a menudo referido como un píxel. El área efectiva de píxeles, o factor de llenado, es el porcentaje de píxeles totales que se activan ópticamente, teniendo en cuenta el espacio entre píxeles (801a). Por control de la tensión aplicada a cada electrodo (801) con respecto al electrodo de transferencia (807), las propiedades del material de cristal líquido del elemento de modulación de fase respectivo pueden variar, para proporcionar con ello un retardo variable a la luz incidente al respecto. El efecto es proporcionar una modulación de solo fase a un frente de onda, es decir, sin que se produzca un efecto de amplitud.

20 Una ventaja importante al usar un modulador espacial de luz de LCOS reflectante es que la capa de cristal líquido puede tener la mitad del espesor de lo que sería necesario si se usara un dispositivo transmisivo. Esto mejora en gran medida la velocidad de conmutación del cristal líquido (un punto clave para la proyección de imágenes de vídeo en movimiento). Un dispositivo de LCOS también es únicamente capaz de mostrar grandes matrices de elementos de solo fase en una pequeña apertura. Los pequeños elementos (normalmente de aproximadamente 10 micrómetros o inferiores) dan como resultado un ángulo de difracción práctica (unos pocos grados) para que el sistema óptico no requiera una trayectoria óptica muy larga.

25 Es más fácil iluminar adecuadamente la pequeña apertura (unos pocos centímetros cuadrados) de un SLM LCOS de lo que sería para la apertura de un dispositivo de cristal líquido más grande. Los SLM LCOS también tienen una gran relación de apertura, teniendo muy poco espacio muerto entre los píxeles (ya que el conjunto de circuitos que los acciona se entierra bajo los espejos). Este es un tema importante para la reducción del ruido óptico en el campo de reproducción.

30 El dispositivo anterior funciona normalmente en un intervalo de temperatura de 10 °C a aproximadamente 50 °C, estando la temperatura de funcionamiento óptima dispositivo alrededor de 40 °C a 50 °C, dependiendo sin embargo de la composición de LC usada.

35 El uso de un plano posterior de silicio tiene la ventaja de que los píxeles son ópticamente planos, que es importante para un dispositivo de modulación de fase.

40 Si bien las realizaciones se refieren a un SLM LCOS reflectante, el experto en la materia entenderá que cualquier SLM puede ser usado incluyendo SLM transmisivos.

La invención no se limita a las realizaciones descritas pero se extiende a todo el alcance de las reivindicaciones anexas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de proyección que usa un elemento óptico (602) que tiene una potencia óptica con variación espacial, comprendiendo el procedimiento:

combinar los datos en el dominio de la frecuencia representativos de una imagen en 2D con datos en el dominio de la frecuencia que tienen un primer efecto de lente (604a) para producir primeros datos holográficos;

modular espacialmente la luz coherente con los primeros datos holográficos, usando un primer modulador espacial de luz que comprende una matriz de píxeles (603a), para formar un primer haz de luz con modulación espacial;

redirigir el primer haz de luz con modulación espacial usando el elemento óptico (602) a un plano de visión (609) para un observador mediante la iluminación de una primera región (607) del elemento óptico (602) con el primer haz con modulación espacial, en el que el primer efecto de lente (604a) compensa la potencia óptica del elemento óptico (602) en la primera región (607);

combinar los datos en el dominio de la frecuencia representativos de una imagen en 2D con datos en el dominio de la frecuencia que tienen un segundo efecto de lente (604b), diferente al primer efecto de lente (604a), para producir segundos datos holográficos;

modular espacialmente la luz coherente con los segundos datos holográficos, usando un segundo modulador espacial de luz que comprende una matriz de píxeles (603b), para formar un segundo haz de luz con modulación espacial;

redirigir el segundo haz de luz con modulación espacial usando el elemento óptico (602) al plano de visión (609) mediante la iluminación de una segunda región (608), diferente a la primera región (607), del elemento óptico (602) con el segundo haz de luz con modulación espacial, en el que el segundo efecto de lente (604b) compensa la potencia óptica del elemento óptico (602) en la segunda región (608),

en el que los primer y segundo haces de luz con modulación espacial no se superponen en el plano de visión (609).

2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el primer efecto de lente (604a) y el segundo efecto de lente (604b) invierten la potencia óptica del elemento óptico (602) en la primera región (607) y en la segunda región (608), respectivamente.

3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los primer y segundo haces de luz con modulación espacial son sustancialmente adyacentes al plano de visión (609).

4. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el primer haz de luz con modulación espacial redirigido tiene una convergencia o divergencia sustancialmente igual a la del segundo haz de luz con modulación espacial redirigido.

5. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el hecho de realizar una modulación espacial de luz con los primeros datos holográficos para formar un primer haz de luz con modulación espacial y realizar una modulación espacial de luz con los segundos datos holográficos para formar un segundo haz de luz con modulación espacial comprende:

representar los primer y segundo datos holográficos en al menos un modulador espacial de luz; e iluminar al menos un modulador espacial de luz con una onda plana para formar los primer y segundo haces de luz con modulación espacial correspondientes a los primer y segundo datos holográficos, respectivamente.

6. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento óptico (602) es un parabrisas de vehículo.

7. Un proyector que comprende:

medios de procesamiento dispuestos para combinar los datos en el dominio de la frecuencia representativos de una imagen en 2D con datos en el dominio de la frecuencia que tienen un primer efecto de lente (604a) para producir primeros datos holográficos;

una primera fuente de luz (601a) dispuesta para iluminar un primer modulador espacial de luz con una onda plana de luz coherente;

en el que el primer modulador espacial de luz comprende una matriz de píxeles (603a) dispuesta para representar los primeros datos holográficos y para modular espacialmente la luz coherente con los primeros datos holográficos para formar un primer haz de luz con modulación espacial;

5 un elemento óptico (602) que tiene una potencia óptica con variación espacial, en el que el elemento óptico (602) comprende una primera región (607) que tiene una primera potencia óptica, estando el elemento óptico dispuesto para redirigir el primer haz de luz incidente con modulación espacial respecto a un plano de visión (609), en el que el primer efecto de lente (604a) compensa la primera potencia óptica;

10 en el que los medios de procesamiento se disponen además para combinar los datos en el dominio de la frecuencia representativos de una imagen en 2D con datos en el dominio de la frecuencia que tienen un segundo efecto de lente (604b), diferente al primer efecto de lente (604a), para producir segundos datos holográficos;

15 una segunda fuente de luz (601b) dispuesta para iluminar un segundo modulador espacial de luz con una onda plana de luz coherente;

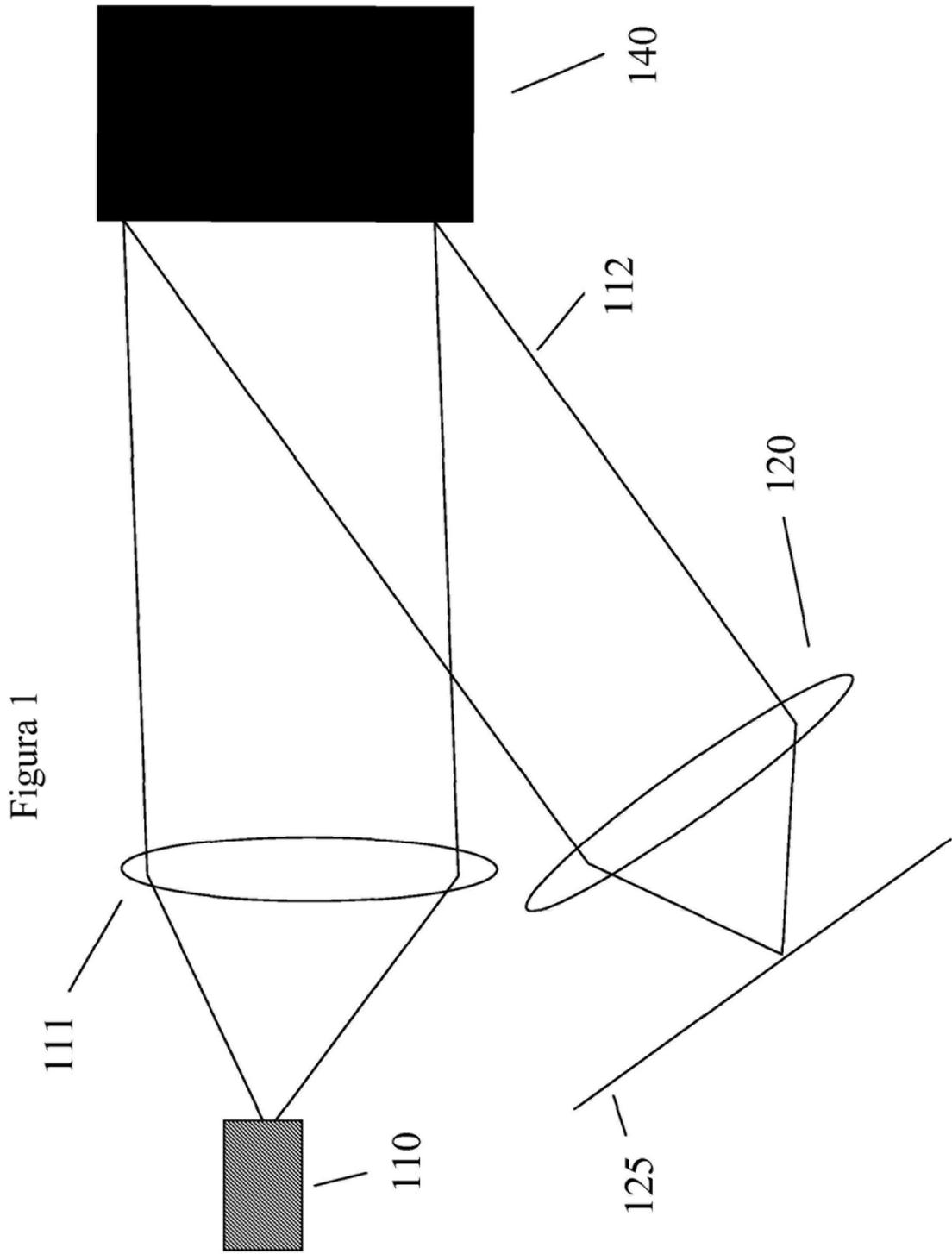
20 en el que el segundo modulador espacial de luz comprende una matriz de píxeles (603b) dispuesta para representar los segundos datos holográficos y para modular espacialmente la luz coherente recibida con los segundos datos holográficos para formar un segundo haz de luz con modulación espacial;

25 en el que el elemento óptico (602) comprende además una segunda región (608), diferente a la primera región (607), que tiene una segunda potencia óptica, estando el elemento óptico dispuesto para redirigir el segundo haz de luz incidente con modulación espacial respecto a un plano de visión (609), en el que el segundo efecto de lente (604b) compensa la segunda potencia óptica;

30 en el que los primer y segundo haces de luz con modulación espacial no se superponen en el plano de visión (609).

8. Un proyector según la reivindicación 7 que comprende además un repositorio de datos en el dominio de la frecuencia representativos de una pluralidad de imágenes en 2D.

9. Un proyector según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 8, en el que el elemento óptico (602) es un parabrisas de vehículo.



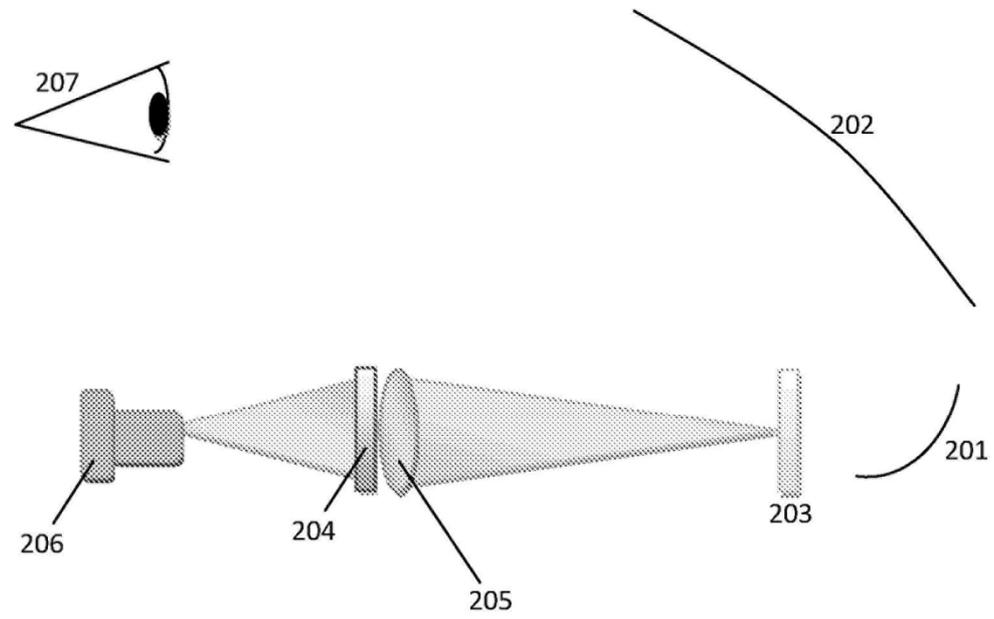


Figura 2

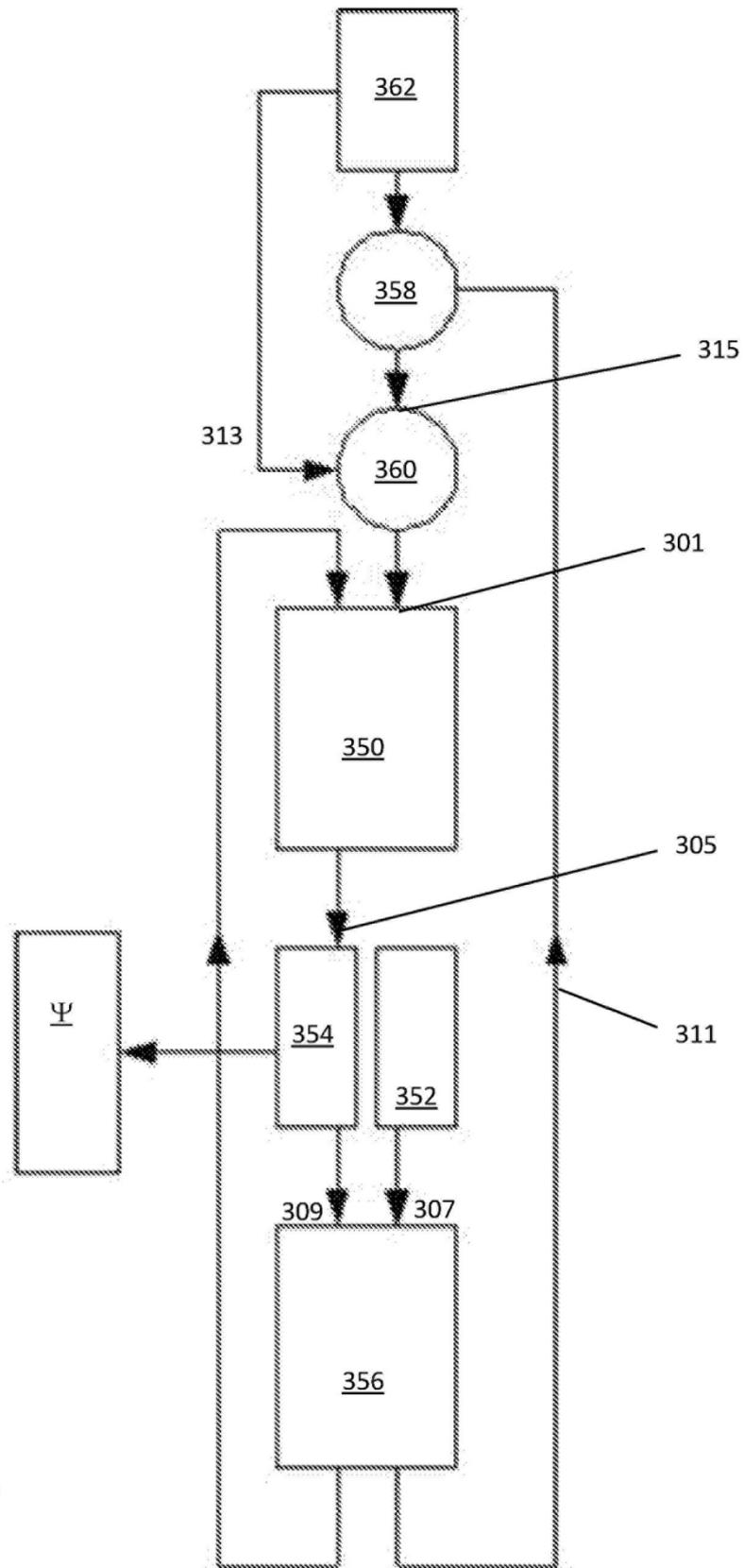


FIGURA 3

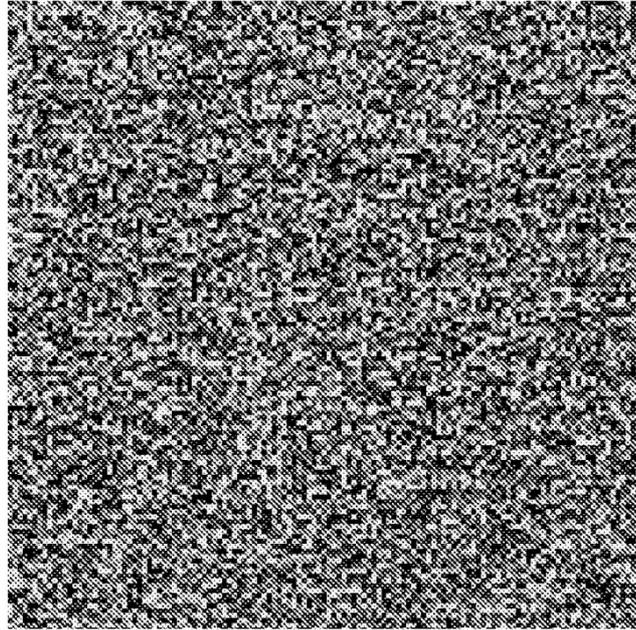


Figura 4

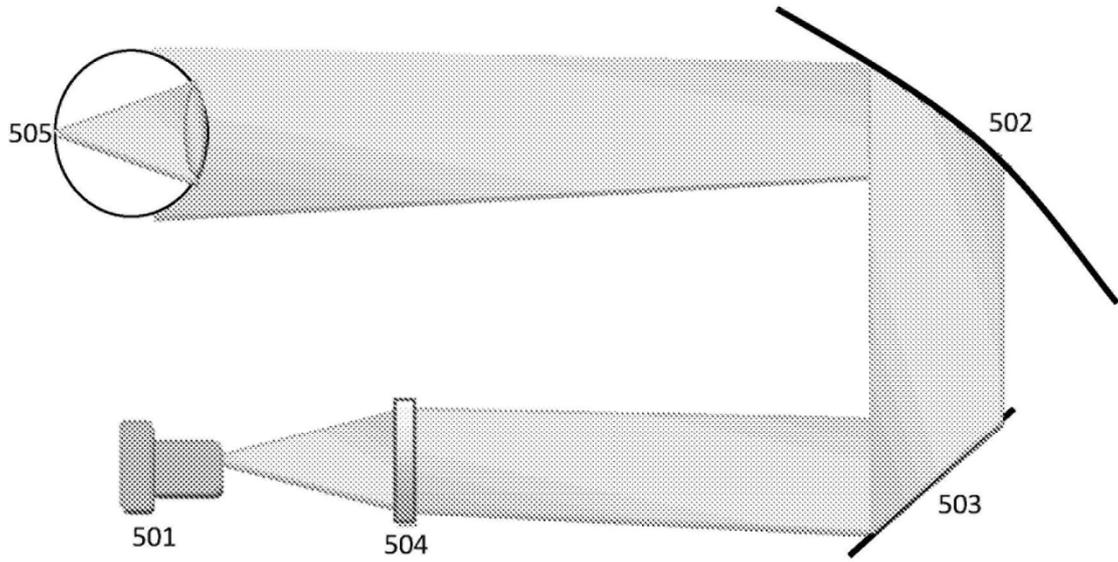


Figura 5

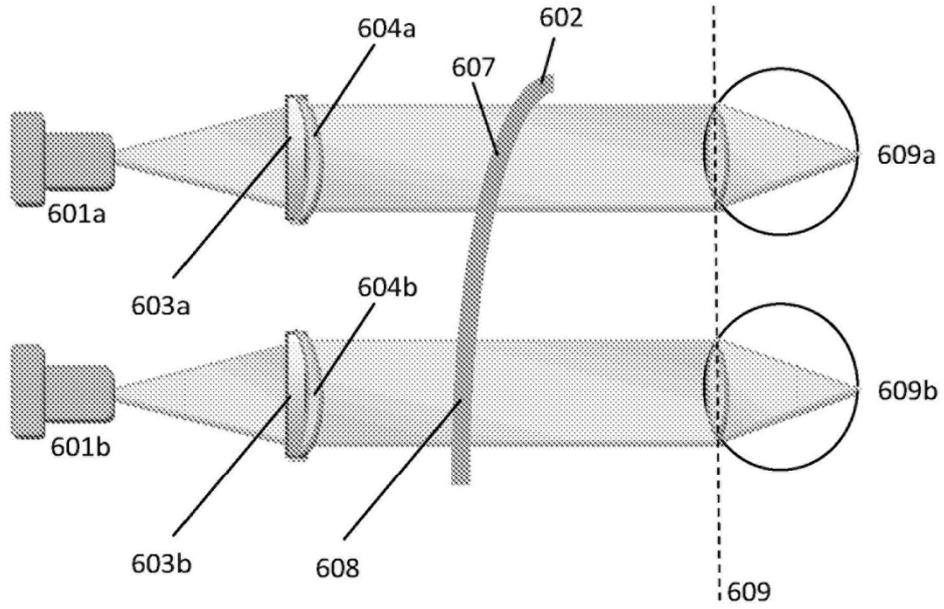


Figura 6

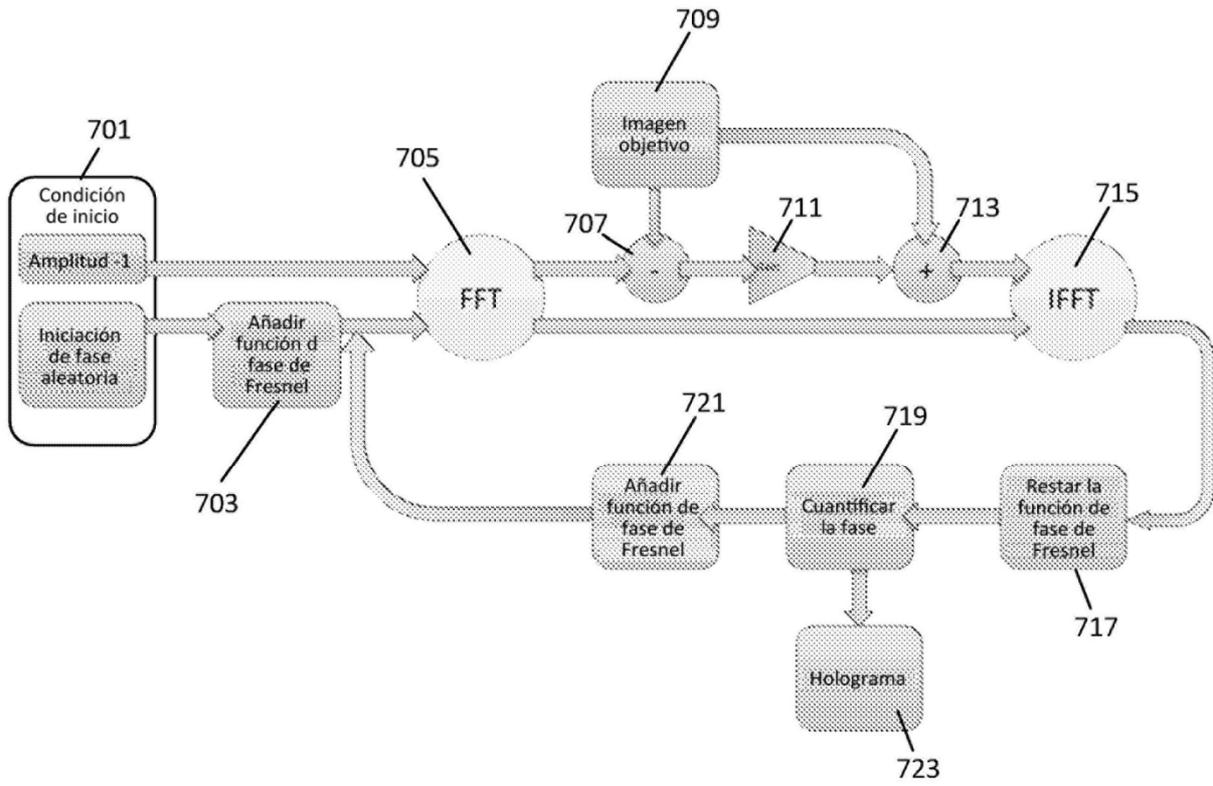


Figura 7

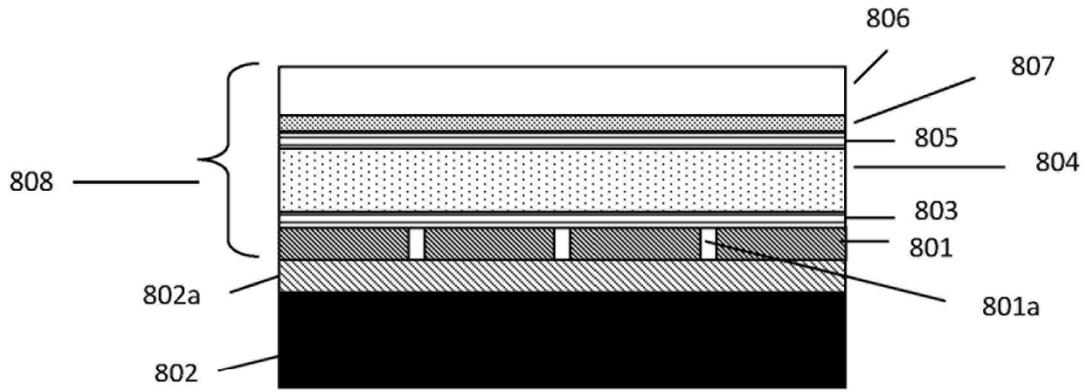


Figura 8