

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 541 687**

51 Int. Cl.:

G03H 1/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2007 E 07724898 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2015 EP 2024792**

54 Título: **Recuperación de fase y síntesis de holograma de fase**

30 Prioridad:

11.05.2006 GB 0609365

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

23.07.2015

73 Titular/es:

**CAMBRIDGE ENTERPRISE LIMITED (100.0%)
The Old Schools Trinity Lane
Cambridge, Cambridgeshire CB2 1TN, GB**

72 Inventor/es:

**CHRISTMAS, JAMIESON y
CROSSLAND, WILLIAM ALDEN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 541 687 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

Recuperación de fase y síntesis de holograma de fase

El presente invento se refiere a un método de recuperación de fase, un método para proyección holográfica en tiempo real y a un aparato para producir hologramas en tiempo real.

- 5 Varios algoritmos, muchos basados en el algoritmo de Gerchberg Saxton, utilizan transformaciones de Fourier para derivar información de fase a partir de una imagen objetivo. Tal información de fase, cuando es implementada sobre un modulador de luz espacial (SLM) o similar, puede simular kinoformas físicas de modo que cuando el SLM es iluminado por luz láser colimada, se proporciona un campo de reproducción correspondiente en general a la imagen objetivo.

Existen varios otros algoritmos para proporcionar información de fase.

- 10 El algoritmo de Gerchberg Saxton y derivados del mismo son a menudo mucho más rápidos que los otros algoritmos de "transformación que no es de Fourier". Sin embargo, el algoritmo iterativo de Gerchberg Saxton carece de la calidad de los otros algoritmos, tales como algoritmos de búsqueda binaria directa, especialmente cuando han de ser realizados números bajos de iteraciones.

- 15 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, puede ser encontrada mediante este método 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 encuentra buenas soluciones a este problema siguiendo un proceso iterativo.

- 20 El algoritmo de Gerchberg Saxton aplica de modo iterativo limitaciones espaciales y espectrales al tiempo que 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 de Fourier (espectral). Las limitaciones espacial y espectral son $I_A(x,y)$ e $I_B(x,y)$ respectivamente. Las limitaciones bien en el dominio espacial o bien en el espectral son impuestas sobre la amplitud del conjunto de datos y la información de fase convergen a través de una serie de iteraciones.

- 25 Una o ambas limitaciones pueden ser la información de fase y, en este caso, sería la información de amplitud la que se desea.

Es también sabido que el algoritmo de Gerchberg-Saxton puede comenzar bien en el dominio espacial o bien en el dominio de Fourier.

Varios documentos de la técnica anterior fueron citados durante el seguimiento de esta descripción, incluyendo:

- 30 Dufresne Eric. y col. "Computer-generated holographic optical tweezer arrays" [Review of scientific instruments, Am Inst Phys. vol 72, nº 3, Marzo 2001, págs. 1810-6]

Chang M-P, y col., "The modified input-output algorithm for the synthesis of computer-generated holograms" [Optik Wissenschaftliche Verlag GmbH, vol. 95 nº 4 Febrero 1994, págs. 155-60]

- 35 Curtis J.E. y col., "Dynamic Holographic optical tweezers" [Optics Communications, North Holland publishing, vol 207, nº 1-6, Junio 2002 págs. 169-75]

US-A-2004/027626 y

WO-A-2005/059881.

- 40 De estos, el documento US-A-2004/027626 describe un método de recuperar información de fase a partir de la información de intensidad introducida, representativa de una imagen objetivo, que comprende la iteración de las siguientes operaciones: establecer un primer conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de fase e información de amplitud, siendo derivada la información de amplitud a partir de la información de intensidad introducida; realizar una transformación de Fourier sobre el primer conjunto de datos para producir un segundo conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud y de fase; cuantificar y almacenar información de fase procedente del segundo conjunto de datos en memoria; formar un tercer conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud y de fase, siendo derivada la información de fase a partir del segundo conjunto de datos y transformando a la inversa de Fourier el tercer conjunto de datos para producir un cuarto conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud y de fase; modificar el cuarto conjunto de datos por datos de entrada para producir un quinto conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud y de fase; utilizar el
- 50 quinto conjunto de datos como el primer conjunto de datos de una iteración subsiguiente.

Es deseable proporcionar un método de recuperación de fase que pueda ser implementado de un modo que proporciona convergencia más rápidamente que la técnica anterior.

El presente invento está descrito en las reivindicaciones adjuntas.

El presente invento será mejor comprendido después de leer la siguiente descripción en unión con los dibujos, en los que:

La fig. 1 muestra un diagrama del algoritmo de Gerchberg-Saxton.

5 La fig. 2 muestra un diagrama de una derivada del algoritmo de Gerchberg-Saxton

La fig. 3 muestra un primer algoritmo útil en la comprensión del presente invento.

La fig. 4 muestra un algoritmo que realiza el presente invento.

10 Con referencia a la fig. 1, el algoritmo de Gerchberg-Saxton establece una distribución de fase discreta en un plano de imagen 100 y un plano 110 de difracción correspondiente (Fourier) a partir de distribuciones de amplitud discretas conocidas en los planos de imagen y de difracción respectivamente. El plano de imagen y el plano de difracción están relacionados a través de una única transformación de Fourier ya que el último es el diseño de difracción de campo alejado del anterior. Tanto con la información de amplitud como con la de fase, se consigue la reconstrucción completa del frente de ondas en ambas ubicaciones

15 El método itera una serie de operaciones y tiene una entrada y una salida. Un conjunto de datos que tiene una pluralidad de elementos, conteniendo cada elemento información de amplitud y fase, es recibido en la entrada. Después de completar una iteración, el método emite una nueva aproximación del conjunto de datos recibidos, y esta aproximación forma la base para la entrada a la siguiente iteración. Se pretende que cada iteración sea una aproximación mejor que la última iteración.

20 Con referencia a la fig. 1, para una iteración n -ésima, la información de fase, 182 procedente de la iteración $(n-1)$ previa es multiplicada en el bloque de multiplicación 130 por las amplitudes 102 de plano de imagen correspondientes espacialmente procedente de la imagen objetivo 100. El conjunto de datos resultante 132 es introducido en el bloque 140 de tratamiento que aplica una transformación de Fourier rápida (FFT) para proporcionar un segundo conjunto de datos 142 en el dominio de frecuencia. El bloque 150 de tratamiento extrae la información de fase 152 resultante de la FFT. La información de fase 152 es a continuación multiplicada en el bloque 160 de tratamiento por las amplitudes 112 de plano de difracción almacenadas (que están por definición en el dominio de frecuencia) para proporcionar un tercer conjunto de datos 162, éste es una estimación del diseño de difracción complejo (ahora tiene fase así como amplitud). El tercer conjunto de datos 162 es transformado inverso de Fourier por el bloque de tratamiento 170 en un cuarto conjunto de datos 172 en el dominio espacial. La información de fase 182 del conjunto de datos 172 es extraída por el bloque de tratamiento 180. El conjunto de datos con información de fase 182 e información de amplitud 102 proporciona la entrada compleja a la segunda iteración. Cuando las distribuciones de fase convergen de manera suficiente, el algoritmo se detiene.

30 En ausencia de información de fase procedente de la iteración precedente, la primera iteración utiliza un generador 120 de fase aleatorio para suministrar información de fase 122 como punto de partida.

35 Se ha encontrado que este algoritmo proporciona convergencia sobre distribuciones de fase en los dominios espacial y de Fourier que dan una buena aproximación a la imagen muestreada y a su transformada de Fourier.

Una modificación conocida del algoritmo de Gerchberg-Saxton será descrita a continuación con respecto a la fig. 2. Este algoritmo recupera la distribución de fase en el plano de difracción (Fourier) que da origen a una reconstrucción completa del frente de onda de la imagen correspondiente, en un plano de imagen, cuando es iluminado por un haz de luz adecuado y visto a través de una lente de Fourier (o transformada inversa de Fourier).

40 Con referencia a la fig. 2, para una iteración n -ésima, el conjunto de datos de entrada 202 está en el dominio de Fourier. Consiste de información de amplitud y de información de fase. La información de amplitud es igual a la información de amplitud de la imagen objetivo y la información de fase en el dominio de frecuencia es procedente de la iteración $(n-1)$ previa. Este conjunto de datos es transformado de manera inversa de Fourier por el bloque 220 de tratamiento para producir un segundo conjunto de datos 222 en el dominio espacial. La información de amplitud del segundo conjunto de datos 222 es ajustada a la unidad por el bloque 230 de tratamiento y la fase es cuantificada por el bloque 240 de tratamiento para producir un conjunto de datos modificados 242 que tiene magnitud unidad. El conjunto de datos modificado 242 representa una distribución de fase que se aproxima a la transformada de Fourier de la imagen objetivo y puede ser utilizado para reconstruir una representación holográfica solo de fase de la imagen objetivo. El conjunto de datos modificado 242 es entonces transformado por Fourier de nuevo al dominio de frecuencia en el bloque de tratamiento 260 y la información de fase emitida desde el bloque 260 es suministrada como una entrada al bloque de tratamiento 270 que, a su vez, suministra la entrada a la siguiente iteración.

50 Para la primera iteración no hay información de fase procedente de ninguna iteración precedente, y por tanto la primera iteración utiliza un generador 280 de fase aleatorio para suministrar un conjunto de partida de información de fase al bloque 270 de tratamiento.

Con cada iteración, el algoritmo emite información de fase que tiene una transformada de Fourier $R[x,y]$ (en el campo de reproducción) que es una aproximación a $T[x,y]$ (imagen objetivo). La diferencia entre el campo de reproducción y la imagen objetivo da una medida de convergencia de la información de fase $\Psi[x,y]$ y es evaluada por una función de error.

5 La fig. 3 muestra un algoritmo modificado que recupera la información de fase $\Psi[x,y]$ de la transformada de Fourier del conjunto de datos que da origen 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 $\Psi[x,y]$ es utilizada para producir una representación holográfica de la imagen objetivo en un plano de imagen.

Como la magnitud y fase son combinadas intrínsecamente en la transformación de Fourier, la magnitud transformada (así como la fase) contiene información útil acerca de la exactitud del conjunto de datos calculado.

10 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 303) y una salida de onda compleja (que tiene también una información de amplitud 311 e información de fase 313). Para el propósito de esta descripción, la información de amplitud y de fase son consideradas por separado aunque son combinadas intrínsecamente para formar un conjunto de datos. Debería recordarse que tanto la información de amplitud como la de fase son funciones en sí mismas de las
15 coordenadas espaciales x e y , y pueden ser consideradas distribuciones de amplitud y de fase.

Con referencia a la fig. 3, el bloque 350 de tratamiento produce una transformada de Fourier a partir de un primer conjunto de datos que tienen información de magnitud 301 e información de fase 303. El resultado es un segundo conjunto de datos, que tiene información de magnitud e información de fase $\Psi_n[x,y]$ 305. La información de amplitud, procedente del bloque 350 de tratamiento es desechada pero la información de fase $\Psi_n[x,y]$ 305 es retenida. La
20 información de fase 305 es cuantificada por el bloque 354 de tratamiento y emitida como información de fase $\Psi[x,y]$ 309. La información de fase 309 es hecha pasar al bloque 356 de tratamiento y la magnitud unitaria dada por el bloque 352 de tratamiento. El tercer conjunto de datos 307, 309 es aplicado al bloque 356 de tratamiento que realiza una transformación inversa de Fourier. Esto produce un cuarto conjunto de datos $R_n[x,y]$ en el dominio espacial que tiene información de amplitud $|R_n[x,y]|$ 311 e información de fase $\angle R_n[x,y]$ 313.

25 Comenzando con el cuarto conjunto de datos, su información de fase 313 forma la información de fase de un quinto conjunto de datos, aplicado como el primer conjunto de datos de la siguiente iteración 303'. La información de amplitud $R_n[x,y]$ 311 es modificada por sustracción a partir de la información de amplitud $T[x,y]$ 362 de la imagen objetivo para producir una información de amplitud 315 ajustada. La información 315 de amplitud escalada (escalada por α) es sustraída de la información de amplitud objetiva $T[x,y]$ 362 para producir información de amplitud de entrada $\eta[x,y]$ 301
30 del quinto conjunto de datos para aplicación con el primer conjunto de datos a la siguiente iteración. Esto está expresado matemáticamente en las siguientes ecuaciones:

$$R_{q+1}[x, y] = F'(\exp(i\psi_d[u, v]))$$

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

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

35 Donde

- F' es la transformada inversa de Fourier
- F es la transformada directa de Fourier
- R es el campo de reproducción
- T es la imagen objetivo
- 40 \angle es la información angular
- Ψ es la versión cuantificada de la información angular
- η es la nueva magnitud objetivo, $\eta \geq 0$
- α es un elemento de ganancia ~ 1

45 En este algoritmo, el elemento de ganancia α es predeterminado basándose en el tamaño y frecuencia de los datos de imagen objetivo entrantes.

El algoritmo mostrado en la fig. 3 produce información de fase $\Psi[x,y]$ utilizada para reconstruir un frente de onda complejo. El frente de onda complejo da origen a una representación holográfica exacta de un diseño de intensidad de la imagen objetivo $T[x,y]$ en un campo de reproducción.

50 Una realización del presente invento está mostrada en la fig. 4. Este algoritmo es similar a la fig. 3, excepto en que la fase no es realimentada en su totalidad y solo una parte proporcional es realimentada a su cambio sobre las dos última iteraciones.

La información de fase $\angle R_n[x, y]$ 313 emitida por el bloque 356 de tratamiento no es alimentada directamente de nuevo al bloque 350 de tratamiento como en la fig. 3. La diferencia entre la información de fase emitida en las iteraciones actual 313 y previa 504 ($\angle R_n[x, y] - \angle R_{n-1}[x, y]$) es calculada para dar nueva información de fase 502. Un múltiplo, β , de la información de fase 502 es sustraído de la información de fase $R_{n-1}[x, y]$ 504 de la iteración previa para dar nueva información 506 de fase de entrada que proporciona la entrada de fase para el bloque 350 de tratamiento. Esto puede ser expresado matemáticamente en las siguientes ecuaciones:

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

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

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

$$10 \quad \theta = \angle R_{n-1}[x, y] + \beta(\angle R_n[x, y] - \angle R_{n-1}[x, y])$$

Donde

	F'	es la transformada inversa de Fourier
	F	es la transformada directa de Fourier
	R	es el campo de reproducción
15	T	es la imagen objetivo
	\angle	es la información angular
	Ψ	es la versión cuantificada de la información angular
	η	es la nueva magnitud objetivo, $\eta \geq 0$
	θ	es el nuevo ángulo de fase para coincidir con la nueva magnitud objetivo
20	α	es un elemento de ganancia ~ 1
	β	es la relación de aceptación de fase ~ 1

De este modo, el algoritmo utilizará la información de amplitud y fase para predecir los valores futuros de fase. Esto puede reducir significativamente el número de iteraciones requeridas. Los valores de ganancia α y β son elegidos para proporcionar una velocidad y rendimiento de calidad optimizados cuando el algoritmo es utilizado para tratar secuencialmente una secuencia de imágenes a tasas de video convencionales.

La realización del presente invento puede ser utilizada para cambiar dinámicamente el diseño de fase en un SLM en respuesta a la salida del algoritmo. Los algoritmos han sido optimizados para emitir dinámicamente diseños de fase que producen una representación holográfica de calidad suficiente de un diseño de intensidad recibido cuando es percibida por un observador humano. Los diseños de intensidad recibidos pueden ser suministrados mediante una cámara de video convencional. En esencia, tal sistema comprendería: un SLM controlado por ordenador, un aparato de captura de video, tal como una cámara de video y grabador de imágenes, para proporcionar los diseños de intensidad fuente (imágenes objetivo); el algoritmo de recuperación de fase como se ha descrito en la realización anterior, y una fuente de luz elegida de forma adecuada para iluminar el SLM y reconstruir la imagen holográfica.

El experto en la técnica apreciará que el algoritmo no es sensible a la fuente de imágenes objetivo de entrada, solo a la tasa a la que son recibidas las imágenes. El algoritmo es optimizado para emitir diseños de fase del SLM que conducen a una imagen holográfica dinámica de calidad "aceptable", correlacionada en el tiempo con los diseños de intensidad de entrada. La realización del presente invento hace la compensación óptima entre la calidad de las imágenes holográficas y la velocidad a la que una imagen holográfica de calidad "aceptable" es producida para series de diseños de intensidad de entrada que llegan a tasas de video convencionales, por ejemplo de 50 o 60 Hz).

La realización del presente invento es adecuada para producir diseños de fase en tiempo real en un SLM con propósitos distintos de la holografía en tiempo real. Por ejemplo, el SLM puede ser modificado dinámicamente utilizando cálculos a partir del algoritmo, utilizando la realización descrita, para redirigir las ondas EM entrantes en una dirección predeterminada. Esto puede ser útil en aplicaciones en las que es ventajoso redirigir las ondas de RF arbitrarias en direcciones específicas tales como hacia una antena particular.

Los factores de ganancia α y β pueden ser valores fijos o que cambian dinámicamente con el tiempo de una manera predeterminada o en respuesta a la tasa de convergencia, por ejemplo.

Realizaciones del presente invento puede converger de modo suficiente sobre una información de fase en pocas iteraciones pero el tiempo tomado para converger puede aumentar debido al mayor tiempo de cálculo requerido para cada iteración.

La realización del presente invento es particularmente adecuada para la recuperación de fase de los MPEG ya que este formato de video solo graba cambios en la imagen de imagen a imagen y el factor de realimentación $|R_n[x, y] - T[x, y]|$ necesita este cálculo. Así, puede ahorrarse tiempo de cálculo en la recuperación de fase si este cálculo ha sido ya hecho.

La realización del presente invento encuentra aplicación en pequeños proyectores y pantallas de presentación para la parte superior de la cabeza.

La realización puede proporcionar información de fase a tasas elevadas - por ejemplo más de una imagen por tasa de imagen, por ejemplo para permitir una reproducción en escala de grises, o reproducción en color.

- 5 El invento no ha de estar restringido a las características de la realización descrita.

REIVINDICACIONES

1. Un método implementado por ordenador de recuperar información de fase espectral a partir de información de amplitud espacial introducida, representativa de una imagen objetivo, que comprende la iteración de las siguientes operaciones:

5 establecer un primer conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de fase (506) e información de amplitud (301), siendo derivada la información de amplitud de la información (362) de intensidad introducida;

10 en un bloque de tratamiento (350), que realiza una transformación de Fourier sobre el primer conjunto de datos para producir un segundo conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud y de fase (305);

cuantificar y almacenar información de fase (305) a partir del segundo conjunto de datos en memoria;

emitir información de cuantificación de fase del segundo conjunto de datos como datos de fase (309) recuperados;

15 formar un tercer conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud (307) y de fase (309), siendo derivada la información de fase a partir del segundo conjunto de datos y;

aplicar una transformación inversa de Fourier (356) al tercer conjunto de datos para producir un cuarto conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud (311) y de fase (313);

modificar el cuarto conjunto de datos por datos de entrada para producir un quinto conjunto de datos que tiene varios elementos, teniendo cada elemento información de amplitud (301) y de fase (506);

20 utilizar el quinto conjunto de datos como el primer conjunto de datos de una iteración subsiguiente,

en el que la información de amplitud del primer conjunto de datos para una (n+1) ésima iteración es una diferencia entre información de amplitud de imagen objetivo y una forma escalada de diferencia entre información de amplitud de imagen objetivo e información de amplitud del quinto conjunto de datos para la enésima iteración, en el que:

25 la operación de modificación que comprende calcular la diferencia entre la información de fase del cuarto conjunto de datos obtenido en las iteraciones actual (313) y previa (504) para dar nueva información de fase (502), sustraer un múltiplo de nueva información de fase (502) a partir de la información de fase (504) del cuarto conjunto de datos obtenidos de la iteración previa para dar nueva información (506) de fase de entrada como información de fase del quinto conjunto de datos para proporcionar la entrada de fase para el bloque de tratamiento (350).

30 2. El método según la reivindicación 1, en el que la información de amplitud del primer conjunto de datos para una iteración (n+1) ésima es una diferencia entre la amplitud de imagen objetivo y una forma escalada de diferencia entre información de amplitud de imagen objetivo e información de amplitud del quinto conjunto de datos para la iteración enésima.

3. El método según la reivindicación 1, que comprende configurar la información de amplitud del tercer conjunto de datos a la unidad.

35 4. El método según la reivindicación 1, que comprende generar información de fase aleatoria como información de fase del primer conjunto de datos para la primera iteración.

5. El método según la reivindicación 1, en el que los datos de intensidad de entrada cambian con el tiempo.

6. Un método para la proyección holográfica en tiempo real que comprende:

recibir una serie temporal de elementos de información de intensidad como imágenes,

40 recuperar la información de fase espectral del diseño de difracción de campo lejano de cada imagen considerada como imagen objetivo espacial por un método según la reivindicación 1,

emitir la información de fase cuantificada a un modulador de luz espacial;

iluminar de modo continuo el modulador de luz espacial con una fuente de luz colimada; y

45 recoger y focalizar la luz modificada en fase reflejada o transmitida a través del modulador de luz espacial para producir un campo de reproducción holográfico.

7. Un método de proyección según la reivindicación 6, que comprende recibir las series de imágenes a tasas de video convencionales.

8. Un método de proyección según la reivindicación 6, que comprende actualizar el modulador de luz espacial con datos de información de fase de una tasa de actualización igual o mayor que una tasa de recepción de imágenes entrantes.

9. Un método para proyección holográfica que comprende:

medios para recibir una serie temporal de elementos de información de intensidad de imagen objetivo espacial,

5 tratar medios que implementan el método según la reivindicación 1, por lo que la información de fase espectral es recuperada para cada imagen objetivo espacial,

un modulador de luz espacial;

una fuente de luz colimada dispuesta para iluminar el modulador de luz espacial; y

medios de lente dispuestos para reproducir la representación en una pantalla.

10 10. El aparato según la reivindicación 9, en el que los medios de recepción y tratamiento permiten la recuperación de la información de fase de una imagen objetivo de entrada dentro del intervalo entre imágenes objetivo sucesivas.

11. El aparato según la reivindicación 9, en el que el modulador de luz espacial tiene una pluralidad de elementos transparentes.

15 12. El aparato según la reivindicación 11, en el que cada elemento cambia la fase de una onda de luz que pasa a través del elemento de acuerdo a una información de fase predeterminada.

13. El aparato según la reivindicación 12, en el que el cambio de fase de cada elemento es independiente sobre el cambio de fase de los otros elementos.

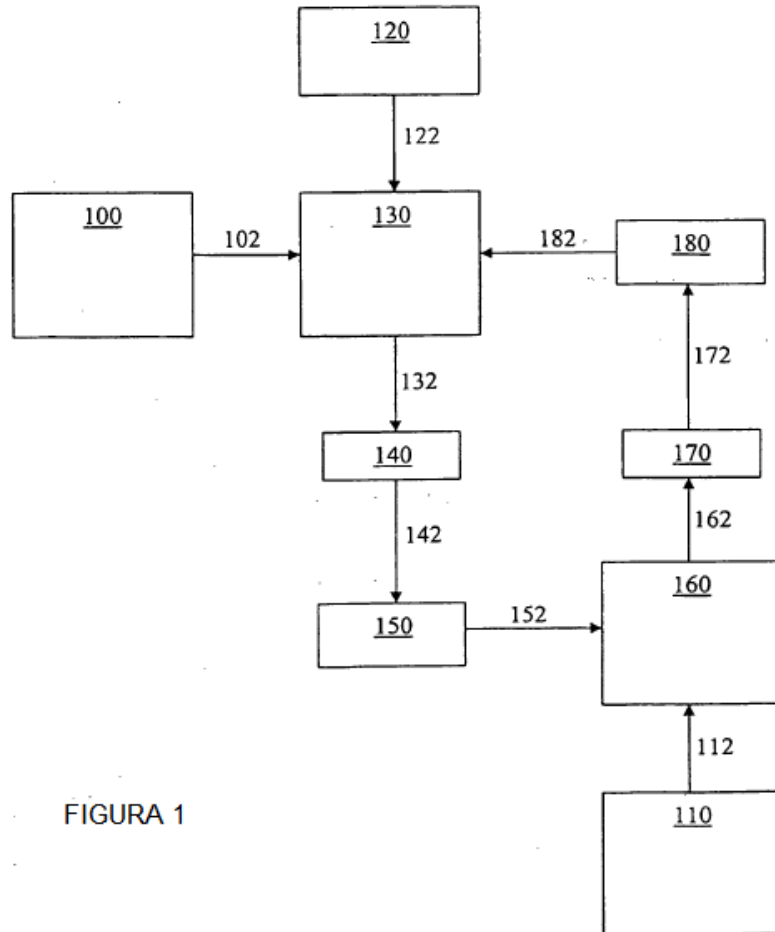


FIGURA 1

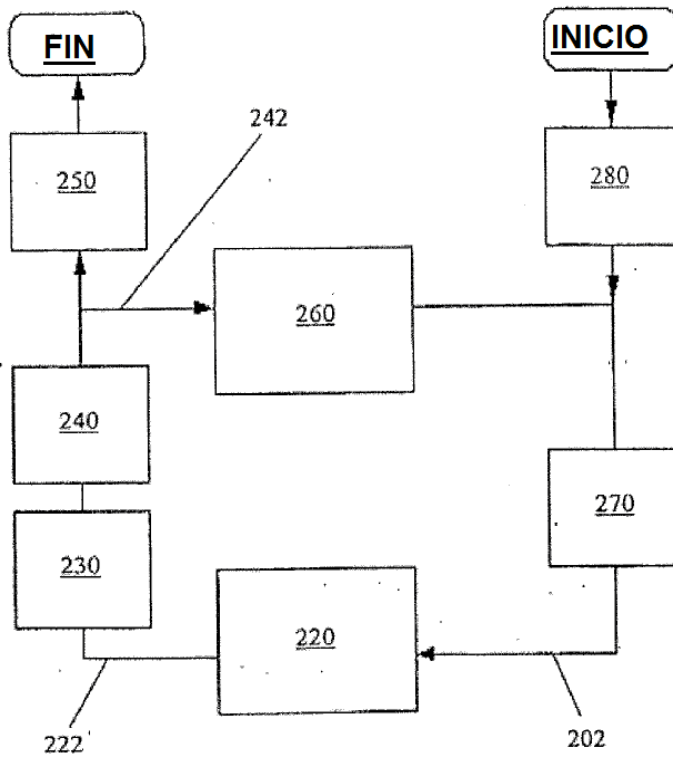


FIGURA 2

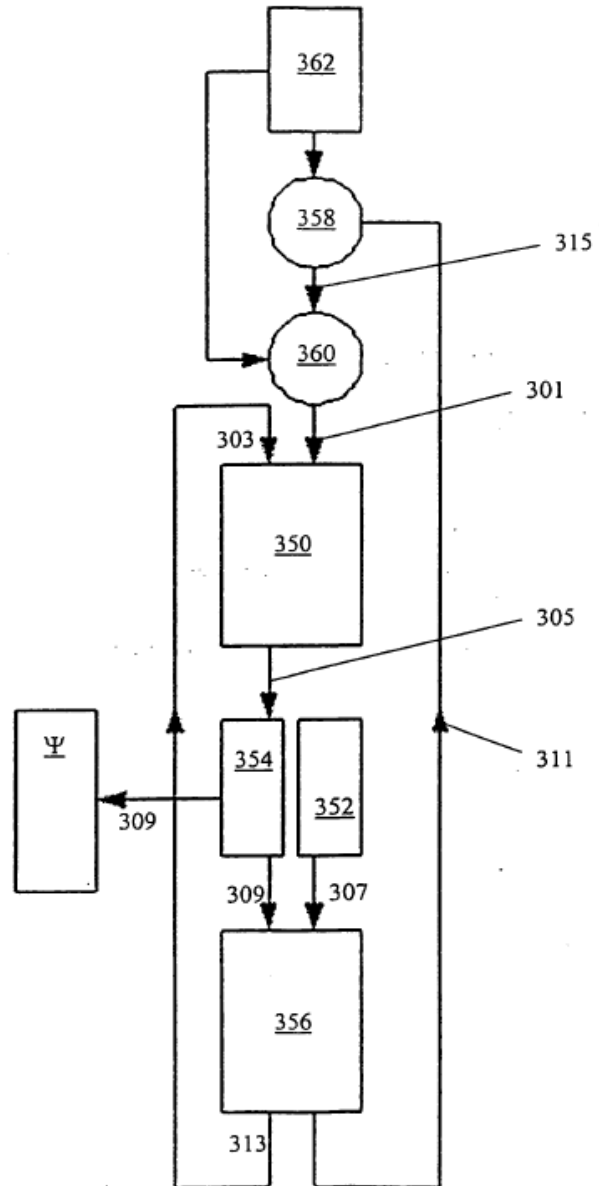


FIGURA 3

