



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 298 044**

⑫ Número de solicitud: 200601631

⑤① Int. Cl.:
G02F 1/335 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **16.06.2006**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **01.05.2008**

⑫④ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
01.05.2008

⑦① Solicitante/s: **Universitat Jaume I** (Titular al 70 %)
Avenida Vicent sos Baynatl, s/n
12006 Castellón, ES
Universidad de Santiago de Compostela (Titular al 30 %)

⑦② Inventor/es: **Tajahuerce Romera, Enrique Ataulfo;**
Climent Jordá, Vicente;
Lancis Sáez, Jesús;
Bará Viñas, Salvador X.;
Arines Piferrer, Justo;
Jaroszewicz, Zbigniew y
Durán Bosch, Vicente Andrés

⑦④ Agente: **Fernández Prieto, Ángel**

⑤④ Título: **Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD y dispositivo para su puesta en práctica.**

⑤⑦ Resumen:

Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD y dispositivo para su puesta en práctica.

El procedimiento consiste en hacer incidir sobre una pantalla (1) TNLCD el haz (2) cuya aberración se desea compensar, aplicando a cada pixel de la pantalla el nivel de tensión adecuado para modificar su birrefringencia de forma tal que se induzca un cambio del estado de polarización de la onda incidente. La aberración es compensada en dos pasos: Una compensación estática igual al valor medio de la aberración media temporal del frente de onda que se desea corregir, y una compensación dinámica, y por tanto dependiente del tiempo, de la aberración residual que persiste en el frente de ondas después de llevar a término la compensación estática anterior. Para ello el dispositivo que se emplea comprende básicamente un sub-módulo de compensación dinámica, constituido por una pantalla de cristal líquido (1) TNLCD, ubicada entre un par de láminas retardadoras (4-5) y dos polarizadores lineales (3-6) y un submódulo constituido por un elemento óptico opcional (8), estático o dinámico, de tipo refractivo, difractivo o híbrido, acoplados entre sí.

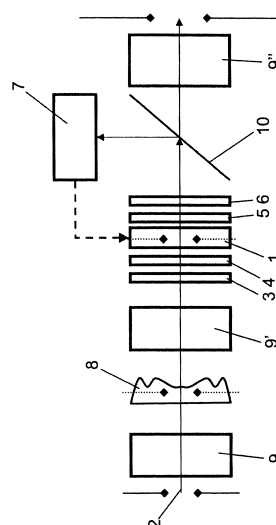


FIG. 1

ES 2 298 044 A1

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD y dispositivo para su puesta en práctica.

Objeto de la invención

La presente invención se refiere, tal y como su enunciado indica, a un procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante técnicas de óptica adaptativa.

Es asimismo objeto de la invención el dispositivo para la puesta en práctica de dicho método, que permita obtener imágenes ópticas de alta resolución y en tiempo real.

La invención se desarrolla pues en el ámbito de las técnicas de fotolitografía con haz de láser y de modulación por pantallas de cristal líquido del tipo TNLCD (Twisted Nematic Liquid Cristal Display), así como en el de la oftalmología para la corrección de la aberración óptica del ojo humano.

Antecedentes de la invención

Las técnicas de óptica adaptativa persiguen compensar las distorsiones de un frente de ondas producidas por la propagación de la luz a través de un medio no homogéneo. Básicamente contienen dos etapas bien diferenciadas: La medida de la aberración del frente de ondas que se pretende compensar respecto al caso ideal y la posterior corrección de la distorsión mediante dispositivos que alteren la fase de la luz incidente. Aunque la aplicación clásica de las técnicas de óptica adaptativa ha sido en astronomía, recientemente su empleo se está extendiendo a otros campos de interés como la corrección de aberraciones del ojo humano.

Los errores graves en la calidad óptica del ojo, como son el desenfoque y el astigmatismo, pueden corregirse habitualmente mediante lentes. Sin embargo, el ojo humano sufre otras imperfecciones menores, debido a aberraciones de orden superior, que pueden afectar a la calidad visual.

Desde hace varias décadas se sugiere la posibilidad de corregir estos errores del ojo humano a partir de medidas de la aberración con suficiente resolución espacial. Sin embargo en los últimos 10 años es cuando se ha extendido la aplicación de las técnicas de óptica adaptativa al campo de la investigación oftalmológica, tanto para mejorar la visión como para obtener imágenes de alta resolución de la retina.

De entre las técnicas empleadas para caracterizar las aberraciones oculares, como paso previo a su compensación, destacan las técnicas de doble paso, las de trazado de rayos mediante láser y las basadas en sensores de frente de onda de tipo Hartmann-Shack. Estas últimas son las de empleo más extendido en el caso de medidas dinámicas de la aberración, ya que permiten la obtención de la aberración de onda con un dispositivo óptico sencillo y cálculo numérico relativamente breve. Consisten básicamente, en el análisis de la posición transversal de los puntos luminosos en el plano focal de una red de microlentes sobre la que incide el haz de luz que se pretende caracterizar. Una vez medida la aberración de onda, es frecuente representarla en forma de una descomposición en polinomios de Zernike, de tal modo que cada coeficiente del desarrollo está asociado a una aberración elemental (desenfoque, astigmatismo, coma, aberración esférica, etc) del frente de onda.

Una vez medidas las aberraciones oculares con alguna de las técnicas anteriores, la etapa de corrección de la distorsión puede realizarse también con diferentes métodos. Una posibilidad es utilizar lentes espaciales para corregir algunos tipos específicos de aberraciones, como la aberración esférica y el coma. Pero de éste modo, al igual que con las lentes convencionales, solo se corrige parcialmente la aberración del frente de ondas. Para corregir en mayor medida la aberración se han propuesto, básicamente, tres técnicas que permiten modular espacialmente la fase del frente de ondas con diferentes dispositivos: los espejos deformables (DM), las láminas de fase y las pantallas de cristal líquido (LCDs).

Los espejos ópticos deformables fueron los empleados en el desarrollo de las primeras técnicas de óptica adaptativa para astronomía de alta resolución. También han sido utilizados para la corrección de aberraciones oculares. Sin embargo, adolecen de algunos problemas como su alto coste, el número limitado de pistones mecánicos, la imposibilidad de realizar saltos de fase abruptos y el tamaño excesivo de estos dispositivos.

El empleo de láminas de fase constituye un método muy adecuado para corregir las aberraciones de onda del ojo de carácter estático. Recientemente se ha desarrollado una técnica para fabricar láminas con una distribución espacial de la fase calculada a partir de la medida de los coeficientes de Zernike de la aberración ocular. Las láminas están construidas empleando una técnica de fotolitografía de una sola etapa (con máscaras de niveles de gris) sobre fotorresina. Basta localizar la lámina enfrente del ojo para compensar las aberraciones. Aunque tiene una gran resolución espacial y un elevado rango dinámico, esta técnica presenta el inconveniente de que no puede compensar las aberraciones oculares de carácter dinámico.

Por último, cabe destacar el empleo de moduladores espaciales de luz de tipo LCD para corregir las aberraciones de onda oculares. Hasta la fecha se han empleado exclusivamente pantallas LCD de alineación paralela (PAL LCDs)

localizadas en el plano de la pupila, que permiten alterar pixel a pixel el valor de la fase del frente de ondas sin alterar su intensidad. Aunque aportan algunas ventajas frente a los métodos anteriores, como la posibilidad de codificar cambios bruscos de la fase o trabajar en tiempo real, estos dispositivos presentan también algunos inconvenientes. En primer lugar, los dispositivos LCD de tipo PAL tiene un coste muy elevado, mucho mayor que las pantallas LCD convencionales. Además, el cambio en el valor de la fase es bastante limitado, del orden de la longitud de onda de la luz empleada, por lo que es necesario aplicar técnicas difractivas de modulación 2π (de tipo phase wrapping) para conseguir la corrección adecuada.

Descripción de la invención

El procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas que la invención propone resuelve de manera plenamente satisfactoria la problemática anteriormente expuesta proporcionando un dispositivo accesible desde el punto de vista económico y de manejo sencillo.

Para ello y de forma más concreta, el procedimiento se basa en hacer incidir sobre una pantalla TNLCD el haz cuya aberración se desea compensar, aplicando a cada pixel de la pantalla el nivel de tensión adecuado para modificar su birrefringencia de forma tal que se induzca un cambio del estado de polarización de la onda incidente. Esta tensión es aplicada mediante una señal eléctrica generada por un ordenador y controlada por el software adecuado.

El procedimiento que se propone compensa la aberración en dos pasos: Una compensación estática igual al valor medio (o un valor próximo a éste) de la aberración media temporal del frente de onda que se desea corregir, y que corresponde a una compensación media, y una compensación dinámica, y por tanto dependiente del tiempo, de la aberración residual que persiste en el frente de ondas después de llevar a término la compensación estática anterior.

Para ello, el dispositivo óptico que se propone se halla constituido por dos sub-módulos de compensación, uno de ellos, el de compensación dinámica está constituido por una pantalla comercial de cristal líquido TNLCD, que actúa en tiempo real, ubicada entre un par de láminas retardadoras y todo ello dispuesto a su vez entre dos polarizadores lineales.

Mediante una selección adecuada de los ángulos que forman los ejes de transmisión de los polarizadores y los ejes propios de las láminas con el eje director molecular de la pantalla TNLCD se consiguen parámetros de transmitancia casi constantes y el valor máximo del rango dinámico de la modulación, que se obtiene al aplicar en cada uno de los píxeles una tensión controlada por ordenador.

El otro sub-módulo está constituido por un elemento óptico opcional, estático o dinámico, de tipo refractivo, difractivo o híbrido, situado antes o después del primer sub-módulo, acoplado a él por contacto o separado por una pequeña distancia en aire o conjugado ópticamente con la pantalla TNLCD mediante un sistema de lentes convencionales.

La misión de este sub-módulo es compensar parte de la aberración que se desea corregir, disminuyendo así la cantidad de aberración que debe compensar el sub-módulo que contiene la pantalla TNLCD, o lo que es lo mismo reduciendo el rango dinámico requerido a la citada pantalla. En el caso particular en que este sub-módulo no se utilizara, toda la compensación de la aberración asociada al frente de ondas que incide sobre el compensador, la debería realizar el sub-módulo que contiene a la pantalla TNLCD.

Como complemento de la estructura descrita, un divisor de haz, ubicado a la salida del compensador, permite registrar la aberración del haz emergente mediante un sensor de frente de onda conectado a un ordenador que determina el valor instantáneo de la aberración y que, a su vez, controla y configura la pantalla TNLCD, introduciendo en cada uno de sus píxeles y en cada instante, una fase que logra que la aberración del frente de ondas incidente quede compensada espacial y temporalmente.

El conjunto se complementa, en su caso, con dos lentes esféricas colocadas antes y/o después del sistema compensador. Estas pueden situarse acopladas foco a foco, lo que posibilita la proyección sobre el plano de la pantalla TNLCD de la pupila del sistema cuya aberración se desea compensar sin introducir fases esféricas adicionales. Además una elección apropiada de sus distancias focales proporciona el aumento adecuado para que la proyección de la pupila del sistema sobre la pantalla TNLCD cubra un número adecuado de píxeles, permitiendo así, la compensación de la fase aberrada con una resolución espacial óptima dentro de las posibilidades de la pantalla TNLCD.

Así pues, el dispositivo anteriormente descrito permite compensar tanto las aberraciones ópticas de un ojo humano como las aberraciones correspondientes a cualquier otro sistema óptico, formador o no formador de imagen, distinto del ojo humano, empleando un dispositivo comercial como son las pantallas TNLCD que, como se ha dicho anteriormente, resulta accesibles desde el punto de vista económico y son sencillas de manejar.

Descripción de los dibujos

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características del invento, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura 1.- Muestra una representación esquemática de un dispositivo para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD basado en el procedimiento de la presente invención.

La figura 2.- Muestra una gráfica en la que se ha representado la fase de aberración a introducir en cada pixel de la pantalla, que es igual a menos el resto de dividir la fase de la aberración a compensar por 2π .

La figura 3.- Muestra, finalmente, una segunda gráfica, correspondiente a una segunda posibilidad, en la que se ha representado la fase de aberración a introducir en cada pixel de la pantalla, escogida entre N posibles niveles discretos espaciados entre 0 y 2π , de forma que la fase introducida en cada pixel sea la más próxima a menos el resto de dividir la fase de la aberración a compensar por 2π .

Realización preferente de la invención

A la vista de las figuras reseñadas, y en especial de la figura 1, puede observarse cómo el método que se preconiza consiste en hacer incidir sobre una pantalla TNLCD (1) el haz (2) cuya aberración se desea compensar, aplicando a cada pixel de la pantalla (1) el nivel de tensión adecuado para modificar su birrefringencia de forma tal que se induzca un cambio del estado de polarización de la onda incidente, la cual se hace pasar previamente a través de un polarizador lineal (3) y una lámina de retardo de fase de cuarto de onda (4) que generan un estado arbitrario de polarización elíptica que se induce en el haz aberrado antes de atravesar la pantalla TNLCD, disponiéndose a la salida de dicha pantalla (1) una lámina de retardo de fase de cuarto de onda (5) y un segundo polarizador (6) con una orientación adecuada para conseguir que cada pixel de la pantalla permita obtener, al variar la tensión a él aplicada, una máxima modulación de fase y una transmitancia en amplitud lo más constante posible, dando lugar a un cambio de fase local que permite compensar total o parcialmente la aberración de la onda en cada pixel.

Tal y como se puede ver en la figura 2, en cada pixel de la pantalla (1) se introduce una fase igual a menos el resto de dividir la fase de la aberración a compensar por 2π , de forma que en cada pixel la fase global introducida está siempre comprendida entre 0 y 2π .

De acuerdo con otra posibilidad, la mostrada en la figura 3, en cada pixel de la pantalla (1) se podrá introducir una fase escogida entre N posibles niveles discretos igualmente espaciados entre 0 y 2π , definidos por $(n-1)2\pi/N$, siendo n un número entre 1 y N, de forma que la fase introducida en cada pixel sea la más próxima a menos el resto de dividir la fase de la aberración a compensar por 2π .

El método contempla asimismo el medir la aberración adicional que el sistema óptico formado por el conjunto de los polarizadores (3-6), láminas de retardo de fase (4-5), la propia pantalla TNLCD (1) en estado de reposo y cualquier otro componente óptico utilizado inducen en el haz aberrado incidente, introduciendo en cada pixel de la pantalla una fase que compense a la suma de la aberración del haz incidente y la aberración adicional inducida por el sistema óptico.

Dichas aberraciones a compensar pueden ser las correspondientes a un ojo humano, medidas mediante un sensor de frente de ondas (7) adecuado, utilizándose para su compensación una zona de la pantalla TNLCD (1) del tamaño adecuado para cubrir el área correspondiente a la pupila de salida del ojo, o bien tratarse de aberraciones correspondientes a cualquier otro sistema óptico formador o no de imagen, distinto del ojo humano, pudiendo dicha aberración variar espacial y temporalmente.

La estructuración anteriormente descrita se complementa con un segundo módulo constituido por un elemento óptico opcional (8), que puede situarse antes o después del conjunto o módulo formado por la pantalla (1) y las láminas de retardo y polarizadores (3), (4), (5) y (6), estático o dinámico, refractivo, difractivo o híbrido, cuya misión es compensar parte de la aberración que se desea corregir, concretamente el valor medio temporal, disminuyendo así la cantidad de aberración que debe compensar la pantalla TNLCD (1).

Asimismo, en cada píxel se introduce una fase que puede ser igual a la aberración que presenta la luz en ese punto a propagarse a través del ojo humano, de una atmósfera turbulenta o de cualquier otro medio cuyas propiedades ópticas varíen o no con el paso del tiempo, a fin de producir a la salida un haz aberrado que simule la propagación de la luz a través de esos medios, y pueda ser utilizado para la comprobación del funcionamiento de diversos sistemas ópticos o para la calibración de los mismos, como puede ser para la calibración de aberrómetros oculares.

El dispositivo para la puesta en práctica del método que acaba de describirse incluirá cada uno de los elementos anteriormente citados, de manera que, tal y como se puede observar en la figura 1 incorporará un sistema óptico (9,9',9'') adecuado para acoplar la pupila de salida del sistema cuya aberración se desea compensar al módulo compensador de aberraciones constituido a su vez por dos submódulos, que son, tal y como se ha mencionado anteriormente, una pantalla comercial TNLCD (1) dispuesta en un soporte optomecánico adecuado, junto con dos polarizadores (3) y (6) y dos láminas de retardo de fase (4) y (5), situados de forma que el haz (2) cuya aberración se desea compensar atraviese sucesivamente los componentes (3- 4-1-5-6) orientados de forma que los ángulos que forman los ejes de transmisión de los polarizadores (3-6) y los ejes propios de las láminas (4-5) con el director molecular de la pantalla (1) TNLCD sean los óptimos para conseguir un rango dinámico máximo en la modulación de fase y una transmitancia lo más constante posible, controlándose la tensión aplicada a cada pixel mediante un ordenador -no representado en las figuras- a partir de la modulación de fase que se desea obtener, mediante un divisor de haz (10) y el correspondiente

sensor de frente de ondas (7), y un elemento óptico opcional, estático o dinámico (8), de tipo refractivo, difractivo o híbrido, situado antes o después del submódulo anterior, acoplado a él por contacto o separado por una pequeña distancia en aire o conjugado ópticamente con la pantalla (1) TNLCD mediante un sistema de lentes convencionales (9-9'), elemento cuya misión es compensar parte de la aberración disminuyendo así la cantidad de aberración a compensar por el submódulo anteriormente descrito, y un sistema óptico adecuado (9'') para acoplar el módulo compensador de aberraciones al sistema óptico situado a continuación del mismo.

Los sistemas ópticos de acoplamiento (9), (9'), (9'') podrán estar materializados en una o más lentes esféricas de igual o diferente distancia focal, pudiéndose situarse acopladas foco a foco, de forma que posibiliten la proyección sobre el plano de la pantalla TNLCD (1) de la pupila del sistema cuya aberración se desea compensar, sin introducir fases esféricas adicionales, y eligiendo sus distancias focales de forma que proporcionen el aumento óptimo para que la proyección de la pupila del sistema sobre la pantalla cubra un número óptimo de píxeles, permitiendo así la compensación de la fase aberrada con una resolución espacial óptima dentro de las posibilidades de la pantalla (1) TNLCD utilizada.

A modo de ejemplo, la pantalla TNLCD (1) tendrá preferentemente unas características tales como un giro molecular $\alpha=0.792$ rad, birrefrgerancia máxima a 514 nm, $\beta=2.92$ radianes, orientación del director molecular respecto al eje horizontal = 0.792 rad, con 832 x 624 píxeles de 26.7 micras por 21.3 micras, siendo el periodo entre píxeles de 32 micras tanto en horizontal como en vertical, y un tamaño total de 2.8 cm por 2.1 cm, colocando los polarizadores y láminas de retardo de fase con sus ejes orientados según los siguientes ángulos $P1=-25^\circ$, $Q1=62^\circ$, $Q2=17^\circ$, $P2=-51^\circ$, medidos con respecto al eje horizontal del sistema de referencia que tiene su eje X orientado en la dirección del director molecular a la entrada de la pantalla TNLCD, utilizando láminas de cuarto de onda de cuarzo, de orden 0 para la longitud de onda 514 nm.

Por último, cabe destacar que opcionalmente podrán disponerse más de un dispositivo como el anteriormente descrito, colocados uno detrás de otro, de forma que cada una de las pantallas (1) TNLCD esté ópticamente conjugada con un plano determinado del espacio objeto, permitiendo así obtener un sistema de compensación multiconjugado. Opcionalmente, el dispositivo que se describe puede funcionar en modo de reflexión, de forma que la luz atraviese dos veces el sistema óptico con objeto de mejorar la capacidad moduladora de la pantalla (1) TNLCD.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, **caracterizado** por hacer incidir sobre la pantalla (1) el haz (2) cuya aberración se desea compensar, y por aplicar a cada pixel de la pantalla (1) el nivel de tensión adecuado para modificar su birrefringencia de forma tal que se induzca un cambio del estado de polarización de la onda incidente, cambio de estado que da lugar, previo paso por una lámina de retardo de fase de cuarto de onda (4-5) y un polarizador lineal (3-6) situados a continuación de la TNLCD, a un cambio de fase local que permite compensar total o parcialmente la aberración de la onda en cada pixel.

2. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD según reivindicación 1ª, **caracterizado** porque el estado de polarización elíptica que se induce en el haz aberrado a través de la lámina de cuarto de onda (4) y el polarizador (3) antes de atravesar la pantalla TNLCD y la orientación de la lámina de cuarto de onda (5) y del polarizador que se sitúan después de ella (6) son los apropiados para conseguir que cada pixel de la pantalla permita obtener, al variar la tensión a él aplicada, una máxima modulación de fase y una transmitancia en amplitud lo más constante posible.

3. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque en cada pixel de la pantalla se introduce una fase igual a menos el resto de dividir la fase de la aberración a compensar por 2π , de forma que en cada pixel la fase global introducida está siempre comprendida entre 0 y 2π .

4. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD según reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado** porque en cada pixel de la pantalla (1) se introduce una fase escogida entre N posibles niveles discretos igualmente espaciados entre 0 y 2π , definidos por $(n-1)2\pi/N$, siendo n un número entero entre 1 y N, de forma que la fase introducida en cada pixel sea la más próxima a menos el resto de dividir la fase de la aberración a compensar por 2π .

5. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por medir la aberración adicional que el sistema óptico formado por el conjunto de los polarizadores (3-6), láminas de retardo de fase (4-5), la propia pantalla TNLCD (1) en estado de reposo, y cualquier otro componente óptico utilizado, inducen en el haz aberrado incidente, y por introducir en cada pixel de la pantalla una fase que compense a la suma de la aberración del haz incidente y la aberración adicional inducida por el sistema óptico.

6. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las aberraciones a compensar son las correspondientes a un ojo humano, medidas mediante un sensor de frente de ondas adecuado (7), utilizándose para su compensación una zona de la pantalla TNLCD (1) del tamaño adecuado para cubrir el área correspondiente a la pupila de salida del ojo.

7. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque las aberraciones a compensar son las correspondientes a cualquier otro sistema óptico formador o no formador de imagen, distinto del ojo humano.

8. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque la aberración que se desea compensar varía espacial y temporalmente, y por que se utiliza un sensor de frente de ondas (7) para determinar su valor instantáneo, introduciéndose en cada pixel de la pantalla (1), y en cada instante de tiempo, una fase que compense la de la aberración temporalmente variable que se desea compensar.

9. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** por utilizar, en combinación con la pantalla TNLCD, un componente óptico (8) estático o dinámico, refractivo, difractivo o híbrido, cuyo papel es compensar parte de la aberración que se desea corregir, disminuyendo así la cantidad de aberración que debe compensar la pantalla TNLCD (1).

10. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según reivindicación 9ª, **caracterizado** porque el componente estático o dinámico utilizado en combinación con la pantalla TNLCD (1) está diseñado para compensar una cantidad de aberración, variable en el tiempo, de valor próximo o igual al valor medio temporal de la aberración que se desea compensar, de forma que la pantalla TNLCD (1) sólo debe compensar un valor próximo o igual a la diferencia entre el valor de la aberración en cada instante y su valor medio, disminuyendo así el rango dinámico requerido.

11. Procedimiento para la compensación de aberraciones ópticas mediante pantallas de cristal líquido tipo TNLCD, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque en cada pixel de la pantalla (1) se introduce una fase igual a la aberración que presenta la luz en ese punto al propagarse a través del ojo humano, de una atmósfera turbulenta o de cualquier otro medio cuyas propiedades ópticas varíen o no con el paso del tiempo, a fin de producir

a la salida un haz aberrado que simule la propagación de la luz a través de esos medios, y pueda ser utilizado para la comprobación del funcionamiento de diversos sistemas ópticos o para la calibración de los mismos, por ejemplo para la calibración de aberrómetros oculares.

- 5 12. Dispositivo para la puesta en práctica del procedimiento de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque está constituido por un sistema óptico (9, 9', 9'') adecuado para acoplar la pupila de salida del sistema cuya aberración se desea compensar a un módulo compensador de aberraciones constituido a su vez por dos submódulos, uno de ellos formado por una pantalla comercial TNLCD (1) dispuesta en un soporte optomecánico adecuado, junto con dos polarizadores (3) y (6) y dos láminas de retardo de fase (4) y (5), situados de forma que el haz (2) cuya
10 aberración se desea compensar atraviere sucesivamente los componentes (3-4-1-5-6) orientados de forma que los ángulos que forman los ejes de transmisión de los polarizadores (3-5) y los ejes propios de las láminas (4-6) con el director molecular de la pantalla (1) TNLCD sean los óptimos para conseguir un rango dinámico máximo en la modulación de fase y una transmitancia lo más constante posible, controlándose la tensión aplicada a cada pixel mediante un ordenador a partir de la modulación de fase que se desea obtener, mediante un divisor de haz (10) y
15 el correspondiente sensor de frente de ondas (7), y un elemento óptico opcional, estático o dinámico (8), de tipo refractivo, difractivo o híbrido, situado antes o después del submódulo anterior, acoplado a él por contacto o separado por una pequeña distancia en aire o conjugado ópticamente con la pantalla (1) TNLCD mediante un sistema de lentes convencionales (9-9'), y un sistema óptico adecuado (9'') para acoplar el módulo compensador de aberraciones al sistema óptico situado a continuación del mismo.
- 20 13. Dispositivo, según reivindicación 12°, **caracterizado** porque el módulo compensador de aberraciones está formado exclusivamente por una pantalla comercial TNLCD (1) dispuesta en un soporte optomecánico adecuado, junto con dos polarizadores (3) y (6) y dos láminas de retardo de fase (4) y (5).
- 25 14. Dispositivo, según reivindicaciones 12ª y 13ª, **caracterizado** porque uno o ambos sistemas ópticos (9'-9'') utilizados para acoplar el módulo compensador de aberraciones a los sistemas anterior y siguiente están formados por una o más lentes esféricas de igual o diferente distancia focal situadas antes del polarizador (3) y/o después de el polarizador (6).
- 30 15. Dispositivo, según reivindicación 14ª, **caracterizado** porque las lentes esféricas (9-9'') se sitúan acopladas foco a foco, de forma que posibiliten la proyección sobre el plano de la TNLCD de la pupila del sistema cuya aberración se desea compensar, sin introducir fases esféricas adicionales, y eligiendo sus distancias focales de forma que proporcionen el aumento óptimo para que la proyección de la pupila del sistema sobre la pantalla cubra un número óptimo de pixeles.
- 35 16. Dispositivo, según reivindicaciones 12ª o 13ª, **caracterizado** porque en uno o ambos sistemas ópticos (9'-9'') utilizados para acoplar el módulo compensador de aberraciones a los sistemas anterior y siguiente consisten simplemente en la propagación de la luz a través de una determinada distancia en un medio homogéneo, por ejemplo aire.
- 40 17. Dispositivo, según reivindicaciones 12ª o 13ª, **caracterizado** porque opcionalmente uno o ambos sistemas ópticos (9'-9'') para acoplar el módulo compensador de aberraciones a los sistemas anterior pueden ser eliminados, acoplando directamente el módulo compensador de aberraciones a los sistemas ópticos anterior y siguiente.
- 45 18. Dispositivo, según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque incorpora una pantalla TNLCD con giro molecular $\alpha = -1.594$ rad, birrefringencia máxima a 514 nm $\beta = 2.92$ rad, orientación del director molecular respecto al eje horizontal de 0.792 rad, con 832×624 pixeles de 26.7 micras por 21.3 micras, siendo el periodo entre pixeles de 32 micras tanto en horizontal como en vertical, y un tamaño total de 2.8 cm por 2.1 cm , colocando los polarizadores y láminas de retardo de fase con sus ejes orientados según los siguientes ángulos $P1=-25^\circ$, $Q1=62^\circ$, $Q2=17^\circ$, $P2=-51^\circ$, medidos con respecto al eje horizontal del sistema de referencia que tiene su eje X orientado en la dirección del director molecular a la entrada de la pantalla TNLCD, utilizando láminas de cuarto de onda de cuarzo, de orden 0 para la longitud de onda 514 nm .
- 50 19. Dispositivo, según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque podrán disponerse más de un dispositivo, colocados sucesivamente de forma que cada una de las pantallas TNLCD esté ópticamente conjugadas con un plano determinado del espacio objeto, conformando un sistema de compensación multiconjugado.
- 55 20. Dispositivo, según reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque opere en modo de reflexión, al hacer que la luz atraviere dos veces el sistema óptico, para mejorar la capacidad moduladora de la pantalla TNLCD.

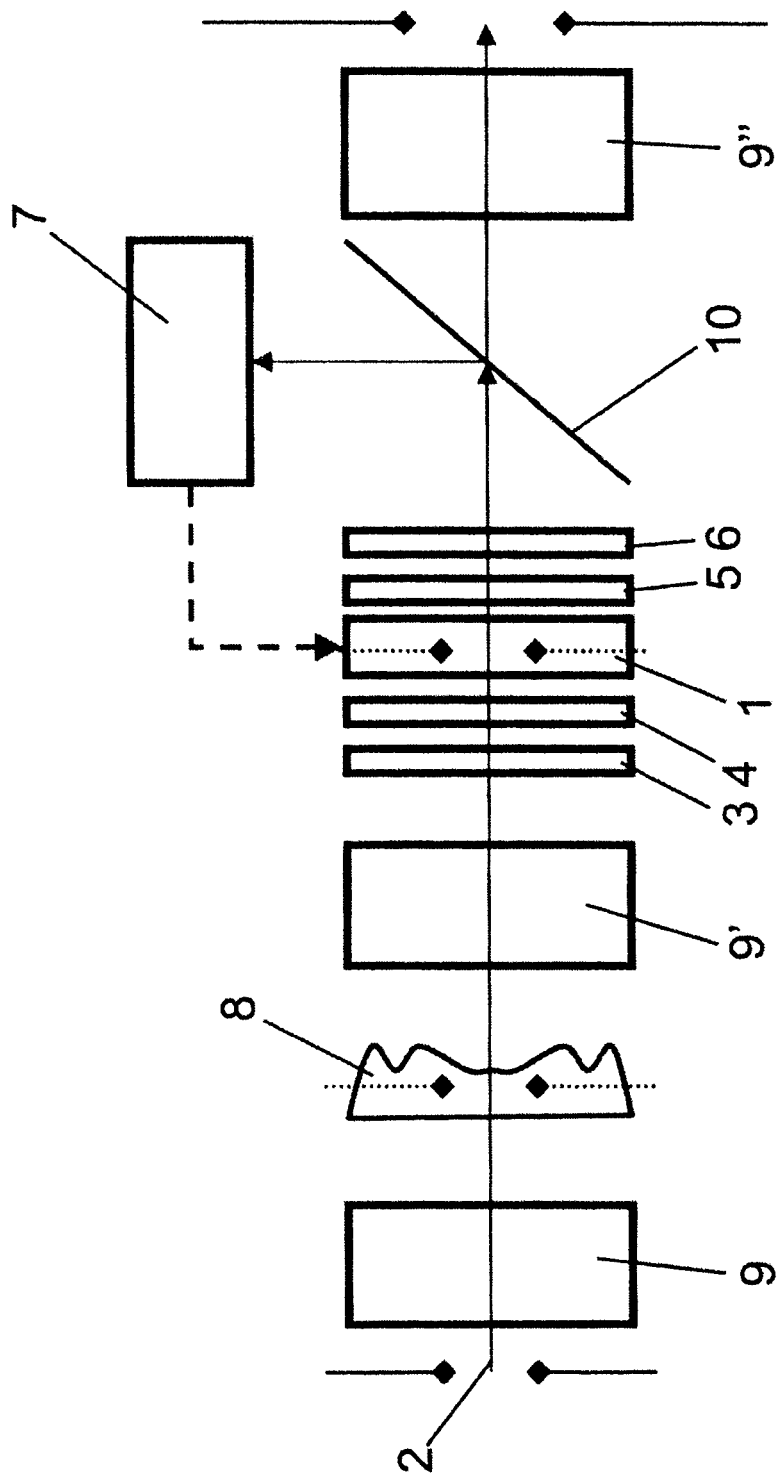


FIG. 1

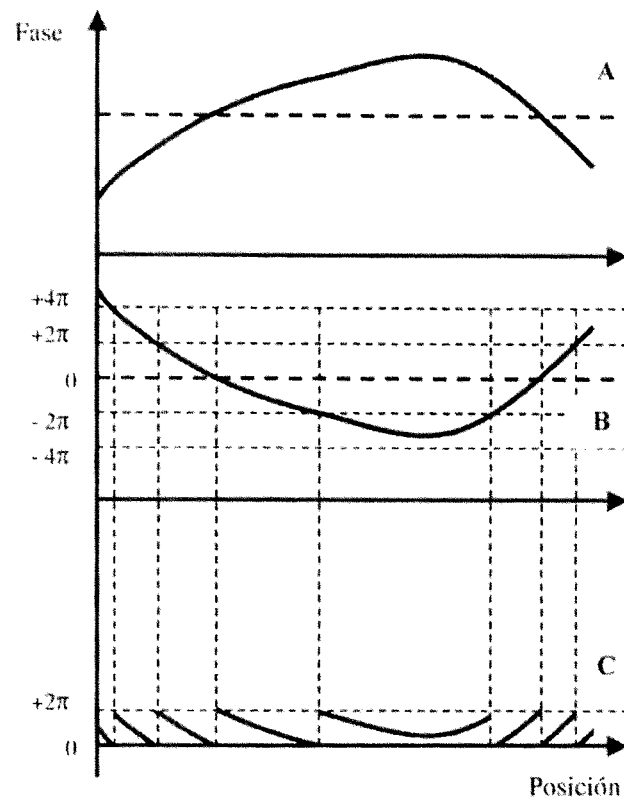


FIG. 2

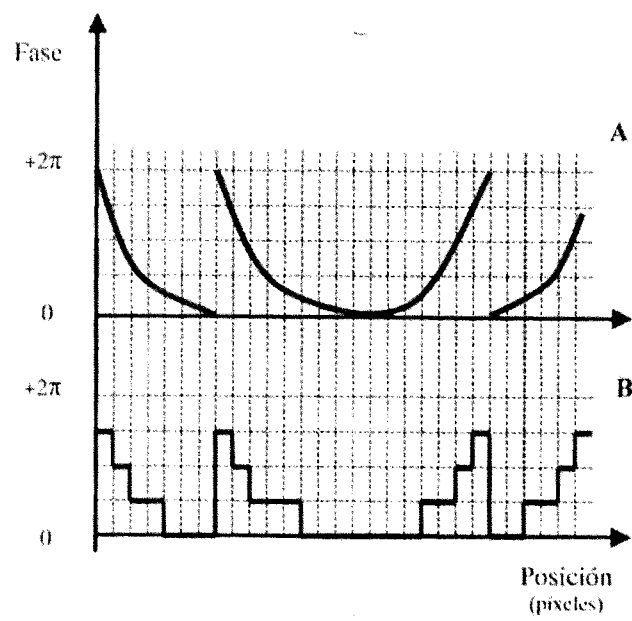


FIG. 3



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ ES 2 298 044

⑫ Nº de solicitud: 200601631

⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 16.06.2006

⑭ Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.: G02F 1/335 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 2005219448 A (CHEN et al.) 06.10.2005, todo el documento.	1-20
A	US 2004207787 A (NAKAMURA et al.) 21.10.2004, todo el documento.	1-20
A	US 2004202798 A (ISHIKAWA et al.) 14.10.2004, todo el documento.	1-20
A	US 5485295 A (ITOH et al.) 16.01.1996, todo el documento.	1-20
A	F. VARGAS-MARTÍN, P.M. PRIETO y P. ARTAL, Corrections of the aberrations in the human eye with a liquid crystal spatial light modulator; limits to performance", Journal of the Optical Society of America A, Vol. 15 páginas 2552-2562 (1998).	1-20
A	N. KONFORTI, E. MARON y S.T. WU, "Phase-only modulation with twisted nematic liquid-crystal spatial light modulators", Optics Letters, Vol. 13, páginas 251-253 (1988).	1-20
A	L.N. THIBOS y A. BRADLEY, Use of liquid-crystal adaptive optics to alter the refractive state of the eye", Optometry and Vision Science, Vol 74, N. 7, páginas 581-587 (1997).	1-20
A	A. MÁRQUEZ, C. IEMMI, I. MORENO, J. CAMPOS y M.J. YZUEL, "Quantitative prediction of the modulation behaviour of twisted nematic liquid crystal displays based on a simple physical model", Optical Engineering, Vol.40, páginas 2558-2564 (noviembre 2001).	1-20

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

07.04.2008

Examinador

A. Cardenas Villar

Página

1/1