

Null-test dinámico de lentes progresivas personalizadas basado en un modulador puro de fase de cristal líquido

Miguel Ares^{1*}, Santiago Royo¹, Irina Sergievskaya¹ y
Reza Atashkhoeei¹

¹Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas (CD6 – UPC).

Rambla Sant Nebridi 10, Terrassa (Barcelona)

<http://www.cd6.upc.edu>

1. Introducción

Los avances en las capacidades de diseño y en las herramientas mecánicas de fabricación de superficies ópticas arbitrarias (*free form*) hacen posible la generación de lentes de formas más complejas. Algunos ejemplos de lentes complejas son las de alta asfericidad (*wild aspherics*) con curvaturas de hasta 75° [1], las lentes plegadas (*folded lenses*) de forma esférica en sistemas compactos de formación de imagen [2], y las lentes progresivas personalizadas al mapa de aberraciones de alto y bajo orden de un paciente [3] o a su particular movimiento coordinado de ojos y cabeza cuando realiza una determinada tarea visual [4] [5].

La medida de las lentes complejas fabricadas es un paso necesario para evaluar su calidad. Dicho proceso de control de calidad de lentes complejas se realiza en muchos casos con perfilómetros de contacto pues ofrecen una alta resolución espacial y un alto rango dinámico de medida. Sin embargo, el tiempo empleado en la medida es importante pues realizan la medida punto a punto, y además potencialmente pueden deteriorar las superficies pulidas de la lente al medir por contacto. Un sensor sin contacto que realiza la medida rápidamente es el sensor de frente de onda Shack-Hartmann. Se trata de un sensor relativamente insensible a vibración y con un buen rango dinámico de medida. Actualmente, es un sensor que comercializan un buen número de empresas [6] [7] [8].

Los métodos de medida más usuales miden directamente la forma de las lentes. Los dos sensores anteriormente mencionados se encuadran dentro de este tipo. Sin embargo, existen otros métodos de medida que compensan previamente la forma de la lente, de manera que obtienen un resultado de medida más fácil y rápido de analizar. Estos métodos se denominan *null-tests*. Habitualmente, la compensación se realiza mediante elementos ópticos estáticos como pueden ser lentes inversas (*null lenses*), placas de fase (*phase plates*) y hologramas estáticos generados computacionalmente (*CGH*) [9] [10]. La mayor desventaja que tienen es su elevado coste y tiempo de fabricación para servir solo para compensar un único diseño de lente. Con la tecnología actual, es posible superar esta desventaja haciendo dinámico el *null-test* gracias a los diferentes elementos activos que ofrece el mercado, como pueden ser los espejos deformables micromecanizados y los moduladores espaciales de fase basados en cristal líquido.

En esta comunicación presentamos un sistema de compensación activa de fase como *null-test* activo de lentes oftálmicas progresivas con diseños personalizados al movimiento coordinado de ojos y cabeza del paciente.

2. Sistema de compensación activa basado en un cristal líquido de moléculas paralelas

Un sistema de óptica activa se basa en la medida del frente de onda original por medio de un sensor de frente de onda y su posterior compensación mediante la generación del frente de onda conjugado con un modulador de fase.

La Fig.1 muestra el sistema de óptica activa que hemos construido. Una fuente de luz puntual de 635 nm, obtenida a partir de un diodo láser unido a una fibra óptica monomodo, se colima por medio de un doblete acromático limitado por difracción. El frente de onda plano resultante se polariza linealmente, pasa por una pupila circular de 20 mm de diámetro, atraviesa la lente progresiva e interactúa con un modulador programable de fase de cristal líquido (*PPM*) [11] que lo compensa totalmente (*null-test*). El frente de onda plano que resulta de la compensación es conjugado con un sensor de microcilindros Shack-Hartmann por medio de un telescopio con magnificación $M=1/4$ [12]. El sensor, formado por dos

* * e-mail: miguel.ares@oo.upc.edu

matrices de microcilindros orientados en direcciones perpendiculares, detecta el frente de onda en la forma de un patrón de líneas horizontales y verticales idealmente rectas. Desviaciones locales de las líneas respecto a líneas rectas, que pueden observarse de manera rápida y sencilla a simple vista, indicarán errores de fabricación de la lente progresiva. Además de ese proceso de inspección visual rápido, las líneas son procesadas automáticamente por un algoritmo propio de identificación de líneas que calcula las pendientes locales del frente de onda [12]. A partir de ellas, el frente de onda es finalmente reconstruido en la representación de Zernike [13].

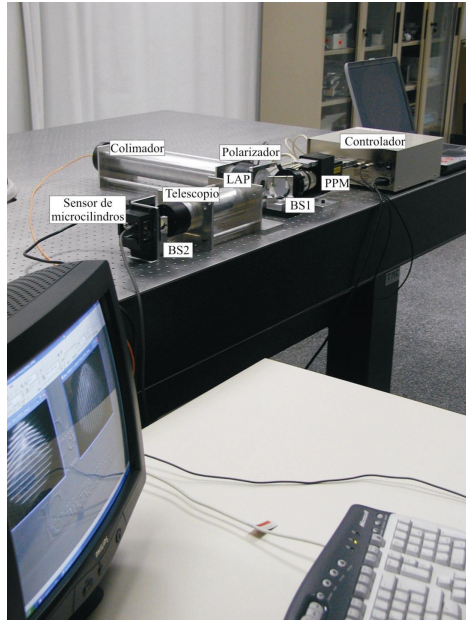


Figura 1: Montaje experimental del *null-test* dinámico de elementos ópticos de formas complejas, aplicado a lentes de adición progresiva personalizadas

3. Resultados del *null-test* de una lente progresiva personalizada

Presentamos los resultados del *null-test* de una lente progresiva personalizada comercial. La lente tiene una potencia de lejos nula y 2 D de adición, y su diseño es personalizado para usuarios que mueven principalmente la cabeza a la hora de realizar una determinada tarea de visión cercana. El *null-test* se lleva a cabo en el área central de 20 mm de diámetro de la lente que se ilustra en la Fig. 2. Dicha área abarca el corredor de 16 mm de longitud y parte de las zonas nasal y temporal laterales.

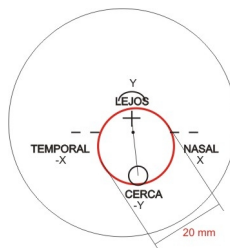


Figura 2: (En rojo) Área circular de la lente progresiva personalizada en que se realiza el *null-test*

En primer lugar, con el *PPM* inactivo, se mide con el sensor de microcilindros el frente de onda transmitido por la lente progresiva. Las Figs. 3a y 3b muestran el patrón de líneas detectado y el frente de onda reconstruido, respectivamente. En un segundo paso, se calcula el frente de onda conjugado en representación de mapa plegado de fase y se genera con el *PPM* para llevar a cabo el *null-test*. En este caso, la eficiencia de difracción del *PPM* es baja debido a la elevada amplitud de la aberración que tiene que compensar [14]. Como consecuencia, el frente de onda originalmente transmitido por la lente sale difractado del *PPM* (orden 0 de difracción) con mayor intensidad que el frente de onda plano compensado

(orden 1 de difracción). Ambos órdenes aparecen superpuestos en el patrón de líneas detectado por el sensor de microcilindros, tal y como se muestra en la Fig. 4a. En esta situación, la información del frente de onda compensado no se puede procesar automáticamente.



Figura 3: (a) Patrón de líneas correspondiente al frente de onda transmitido por la lente progresiva personalizada. (b) Reconstrucción del frente de onda

Como solución a este problema, introducimos un filtro espacial *pinhole* de 300 μm de diámetro centrado en el plano focal imagen del primer doblete del telescopio. El filtro bloquea el frente de onda original difractado y permite el paso del frente de onda plano compensado. Las Figs. 4b y 4c muestran, respectivamente, los patrones de líneas detectados por el sensor y la reconstrucción del frente de onda tras haberse introducido el filtro *pinhole*. El error *RMS* de dicho frente de onda respecto a una superficie plana es de 0.080λ (50.8 nm).

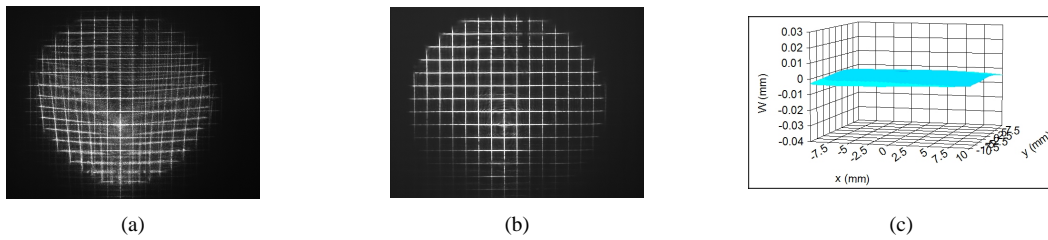


Figura 4: Patrón de líneas correspondiente al frente de onda compensado (*null-test*) (a) sin introducir el filtro *pinhole* en el sistema y (b) con el filtro *pinhole* en el sistema. (c) Reconstrucción del frente de onda compensado

4. Conclusiones

Hemos presentado un *null-test* dinámico de lentes complejas basado en un sensor Shack-Hartmann de microlentes cilíndricas y un modulador activo de fase de cristal líquido.

Hemos mostrado los resultados del *null-test* total del frente de onda transmitido por una lente de adición progresiva con un diseño personalizado para usuarios que mueven principalmente la cabeza al realizar una determinada tarea de visión cercana. Un *null-test* parcial de determinadas aberraciones o en determinadas regiones locales de la lente sería también posible con el mismo sistema desarrollado.

El *null-test* total genera idealmente un patrón de líneas horizontales y verticales rectas. En determinados casos, la simple inspección visual de la rectitud de estas líneas permitiría una rápida identificación de errores de fabricación en la forma de la lente.

Para la lente progresiva estudiada, el error *RMS* del frente de onda compensado respecto a un frente de onda plano es de 0.080λ (50.8 nm), lo que demuestra la calidad del *null-test* dinámico desarrollado.

El sistema propuesto permite un control de calidad de lentes complejas fácil de interpretar, rápido y flexible.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación por el proyecto DPI2005-00828 que financió este trabajo de investigación. M. Ares, I. Sergievskaya y R. Atashkhoei

agradecen las becas FPU, FI Generalitat y UPC Recerca, respectivamente, que les permitieron desarrollar esta investigación.

Bibliografía

- [1] <http://asphericon.net>
- [2] Eric J. Tremblay, Ronald A. Stack, Rick L. Morrison, y Joseph E. Ford, “Ultrathin cameras using annular folded optics”, *Appl. Optics*, v. 46, n. 4, 463-471 (2007).
- [3] <http://ophthonix.izonlens.com/izon-lenses/>
- [4] <http://www.varilux.com/Vision+Care+Professionals/Products/Personalized/Varilux+Ipeo/Design/Design.htm>
- [5] <http://www.indo.es/lentes/eyemade.htm>
- [6] <http://www.optocraft.de/index.en.php>
- [7] <http://www.visionix.com>
- [8] <http://www.wavefrontsciences.com>
- [9] C.Pruss, E.Garbusi, y W.Osten, “Testing Aspheres”, *OPN*, v.19 (4) (2008).
- [10] H.J.Tiziani , S.Reichelt , C.Pruss , M.Rocktaschel , y U.Hofbauer , “Testing of aspheric surfaces”, *SPIE - Lithographic and Micromachining Techniques for Optical Component Fabrication*, v.4440, 109-119 (2001).
- [11] N. Mukohzaka, N. Yoshida, H. Toyoda, Y. Kobayashi, y T. Hara, “Diffraction efficiency analysis of a parallel - aligned nematic – liquid - crystal spatial light modulator”, *App. Opt.*, v. 33, n. 14, 2804-2811 (1994).
- [12] M. Ares, S. Royo, y J. Caum, “Shack-Hartmann sensor based on a cylindrical microlens array”, *Opt. Lett.*, v. 32, n. 7, 769-771 (2007).
- [13] J. Porter, H. M. Queener, J. E. Lin, K. Thorn, y A. Awwal, “Adaptive Optics for Vision Science”, *Wiley-Interscience*, Apendix A (2006).
- [14] F.H. Li, N. Mukohzaka, N. Yoshida, Y. Igasaki, H. Toyoda, T. Inoue, Y. Kobayashi, y T. Hara, “Phase modulation characteristics analysis of optically-addressed parallel-aligned nematic liquid crystal phase-only spatial light modulator combined with a liquid crystal display”, *Opt. Rev.*, v.5, n. 3, 174-178 (1998).