

RECONSTRUCCIÓN DE FASE EN LA PROPAGACIÓN LUMINOSA MEDIANTE TÉCNICAS SAR

Jessica Rouarch⁽¹⁾, Julian Espinosa⁽¹⁾, Juan José Miret⁽¹⁾, David Más⁽¹⁾, Jorge Pérez⁽¹⁾, Carlos Illueca⁽¹⁾

Universidad de Alicante⁽¹⁾

1. Introducción

En los últimos años hemos asistido a un espectacular aumento de las operaciones de cirugía refractiva, lo que ha provocado, de manera paralela, un interés creciente por el funcionamiento de la parte óptica del sistema visual humano, y en particular, sobre la modelización de los diferentes componentes del sistema óptico del ojo (córnea, iris, cristalino y humores acuoso y vítreo) de forma que se pueda predecir cuál va a ser la incidencia de cualquier intervención, que lleva implícita una modificación de una de estas partes ópticas del ojo, sobre la imagen final. A esto, hay que añadir que la introducción de nuevas medidas oculares y los avances técnicos en las pruebas clínicas (topografía, taquimetría y biometría) permiten la caracterización del ojo como sistema óptico de forma más precisa.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo es desarrollar un algoritmo con el que, a partir de un modelo personalizado del sistema ocular y mediante la propagación de la distribución transversal de luz a lo largo del sistema visual, evaluar la calidad de la imagen retiniana y en particular determinar la función aberración de onda.

2. Propagación y obtención de la función aberración de onda

El algoritmo se desarrolla en 3 etapas:

i) Modelo de ojo personalizado

De cada sujeto se conocen su córnea, a partir de los datos sobre radios axiales proporcionados por un topógrafo (ATLAS[®] Corneal Topography System), y sus datos biométricos proporcionados por un biómetro de no contacto (Zeiss Humphrey IOL Master[®]).

Con respecto al cristalino, teniendo en cuenta la especial dificultad para conocer sus características geométricas y físicas, hemos optado por escoger, para todos los ojos estudiados, un mismo cristalino teórico basado en el modelo clásico de Legendre, del que hemos personalizado, teniendo presente la edad del sujeto, los radios de curvatura y el espesor, basándonos en fórmulas empíricas propuestas por Koretz [1].

Con estos datos construimos un modelo de ojo individualizado para cada sujeto.

ii) Propagación a través de los medios oculares

Para obtener la distribución trasversal de luz en un plano cualquiera debemos, en primer lugar, determinar la actuación de la córnea, después, propagar la distribución resultante desde ésta hasta el cristalino, hacer actuar éste y, finalmente, propagar hasta el plano buscado. La córnea y el cristalino los consideramos elementos de fase, por lo que establecer su actuación resulta relativamente sencillo. En cuanto a las dos propagaciones, hay que tener presente, por una parte, que se trata de propagar haces convergentes, con las particularidades que esto implica [2], y por otra, que la distancia

de propagación, principalmente córnea-cristalino, es muy pequeña. En lugar de la habitual integral de Fresnel, que en estas circunstancias podría dar resultados no suficientemente precisos, hemos optado por una solución basada en la propagación del espectro angular, cuya evaluación se realiza numéricamente.

En la referencia [3] se establece este proceso y las condiciones de muestreo que garantizan que las distribuciones de luz en un plano cualquiera del interior del ojo están correctamente calculadas tanto en amplitud como en fase.

iii) Extracción de la fase del campo

La distribución transversal de luz calculada en un plano cualquiera es de la forma:

$$U(x, y) = |A(x, y)| \exp(jk\phi(x, y)) \quad (1)$$

Si somos capaces de extraer correctamente la fase del campo $\phi(x, y)$ podremos determinar la función aberración de onda. Ahora bien, este proceso de extracción, al implicar la inversión de funciones trigonométricas produce un valor de la fase con ambigüedad en el número de ciclos, lo que provoca una serie de franjas claras y oscuras en el rango $(-\pi, \pi)$.

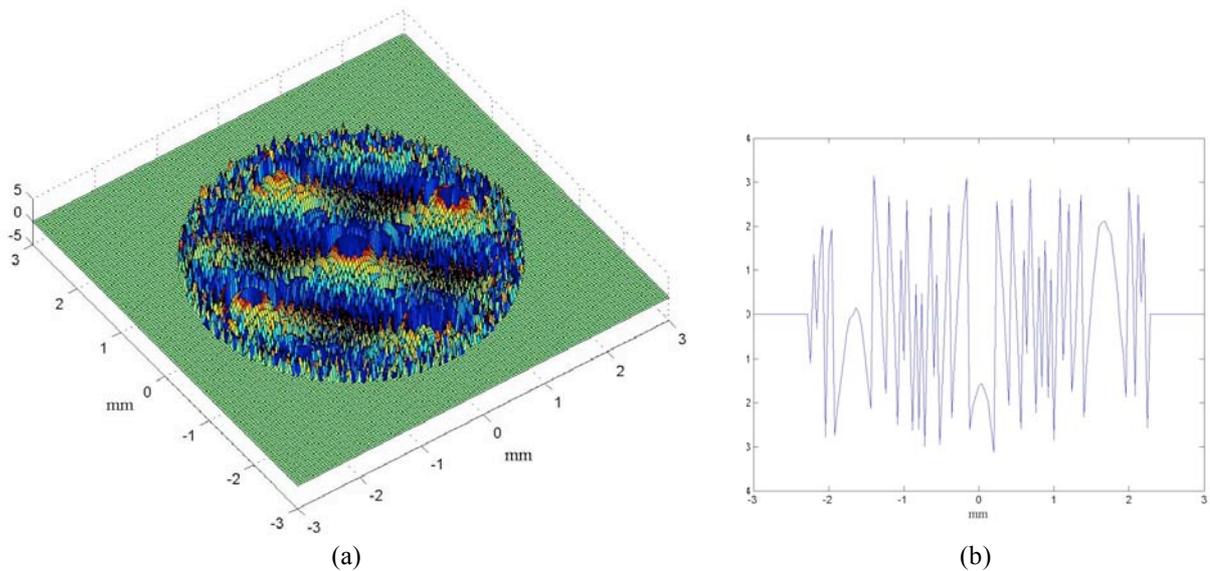


Figura 1: a) Distribución transversal de fase antes de realizar el “unwrapping” b) corte transversal para $x=0$.

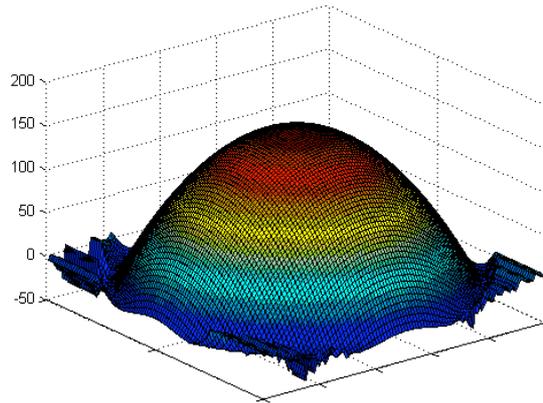


Figura 2: Distribución transversal de fase reconstruida.

La forma de corregir esto es realizando un proceso de reconstrucción denominado desenrollado de la fase (phase unwrapping). Para ello hemos adoptado algunas de las técnicas utilizadas en interferometría SAR (Synthetic Aperture Radar), campo en el que se ha tratado con profusión este tema [4].

Tras reconstruir la fase y obtener la aberración de onda a partir de ella, únicamente nos queda desarrollarla en polinomios de Zernike, para tener una descripción cuantitativa de las aberraciones presentes en el ojo.

3. Resultados

Para validar el método, hemos analizado un grupo de 25 ojos, para cada uno de los cuales hemos construido un modelo visual personalizado y obtenido la aberración de onda tanto de la córnea como del ojo completo. A su vez, hemos simulado cada uno de estos ojos con un programa de trazado de rayos comercial (OSLO Premium) [5] y comparado las aberraciones de ondas calculadas, en uno y otro caso, obteniéndose resultados totalmente análogos.

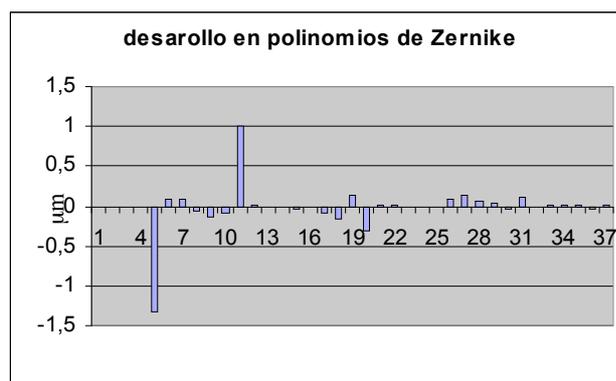


Figura 3: Coeficientes del desarrollo en polinomios de Zernike de la aberración de onda del ojo completo para uno de los sujetos estudiados.

Los resultados obtenidos son consistentes con los que aparecen en la bibliografía, obtenidos por métodos directos (doble paso, Hartmann-Shack o la técnica LRT).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto FIS 2005-05053 del ministerio de educación y ciencia.

Bibliografía

- [1] J.F. Koretz, G.H. Handelman and N.P. Brown, *Vision Res.*, **24** (175-183), 1984.
- [2] D. Mas, J. Pérez, C. Hernández, C. Vázquez, J.J. Miret and C. Illueca, *Opt. Commun.*, **227** (245-258), 2003.
- [3] J. Pérez, D. Mas, J.J. Miret, C. Vázquez, C. Hernández i C. Illueca, *J. Mod. Opt.* **52** (1161-1176), 2005.
- [4] D.C. Guiglia and M.D. Pritt, *Two-dimensional phase unwrapping: Theory, algorithm, and software*, John Wiley & Sons, New York, 1998.
- [5] OSLO[®] is a registered trademark of Lambda Research Corp.