

UN INTERFEROMETRO DE ROTACION DE FRENTE DE ONDA
CON MODULACION

S. Cuevas

Instituto de Astronomía
Universidad Nacional Autónoma de México

RESUMEN: Se propone un interferómetro de rotación de frente de onda en el cual se modula la diferencia de marcha, mediante una placa de vidrio de caras planas y paralelas vibrante. Con este interferómetro se simplifica el proceso de las imágenes que se emplea con estos métodos de alta resolución.

ABSTRACT: A modulating rotation shearing interferometer is proposed. The optical path is modulated by an oscillating glass parallel faces plate. The image processing with this interferometer is simplified.

Key words: INSTRUMENTS — INTERFEROMETRY

IRFOPP CLASICA

La interferometría de rotación de frente de onda en el plano de la pupila (IRFOPP) ha sido descrita por Roddier[1]. La reducción de los datos se hace de la forma siguiente[2]: (fig. 1)

En el detector, sobre el cual se forma la imagen de la pupila del telescopio después de pasar a través del interferómetro de rotación de frente de onda, se obtiene un "interferograma" (holograma en luz blanca), dado por:

$$I(\vec{u}) = 2I_0 \left\{ 1 + V(\vec{u}) \cos(2\pi\vec{a} \cdot \vec{u} + \varphi_0 + \varphi_{at} + \varphi_s) \right\}, \quad (1)$$

para $|\vec{u}| < \frac{D}{2\lambda}$;

donde D es el diámetro del primario del telescopio; φ_0 fase de la onda del objeto; φ_{at} fase introducida por la atmósfera (variable); φ_s fase dada por las aberraciones del telescopio; V es la función de visibilidad del objeto (la transformada de Fourier de la función de amplitud del objeto).

Lo que "ve" el detector es un conjunto de franjas, cuya visibilidad contiene información de la función de amplitud del objeto. La posición de cada franja depende de la rotación dada por el interferómetro y la inclinación de la estrella con respecto al eje, las aberraciones de la óptica y las deformaciones que, sobre el frente de onda introducen las perturbaciones atmosféricas.

Se le aplica la transformada de Fourier a (1), la cual da dos imágenes "speckle" separadas por $2\vec{a}$ en el plano (u, v) de la imagen, con un pico central dado por $2I_0 \delta$.

A cada imagen speckle se le filtra, se le normaliza y se le aplica nuevamente una transformada de Fourier.

Esta estará dada por:

$$\tilde{I}(\bar{\mu}) = V(\bar{\mu}) \exp i (\varphi_0 + \varphi_{at} + \varphi_s) ; \quad (2)$$

A cada una de estas imágenes se le multiplica por su complejo conjugado y se le puede sumar a otras imágenes del tipo (2) tomadas en otros instantes de tiempo, para aumentar la razón señal a ruido.

Se obtiene:

$$\langle |\tilde{I}(\bar{\mu})|^2 \rangle = |V(\bar{\mu})|^2 . \quad (3)$$

El segundo término es la transformada de Fourier de la función de autocorrelación del objeto. Con esta función es posible reconstruir la imagen del objeto, si se conoce la fase o si se hacen ciertas consideraciones de simetría[3,4].

IRFOPP CON MODULACION

Lo que se propone aquí es la utilización de un interferómetro de rotación de frente de onda en el cual se modula la diferencia de marcha con una señal cuadrada de amplitud $\pm 1/8$. Para cada posición extrema de la señal se toma un "interferograma" con un tiempo de exposición del orden de $1/2$ de la constante de tiempo asociada a las variaciones de la estructura de la imagen (típicamente 10 msec para $\lambda = 0.5 \mu$ m y un seeing de 1 seg. de arco)[5]. Esto hace que durante el tiempo que la atmósfera no varia se toma un interferograma dado por: (fig.2)

$$I_1(\bar{\mu}) = 2 I_0 \{ 1 + V(\bar{\mu}) \cos(2\pi \bar{\alpha} \cdot \bar{\mu} + \varphi_0 + \varphi_{at} + \varphi_s) \} \quad (4)$$

y otro interferograma para la otra posición, dado por:

$$I_2(\bar{\mu}) = 2 I_0 \{ 1 - V(\bar{\mu}) \sin(2\pi \bar{\alpha} \cdot \bar{\mu} + \varphi_0 + \varphi_{at} + \varphi_s) \} . \quad (5)$$

Se le puede quitar la señal de fondo a cada interferograma, elevar al cuadrado y restar. Se obtiene una imagen que se puede sumar a otras para aumentar la razón señal a ruido. Se obtiene:

$$\langle I^2(\bar{\mu}) \rangle = |V(\bar{\mu})|^2 . \quad (6)$$

Que es lo que se obtiene con el método clásico. Sin embargo este proceso de imágenes es mucho mas sencillo y siempre se trabaja en el espacio de Fourier correspondiente a la pupila. Se evita el cálculo de varias transformadas de Fourier. (al menos dos por cada imagen tomada con el método clásico).

REALIZACION DEL INTERFEROMETRO DE MODULACION

Una forma de modular el camino óptico es la introducción de una placa de vidrio de caras planas y paralelas. (fig.3). La diferencia de marcha está dada por[6]:

$$\delta = e (n \cos r - \cos i) , \quad (7)$$

donde i es el ángulo de incidencia de los rayos y r el de refracción.

Si se varía el ángulo de incidencia se puede cambiar :

$$\Delta \delta = e \frac{\sin(i-r)}{\cos r} \Delta i . \quad (8)$$

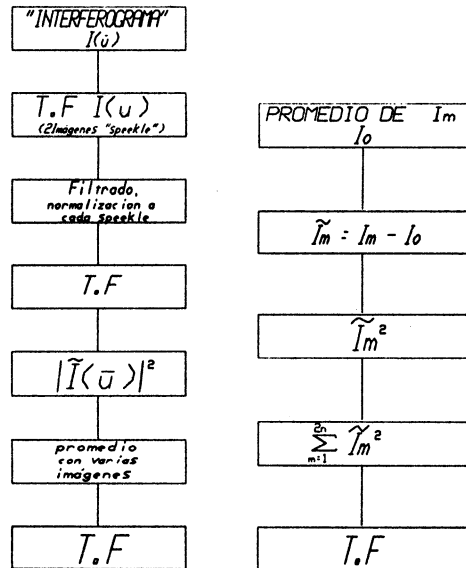


Fig. 1. Reducción de los datos.

Fig. 2. Interferograma.

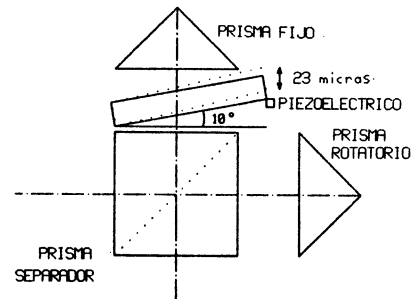


Fig. 3. Interferómetro de rotación con modulación.

Para hacer una variación de $\lambda/8$ ($\lambda/4$ al hacer una doble pasada la luz en uno de los brazos del interferómetro), si $i=10^\circ$, y para una placa de $e=6\text{mm}$ se necesita un $\Delta i=1.4E-3$ rad. Para hacer esta variación angular se debe mover un extremo de la placa (34 mm de lado) de $23.4\ \mu\text{m}$.

La placa debe de tener cierta planeidad y paralelismo, compatible con las tolerancias del interferómetro. El criterio es que un rayo que incide sobre uno de los pixeles del detector, siga incidiendo sobre el mismo cuando la placa vaya a la otra posición de la modulación. La tolerancia es que, para pixeles de $20\ \mu\text{m}$, los rayos no se desvien de mas de 6 seg. de arco.

Se puede entonces permitir un error en la planeidad y paralelismo de 1 franja, condición que, en la fabricación de la placa, da un buen taller de óptica.

Si se pide que se deba de determinar la función de visibilidad con un error no mayor del 1%, se puede calcular fácilmente el error en el posicionado de la placa. Este estará dado por:

$$\Delta V = \epsilon^2,$$

donde ϵ es el desplazamiento de la placa. Si $\Delta V < 0.01$ entonces $\epsilon < 0.1$, o sea $2.3\ \mu\text{m}$.

Ya que la placa va a permanecer 5 mseg en cada posición, es razonable que el tiempo de la transición sea de 1 mseg. La velocidad de desplazamiento del extremo de la placa sería entonces de $23.6E-3$ m/seg. Esta velocidad se podría obtener en $1E-4$ seg por ejemplo, dando una aceleración de 236 m/seg². La fuerza aplicada es de 2.4 Nt.

Un piezoeléctrico cumple fácilmente con estos requisitos.

REFERENCIAS

1. Roddier C., Roddier F., (1983), Ap. J. Letters 270, L23
2. Chelli A., Mariotti J. J., (1986), Astron. Astrophys. 157, 372
3. Labeyrie, A. (1970), Astron. Astrophys. 6, 85
4. Chelli A., (1984), Proc. IAU Collq. 79, Garching.
5. Roddier, F. (1981), Progress in Optics XIX, Ed. E. Wolf, p. 283
6. Francon M., (1966) Optical Interferometry. Ac. Press. N. York p. 88

S. Cuevas: Instituto de Astronomía. UNAM. Apdo. Postal 70-264 04510 México, D.F. México.