

OBTENCION DE INFORMACION A PARTIR DE DATOS DE INTENSIDAD EN SISTEMAS OPTICOS GENERALES (*)

R. Martínez-Herrero, P. M. Mejías (1) y M. Arenas

Cátedra de Óptica. Facultad de Ciencias Físicas. Universidad Complutense. Madrid

Inverse source problem is a rapidly advancing area of Optics. Some new recent results on this topic are presented. The possibility of the existence of partially coherent planar sources with different states of coherence that generate identical radiant intensity distributions after light goes through a general optical system is shown. The relationship that must be satisfied by the cross-spectral density functions (which characterize the sources) of all such sources has been obtained: They have the same projection (in the sense of Hilbert's spaces) over the subspace generated by the eigenfunctions of a certain linear operator associated with the optical system. Also, for coherent sources, the common characteristic of all planar objects that produce at the output plane of certain important optical systems the same intensity is explicitly shown. It has the mathematical form of certain autocorrelation function. Finally, given the intensity data on a set of points at the output plane, a method for obtaining an object that generates such intensity at the preceding points is presented.

Introducción

La determinación del objeto o fuente luminosa que ha dado lugar a una conocida distribución de intensidad en un cierto plano a la salida de un sistema óptico es lo que se conoce en Óptica como problema inverso. Las dificultades que surgen ante esta determinación pueden ser de diversas clases: a) La región accesible experimentalmente en el plano de salida es finita; b) En general, hay diferentes objetos o fuentes que producen la misma intensidad (problema de la no-unicidad); c) Incluso para sistemas ópticos elementales la resolución de la ecuación integral resultante es complicada, etc. Todo esto hace que en la práctica sea muchas veces más apropiado tratar de encontrar las características comunes de todos los objetos o fuentes que producen la misma intensidad después de atravesar un cierto sistema óptico, o también, hallar objetos que originen las distribuciones de intensidad conocidas al menos en una colección de puntos

(*) Presentada en la sesión científica del día 11 de mayo de 1983.

(1) Departamento de Electricidad y Magnetismo, U. N. E. D.

suficientemente próximos entre sí dentro de la región accesible del plano de salida. En este sentido, mostraremos brevemente en lo que sigue algunos de los principales resultados que se han obtenido hasta la fecha.

Caracterización de fuentes planas parcialmente coherentes

Hace algunos años, se demostró (Wolf, 1978) que fuentes planas cuasi-monocromáticas con diferentes estados de coherencia podían generar (mediante propagación libre) idénticas distribuciones de intensidad radiante que una fuente láser. Sin embargo, quedaba sin respuesta la misma pregunta planteada para fuentes parcialmente coherentes más generales y sistemas ópticos arbitrarios. Para responder a esta cuestión fue expresado el problema en términos de operadores lineales caracterizando a la fuente por su densidad espectral mutua y observando que la relación entre esta función en el plano de la fuente, P_1 (plano de entrada del sistema) y en el de salida, P_2 (ver figura), podía establecerse mediante la actuación de un operador integral lineal, \hat{K} , en la forma

$${}^*G = \hat{K} \text{ } ^\circ G,$$

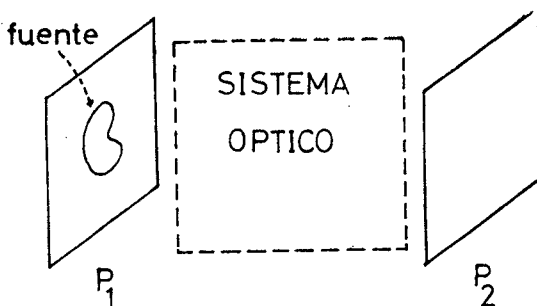


Fig. 1.—Esquema de los elementos que intervienen en el problema.

donde ${}^\circ G$ y *G denotan las densidades espectrales mutuas en P_1 y P_2 respectivamente. En forma análoga puede relacionarse la intensidad radiante designada por J , con la función ${}^\circ G$:

$$J = \hat{R} \text{ } ^\circ G,$$

donde \hat{R} es otro operador lineal. Teniendo en cuenta que el núcleo de \hat{R} es, en general, distinto de cero, puede demostrarse (Martínez-Herrero y Mejías, 1982a y 1982b) que existen fuentes planas parcialmente coherentes con diferentes estados de coherencia que dan la misma intensidad radiante después de atravesar un sistema óptico.

Utilizando técnicas de análisis funcional se ha probado asimismo que la característica común de todas estas fuentes es poseer sus densidades espectrales la misma proyección, en el sentido de espacios de Hilbert) sobre un subespacio generado por las autofunciones de un cierto operador hermítico y compacto, el cual depende únicamente del sistema óptico considerado y de la región ocupada por la fuente. Finalmente, es importante señalar también que fuentes con diferentes estados de coherencia pueden generar a la vez la misma distribución de intensidad óptica sobre el plano de salida y la misma distribución de intensidad radiante a partir de dicho plano.

Caracterización de objetos transiluminados con luz coherente

Suponiendo siempre que manejamos objetos finitos, han sido estudiados tres de los sistemas ópticos que más comúnmente aparecen en la literatura: a) Sistema óptico «transformada de Fourier», con lente infinita sin aberraciones; b) Sistema objeto-imagen, con lente infinita con aberraciones y c) Sistema objeto-imagen, con lente finita sin aberraciones. Se ha tratado de encontrar la cantidad que puede determinarse de manera única (característica común) de todos aquellos objetos que producen una cierta intensidad (dato) en el plano de salida de los sistemas anteriores. Así, después de algunas manipulaciones, se llega en los tres casos a)-c) a una expresión de la intensidad $I(x, y)$ formalmente análoga (salvo factor de proporcionalidad) a la siguiente (Arenas, 1983):

$$I(x, y) = \int_A \exp[ik p(x x_0 + y y_0)] f(x_0, y_0) dx_0 dy_0, \quad (1)$$

donde $f(x_0, y_0)$, la constante p , y la región de integración A son diferentes en cada uno de los casos a)-c). A partir de (1) se deduce que la cantidad que puede determinarse de manera única es la función $f(x_0, y_0)$, la cual posee la forma matemática de una función de autocorrelación. El significado físico de $f(x_0, y_0)$ y la información que con-

lleva acerca del objeto dependen de cual de los tres casos anteriores estemos considerando. Para obtener $f(x_0, y_0)$ a partir de la intensidad por medio de (1) debemos distinguir dos casos: i) La ecuación (1) es válida sólo en una cierta región del plano de salida (es decir, las aproximaciones efectuadas para obtener (1) son suficientemente exactas sólo en esa región). En este caso, (1) puede considerarse como una ecuación integral lineal homogénea, cuyas autofunciones son las funciones «prolate», que se resuelve mediante los métodos habituales empleados en la literatura para este tipo de ecuaciones. ii) La ecuación (1) es correcta en todo el plano de salida. Entonces al ser $f(x_0, y_0)$ una función con soporte acotado, dada la intensidad en un dominio finito (la región accesible experimentalmente) puede extenderse el conocimiento de $I(x, y)$ a todo el plano (argumento de analiticidad), con lo cual, mediante una transformación de Fourier inversa, se determina $f(x_0, y_0)$.

Mencionaremos para terminar que ha sido obtenido (Arenas, 1983) un método para calcular, a partir de los datos de intensidad en una región a la salida de ciertos sistemas ópticos, objetos que la reproduzcan en un conjunto de puntos (en el interior de la región considerada) suficientemente próximos entre sí. La distancia entre tales puntos depende, en general, de las características del sistema óptico concreto y de la longitud de onda de la radiación utilizada.

Bibliografía

- ARENAS, M. (1983). Tesina de licenciatura.
MARTÍNEZ-HERRERO, R. y MEJÍAS, P. M. (1982). *J. Opt. Soc. Am.*, **72**, 131.
MARTÍNEZ-HERRERO, R. y MEJÍAS, P. M. (1982). *J. Opt. Soc. Am.*, **72**, 765.
WOLF, E. (1978). *J. Opt. Soc. Am.*, **68**, 6.