

Estudio y Simulación del Efecto de Speckle

JAIME DÍEZ GONZÁLEZ-PARDO

Universidad de Cantabria
Fotónica

27 de enero de 2019

Resumen

Se ha simulado la obtención de un frente de onda proveniente de una fuente puntual con diferentes fases, para tratar de estudiar el fenómeno de Speckle. Para ello se ha tratado de comprobar la aproximación a la mancha de Airy para diferentes tamaños tanto de la pupila de entrada D como de las zonas con fase constante r_0 . Se han realizado tres simulaciones para $\text{fase} = 0$, $D \approx r_0$ y $D \gg r_0$. Para los dos primeros casos sí se ha podido obtener la mancha de Airy, pudiendo observar diferencias entre ambos resultados. Sin embargo en el tercer caso se ha obtenido un patrón de Speckle.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la interferometría Speckle consiste en el análisis del patrón de intensidades producidas por diferentes frentes de onda coherentes pero con diferencias de fases.

El caso más claro de este fenómeno se encuentra a la hora de tratar de observar las estrellas. Los frentes de onda esféricos emitidos por la estrella y que llegan a la Tierra en forma de frentes de onda planos de igual fase, debido a la gran distancia de la Tierra a la estrella, sufre un cambio de fase diferente en cada uno de sus puntos debido al efecto de la atmósfera en el frente de onda. Esto produce que al tratar de observar la imagen de la estrella, se obtenga el patrón de Speckle.

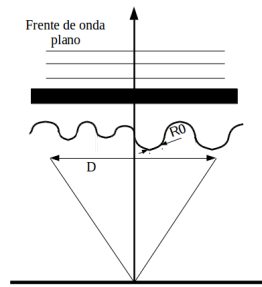


Figura 1: Esquema del sistema simulado para estudiar el efecto Speckle. En la imagen, D corresponde al tamaño de la lente o pupila del telescopio y $R0$ a la aproximación del frente de onda aleatorio en la cuál el frente de onda es constante.

Para el caso de un foco puntual, si no hubiese cambios en la fase se debería obtener la mancha de Airy. Para el efecto de Speckle se pueden obtener también diferentes aproximaciones a este patrón en función de D y r_0 :

$$\begin{aligned} D/r_0 >> 1 &\rightarrow \text{Imagen} \neq \text{Airy} \\ D/r_0 << 1 &\rightarrow \text{Imagen} = \text{Airy} \end{aligned} \quad (1)$$

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El estudio del efecto Speckle producido por diferencias en la fase del frente de onda se ha realizado mediante una simulación a partir del código [1] escrito por el alumno en el lenguaje Python.

Tanto las pupilas de entrada utilizadas como los frentes de onda se han simulado utilizando el código Espejo.py que permite determinar la forma de la pupila o el valor del frente de onda.

Para la realización de la simulación se ha partido de una matriz de tamaño 512×512 con todos los elementos tomando valor 1. Esta matriz equivaldría a la transformada de Fourier de un único punto, simulando la propagación de una fuente puntual. Para la introducción de fase aleatoria se multiplica dicha matriz por otra matriz formada por hexágonos. Cada uno de estos hexágonos presentan una fase aleatoria introducida como *tilt* y *tip* 3. De esta forma, se consigue una matriz con diferentes zonas hexagonales con fase constante y distinta para cada uno de los hexágonos. Por último, se multiplica por una matriz compuesta por 1 en el centro formando un círculo, y el resto ceros. Ésta última matriz equivaldría a la pupila de entrada. El último paso es realizar la transformada de Fourier de la matriz resultante para obtener la imagen final.

Para el estudio del Speckle, se han modificado los tamaños tanto de la pupila de la última matriz, como de las zonas de fase constante (hexágonos) de la segunda matriz.

3. RESULTADOS

Durante toda la simulación se ha utilizado un tamaño de imagen (tamaño de la matriz) cuadrado de 512×512

3.1. Fuente Puntual

Para esta primera parte se ha utilizado un tamaño de pupila grande de diámetro $D = 64$.

La primera simulación realizada ha sido sin incluir ningún tipo de fase. En la Figura 2 se muestran imágenes de la pupila utilizada (gráfica de la izquierda) y de la imagen obtenida (gráfica de la derecha).

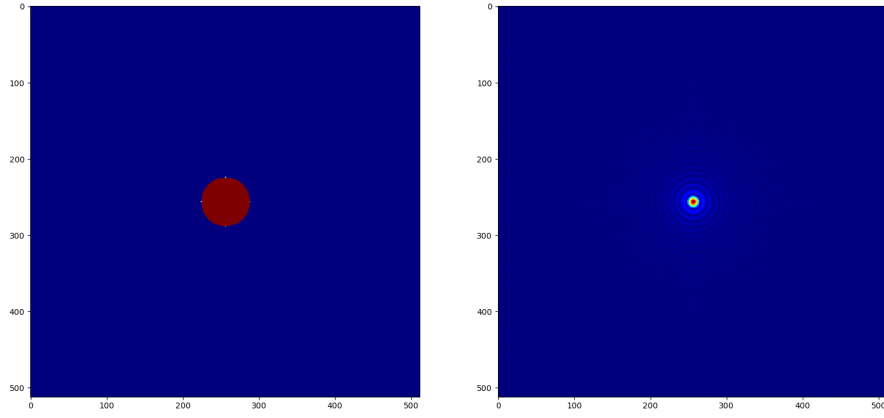


Figura 2: *Pupila de entrada utilizada sin fase (gráfica de la izquierda) y de la imagen obtenida (gráfica de la derecha).*

En la segunda simulación realizada se han introducido zonas hexagonales con una cierta fase aleatoria para inducir en el frente de onda una fase aleatoria, en este caso el tamaño de las zonas con fase constante (tamaño de los hexagonos) es el mismo que el de la pupila de entrada $r_0 = D = 128$.

En la Figura 3 se muestran imágenes de la pupila utilizada (gráfica de la izquierda) y de la imagen obtenida (gráfica de la derecha).

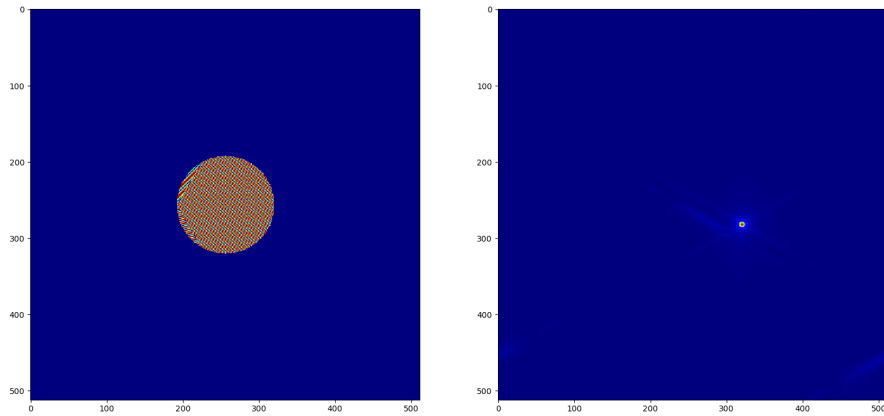


Figura 3: *Pupila de entrada utilizada con zonas con fase aleatoria y contante de tamaño $r_0 = D = 128$ (gráfica de la izquierda) y de la imagen obtenida (gráfica de la derecha).*

Por último, se han utilizado varias zonas hexagonales con fase aleatoria de tamaño menor a

D para formar el frente de onda, en este caso se han utilizado hexagonos de tamaño $r_0 = 16$ y fase aleatoria para cada una de ellas.

En la Figura 4 se muestran imágenes de la pupila de entrada utilizada (gráfica de la izquierda) y de la imagen obtenida (gráfica de la derecha).

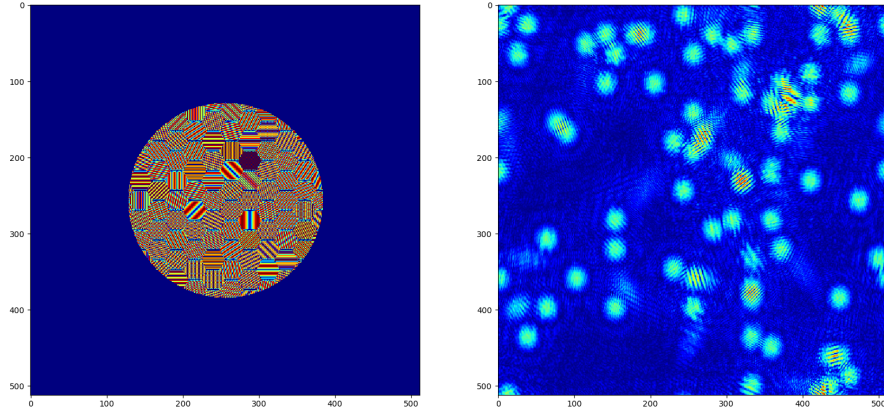


Figura 4: Pupila de entrada utilizada con zonas con fase aleatoria y constante de tamaño $r_0 = 16$ (gráfica de la izquierda) y de la imagen obtenida (gráfica de la derecha).

4. DISCUSIÓN

Se han estudiado las intensidades obtenidas a partir de frentes de onda con fases aleatorias tratando de simular los efectos de Speckle.

En la primera parte se ha estudiado este hecho considerando una fuente puntual, de la cuál se sabe que se ha de obtener la mancha de Airy. En la primera simulación no se ha modificado la fase, obteniendose la mancha de Airy como se puede ver en la figura 2.

Una vez comprobado el resultado de la mancha de Airy se ha introducido zonas con diferentes fases aleatorias. En el primer caso, se han utilizado zonas con *tilt* y *tip* constantes de tamaño aproximado al tamaño de la pupila de entrada $D \approx r_0$, obteniendo nuevamente la mancha de Airy pero desplazada del centro y con algunas intensidades diferentes como se puede observar en la figura 3. Estas pequeñas diferencias con la mancha de Airy de la primera simulación pueden ser debidas a que la forma de dichas zonas es hexagonal, por lo que en el borde de la pupila se obtendrían zonas con diferente fase (diferente *tilt* y *tip*), lo que puede originar dichas diferencias.

A continuación, se utilizaron zonas con *tilt* y *tip* constantes de tamaño mucho menor al tamaño de la pupila $D \gg r_0$. Para este caso, se ha podido observar los efectos que produce tener diferencias en la fase de un mismo frente de onda a la hora de obtener su imagen, ya que en la figura 4 en la que se muestra el resultado de la simulación, se ha perdido completamente la mancha de Airy.

Con esta primera parte se ha podido comprobar mediante simulación las aproximaciones de la ecuación 1, observando como a medida que r_0 disminuye respecto a D , se pierde la mancha de Airy.

5. CONCLUSIONES

Se ha podido estudiar el fenómeno de Speckle pudiendo comprobar mediante una simulación simple las aproximaciones y límites de este fenómeno que se muestran en la ecuación 1.

A. OBTENCIÓN DE LA PUPILA Y EL FRENTE DE ONDA

Para $(\sqrt{k^2 + j^2} = r_{k,j}) < R$:

$$Espejo_{k,j} = 1 \cdot e^{i \cdot crv \cdot r_{k,j}} \cdot e^{i \cdot (tip \cdot r_k + tilt \cdot r_j)} \quad (2)$$

Para $(\sqrt{k^2 + j^2} = r_{k,j}) = R$:

$$Espejo_{k,j} = 0,5 \cdot e^{i \cdot crv \cdot r_{k,j}} \cdot e^{i \cdot (tip \cdot r_k + tilt \cdot r_j)} \quad (3)$$

Siendo (k, j) las coordenadas (x, y) de la matriz, $r_{k,j}$ el radio de esas coordenadas respecto al centro de la matriz, R el radio del espejo, crv la curvatura, tip la inclinación respecto al eje X y $tilt$ la inclinación respecto al eje Y.

REFERENCIAS

- [1] Jaime Díez González-Pardo. Resonadorsim. <https://github.com/Jaimedgp/Last-Course-University/tree/master/Fotonica/Speckle>. Script: Main.py.