

Revisión de técnicas en holografía
incoherente en la región de Fresnel.
Aplicación a superresolución en
microscopia holográfica incoherente

Manuel Genovés

Trabajo de fin de Grado en Física

Tutelada por:
Javier García Montreal
Vicente Micó

Universitat de València, València
Septiembre 2018

Abstract

FINCH (“Fresnel INcoherent Correlation Holography”) XXX

Table of Contents

Abstract

List of figures iii

List of tables iv

1 Introducción v

1.1 Sobre la holografía, ventajas e inconvenientes v

1.2 FINCH como alternativa a la holografía clásica vi

2 Sistemas formadores de imágenes vii

2.1 Sistemas fotográficos convencionales vii

2.2 Holografía convencional viii

2.3 Sistema FINCH viii

3 Estudio por etapas de la propagación de la luz x

3.1 La luz como onda EM x

3.2 Aproximaciones para la propagación de la luz xi

3.3 Esquema operativo xi

3.4	Propagación de la fuente a la FZP	xi
3.5	Convolución con la FZP	xii
4	Simulaciones realizadas	xiii
5	Conclusion	xiv
5.1	Thesis summary	xiv
5.2	Future work	xiv
	Appendix 1: Some extra stuff	xv
	Appendix 2: Some more extra stuff	xvi
6	References	xvii

List of figures

Figure 4.1 This is an example figure . . .	pp
Figure x.x Short title of the figure . . .	pp

List of tables

Table 5.1 This is an example table . . .	pp
Table x.x Short title of the figure . . .	pp

Chapter 1

Introducción

1.1 Sobre la holografía, ventajas e inconvenientes

La holografía es una técnica fotográfica que permite codificar de forma fidedigna una escena 3D en un medio 2D (ya sea este físico o digital), conservando y permitiendo reconstruir la escena original. En la holografía tradicional ésto se consigue conservando la información de la fase, información que se pierde en la fotografía convencional, que sólo registra la intensidad.

Esquema de funcionamiento de un holograma

Para conservar información de la fase es indispensable utilizar una fuente de luz altamente coherente, lo que introduce una serie de inconvenientes frente a la fotografía tradicional:

- la necesidad de utilizar un láser convierte al proceso en inherentemente monocromático
- la alta sensibilidad del dispositivo dado su principio de operación interferométrico impone unas condiciones para la toma de imágenes que no siempre se pueden satisfacer, sobre todo en muestras que presentan movimiento (tejidos vivos, polen en agua, etc)
- la alta coherencia de la luz empleada produce efectos de difracción importantes en muestras pequeñas (microscopia holográfica)

- y por último imposibilita el uso de tinturas fluorescentes, ampliamente utilizadas en el ámbito de la biología.

1.2 FINCH como alternativa a la holografía clásica

FINCH (**F**resnel **I**ncoherent **C**orrelation **H**ologram) es un método descrito por primera vez en 2007 por Joseph Rosen y Gary Brooker que presenta frente a la holografía tradicional la ventaja de emplear luz incoherente, salvando así los inconvenientes antes mencionados. Si bien este método no permite conservar información de la fase, sí permite codificar la profundidad en el propio holograma, pudiendo reconstruirse una imagen 3D o bien una imagen 2D con un plano focal arbitrario. Al ser un proceso incoherente pueden utilizarse tinturas fluorescentes, lo que junto a su adaptabilidad a sistemas de microscopía, lo hace un candidato interesante para su uso en ramas relacionadas con la biología y la medicina.

Chapter 2

Sistemas formadores de imágenes

2.1 Sistemas fotográficos convencionales

En un sistema óptico ideal M existen un conjunto infinito de pares de planos llamados *planos conjugados*, para los que a cada punto en un plano objeto le corresponde unívocamente un punto en su plano conjugado imagen. Las figuras que conforman un plano objeto y la correspondiente figura de su plano conjugado imagen están directamente relacionadas por una transformación de escala.

Un sistema fotográfico es un sistema óptico en el que se situa un medio fotosensible (sales de plata para fotografía analógica, un CCD para fotografía digital) en un plano imagen, registrando la intensidad que llega a su correspondiente plano objeto. Variando el sistema M podemos ajustar dónde deseamos que esté el plano objeto para captarlo con fidelidad, ya que todos los planos que no sean el conjugado -fuera de foco- son registrados, pero desenfocados.

Imagen

2.2 Holografía convencional

Para registrar información de la fase -en vez de simplemente la intensidad- se registra en un medio fotosensible el patrón de interferencia producido por un haz de referencia con el haz que ilumina el objeto en cuestión. Ambos haces provienen de una fuente de luz altamente coherente -generalmente LASER- que es dividida en dos mediante un beam splitter

Esquema holografía

El patrón registrado no es inteligible por si mismo, es necesario reconstruir la imagen iluminando el holograma con -a ser posible- un haz idéntico al haz de referencia usado para producir el holograma. Si la luz usada para reconstruir el holograma no es idéntica a dicho haz de referencia se pierde exactitud en la reproducción.

2.3 Sistema FINCH

El sistema FINCH busca generar un patrón holográfico como el anterior pero sin el uso de láseres en el proceso. Para ello, en FINCH a cada punto del objeto le corresponde la proyección de una placa zonal de Fresnel (FZP o placa zonal en adelante) en el plano imagen. Una placa zonal es una figura descrita por una fórmula del tipo

$$\frac{1 \pm \cos kr^2}{2}$$

donde k es una constante y r es la distancia desde el centro de la placa a un punto dado. De esta manera, la posición de la FZP proyectada en el plano imagen determina la posición transversal del punto objeto, y la escala de la FZP, su posición axial:

Imagen funcionamiento FINCH

Como en la holografía, y a diferencia de la fotografía convencional, donde el medio de registro proporciona directamente la imagen (o un negativo en fotografía analógica), para FINCH es necesario realizar una reconstrucción (de nuevo, analógica o digital) para recuperar la imagen deseada:

Imagen FINCH y su reconstrucción en un plano concreto

Chapter 3

Estudio por etapas de la propagación de la luz

3.1 La luz como onda EM

La luz es una onda electromagnética, y se propaga como tal. Viene descrita por las ecuaciones de Maxwell:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

De estas ecuaciones se pueden deducir las ecuaciones de ondas de un campo EM:

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \quad \nabla^2 \vec{B} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = 0$$

Según la complejidad del campo inicial a propagar es conveniente usar difer-

entes métodos y aproximaciones

3.2 Aproximaciones para la propagación de la luz

A desarrollar: Rayleigh-Sommerfeld Fraunhofer Diffraction

$$U(x, y, z) = \frac{-i}{\lambda} \int U(x', y', 0) \frac{z}{l^2} \exp(ikl) \partial x' \partial y'$$

Angular Spectrum method Conveniencia del uso de transformadas discretas rápidas de Fourier en nuestro usecase

3.3 Esquema operativo

Las simulaciones realizadas han seguido el siguiente esquema general:

Esquema

Se han considerado muestras bidimensionales y tridimensionales emisoras de luz, propagando la luz emitida por esas muestras hasta la FZP, y volviendo a propagar desde la FZP hasta el objetivo geoméricamente y mediante la FFT mencionada.

3.4 Propagación de la fuente a la FZP

Tenemos una serie de fuentes puntuales e incoherentes entre sí. Cada fuente puntual es una fuente esférica:

$$u(r) = \frac{A}{r} e^{\pm ikr}$$

3.5 Convolución con la FZP

La FZP utilizada fue definida como

$$real \left[\exp \left(-i \frac{\pi}{a} (x^2 + y^2) \right) \right]$$

Chapter 4

Simulaciones realizadas

1 punto

2 puntos en el plano; resolución

2 puntos en profundidad

3 puntos

línea

espiral

Chapter 5

Conclusion

5.1 Thesis summary

In summary, pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Nunc eleifend, ex a luctus porttitor, felis ex suscipit tellus, ut sollicitudin sapien purus in libero. Nulla blandit eget urna vel tempus. Praesent fringilla dui sapien, sit amet egestas leo sollicitudin at.

5.2 Future work

There are several potential directions for extending this thesis. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Aliquam gravida ipsum at tempor tincidunt. Aliquam ligula nisl, blandit et dui eu, eleifend tempus nibh. Nullam eleifend sapien eget ante hendrerit commodo. Pellentesque pharetra erat sit amet dapibus scelerisque.

Vestibulum suscipit tellus risus, faucibus vulputate orci lobortis eget. Nunc varius sem nisi. Nunc tempor magna sapien, euismod blandit elit pharetra sed. In dapibus magna convallis lectus sodales, a consequat sem euismod. Curabitur in interdum purus. Integer ultrices laoreet aliquet. Nulla vel dapibus urna. Nunc efficitur erat ac nisi auctor sodales.

Appendix 1: Some extra stuff

Add appendix 1 here. Vivamus hendrerit rhoncus interdum. Sed ullamcorper et augue at porta. Suspendisse facilisis imperdiet urna, eu pellentesque purus suscipit in. Integer dignissim mattis ex aliquam blandit. Curabitur lobortis quam varius turpis ultrices egestas.

Appendix 2: Some more extra stuff

Add appendix 2 here. Aliquam rhoncus mauris ac neque imperdiet, in mattis eros aliquam. Etiam sed massa et risus posuere rutrum vel et mauris. Integer id mauris sed arcu venenatis finibus. Etiam nec hendrerit purus, sed cursus nunc. Pellentesque ac luctus magna. Aenean non posuere enim, nec hendrerit lacus. Etiam lacinia facilisis tempor. Aenean dictum nunc id felis rhoncus aliquam.

Chapter 6

References