

17/11/2021

Efecto de aberraciones

Se puede pensar en una aberración como un objeto en la posición de una lente que introduce una fase.

W : diferencia de camino óptico al sistema sin aberraciones.

La pupila con el frente de onda modificado es

$$P(x, y) = P(x, y)e^{ikW(x, y)}$$

Así:

$$h(u, v) = \mathcal{F}\{P(x, y)\}, \quad H(f_x, f_y) \rightarrow P(\lambda z_i f_x, \lambda z_i f_y) \text{ y también } H(f_x, f_y) \rightarrow \mathcal{F}\{|h|^2\}.$$

- Modificación de la OTF por efecto del corrimiento del foco.

La fase esférica introducida será $\phi(x, y) = \frac{\pi}{\lambda z_a}(x^2 + y^2)$, con $z_a \neq z_i$, de manera que

$$kW(x, y) = -\frac{\pi}{\lambda z_a}(x^2 + y^2) + \frac{\pi}{\lambda z_i}(x^2 + y^2).$$

Con esta aberración puede ocurrir

- La OTF puede tomar valores negativos dependiendo de la frecuencia espacial.

- Se reduce el ancho de banda efectivo

- Cuando la desviación es extrema, h tiende a la proyección geométrica de la abertura.

- Apodización: eliminación de los lóbulos laterales de la respuesta al impulso.

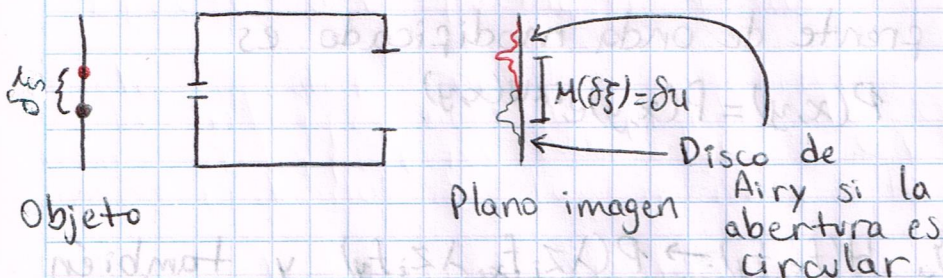
$PSF = |h|$ es el point-spread function.

Sirve para reducir el peso de las frecuencias altas y destacar las frecuencias bajas. Aunque si se reducen las frecuencias bajas lo importante es reducir en mayor medida las frecuencias altas.

La apodización inversa, al contrario, privilegia las frecuencias altas

Comparación entre sistemas incoherentes y coherentes

- Criterio de la resolución de dos puntos



Como se afecte la imagen dependerá de si los puntos son coherentes o incoherentes.

Si son coherentes tengo que sumar en amplitud y si son incoherentes tengo que sumar en la intensidad

Coherente $I = |h_1 + h_2|^2$, incoherente: $I = |h_1|^2 + |h_2|^2$

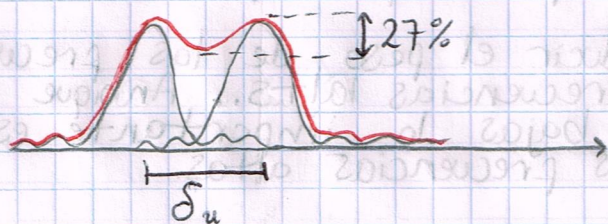
→ El caso incoherente: la distancia mínima para que yo siga observando máximos será el primer cero del disco de Airy (i.e. el cero primero del disco de Airy de un punto debe de coincidir con el máximo del disco de Airy del otro punto).

$$\Rightarrow f^* \approx \frac{3.83}{\pi w} \rightarrow u^* = \frac{3.83 \lambda z_i}{\pi w}, \text{ con } w \text{ el radio}$$

de la abertura circular, esta u^* es la mínima requerida

$$\therefore \delta_u \approx 1.22 \lambda z_i / w.$$

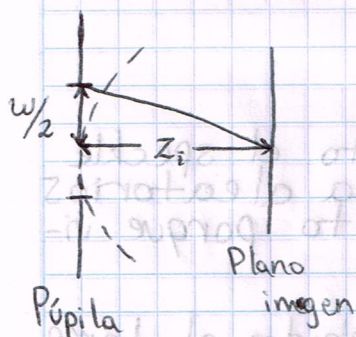
Esto se conoce como criterio de Rayleigh, donde el máximo y el mínimo local del valle es de un 27%



Al cociente $z_i/w := F^\#$ se le conoce como el número F de un sistema óptico. Es la forma en la que se caracteriza la resolución de un sistema óptico.

En un medio con un índice de refracción n se tiene

$$\delta_u = 1.22 \frac{\lambda_0}{n} \frac{z_i}{w}$$



Para un sistema paraxial $\sin \theta \approx \frac{w}{2} / z_i$,

mientras que para un sistema no paraxial se utiliza el criterio de Abbe, donde de la pupila se define sobre una esfera de radio z_i , en lugar de sobre un plano. En este caso

$$\sin \theta = \frac{w}{2} / z_i,$$

de forma exacta y no aproximada; con esto

$$\delta_u = \frac{1.22}{2} \frac{\lambda_0}{NA},$$

con $NA = n \sin \theta$, la apertura numérica. NA se suele usar más en microscopía y $F^\#$ en fotografía y telescopios.

→ El caso coherente: como son coherentes, entonces existe una fase relativa tal que

$I = |h_1 + h_2|^2 = |h(u - \delta_u/2) + e^{i\phi} h(u + \delta_u/2)|^2$, la resolución del sistema dependerá de la fase relativa ϕ . Una fase $\phi = 0$ genera interferencia constructiva en el solapamiento, como resultado no se puede resolver.

Con $\phi = \pi/2$ no interfieren y por ello se obtiene una gráfica parecida al caso incoherente (con 27%). Para $\phi = \pi$ se obtiene máximo contraste debido a la interferencia destructiva. Los máximos para $\phi = \pi$ ya no estarán donde los puntos, pero será máximo contraste (máxima resolución).

• Definición de un borde abrupto

Por ejemplo, un objeto con $t_a(\xi, \eta) = 0$ si $\xi < r$ y

$t_A(\xi, \eta) = 1$ si $\xi \geq r$. En este caso, la intensidad debida a luz coherente genera máximos y mínimos (oscilaciones) alrededor del borde; la luz incoherente genera un borde difuso con una intensidad de $1/2$ del máximo justo en el borde. Para la luz coherente el borde está en $1/4$ de la intensidad máxima.

• Efecto del speckle (moteado)

Suele suceder con luz coherente, justo el speckle es la interferencia de frentes de onda aleatorios y que interfieren. No solemos ver esto porque vivimos rodeados de luz incoherente.

Esto suele aparecer en microscopia, debido al tamaño de muestras la luz suele considerarse coherente.

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta x}{x}$$

con $\Delta \lambda = \lambda$ es necesario la apertura numérica. Δx se suele usar más en microscopia y en fotografía y $\Delta \lambda$ en óptica.

→ El caso coherente: como son coherentes entonces existe una fase relativa tal que

$$I = |W_1 + W_2|^2 = |W_1|^2 + |W_2|^2 + 2|W_1||W_2|\cos(\phi_1 - \phi_2)$$

del sistema dependiente de la fase relativa ϕ . Un $\phi = 0$ genera interferencia constructiva en el $\phi = \pi$ genera interferencia destructiva. Los máximos por $\phi = 0$ y los mínimos por $\phi = \pi$ como resultado no se puede resolver.

con $\phi = 0$ no interfieren y por ello se obtiene una difracción por el caso incoherente (con $\phi = \pi$). No se obtiene máxima contraste debido a la interferencia destructiva. Los máximos por $\phi = 0$ y los mínimos por $\phi = \pi$ como resultado no se puede resolver (máxima resolución).

• Definición de un borde abrupto

Por ejemplo un objeto con $t_A(\xi, \eta) = 0$ si $\xi < r$ y