

FUNCIÓN DE MODULACIÓN DE TRANSFERENCIA

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, EEUU

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, EEUU

ESTE CAPÍTULO INCLUIRÁ UNA REVISIÓN DE

- Función de modulación de transferencia (MTF)

FUNCIÓN DE MODULACIÓN DE TRANSFERENCIA (MTF)

Como todas las imágenes pueden formarse a partir de ondas sinusoidales y todos los sistemas ópticos al igual que nuestro sistema neurovisual procesan las imágenes mediante la transformación de Fourier, una buena forma para evaluar el desempeño tanto óptico como visual es empleando la medición de ondas sinusoidales.

Todos los sistemas ópticos, incluyendo el ojo humano, no crean imágenes perfectas. Se puede decir que un sistema óptico transfiere la distribución lumínica del objeto a la imagen, pero en el proceso, siempre se pierde algo. Incluso en un ojo que este perfectamente corregido y libre de defectos refractivos esféricos y astigmáticos, los efectos ópticos como la **difracción**, **aberraciones de alto orden** y algo de **dispersión** de la luz degradan la imagen en algún grado. Comparado con el objeto, incluso la mejor imagen que se logre tendrá siempre menos contraste. El grado de pérdida de contraste varía dependiendo de la frecuencia espacial de la onda sinusoidal en la imagen. Es decir, las imágenes con frecuencias espaciales altas tienden a perder más contraste que aquellas con bajas frecuencias espaciales. Una forma para caracterizar el desempeño de una sistema óptico es describir qué tanto contraste se pierde a lo largo de un rango de ondas sinusoidales con diferentes frecuencias.

Esto puede hacerse de la siguiente manera, como se ilustra en Schwartz, 2004 Fig. 7-6. Si un patrón de test sinusoidal se antepone a un sistema óptico, la imagen seguirá siendo **un patrón sinusoidal con la misma frecuencia espacial**, pero con un contraste levemente disminuido. Algunas veces el contraste se conoce con el término de modulación. La reducción en el contraste varía con la frecuencia espacial y generalmente hay una mayor pérdida para frecuencias más altas. Nos interesa medir que tan bien se transfiere el contraste (o modulación) de un objeto a una imagen para cada frecuencia.

Se puede formular el mismo concepto de otra manera. Una forma de evaluar el desempeño óptico de, por ejemplo, una cámara, es viendo que tan buenas son sus imágenes con respecto a los objetos reales. Una muy buena cámara producirá imágenes muy claras que se vean casi idénticas al objeto, pero cámaras baratas producirán una fotografía de menor calidad que será menos definida (más borrosa)

Los ingenieros son más sistemáticos y emplean patrones de alto contraste. Comparando el patrón de prueba (el objeto) y su imagen, pueden determinar qué tan bien se transfiere el contraste de un objeto a una imagen por el sistema óptico. El patrón del test cubre un amplio rango de frecuencias espaciales y les permite ver qué tan bueno es el sistema óptico. La figura 13-1 muestra un ejemplo de un patrón empleado por la fuerza área de los Estados Unidos. Note que este patrón particular no emplea medidas de ondas sinusoidales, sino, medidas de ondas cuadrangulares

FUNCIÓN DE MODULACIÓN DE TRANSFERENCIA (MTF) (CONT.)

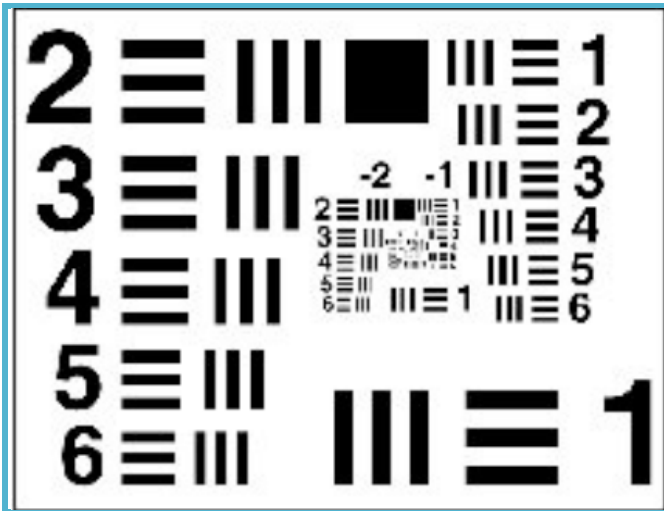


Figura 13-1: Patrón del test USAF 1951

Q. ¿En qué sería diferente la apariencia de una medición sinusoidal con la cartilla que se muestra en la figura 13.1?

A. _____

Q. Escriba dos ventajas de emplear una rejilla de onda sinusoidal como patrón del test.

A. _____

La **función de modulación de transferencia (MTF)** es una manera estándar de describir el desempeño de un sistema óptico y está basado en el principio de evaluación del sistema óptico usando una rejilla sinusoidal. Para medir el MTD, muchas rejillas sinusoidales de alto contraste se anteponen al sistema y el contraste de la imagen se compara con el contraste del patrón. Para cada frecuencia espacial, **la modulación (o contraste) transferida (MT)** de un objeto a una imagen se calcula con la siguiente ecuación:

$$MT = \frac{(\text{imagen} _ \text{contraste})}{(\text{objeto} _ \text{contraste})}$$

Un valor de 1.0 indica que el contraste de la imagen es igual al encontrado en el objeto, es decir, no hay pérdida del contraste y para esa frecuencia la imagen es perfecta. Si, por ejemplo, se evalúa el MT usando un set de rejillas sinusoidales verticales de varias frecuencias espaciales, como generalmente se hace, se puede graficar el la MTF, con una frecuencia espacial a lo largo del eje x y la modulación transferida a lo largo del eje y (Fig 13-2)

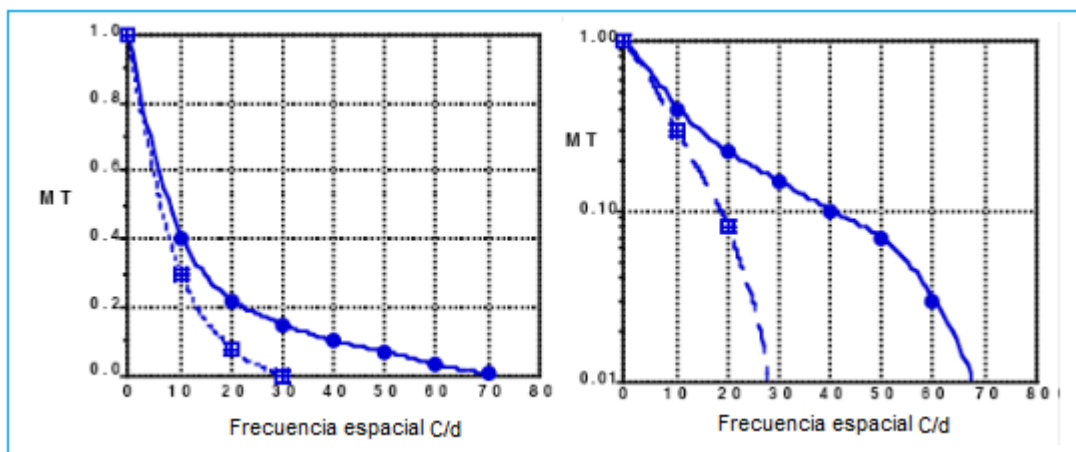


Figura 13-2: Ejemplos de MTF dibujados con una línea (izq) y escala log para el MT.

FUNCIÓN DE MODULACIÓN DE TRANSFERENCIA (MTF) (CONT.)

La figura 13-3 también ilustra el concepto del desempeño óptico en términos de la MTF. En esa figura, el objeto en frente del ojo tiene diferentes frecuencias espaciales (líneas con diferente grosor), por tanto se puede ver como la pérdida del contraste en la imagen es diferente para diferentes partes de la imagen. Observe las siguientes características tanto de la Fig 13-2 como de la 13-3:

No hay una pérdida de contraste significativo para la frecuencia espacial más baja. Es decir, que el MT tiene un valor de 1.0 hacia la izquierda de la curva.

- A medida que aumenta la frecuencia espacial, existe una caída gradual del valor MT
- La **frecuencia de corte** es aquella en la que el MTF cae a cero.

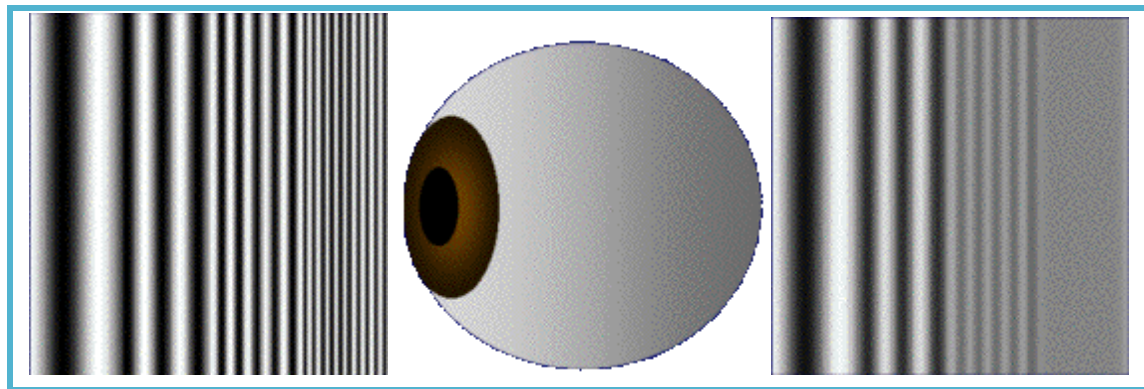


Figura 13-3: La función de modulación de transferencia describe el desempeño óptico en términos de que tan bien se transfiere el contraste de un objeto (izq) a la imagen (derecha). Note la pérdida en el contraste de la imagen comparándola con el objeto. ¿Qué frecuencias espaciales muestran la mayor pérdida en el contraste? (Cortesía de Dr. Susana Marcos, Instituto de Optica, Madrid, Spain)

La fig 7-7 de Schwartz, 2004 muestra otros ejemplos de MTFs y su efecto en diferentes defectos ópticos que afectan la calidad de la imagen

- **Desenfoque**, Degrada el desempeño óptico y emborrona la imagen, reduce el MTF al máximo, pero no, disminuye las frecuencias espaciales. A mayor desenfoque, la frecuencia de corte se dará más rápido y la curva cambiará. la izquierda y abajo. Los defectos refractivos generan desenfoque. El desenfoque elimina las frecuencias espaciales de la imagen, por tanto actúa como un filtro que elimina las frecuencias espaciales altas. Puede pensarse como un **filtro de paso bajo**.
- **Dispersión** Reduce la MTF en los medios ópticos tanto a bajas como a altas frecuencias espaciales. Las cataratas generan dispersión.

RESUMEN

La función de modulación de transferencia (MTF) nos dice que tan bien se forman las imágenes de un sistema óptico. Cómo las rejillas de ondas sinusoidales son componentes fundamentales de todas las imágenes, la MTF puede caracterizar completamente el desempeño de un sistema evaluando qué tan bien forma las imágenes de rejillas sinusoidales.

En general, el emborronamiento óptico, igual que un defecto refractivo no corregido, reduce la MTF a altas frecuencias y genera una **frecuencia de corte** menor. Por otro lado, las opacidades de los medios refringentes que dispersan la luz del ojo tienen a reducir la MTF en un rango mayor de frecuencias espaciales, incluyendo frecuencias espaciales medias y bajas.

LECTURAS SELECCIONADAS/REFERENCES

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004