



FILTRADO ESPACIAL: INTRODUCCIÓN A LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, EEUU

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, EEUU

ESTE CAPÍTULO INCLUIRÁ UNA REVISIÓN DE:

- Filtrado espacial
- Sensibilidad al contraste

REVISIÓN

Q. ¿Qué información está contenida en el espectro de frecuencias espaciales (transformación de fourier) de una imagen?

A. _____

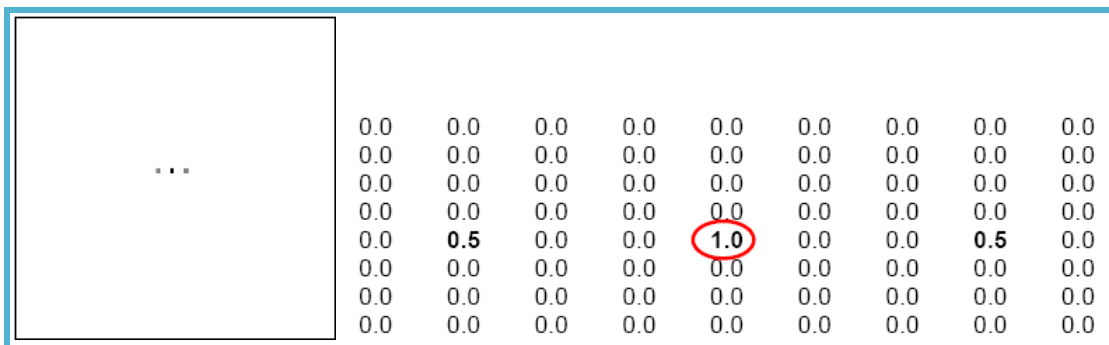


Figura 14-1: Escala de grises obtenida de la información contenida en el espectro de frecuencias espaciales de una imagen, con una muestra de números del centro de los datos.

REVISIÓN (CONT.)

Q. ¿Qué le aportan las frecuencias espaciales bajas a una imagen?

A. _____

Q. ¿Qué le aportan las frecuencias espaciales altas a una imagen?

A. _____

Q. ¿Qué es el filtrado espacial?

A. _____

Q. ¿Cómo se vería una imagen si las frecuencias espaciales altas fueran filtradas?

A. _____

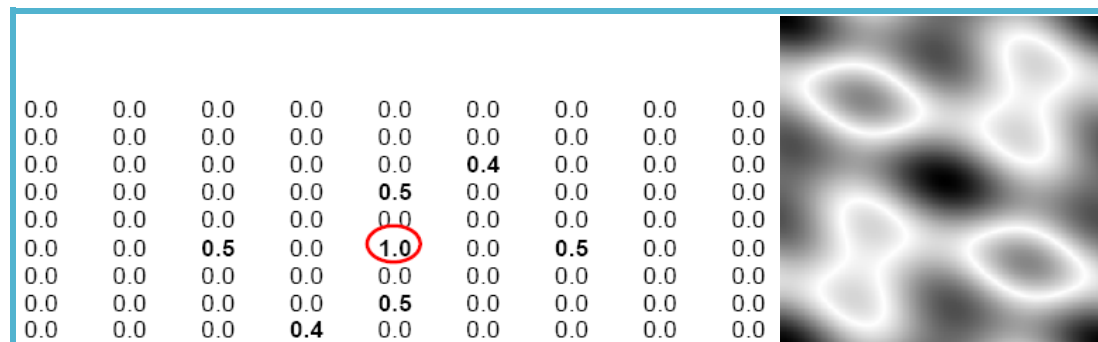


Figura 14-2: Empezando con el espectro de frecuencia espacial (valor medio mostrado a la izquierda), se puede calcular su inverso, Transformación de Fourier, para crear la imagen a la derecha

Es posible calcular la transformación de Fourier para cualquier imagen, lo que nos brinda el espectro de frecuencia espacial de la misma. Dos sets de información, la imagen espacial y su espectro de frecuencia espacial, son una pareja que se une por los procesos matemáticos de la transformación de Fourier. La figura 14.3 muestra un ejemplo de una imagen espacial y su espectro de frecuencia espacial.



Figura 14-3: Ejemplo de una imagen espacial (L) y una escala de grises graficada de su espectro de frecuencia espacial (R)

REVISIÓN(CONT.)

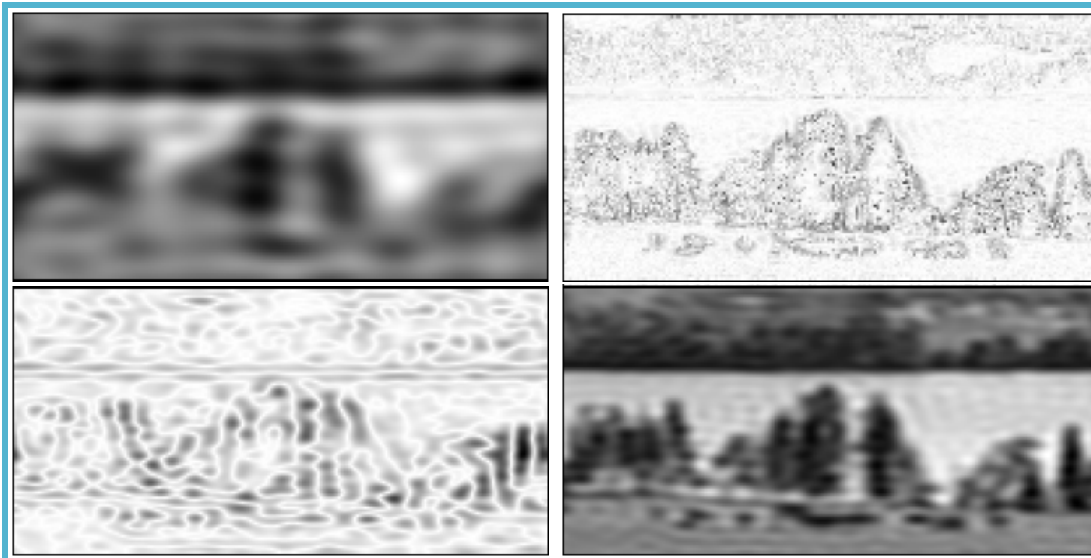


Figura 14-4: Iniciando con el espectro de frecuencia espacial (valor medio mostrado a la izquierda), se puede calcular su inverso, la transformación de Fourier, para crear la imagen a la derecha

muestra cuatro imágenes que son versiones filtradas espacialmente de la imagen que se muestra en la figura 14.3

Q. ¿ Puede identificar que tipo de filtrado se realizó en cada imagen?

FILTRADO ESPACIAL

Una aplicación de la transformación de Fourier y del filtrado espacial se ilustra en la figura 14.5, más adelante. La imagen de la izquierda muestra una fila de información de Shack-Hartmann. Un aberrómetro de Shack-Hartmann proyecta un diminuto rayo de luz al ojo y luego mide la luz que se refleja del mismo. El rayo reflejado pasa a través de una rejilla de lentes positivos que rompen el rayo en rayos más pequeños. La luz de cada rayo se enfoca en un punto, por tanto la imagen se ve como una rejilla circular de puntos sobre un fondo negro. Con el fin de calcular las aberraciones ópticas del ojo, se debe analizar la localización de cada uno de esos puntos. El análisis, por tanto, requiere que localicemos la posición de cada punto, pero algunos especialmente los que están cerca al borde, son más opacos y mas difíciles de ver.

Q. Basándose en lo que ya ha aprendido en este módulo, ¿ por qué se ven más opacos los puntos cerca del borde pupilar ?

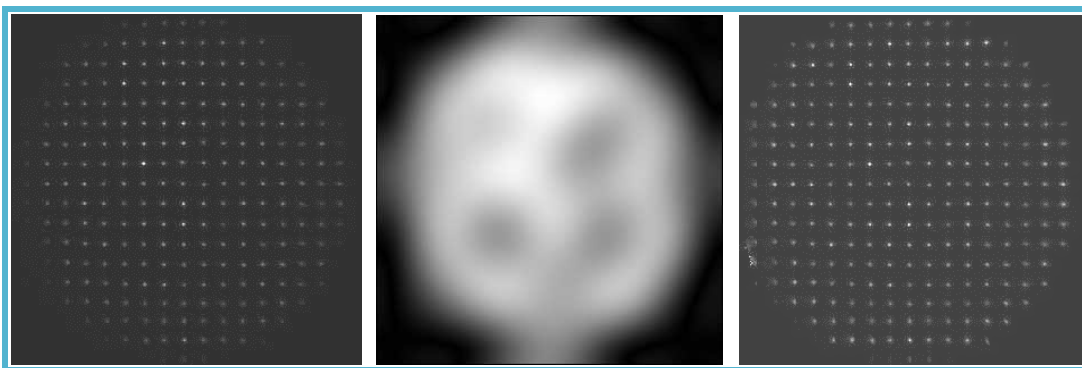


Figura 14-5: La información inicial (Izq) fue dividida por una versión filtrada con un filtro de bajo paso de la misma (medio), para igualar el brillo de los puntos. El resultado (derecha) muestra puntos más brillantes y uniformes

Con el fin de mejorar el análisis de Shack-Hartmann a lo largo de la pupila, los puntos periféricos necesitan ser más brillantes. Para lograrlo, se llevan a cabo los siguientes procesos:

- Imagen inicial con su análisis de Fourier (Imagen de la izquierda, Fig. 14-5)
- Filtrado de bajo paso del espectro (se elimina todo excepto la frecuencia espacial más baja)
- Se calcula el inverso de la transformación de Fourier. Esto genera una variación gradual en el brillo de la imagen que hace que algunos puntos en la imagen original se vean menos brillantes que otros.
- Se dividen los valores en la imagen original (izq) por la imagen de filtrado de bajo paso (medio) para producir una imagen corregida (derecha). Note que el brillo de los puntos es más uniforme. Eso facilita el análisis de la localización de los puntos en la pupila periférica.

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

La imagen retiniana es producida por el sistema óptico del ojo (córnea y cristalino), pero, ésta es tan solo la primera parte del procesamiento visual. De la retina al cerebro, la imagen retiniana se transforma en impulsos eléctricos que se procesan neurológicamente. Note que la visión depende de dos procesos:

- Sistema óptico del ojo
- Procesamiento neural de la imagen

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE (CONT.)

La MTF caracteriza la primera parte del sistema – el proceso óptico.

Diga el significado de la MTF.

A. _____

Q. Describa cómo se vería una gráfica de la MTF.

A. _____

Cuando se evalúa subjetivamente la visión de una persona, se evalúa el producto de el procesamiento óptico y neural de una imagen. Al igual que se evalúa el procesamiento óptico, la mejor forma de evaluar el desempeño óptico es indagando qué tan bien ve una persona un enrejado sinusoidal a lo largo de un rango de frecuencias espaciales.

Esto puede evaluarse de la siguiente manera:

- Seleccione una frecuencia espacial, por ejemplo, 1 ciclo por grado (c/d)
- Varíe el contraste para determinar **el umbral de contraste** en el que el paciente apenas logre identificar las rayas. Se usa el contraste de Michelson, por tanto el umbral de contraste tendrá algún valor entre 1.0 y 0
 - Calcule el inverso del umbral de contraste para obtener **la sensibilidad al contraste**. Cuando el umbral es bajo, la sensibilidad es alta. Esto indica que, para la frecuencia espacial utilizada, la visión del paciente es buena, porque es capaz de ver las rayas, incluso cuando tienen bajo contraste.
- Repita el mismo procedimiento para otras frecuencias espaciales. La **frecuencia de corte** para el ojo humano normal generalmente es de alrededor de 40-60 c/d
- Grafique la sensibilidad (eje y) como una función de frecuencia espacial (eje x). **Esta es la función de sensibilidad al contraste (CSF)**

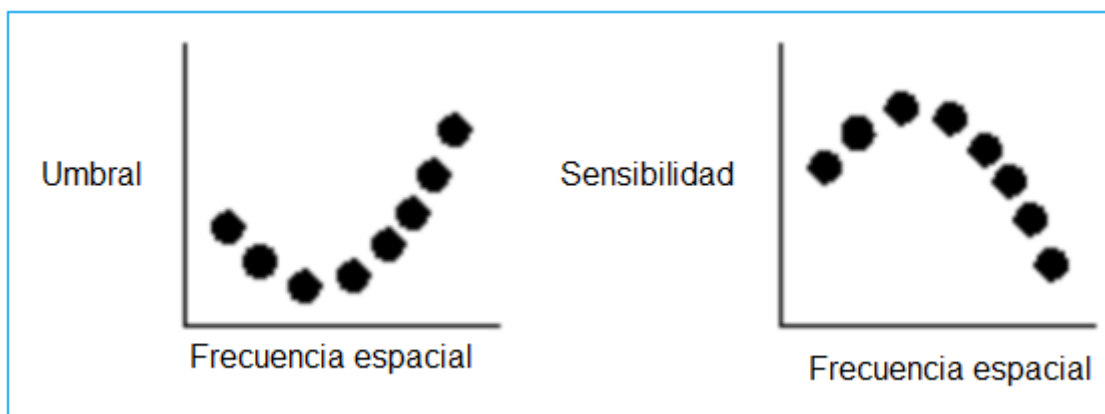


Figura 14-6: La CSF se determina midiendo inicialmente el umbral como una función de frecuencia espacial y luego sacando su inverso

Aunque existen muchas similitudes entre MTF y CSF, hay varias diferencias importantes a tener en cuenta:

- El MTF describe el desempeño óptico; La CSF incluye el efecto combinado del sistema óptico y el procesamiento neural de todo el sistema visual. En otras palabras, el MTF describe el sistema óptico, la CSF describe la visión.
- El MTF puede usarse para describir cualquier sistema óptico; por ejemplo, el MTF de una cámara o lente. El CSF se utiliza para el sistema visual.
- El MTF muestra qué tan bien se transfiere el contraste de una imagen a diferentes frecuencias espaciales por parte del sistema óptico. La CSF muestra qué tan bien ve el sistema visual el contraste a diferentes frecuencias espaciales.

SENSIBILIDAD AL CONTRASTE (CONT.)

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA CSF HUMANA

La Fig. 7-8 Schwartz, 2004, muestra una CSF humana típica. Note que se grafica en ejes log-log. También fíjese en las etiquetas de los ejes. La función de sensibilidad al contraste normal tiene las siguientes características:

- Una leve disminución en la sensibilidad a bajas frecuencias espaciales. Note que esto es diferente al MTF.
- Un pico de sensibilidad cerca a 4 c/d
- Un declive a cero a frecuencias espaciales altas. La frecuencia en la que cae a cero es la frecuencia espacial más alta que el ojo puede resolver y se conoce con el nombre de **frecuencia de corte**, o límite de resolución espacial.
- Para una persona con buena visión, el punto de corte de alta frecuencia es de 40 -60 c/d aproximadamente.

Al igual que con el MTF, existen ventajas al usar enrejados sinusoidales para medir la sensibilidad al contraste. Sin embargo, también puede medirse la sensibilidad al contraste usando enrejados de onda cuadrada o letras. Para hacerlo, primero debe seleccionarse el enrejado (o la letra) de un tamaño particular (una frecuencia espacial) y variar el contraste para determinar el umbral. Re-mida el umbral de contraste con patrones que tengan diferentes tamaños; por ejemplo, rayas grandes y pequeñas o letras grandes y pequeñas. El inverso del umbral de contraste es la sensibilidad al contraste. Graficar la sensibilidad como una función de frecuencia espacial evalúa la CSF (Fig 14.6)

Una ventaja de usar enrejados sinusoidales al medir la sensibilidad al contraste es que contiene una sola frecuencia espacial.

Si los enrejados sinusoidales cuadrados o letras se usan para medir la sensibilidad al contraste, el objeto tendrá múltiples frecuencias espaciales (Fig 14.7). La figura 7-5 en Schwartz muestra los componentes de la frecuencia espacial de un enrejado de onda cuadrada y muestra como esa onda cuadrada esta conformada de muchas frecuencias espaciales: **Una frecuencia fundamental** y armónicos más altos que son múltiplos impares (3, 5, 7...) de la fundamental.

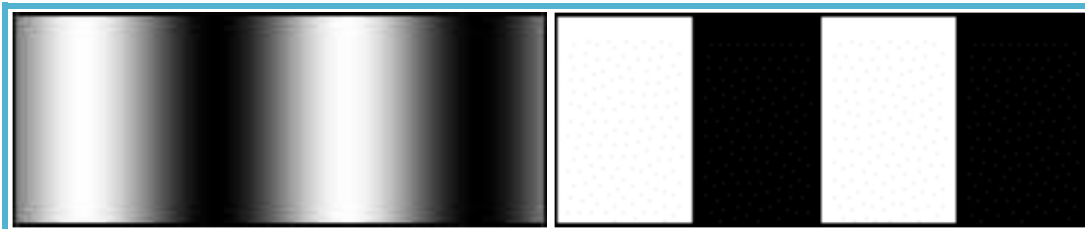


Figura 14-7: Dos tipos de patrones; ambos contienen dos ciclos. El patrón de la izquierda está conformado de ondas sinusoidales orientadas verticalmente. El patrón de la derecha también tiene dos ciclos, pero se basa en una función de onda cuadrada.

LECTURAS SELECCIONADAS/REFERENCIAS

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