

Procesamiento Digital de Imágenes

Práctica 1

“MTF del ojo humano”

Sergio Alvarado Ramos
Posgrado de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México
Email: sergioar98@hotmail.com

Mariana Rodríguez
Posgrado de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, México
Email: mariana.rodriguez.c@comunidad.unam.mx

Resumen—Se desarrollaron experimentos para determinar la máxima frecuencia que logra percibir el ojo humano. Para lograrlo primero se plantearon algunas ecuaciones para lograr visualizar la imagen de interés, después se realizaron experimentos a diferentes distancias para observar en que píxel se visualizaba la frecuencia máxima y finalmente realizando los cálculos correspondientes se determinó la frecuencia de interés.

I. OBJETIVOS

- Encontrar la MTF del ojo experimentalmente
- Encontrar la frecuencia de máxima sensibilidad del ojo humano

II. INTRODUCCIÓN

El análisis de Fourier, se implementa para analizar las señales que nos rodean. Desde señales analógicas como digitales, es común encontrarlo en análisis de audio, sin embargo, las imágenes son señales analógicas y por lo tanto pueden ser analizadas con Fourier, conocida como óptica de Fourier. Como sabemos, nuestros sentidos perciben logarítmicamente el entorno, desde el sonido hasta las imágenes.

Para entender la forma en la que funciona nuestra visión, hay que entender muchos aspectos fisiológicos y neurológicos. Para cada persona estos parámetros cambian muchísimo, sin embargo, en el trabajo aquí propuesto, buscamos detectar la sensibilidad de contraste sin la necesidad de que aspectos como los neurológicos o físicos afecten el resultado.

Todo sistema de visión creado por el humano es analizado por la Función de Sensibilidad al Contraste, función que ignora el tamaño de un objeto y se centra en cuantas características de éste puede detectar, estas características son reveladas a través del contraste. Para obtener la Función de Sensibilidad al Contraste del ojo humano, sin considerar la parte fisiológica, única de cada persona, se utiliza la Función de Modulación de Transferencia.

En el trabajo aquí presentado, es este parámetro conocido

como MTF, el que analizaremos y comprobaremos de manera experimental por medio de la herramienta de código MATLAB. Este experimento consiste en realizar una imagen con altos niveles de contraste. Una imagen que represente columnas verticales en blanco y negro. La frecuencia espacial se define por cuantas variaciones de columnas entran por ciclo/grado. La frecuencia espacial se va aumentando en la imagen, además de tener un barrido de frecuencias espaciales, se agrega el factor luminosidad al variar al atenuar nuestra imagen.

III. DESARROLLO

1. Realizar el cálculo necesario para obtener la función sinusoidal modulada en frecuencia y en amplitud (cálculo de las constantes).

La función usada para graficar una señal sinusoidal con frecuencia variable es:

$$f(x) = \sin(k_1 e^{k_2 x})$$

La frecuencia para cada instante de tiempo es el argumento de la función seno $\phi = k_1 e^{k_2 x}$

Para encontrar las constantes de la frecuencia instantánea se deriva ϕ respecto a x , esto es:

$$\frac{d\phi}{dx} = k_1 k_2 e^{k_2 x}$$

Para el píxel 0 se quiere la frecuencia $\frac{2\pi}{T}$ en donde T es el periodo de la frecuencia máxima, esto se observa en la ecuación 1.

$$k_1 k_2 e^{k_2(0)} = k_1 k_2 = \frac{2\pi}{T} \quad (1)$$

Para el píxel l_x se quiere la frecuencia $k\pi$ en donde l_x es la longitud de píxeles en x y k es una constante menor a 1 la cual nos asegura que las frecuencias no se repitan, esto se observa en la ecuación 2.

$$k_1 k_2 e^{k_2 l_x} = k\pi \quad (2)$$

Al sustituir la ecuación 1 en la ecuación 2 se obtiene la ecuación 3.

$$\frac{2\pi}{T}e^{k_2 l_x} = k\pi \quad (3)$$

Al despejar k_2 de la ecuación 3 se obtiene la ecuación

$$k_2 = \frac{\ln(0.5Tk)}{l_x} \quad (4)$$

De la ecuación 1 se puede despejar la constante k_1 , esto se observa en la ecuación 5

$$k_1 = \frac{2\pi}{Tk_2} \quad (5)$$

Además de la señal sinusoidal también se tiene una función en y para atenuar la imagen, se describe dicha función en la ecuación 6.

$$f(y) = e^{-k_3*(l_y-y)} \quad (6)$$

La constante k_3 se ajusto de forma experimental.

Cada píxel obtiene su intensidad en la escala de grises de acuerdo a su posición en x y y . Para lograr esto se multiplican las ecuaciones $f(x)$ y $f(y)$, esto se observa en la ecuación 7.

$$f(x, y) = \sin(k_1 k_2 e^{k_2 x}) e^{-k_3*(l_y-y)} \quad (7)$$

Para mejorar la visualización de la imagen se manipulo la ecuación 7 obteniendo la ecuación 8

$$f(x, y) = 0.44 - \sin(k_1 k_2 e^{k_2 x}) e^{-k_3*(l_y-y)} \quad (8)$$

2. Desplegar el estímulo visual (senoidal modulada)

Se utilizaron las siguientes constantes:

- $k_1 = 2.5595$
- $k_2 = 0.0082$
- $k_3 = 0.015$

Con dichas constantes y una tamaño de 512x512 píxeles se desplego la figura 1.

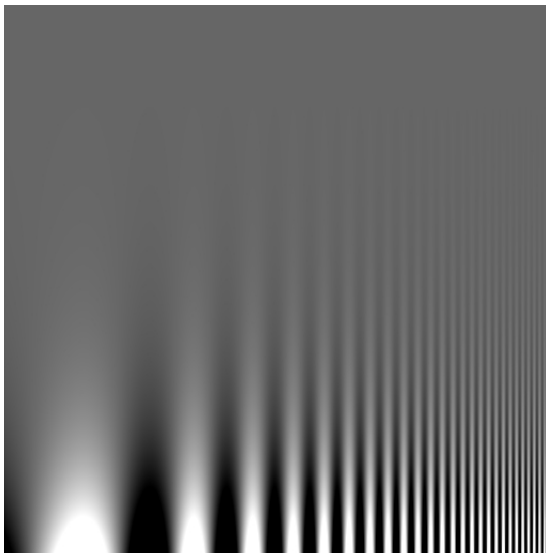


Figura 1. Estímulo visual

3. Observar la MTF a varias distancias de observación.
4. Calcular la frecuencia de máxima sensibilidad (en ciclos/grado) a 3 distancias diferentes de observación .

Se propusieron las siguientes distancias:

i	Distancia [m]
1	0.8
2	1.2
3	1.6
4	2
5	2.4
6	2.8

Cuadro I
DISTANCIAS PROPUESTAS

La frecuencia instantanea se obtiene al sustituir el valor de la posición en x del píxel en el cual se observo la máxima frecuencia.

$$\Phi(x_{max}) = k_1 k_2 e^{k_2 x_{max}}$$

El parámetro α se obtiene como:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{d}{D}\right)$$

En donde d es la distancia entre píxeles de la imagen y D es la distancia de observación.

La imagen media 9.1[cm] y era de 512 píxeles por lo tanto:

$$d = \frac{9.1[cm]}{512}$$

Para que las mediciones sean independientes de la distancia de observación se calcula como:

$$\frac{\Phi(x_{max})}{\alpha}$$

IV. RESULTADOS

Mariana				
Distancia [m]	x	$\Phi(x)$ [ciclo/píxel]	α [grado]	$\Phi(x)/\alpha$ ciclo/grado
0.8	286	0.0346	0.0222	1.5735
1.2	254	0.0266	0.0148	1.8002
1.6	247	0.0252	0.0111	2.2669
2	219	0.02	0.0089	2.2478
2.4	216	0.0195	0.0074	2.639
2.8	201	0.0173	0.0063	2.741

Cuadro II
MEDICIONES DEL PRIMER EXPERIMENTO

Sergio				
Distancia [m]	x	$\Phi(x)$ [ciclo/píxel]	α [grado]	$\Phi(x)/\alpha$ ciclo/grado
0.8	278	0.0324	0.0222	1.4604
1.2	263	0.0287	0.0148	1.9378
1.6	261	0.0282	0.0111	2.5422
2	233	0.0224	0.0089	2.5214
2.4	223	0.0207	0.0074	2.7938
2.8	193	0.0162	0.0063	2.5667

Cuadro III
MEDICIONES DEL SEGUNDO EXPERIMENTO

V. CÓDIGO

```
1 - longitud_x = 512;
2 - periodo_inicial = 300;
3 - img=zeros(longitud_x,longitud_x);
4
5 - k3=0.015;
6 - k2 = log(0.22*periodo_inicial)/longitud_x;
7 - k1 = (2*pi)/(periodo_inicial*k2);
8
9 - for x=1:longitud_x
10 -     for y=1:longitud_x
11 -         img(y,x)=0.4-sin(k1*exp(k2*x))*exp(-k3*(longitud_x-y));
12 -     end
13 - end
14
15 - imwrite(img,'prueba.JPG','jpg','quality',100);
16 - im=imread('prueba.JPG');
17 - imshow(im);
18 - impixelinfo
```

Figura 2. Código implementado para la creación de la imagen

VI. CONCLUSIONES

Al finalizar con los pasos expuestos en el trabajo, es fácil de ver que aún cuando la visión del ser humano no es un sistema ni lineal ni homogéneo, en la región cerca del umbral se puede contemplar como un sistema lineal y homogéneo lo que hace aplicable el análisis de Fourier en el sistema visual y así caracterizarlo para obtener una medida de calidad óptica. Ésta medida siendo en este experimento, la frecuencias espaciales que se puede ver, o la variación de negro a blanco por ciclo/grado.