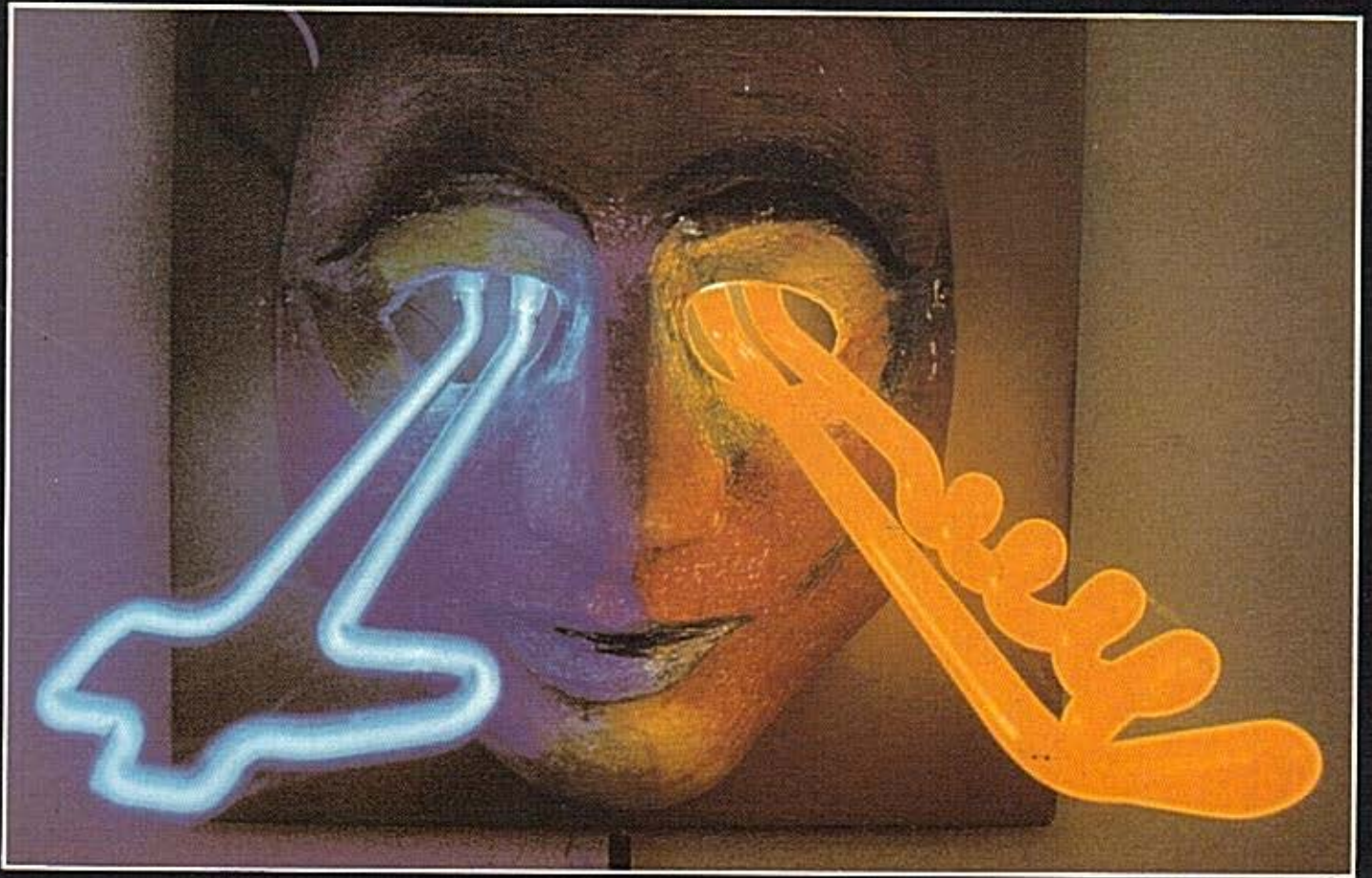


Fundamentos de la
aplicación del análisis de
Fourier al procesado visual

Alteraciones oculares en
usuarios de lentes de
contacto



VOYOR

Septiembre 1995

98

CALIBRADO DEL PROGRAMA CSF-TEST UTILIZADO COMO SISTEMA DE MEDIDA DE LA FUNCIÓN DE SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

A. Tobarra, M.M. Seguí, J.R. García Bernabeu, P.G. Boj

Departamento Interuniversitario de Óptica. Universidad de Alicante

La Función de Sensibilidad al Contraste (CSF) nos proporciona una buena información sobre la calidad del sistema visual de modo que las diferentes modificaciones en la CSF pueden indicar distintos tipos de problemas visuales, ya sean de tipo óptico, patológico o neurológico. Teniendo en cuenta estas consideraciones es necesario disponer de un buen sistema de medida que permita determinar la CSF con precisión, intentando que los errores sistemáticos sean mínimos y no alteren el valor absoluto de las medidas.

Introducción

Para determinar la función de sensibilidad al contraste se utilizan por una parte test formados por redes o letras impresas en papel o láminas translúcidas tales como el test de Ginsburg o VCTS, el test CSV-1000 y el test de Pelli-Robson, entre otros, también se pueden utilizar sistemas informáticos que permiten generar redes sinusoidales en un monitor CRT¹.

Se han realizado diferentes trabajos dirigidos fundamentalmente a analizar las mejores condiciones de utilización de estos test y a desarrollar determinadas aplicaciones prácticas de los mismos. En este sentido, Capilla et al² efectuaron un calibrado del test VCTS a diferentes niveles de luminancia, comprobando que los valores óptimos de luminancia en la realización de las medidas deben de estar comprendidos entre 60 y 240 cd/m², valores inferiores de luminancia provocan una modificación sustancial de los

resultados. El test desarrollado por Pelli-Robson³ ha sido analizado por Domenech et al⁴ comprobando que la luminancia no es un factor crítico en la realización de las medidas, a diferencia de otros tipos de test. Aunque este test está diseñado para evaluar la CSF en bajas frecuencias, algunos autores consideran que midiendo la agudeza visual con un test convencional y evaluando la CSF en las bajas frecuencias, es suficiente para obtener una idea precisa de la calidad de la visión de los observadores⁵. Asimismo, el generador de redes ha sido utilizado por otros autores⁶ para analizar la variación de la CSF con la extrafovealidad y la distancia de observación.

El objetivo de este trabajo ha sido calibrar el programa informático CSFTEST que se utiliza para la medida de la CSF. De esta forma podemos evaluar el error sistemático que afectará a los valores absolutos de sensibilidad.

Sistema de medida de la CFS

La medida de la sensibilidad al contraste se obtiene mediante redes sinusoidales reproducidas en un monitor CRT y generadas por el programa CSFTEST, que permite disminuir el contraste de la red progresivamente, hasta alcanzar el valor umbral.

La monitorización en alta resolución de las redes sinusoidales tiene ciertas ventajas sobre el resto de los test. La imagen y la luminancia que se obtienen son mayores y con un adecuado programa de ordenador puede controlarse la frecuencia, luminancia, contraste y color de las redes para distintas distancias de observación, así como su orientación en la pantalla (fig. 1). Los



Fig. 1. Sistema de medida de la Función de Sensibilidad al Contraste.

inconvenientes que presenta este sistema son el coste, la lentitud con la que se realizan las medidas y su poca transportabilidad, por lo que no resulta apropiado para presentarlo a una población demasiado extensa, por esta razón se utiliza principalmente en trabajos de investigación.

El programa CSFTEST es un sistema informático que permite tanto la generación digital y presentación interactiva de los estímulos (miras sinusoidales), como el control y análisis automático de las respuestas y resultados⁷.

El sistema informático, consta de un ordenador personal al que se le ha incorporado un procesador de imágenes que a su vez controla un monitor CRT donde se generan las redes sinusoidales.

En la realización experimental de las medidas, el observador se puede situar a una distancia variable entre 1 y 100 metros, fijando la cabeza sobre una mentonera para, de esta forma, evitar ligeros desplazamientos que pueden alterar los resultados. El sistema informático está situado junto al monitor, para que el operario observe al mismo tiempo que el observador, la red ofrecida.

El programa CSFTEST permite generar redes sinusoidales con frecuencias comprendidas desde 1 hasta 108 ciclos/grado en pasos de un grado, permitiendo variar la orientación de la red de 26,5° en 26,5°.

El programa dispone de un archivo de parámetros que permite modificar las condiciones experimentales, bajo las cuales se realizan las pruebas. Entre estos parámetros hay que destacar *el número de píxeles* que regula la resolución de la pantalla y determina la frecuencia espacial superior que es capaz de solventar el monitor. Esto es debido al efecto *aliasing*, que se debe evitar para impedir el solapamiento de una segunda red de frecuencia distinta a la frecuencia más alta que se consigue. En cuanto a la *paleta de color*, las redes pueden ser presentadas en blanco y negro o con una paleta de tres colores: rojo, verde y azul. El *contraste inicial* es otro parámetro que se puede modificar. Si se elige el valor unidad, el observador puede apreciar desde el comienzo la frecuencia espacial más alta que es capaz de discriminar. Ésto supone una ventaja frente a los test impresos, que si bien empiezan con contraste alto, generalmente no es la unidad. Entre paso y paso el contraste puede ser modificado disminuyendo desde un 1% entre un paso y

el siguiente hasta un 99%, por lo que en cada disminución del mismo, se puede apreciar hasta un 99% del presentado anteriormente.

El programa dispone de dos métodos diferentes para la determinación de contrastes umbrales. En el primero, basado en *métodos de ajuste* se va disminuyendo el contraste del test hasta que el propio observador y según su propio criterio, determina el contraste mínimo con el que es perceptible la red. En este método domina siempre la subjetividad, tanto la del sujeto como la de especialista. Para evitar dicha subjetividad se puede utilizar el *método de escalera*, donde al sujeto se le presentan dos estímulos, uno donde se le muestran las redes sinusoidales, y otro formado por una pantalla uniforme. El orden de la presentación es aleatorio, de manera que el sujeto ha de indicar en cual de los dos estímulos se encuentran las redes. Cada dos aciertos se procede a bajar el contraste, mientras que un solo error hace que el contraste suba.

Ambos métodos son complementarios, siendo el de ajuste siempre recomendable para una estimulación rápida, mientras que el método de escalera es imprescindible para medidas precisas de umbrales.

Calibrado del CSFTEST. Método experimental

El calibrado lo hemos realizado con el dispositivo experimental reproducido en la figura 2. Procedimos a tomar las medidas de luminancia de la red con el fotómetro digital J16 Tektronix que se colocaba fijo sobre un soporte que se deslizaba lateralmente sobre unas guías graduadas milimétricamente, de

manera que una vez realizado el enfoque sobre un punto de la red desplazábamos el fotómetro sobre puntos próximos separados 5 mm a lo largo de un ciclo de la red. Se tomaron tres valores para una misma posición, lo cual permitió calcular el error inducido por las medidas. Durante la realización de las medidas el gabinete permaneció con la luz apagada para evitar distorsiones en los valores experimentales de la luminancia.

La pantalla se diafragmó con una apertura circular, que permitía un tamaño visible de la red de 18 cm, el cual se mantuvo constante en todo momento. Para las pruebas escogimos la paleta de color que presentaba las redes en blanco-negro. El sensor del fotómetro nos delimitaba la zona de estudio (franja blanca y franja negra); debido a su reducido tamaño, sólo pudimos medir en las frecuencias de 1 y 2 ciclos/grado. Antes de realizar las medidas manteníamos encendido el monitor CRT media hora hasta alcanzar la temperatura óptima de funcionamiento del tubo catódico, para evitar diferencias en el contraste de las redes por el progresivo calentamiento.

Una vez valoradas las luminancias para contraste unidad, procedimos a disminuirlo empleando el método de ajuste en pasos del 25% para una misma frecuencia, estudiando además del valor unidad, los contrastes correspondientes a 3, 6 y 9 pasos. De esta forma queda cubierto en su mayor parte el rango de variación que nos permite el programa.

Resultados experimentales

Para el cálculo de la sensibilidad al contraste determinamos previamente, a partir de los valores experimentales de luminancia, el contraste umbral; el inverso de éste valor se corresponde con la sensibilidad al contraste.

En la tabla I se presentan los valores de luminancia obtenidos con el fotómetro, para los distintos contrastes estudiados. Teniendo en cuenta que la apreciación mínima del aparato es de 0,1 cd/m², mostramos junto al valor obtenido el error de dispersión de las medidas, que en algunos casos fue superior al del aparato.

Todos estos valores los representamos en la figura 3, donde se puede observar la forma sinusoidal que adopta la red, incluso para

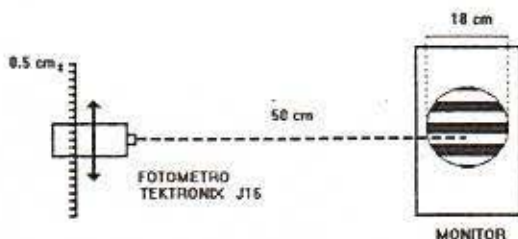


Fig. 2. Montaje experimental para el calibrado del programa CSFTEST.

Tabla I. Luminancias experimentales para distintos contrastes, pertenecientes a una red de frecuencia 1 ciclo/grado

Desplazamiento sobre la red (cm)	LUMINANCIA (cd / m ²)			
	0 pasos	3 pasos	6 pasos	9 pasos
0.5 ± 0.1	4.0 ± 0.9	13.1 ± 0.3	13.2 ± 0.1	15.2 ± 0.1
1.0 ± 0.1	2 ± 2	10.9 ± 0.2	12.6 ± 0.1	15.0 ± 0.1
1.5 ± 0.1	0.4 ± 0.2	9.2 ± 0.2	12.4 ± 0.1	14.7 ± 0.1
2.0 ± 0.1	1.0 ± 0.2	8.6 ± 0.1	12.6 ± 0.2	14.6 ± 0.1
2.5 ± 0.1	4.8 ± 0.7	9.7 ± 0.1	13.3 ± 0.1	14.8 ± 0.1
3.0 ± 0.1	10 ± 1	11.3 ± 0.1	14.2 ± 0.1	15.0 ± 0.1
3.5 ± 0.1	15 ± 2	16.4 ± 0.1	15.2 ± 0.2	15.5 ± 0.1
4.0 ± 0.1	23.1 ± 0.9	19.2 ± 0.5	16.8 ± 0.2	16.0 ± 0.1
4.5 ± 0.1	27 ± 1	21.8 ± 0.2	17.8 ± 0.1	16.6 ± 0.1
5.0 ± 0.1	29.9 ± 0.6	22.7 ± 0.1	18.2 ± 0.1	17.0 ± 0.1
5.5 ± 0.1	30.1 ± 0.6	22.3 ± 0.1	18.2 ± 0.1	17.2 ± 0.1
6.0 ± 0.1	28 ± 2	21.0 ± 0.3	17.9 ± 0.1	17.1 ± 0.1
6.5 ± 0.1	22 ± 2	18.5 ± 0.1	16.8 ± 0.3	17.0 ± 0.1
7.0 ± 0.1	15 ± 3	15.7 ± 0.1	15.8 ± 0.2	16.6 ± 0.1
7.5 ± 0.1	8.6 ± 0.7	13.0 ± 0.1	14.6 ± 0.2	16.1 ± 0.1
8.0 ± 0.1	5 ± 1	10.7 ± 0.1	13.4 ± 0.2	15.6 ± 0.1
8.5 ± 0.1	1.1 ± 0.6	9.1 ± 0.1	12.8 ± 0.1	15.3 ± 0.1
9.0 ± 0.1	0.3 ± 0.1	8.8 ± 0.1	12.7 ± 0.1	14.9 ± 0.1
9.5 ± 0.1	1.7 ± 0.5	9.6 ± 0.2	13.0 ± 0.1	15.1 ± 0.1
10.0 ± 0.1	6 ± 1	11.6 ± 0.1	13.5 ± 0.1	15.4 ± 0.1
10.5 ± 0.1	9 ± 1	13.8 ± 0.3	14.9 ± 0.1	15.7 ± 0.1
11.0 ± 0.1	18.3 ± 0.7	17.0 ± 0.4	15.9 ± 0.3	16.2 ± 0.1
11.5 ± 0.1	25.0 ± 0.6	20.3 ± 0.1	16.8 ± 0.3	16.8 ± 0.1
12.0 ± 0.1	29 ± 1	21.2 ± 0.2	18.0 ± 0.1	17.1 ± 0.1
12.5 ± 0.1	30.6 ± 0.3	22.7 ± 0.1	18.3 ± 0.1	17.1 ± 0.1
13.0 ± 0.1	28.8 ± 0.8	22.3 ± 0.1	18.1 ± 0.1	17.0 ± 0.1

diferentes contrastes. Al disminuir el contraste, disminuye la amplitud de la red.

A partir de los valores máximos y mínimos de luminancia (sombreados en la tabla I) podemos calcular el contraste umbral; expresión definida por Michelson como el cociente entre la diferencia de luminancia en la zona brillante (L máx) y en la zona oscura de la red (L mín), y la suma de ambas:

$$C = \frac{L \text{ máx} - L \text{ mín}}{L \text{ máx} + L \text{ mín}}$$

En la tabla II presentamos los valores del contraste obtenidos experimentalmente junto con los valores teóricos. Estos últimos han sido calculados partiendo del hecho de que inicialmente el programa presenta el contraste

Tabla II. Comparación entre el contraste teórico y el experimental

Pasos	Contraste teórico	Contraste experimental	Desviación (%)
0	1	0,98 ± 0,05	2,0
3	0,422	0,439 ± 0,009	3,9
6	0,78	0,18 ± 0,08	1,1
9	0,075	0,072 ± 0,007	4,2

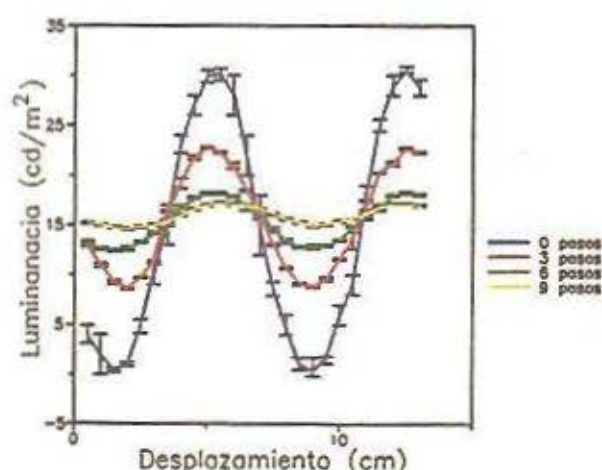


Fig. 3. Variación de la luminancia experimental a lo largo de la red para diferentes contrastes.

unidad y en cada paso, teóricamente, disminuye un 25% del paso anterior. Así, con un paso tendríamos un contraste de 0,75, y con dos pasos, el 75% de ésta cantidad, es decir 0,5625. Las disminuciones sucesivas se calculan mediante el mismo procedimiento. Como podemos observar en esta tabla, la desviación entre los valores calculados

teóricamente y las medidas experimentales no es uniforme en relación con el número de pasos oscilando entre un valor máximo del 4% para 9 pasos y un valor mínimo del 1% para 6 pasos. Estas desviaciones son intrínsecas al programa y en consecuencia al método de medida. Por esta razón deben ser considerados como errores sistemáticos.

En la tabla III presentamos los valores teóricos y experimentales de la sensibilidad al contraste. Como ya hemos indicado anteriormente estos valores los obtenemos como el inverso del contraste umbral, a partir de los datos representados en la tabla II. Como podemos observar en esta tabla los valores experimentales de la sensibilidad comprenden a los valores teóricos aunque existe una cierta desviación en las medidas. Al compararlos se observa que la desviación oscila entre un máximo del 6,4% para 6 pasos y un mínimo del 2,0% para contraste unidad (paso 0).

Conclusiones

El calibrado del sistema de medida de la CSF con el programa informático CSFTST nos muestra que los valores teóricos de la sensibilidad al contraste que nos proporciona el programa se desvían de los obtenidos

Tabla III. Comparación entre la sensibilidad teórica y experimental

Pasos	Sensibilidad teórica	Sensibilidad experimental	Desviación (%)
0	1	1,02 ± 0,05	2,0
3	2.370	2,28 ± 0,05	3,9
6	5.619	6 ± 2	6,4
9	13.318	14 ± 1	4,9

experimentalmente a partir de los valores del contraste medidos en el monitor. Esta desviación no es constante para las diferentes disminuciones sucesivas de contraste que proporciona el programa, siendo mínima, 1%, para contraste unidad y máxima de aproximadamente un 7% para 9 pasos (contraste mínimo de 0,075). La desviación pensamos que es lo suficientemente importante para ser considerada en la interpretación de los resultados experimentales de la sensibilidad al contraste obtenidos mediante este procedimiento.

Bibliografía

1. Boj P, Cacho P, García JR, García A, López A. Instrumentación óptica para baja visión. Ed. Gamma, Alicante 1994.

2. Capilla P, Martínez-Corral M, García Martínez JA. Calibrado del VCTS a diferentes niveles de luminancia. Ver y Oír 1990;48:39-46.

3. Pelli DG, Robson JG, Wilkins AJ. The design of a new letter chart for measuring contrast sensitivity. Clin Vis Sci 1988;2 (3):187-199.

4. Doménech B, Seguí MM, Artigas JM. Test de Sensibilidad al Contraste Pelli-Robson: Evaluación práctica. Ver y Oír 1992;70:45-49.

5. Elliot DB, Whitacker D. How usefull are contrast sensitivity charts in optometric practice? Case reports. Opto Vis Sci 1992;69 (5):378-382.

6. Seguí MM, Doménech B, Antón C, Sequeira E. Variación de la CSF con la extrafovealidad y la distancia de observación. Ver y Oír 1994;83:27-32.

7. Navarro R, Losada MA, Pérez M. CSFTEST: Un sistema informatizado para la medida de la función de sensibilidad al contraste. Integración 4 1990;4-10