

PROPUESTA DE UN MODELO DE DOS CANALES EN LA PERCEPCION DE BORDES DESENFOCADOS

H.Rabal

Centro de Investigaciones Opticas, Universidad Nacional de La Plata, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires y CONICET, CC 124, 1900, La Plata.

E.Colombo

Laboratorio de Luminotecnia, Universidad Nacional de Tucumán y CONICET.

A v. Independencia 1800, 4000 Tucumán.

Se continúa en la línea expuesta en trabajos anteriores de proponer un modelo de campos receptivos gaussianos para explicar la evaluación perceptual de la definición de bordes (NITIDEZ) de letras desenfocadas.

Se propone representar el campo receptivo por medio de dos canales, en lugar de uno solo, de manera que cada uno esté formado por la suma de cinco gaussianas desplazadas, asignándole un determinado peso a la segunda familia o canal.

Se mantiene la aproximación del borde por una rampa, cuya altura se corresponde con la diferencia de densidad fotográfica y cuya pendiente es la derivada máxima del perfil original suavizado.

Se encuentra, con un peso de (- 0.2) para el segundo canal, una mejora de alrededor del 20% en el ajuste del modelo con los datos experimentales.

Una maximización del ajuste ha conducido a que el ancho de las gaussianas del segundo canal sea el doble del encontrado para el primer canal, aproximadamente el doble del tamaño de un fotoreceptor foveal, el cono, resultado éste con importante significado físico y coincidente con el de otros autores.

OBJETIVOS

Continuando con la línea expuesta en reuniones anteriores (1,2,3) se propone un modelo de campos receptivos gaussianos (4) para explicar la evaluación perceptual de la definición de bordes - nitidez- de letras desenfocadas.

En este caso se recurre a un campo receptivo formado por dos canales en lugar de uno solo y se encuentra una mejora de alrededor del 20% en el ajuste de los datos experimentales con el modelo.

Los resultados obtenidos pueden explicarse también teniendo en cuenta las dimensiones de los fotoreceptores lo que está en buen acuerdo con otros autores (5,6,7).

LAS MUESTRAS - CARACTERIZACION FISICA DEL ESTIMULO (1)

- * Se trabaja con fotos con desenfoco controlado.
- * Se mide el perfil en densidad de los bordes de las letras.
- * Se suaviza el mismo usando un filtro mediano que tiene la característica de mantener las pendientes a la vez que elimina el ruido sal y pimienta.
- * Se determina el contraste de cada símbolo y la pendiente máxima en cada flanco del perfil (MFD).
- * Se mantiene la aproximación del borde por una

rampa cuya altura corresponde a la diferencia de densidad fotográfica y cuya pendiente es la derivada máxima del perfil original suavizado.

DEFINICION DEL GRADO DE NITIDEZ (1,3)

Un grupo de 7 observadores entre 20 y 40 años realiza la evaluación psicofísica de la degradación de los bordes según una escala de nitidez propuesta de siete intervalos, con una luminancia de adaptación de 100 cd/m².

CURVA DE COMPRESION SENSORIAL

Se buscan los parámetros físicos que mejor correlacionan los resultados de la evaluación subjetiva.

Se encuentra que bajo la hipótesis de contraste constante - con una tolerancia del 15% - la pendiente del flanco es una variable significativa en la clasificación de la nitidez.

Los valores experimentales se ajustan con una curva de compresión sensorial supraumbral de la forma:

$$S = A / (1 + B \cdot X^C) + D$$

donde X es la derivada máxima y A, B, C y D los parámetros de ajuste. Los valores obtenidos son: A = 4.6 ± 0.1, B = 70 ± 5, C = - 9.1 ± 0.7 y D = 3.85 ± 0.08 con un coeficiente de correlación

mayor que 0.95 (ver figura 1, línea llena de trazo fuerte).

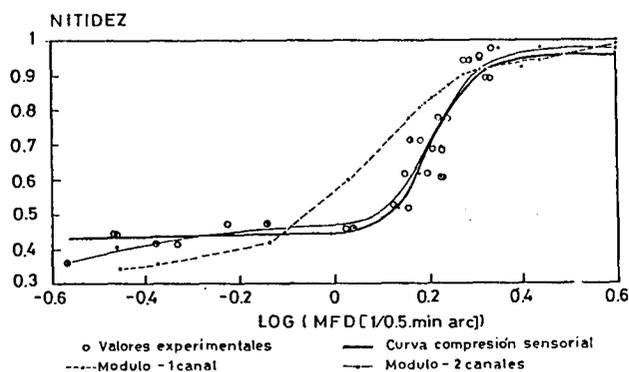


Figura 1: Ajuste de los modelos a los valores experimentales.

MODELO DE CAMPOS RECEPTIVOS

Para explicar los resultados experimentales se recurre al modelo de campos receptivos de Macleod (4,5) que se basa en la suposición que el sistema visual contiene unidades que tienen campos receptivos organizados para responder selectivamente a estímulos como barras de distintos anchos y orientaciones.

Los campos receptivos de las unidades sensibles pueden ser considerad@s como funciones con zonas excitatorias representadas por pesos positivos, y zonas inhibitorias representadas por pesos negativos. La salida de una unidad está determinada por la suma pesada de las luminancias - señal en aquella porción del estímulo que cae sobre su campo receptivo.

Se calcula la respuesta de los campos receptivos a los bordes desenfocados como el valor normalizado a uno del máximo que resulta de la integración del producto de ambas funciones: la sensibilidad de campo receptivo y la distribución de densidad del estímulo, para todos los valores posibles de desplazamiento relativo entre ambas.

Este modelo perceptual para el sistema visual permite explicar la evaluación de nitidez en términos de dos parámetros físicos significativos: CONTRASTE Y PENDIENTE.

PROPUESTA DE UN MODELO DE DOS CANALES

Se representa el campo receptivo por medio de dos canales en lugar de uno solo como en trabajos

anteriores (2,3), y a las componentes excitatorias e inhibitorias por medio de funciones gaussianas positivas y negativas.

Cada canal está formado por la suma de cinco gaussianas desplazadas. Tenemos ahora un nuevo factor a determinar, el peso de la segunda familia o canal.

La función sensibilidad o respuesta del campo receptivo es entonces:

$$\begin{aligned}
 S = & \exp \{-[2x/s]^2\} - Z \exp\{-[2(x-s)/s]^2\} - \\
 & - Z \exp\{-[2(x+s)/s]^2\} + W \exp\{-[2(x-2s)/s]^2\} - \\
 & - W \exp\{-[2(x/2s)/s]^2\} + P \exp\{-[2x/t]^2\} - \\
 & - Z \exp\{-[2(x-t)/t]^2\} - Z \exp\{-[2(x+t)/t]^2\} + \\
 & + W \exp\{-2(x-2t)/t]^2\} - W \exp\{-[2(x+2t)/t]^2\}
 \end{aligned}$$

donde:

1) "s" es el ancho de las gaussianas de la primera familia, que fue utilizado como parámetro de ajuste a los datos experimentales.

2) "t" es el ancho de las gaussianas de la segunda familia, que también fue utilizado como parámetro de ajuste a los datos experimentales.

3) los coeficientes de peso "Z" y "W" fueron ajustados de modo que la respuesta a una señal uniforme fuera cero.

4) "P" es el peso de la segunda familia.

RESULTADOS

Se encuentra, para un peso negativo de 0.2 para el segundo canal, una mejora de alrededor del 20% en el ajuste del modelo con los datos experimentales. En la figura 1 se muestra el ajuste de los dos modelos, la línea de trazos corresponde al caso con un solo canal y la línea llena débil a la propuesta de dos canales.

Los resultados experimentales muestran que el sistema visual es más sensible a los rangos intermedios de nitidez, lo que está en excelente acuerdo con los resultados de Watt y Morgan (8). Ellos midieron umbrales para discriminar diferencias de *blur* de dos bordes con diferente tipo y grado de degradación. Encontraron que para cada tipo diferente de *blur* había un valor de nitidez de referencia óptimo de manera que si la nitidez era mayor o menor que este valor la sensibilidad disminuía.

Por otro lado puede verse que la propuesta de los dos canales lleva a una mejora sensible del

ajuste sobre todo en la zona central de la curva, justamente en la de mayor sensibilidad, resultado éste muy interesante.

Una maximización del ajuste ha conducido a que el ancho de las gaussianas del segundo canal sea el doble del encontrado para el primer canal.

En trabajos anteriores se encontró que $s = 0.055$ mm a 70 cm de distancia de visión, lo que corresponde a un ángulo de 0.27 min. de arco. Si se tiene en cuenta que la distancia focal efectiva del ojo es alrededor de 17 mm, este valor de s corresponde a 1.3 micrones sobre la retina, del orden del tamaño de un cono foveal.

Por lo tanto el campo receptivo tiene una zona central excitatoria de aproximadamente el tamaño de dos conos foveales. Y el segundo canal tiene una zona central inhibitoria que corresponde aproximadamente al tamaño de cuatro conos foveales.

Estos valores concuerdan bastante bien con los resultados que discute Marr (6), basados en análisis de agudeza y resolución. Propone la existencia de un canal muy pequeño en el cual la parte central del campo receptivo es alrededor de 1'20" y debido a la difracción del ojo podría corresponder a las células ganglionales enanas en las cuales los centros de los campos receptivos son manejados por un sólo cono (7).

La figura 2 muestra, en representación tridimensional los valores de nitidez predichos por el modelo para el caso más general de variación tanto de contraste como de la pendiente máxima. El contraste se representa por medio de un índice que aumenta en sentido inverso al mismo y que es cociente de la densidad fotográfica mínima a la máxima del perfil correspondiente.

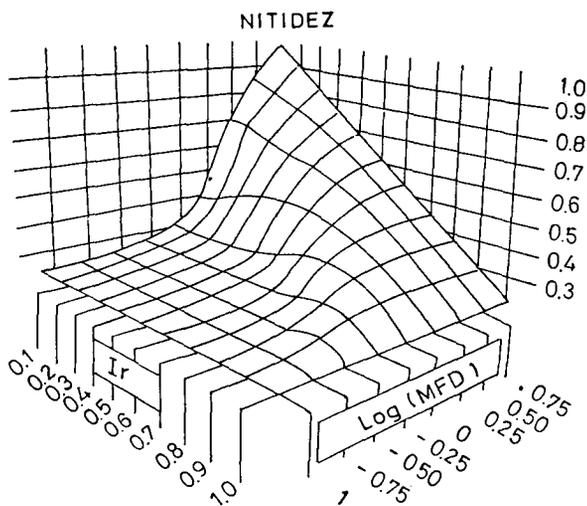


Figura 2: Valores de nitidez previstos por el modelo en función del contraste y de la pendiente máxima.

BIBLIOGRAFIA

1. E.Colombo, H.Rabal, C.F.Kirschbaum, M.Jaen; Anales AFA, Vol.1, 129, 1989.
2. E.Colombo, H.Rabal, Anales AFA, Vol.1, 139, 1989.
3. C.Kirschbaum, E.Colombo, H.Rabal, Proceedings 22nd. Session, Melbourne 1991, Vol 1,Part 1, pp 29-30.
4. I.D.G. MacIcod, A.Roscnfeld, Vision Research, Vol.14, pp 909-915, 1974.
5. D.Marr, E.Poggio, R.Soc. Lond., B 207, 99 187-217 (1980).
6. D.Marr, Vision. A computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. W.H.Freeman and Company, San Fco., 1982.
7. D.Marr, T.Poggio, E.Hildreth, J.Opt.Soc.Am., 70, 868-870, 1980.
8. R.Watt, Visual Processing: computational, Psychophysical and cognitive research. LEA Publishers, 1988.