

SOFTWARE PARA EL REGISTRO Y ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS OCULARES

Carmen GARCIA GARCIA, María Luz GARCIA COBO y Vicente PONSODA GIL

Departamento de Psicología Social y Metodología. Facultad de Psicología.

Universidad Autónoma de Madrid.

El presente trabajo muestra el procedimiento desarrollado para el registro y análisis de movimientos oculares obtenidos con el registrador EYE TRACK MODEL 210 ASL. Para alcanzar tal fin, se desarrollaron una serie de programas en los lenguajes Basic y Fortran. Dichos programas realizan un proceso de análisis que se inicia con la grabación de los datos proporcionados por el registrador y culmina con la extracción de la localización y duración de las fijaciones, y la representación gráfica del "scan-path".

Palabras clave: Movimientos oculares; Fijaciones oculares; Software.

Software to record and analyze eye movements. This paper shows the procedure we have developed to record and analyze the data on eye movements provided by the EYE TRACK MODEL 210 ASL. To this aim, some programs coded in BASIC and FORTRAN have been created. These programs save the data on disk, perform linear and nonlinear calibration, obtain fixation position and fixation duration, and provide graphic information on scan-paths.

Key words: Eye movements; Fixations; Software.

En esta investigación se desarrolla un procedimiento para analizar los movimientos oculares proporcionados por el registrador EYE TRACK CAMERA MODEL 210 ASL. El primer paso consistió en grabar en disco los datos que suministra, tanto en la fase de calibración, como en la fase experimental. La unidad de control de este registrador proporciona salida analógica, digital y por video de los datos. A.S.L. proporciona el sistema D.A.R.S. para utilizar la salida digital. Al no disponer del mismo, empleamos la salida analógica que convertimos en digital con la tarjeta D.A.C.A. (IBM, 1984). Utilizando el software proporcionado con la tarjeta, se construyó un programa en lenguaje Basic, que guarda en

disco los datos suministrados por el registrador. A partir de este punto se comenzó a desarrollar los distintos programas necesarios para analizar, en modo batch, los datos guardados en disco y procedentes de la calibración o de la fase experimental. Dada la limitación de espacio, no es posible describir detalladamente cada uno de los programas que se comentan en los siguientes apartados. Una descripción pormenorizada se puede encontrar en García, García y Ponsoda (1992).

LA CALIBRACION

Una apropiada calibración permite garantizar que las medidas recogidas indican realmente la posición a la que ha sido diri-

gida la mirada. En nuestro caso, nos permite también obtener un índice del error de medida cometido y reducir en cierto grado las interferencias no lineales producidas durante el registro.

En el proceso de calibración se distingue entre las técnicas de calibración internas y las externas. Las primeras preceden a la obtención de los datos, y consisten básicamente en situar al observador, los diodos y los mandos de la unidad de control en la posición idónea para la medida, lo que está detalladamente descrito en el Manual de Operaciones del registrador. Cuando se ha conseguido, se pide al observador que mire los puntos que componen la carta de calibración y se registra la posición de sus ojos mientras mira cada uno de estos puntos. Para ello, se utiliza el programa escrito en BASIC "RECOGECA.BAS", que graba las dos salidas digitales, una para el eje horizontal y otra para el vertical, y las pone en correspondencia con las coordenadas que hemos asignado a los puntos de la carta de calibración que el observador está mirando. Si bien la carta sugerida por el manual consta de 9 puntos, la usada por nosotros incluye más (unas veces 25 y otras 20 puntos) con el propósito de conseguir una calibración más exacta.

Las técnicas de calibración externa son un tratamiento que se aplica una vez que ha concluido el proceso de recogida de datos. Supongamos que el observador mira el punto de coordenadas (X', Y') y el registrador proporciona las coordenadas (X, Y). Las técnicas de calibración externa buscan las funciones que permiten predecir, con una precisión conocida y aceptable, las coordenadas de los puntos que han sido realmente mirados, a partir de los proporcionados por el registrador. Se han elaborado técnicas lineales y no lineales.

Inicialmente probamos un procedimiento de calibración denominado *Interpolación lineal* (Apéndice B del Manual de

Operaciones). Siendo (X', Y') las coordenadas de un punto particular de la carta de calibración y (X, Y) las correspondientes coordenadas suministradas por el registrador, el primer procedimiento consiste en hacer dos regresiones lineales simples y estimar los parámetros "a", "b", "c", y "d", de las siguientes ecuaciones de regresión:

$$\begin{aligned} X' &= a + bX \\ Y' &= c + dY \end{aligned} \quad (1)$$

El programa "REGRESIO.BAS" obtiene las dos ecuaciones de regresión y calcula además un índice de bondad de ajuste (la correlación al cuadrado) y la varianza de los errores de los pronósticos. En una muestra de cinco observadores, los índices de ajuste resultaron adecuados para el eje horizontal, pero del todo insuficientes para el eje vertical, lo que nos llevó a considerar la posibilidad de una calibración lineal mediante regresión múltiple. Tal procedimiento tiene en cuenta los registros en X y en Y para predecir tanto X' como Y'. Se espera una significativa reducción de error si existe "crosstalk" lineal entre las medidas tomadas de ambos ejes.

Las ecuaciones se exponen a continuación y los seis parámetros a estimar son "a", "b", "... y "f".

$$\begin{aligned} X' &= a + bX + cY \\ Y' &= d + eY + fX \end{aligned} \quad (2)$$

El programa encargado de la anterior calibración es "PARAMET.BAS" y obtiene las dos ecuaciones de regresión múltiple expuestas más arriba. Aplicado a la muestra antes comentada de cinco observadores, se comprobó que los resultados tampoco eran satisfactorios, sobre todo para el eje vertical.

Al obtener resultados insuficientes con estas dos calibraciones, intentamos un nuevo procedimiento utilizando como ecuaciones correctoras las proporcionadas en el

apartado 2 del apéndice B del Manual de Operación:

$$\begin{aligned} X' &= aX + bX^2 + cY + dY^2 + eXY \\ Y' &= fY + gY^2 + hX + iX^2 + jXY \end{aligned} \quad (3)$$

La calibración no lineal propuesta más arriba requiere la estimación de diez parámetros. A tal fin utilizamos la librería IMSL (International Mathematical Statistic Library, 1979). En concreto, se creó un programa principal, escrito en FORTRAN, llamado PZXMIN3.FOR, que utiliza la subrutina ZXMIN.FOR. Esta subrutina aplica un método cuasi-Newton para encontrar el vector de parámetros que hace mínima una función indicadora del ajuste y definida en otro programa (FUNCT.FOR). Este último programa obtiene, para cada punto de la carta de calibración, la distancia euclídea entre sus coordenadas y la correspondiente predicción (X' , Y') resultado de aplicar (3). La distancia euclídea correspondiente a cada punto de la carta de calibración se suma con la producida por todos los demás. La función a minimizar es la suma de dichas distancias euclídeas. El programa FUNCT.FOR suministra esta suma de distancias como un indicador de la precisión de las medidas, una vez que se ha estimado el vector de parámetros.

El procedimiento final de calibración externa difiere poco del descrito unas líneas

Observación nº	Error en grados (12 parámetros)	Error en grados (6 parámetros)
1	1.88	2.99
2	2.90	3.39
3	2.62	3.39
4	2.47	2.73
5	4.62	5.85
6	2.39	3.20
7	2.08	2.73
8	1.46	2.11
9	1.99	2.44

Tabla 1. Errores proporcionados por dos procedimientos de calibración externa. Los datos de la primera columna han requerido la estimación de doce parámetros, mientras que los de la segunda sólo seis.

más arriba y resulta de añadir dos nuevos parámetros a las ecuaciones antes expuestas. Las nuevas ecuaciones son:

$$\begin{aligned} X' &= aX + bX^2 + cY + dY^2 + eXY + k \\ Y' &= fY + gY^2 + hX + iX^2 + jXY + m \end{aligned} \quad (4)$$

El programa "PZXMIN4.FOR" es el encargado de la calibración definitiva y toma, como valores iniciales de los 12 parámetros, los 6 proporcionados por (2). Cuando (2) no suministra valor inicial, se toma como tal el valor cero. Los parámetros estimados los archiva en un fichero denominado "*.EST". La tabla 1 muestra los errores medios obtenidos en nueve observadores por el procedimiento propuesto (es decir, a partir de (4)) y por el procedimiento (2). Los valores de la tabla son la distancia euclídea media, expresada en grados de ángulo visual, existente entre las coordenadas de un punto de la carta de calibración y las coordenadas predichas por (4) (primera columna) y por (2) (segunda columna).

Como se puede observar en la tabla 1, existe una apreciable reducción del error al pasar del procedimiento basado en la regresión múltiple al de estimación mediante la librería IMSL.

Una vez calculados los parámetros, se pueden corregir los datos de cada observador en su sesión de calibración utilizando el programa "CORRECCA.BAS", cuya salida es un archivo "*.SAL". Es decir, CORRECCA.BAS convierte cada dato original suministrado por el registrador (X , Y) en el correspondiente (X' , Y'), tras aplicar (4).

En resumen, se ha establecido un procedimiento de calibración, que aparece esquematizado en la Figura nº 1.

El programa "VI3.BAS" que aparece en esta figura sirve para representar gráficamente la carta de calibración con sus puntos y los registros corregidos contenidos en el archivo "*.SAL". Si el proceso no ha tenido contratiempos, la representación gráfica

mostrará una gran cantidad de fijaciones oculares sobre (o en las proximidades de) las posiciones correspondientes a los puntos de la carta de calibración.

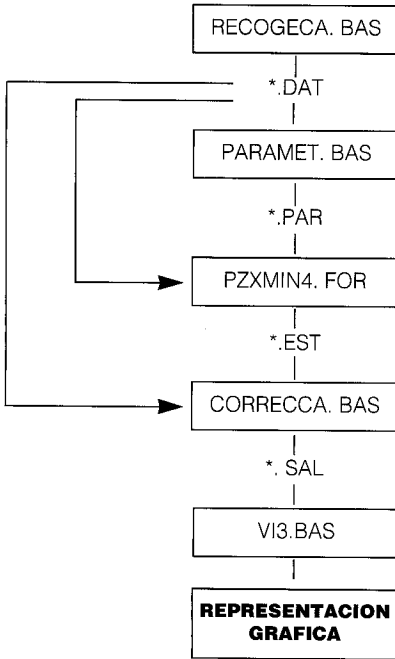


Figura 1. Esquema del procedimiento propuesto para analizar los registros correspondientes a la hoja de calibración.

ANALISIS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

Una vez que ha finalizado el registro de los movimientos oculares ante la carta de calibración, comienza el registro de los movimientos oculares que nos interesan realmente. El primer paso, al igual que en el procedimiento de calibración, es grabar los movimientos oculares producidos durante la fase experimental. Utilizamos con tal fin una modificación del programa empleado para la calibración, y que denominamos "RECOLEVI.BAS".

El análisis de los datos experimentales consiste simplemente en corregirlos; es decir, en transformar cada (X, Y) en el correspondiente (X', Y') , aplicando (4) y con los parámetros calculados en el proceso de calibración para ese observador. El programa encargado de la corrección se llama "CORRECDI.BAS", y los datos corregidos se almacenan en el archivo "*.SAL".

El siguiente paso es averiguar la localización y duración de las fijaciones producidas así como el "scan-path". Los programas MIFOVEA1.BAS y ANMIFO1.BAS tienen como objetivo determinar la posición y duración de las fijaciones producidas durante el registro. El programa MIFOVEA1.BAS lee el archivo de datos corregido (*.SAL) y calcula la distancia euclídea entre cada dos coordenadas consecutivas, con el fin de determinar si entre ambas se ha producido un movimiento sacádico. Si la distancia entre las coordenadas es menor de 0.2 unidades de la carta de calibración, se considera que no se ha iniciado un movimiento sacádico y se continuarán explorando las coordenadas siguientes hasta completar un intervalo de 100 milisegundos; si la distancia entre cada dos coordenadas consecutivas durante este período de tiempo no es mayor de 0.2 unidades, se considera que se ha producido una fijación (Reuter-Lorenz y Fendrich, 1992 han utilizado un procedimiento similar para decidir cuando se producían los movimientos sacádicos). Aunque la duración media de una fijación es de 250 milisegundos, éstas presentan una gran variabilidad de ahí que hayamos preferido mantener un criterio de duración bajo (100 msec.), para no eliminar ninguna de las posibles fijaciones. Además, el siguiente programa de análisis (ANMIFO1.BAS) agrupa como una única fijación dos o más consecutivas cuando MIFOVEA1.BAS nos proporciona fijaciones parcialmente superpuestas.

La distancia de 0.2 unidades se ha decidido teniendo en cuenta que la velocidad media de un movimiento sacádico oscila

entre 20 y 600 grados por segundo (Hallet, 1986), lo cual supone que si se hubiese producido un movimiento sacádico entre el instante "t" y el instante "t+1", suponiendo una tasa de una coordenada cada 5 milisegundos, la distancia entre las mismas oscilaría entre 0.1 y 3 grados, ó 0.02 y 0.58 unidades en las que se expresan los puntos de la carta de calibración. Hemos fijado una distancia menor que 0.58 ya que cabe esperar movimientos sacádicos con velocidades inferiores a 600 grados y con este valor podríamos solapar dos fijaciones distintas. Decidimos utilizar un valor de 0.2 unidades de distancia, por ser un valor intermedio que se comporta razonablemente bien.

La ejecución de MIFOVEA.BAS genera un archivo (*.FO) que contiene: a) las coordenadas del punto en el que se ha producido una fijación, y b) la duración de la fijación (en este momento del análisis, el máximo es siempre de 100 milisegundos). A continuación el programa ANMIFO1.BAS agrupa en una sola aquellas fijaciones consecutivas contenidas en el archivo "*.FO" que están parcialmente superpuestas, obteniéndose como coordenada de referencia en este caso la media de las correspondientes coordenadas del archivo "*.FO". Este programa da como resultado un archivo "*.AFO" que contiene las coordenadas en las que se han producido las fijaciones y la duración de las mismas.

Al igual que para la calibración, el procedimiento de análisis descrito aparece esquematizado en la figura nº 2.

En la figura 2 aparece un último paso que es la representación gráfica del "scan-path" junto con las fijaciones producidas durante la sesión experimental, utilizando el programa "VIFO.BAS". Para obtener esta representación es necesario referir los registros a la posición que ocupaba el estímulo dentro de la carta de calibración. La figura 3 ofrece un ejemplo de la representación gráfica proporcionada por este programa.

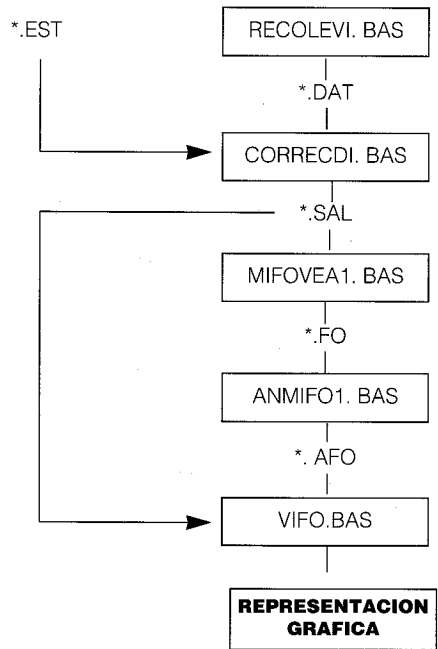


Figura 2. Esquema del procedimiento propuesto para analizar los registros correspondientes a la sesión experimental.

COMENTARIOS FINALES

En este trabajo se ha descrito un procedimiento que nos permite saber, con un error de medida conocido, las posiciones que han sido realmente miradas por el observador. Como se ha visto, el procedimiento es complejo, requiere muchos pasos consecutivos y no puede aplicarse en tiempo real. A pesar de ello, lo aplicamos en nuestra investigación (tesis doctoral en preparación) y ofrece resultados fiables. No obstante, y pensando en futuros trabajos, sería deseable que fuese capaz de ofrecer algunos resultados en tiempo real. De esta forma, el experimentador sabría si el error de medida es aceptable o no, lo que le permitiría interrumpir la recogida de datos si no lo fuese.

El conjunto de programas descrito, a excepción de los que requieren la utilización de la librería IMSL, debe funcionar en cualquier ordenador compatible-PC, de composición standard, que posea la tarjeta D.A.C.A..

Igualmente, el procedimiento podría aplicarse a los datos suministrados por otros registradores, tras unos pequeños cambios. Si se está interesado en el software aquí comentado, contactar con el tercer autor.

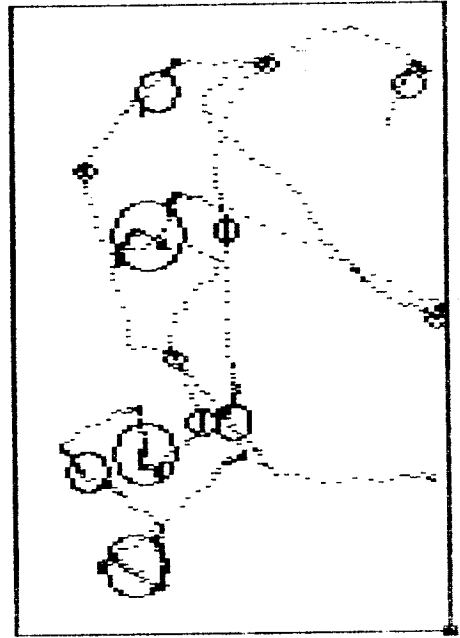
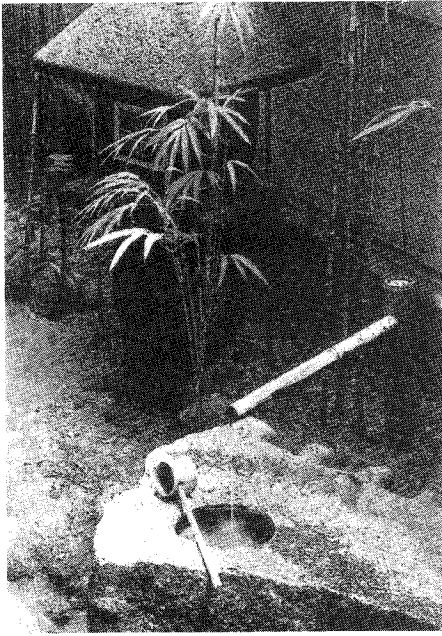


Figura 3: La gráfica muestra el "scan-path" y las fijaciones oculares proporcionadas por una persona durante seis segundos de libre observación de una lámina. El centro de cada círculo indica donde ocurrió la fijación ocular y su diámetro es proporcional a su duración.

REFERENCIAS

- Applied Science Laboratory (1986). *Operation and Service Manual. Model 210 Eye Movement Monitor*. Waltham: A.S.L..
- García, C., García, L. y Ponsoda, V. (1992). *Informe: Registro y Análisis de Movimientos Oculares con el Eye Track Model 210 ASL*. Departamento de Psicología Social y Metodología. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid.
- Hallet, P. E. (1986). *Eye Movements*. En Boff, K. R., Kaufmann, LL. y Thomas, J. P. (Eds). *Handbook of Perception and Human Performance. Vol. 1. Sensory Processes and Perception*. (pp. 10.1-10.112). New York: John Wiley and Sons.
- I.B.M. Corp. (1984). *Personal Computer Data acquisition and Control Adapter Programming Support*. Glasgow: Collins.
- International Mathematical Statistic Library (1979). *I.M.S.L. Library. Reference Manual*. Houston: I.M.S.L., Inc..
- Reuter-Lorenz, P. A. y Fendrich, R. (1992). Oculomotor readiness and covert orienting: Differences between central and peripheral precues. *Perception y Psychophysics*, 52 (3), 336-344.