

Metodología de Estudio del Aprendizaje de Niños con Parálisis Cerebral en el Uso de un Ratón por Movimientos de Cabeza.

M. A. Velasco*, R. Raya*, R. Ceres*, R. Sola**, J. Jiménez**, S. Morata**

*Grupo de Bioingeniería – CSIC (<http://www.car.upm-csic.es/bioingenieria/>)

**Colegio de Educación Especial Hospital San Rafael Madrid

E-mail: rafael.raya@csic.es, miguel.velasco@car.upm-csic.es

Abstract

This paper presents a methodology designed to evaluate the learning process for people with cerebral palsy (CP) who are asked to control a computer through an inertial interface. The interface allows users to control the mouse pointer and click with head movements. The metric proposed in order to objectively measure the process of learning is the “throughput”. This parameter has been widely used for the evaluation of pointing devices and is now applied for the first time to people with CP. The results obtained show that the metric can be used to quantify how the user is learning and therefore to assess the usability of the inertial device.

Resumen

Este artículo presenta un estudio piloto que introduce una metodología para valorar el aprendizaje de una persona con parálisis cerebral (PC) en el manejo del computador con una interfaz inercial, que permite el control del cursor y el clic mediante movimientos de cabeza. Se propone el uso de una métrica denominada rendimiento para medir objetivamente el proceso de aprendizaje. La métrica, ampliamente utilizada para la evaluación de dispositivos apuntadores, se aplica por primera vez en usuarios con PC. Los resultados obtenidos muestran cómo la métrica propuesta permite cuantificar el proceso de aprendizaje del usuario con PC, con lo que puede ser empleada para valorar la usabilidad del dispositivo inercial.

1. Introducción

Parálisis cerebral (PC) es un término muy amplio que engloba una serie de trastornos permanentes no

progresivos de diversa índole como consecuencia de lesiones del cerebro inmaduro producidas por traumatismos e hipoxias durante el parto o infecciones anteriores o posteriores al mismo.

La PC se manifiesta principalmente en disfunciones neuromotoras con alteraciones en el control motor y postural debido a trastornos de la coordinación y del tono muscular pero también pueden afectar a la percepción, la memoria o el razonamiento [1].

Existe una gran variedad de cuadros y grados de afectación. Así, se distinguen por una parte la PC espástica, con origen en el córtex, caracterizada por la rigidez muscular. Por otro lado, la PC atetósica, relacionada con los ganglios basales, origina movimientos involuntarios en las extremidades y la cara, así como dificultades de audición y de lenguaje. La PC atáxica tiene origen en el cerebelo y afecta a la postura, equilibrio y coordinación de movimientos. Generalmente suelen aparecer formas mixtas en las que se combinan los tres tipos de PC con diferentes tonos (hipertónico, hipotónico, distónico). Estas disfunciones psicomotrices determinan una falta de autonomía ya que afectan a funciones de la vida diaria: movilidad, manipulación, comunicación y relación con el medio.

Es preciso insistir en que la PC, si bien es permanente ya que las lesiones que la causaron no pueden ser curadas, provoca limitaciones que pueden ser reducidas. Es universalmente aceptada la neuroplasticidad o capacidad de reorganización del sistema nervioso central (principalmente en los primeros años de vida) con el desarrollo consiguiente de sus funciones físicas y cognitivas a partir de estímulos externos y experiencias de interacción con el medio. Esa plasticidad constituye una de las bases principales de los procesos de adquisición de habilidades y del aprendizaje en general. En el caso de niños con PC, dadas las dificultades que presentan la mayoría de ellos en llevar a cabo actividades básicas de comunicación,

juegos, desplazamiento y otras, que son la fuente de adquisición de conocimientos y experiencias, es preciso ofrecer una mayor atención desde los primeros años al fomento de estas experiencias.

2. Canales alternativos de acceso al computador. La interfaz ENLAZA.

Por lo expresado en el apartado anterior es importante implicar al usuario fomentando y estimulando la experimentación personal ampliando sus actividades de relación, de manipulación y desplazamiento y el acceso a fuentes de conocimiento impresas o audiovisuales. En este sentido es preciso subrayar el papel que ha tomado el computador como herramienta clave tanto para el acceso a estos medios de relación y conocimiento (Internet, redes sociales, email) como para el control de dispositivos personales (sillas de ruedas, ortesis) y del entorno (puertas, luces, TV).

El uso del computador es aún más importante en las personas con PC ya que no pueden en muchos casos desplazarse fácilmente ni manejar elementos físicos básicos en las actividades diarias tales como libros o electrodomésticos. Tienen también grandes trabas para acceder al computador ya que sus restricciones motoras les impiden manipular adecuadamente dispositivos como el teclado y el ratón. Es por ello que desde hace más de una década se vienen adaptando dispositivos de acceso convencionales o desarrollando nuevas tecnologías que tratan de aprovechar las habilidades del usuario utilizando canales alternativos.

Entre los dispositivos adaptados podemos citar teclados ergonómicos de una sola mano, sobreteclados con perforaciones sobre cada una de las teclas, ratones controlables por el mentón o ratones con filtros para reducción de los efectos del temblor (Tech Filter). En el terreno del software existen adaptaciones tales como programas que presentan los iconos secuencialmente para facilitar su selección o los editores de texto predictivos todos ellos con metodologías propias de la CAA (comunicación aumentativa y alternativa).

Otras interfaces de acceso al computador, como ya se ha dicho, hacen uso de formas u órganos corporales diferentes de expresión humana, aprovechando disposiciones biomecánicas tales como gestos, posturas y movimientos de extremidades, cabeza (SmartNav) y ojos (Tobii o IRISCOM), o bien el registro de potenciales eléctricos generados por acciones voluntarias musculares (electromiografía) o cerebrales (electroencefalografía). Con estas bases se están llevando a cabo numerosas investigaciones orientadas a cubrir las necesidades especiales de la discapacidad en general. Entre estos dispositivos avanzados, con realizaciones cabe destacar los sistemas de oculografía, tanto por electrodos superficiales (EagleEyes) como mediante el uso de cámaras sin contacto (Gaze) [2]. De esta última

variante son de especial interés, habiendo llegado incluso a los mercados en los últimos años, diversos sistemas de seguimiento ocular mediante cámaras infrarrojas habiendo dado lugar principalmente al desarrollo de comunicadores generando textos escritos, con la ayuda de editores predictivos.

El dispositivo ENLAZA [3], es un interfaz persona-computador basado en tecnología inercial desarrollada en el Grupo de Bioingeniería del CSIC. El prototipo permite medir el movimiento de la cabeza mediante una serie de unidades de medida, llamadas sensores inerciales (Inertial Measurement Unit, IMU en nomenclatura anglosajona). El IMU es un dispositivo que integra un acelerómetro tridimensional (3D), que mide aceleración, un giróscopo 3D, para la velocidad angular y un magnetómetro 3D, que mide el campo magnético terrestre. La fusión de estas señales permite la medida precisa de la orientación angular del IMU y, por tanto, de la parte del cuerpo donde se ubique el sensor, la cabeza en este caso.



Figura 1. Usuario manejando el interfaz de ENLAZA en una rutina de alcance. El sensor está inmovilizado sobre la cabeza del usuario y conectado al ordenador por USB.

La interfaz inercial ENLAZA se muestra en la Figura 1 y se compone de un IMU y de un soporte para su sujeción a la cabeza del usuario. Este diseño supone que los usuarios con PC sufren una discapacidad severa en las extremidades superiores pero conservan un control voluntario residual de la cabeza. Se predefine un rango de movimiento cervical en los ejes horizontal y vertical (medido en grados), de tal manera que dentro de un rango de posiciones de la cabeza, el usuario pueda situar el cursor en todos los píxeles de la pantalla. Para la ejecución de un clic el usuario deberá mantener el cursor dentro de un área de extensión preestablecida durante un tiempo escogido previamente según sus características. El control razonable de la posición del puntero sobre la pantalla con movimientos de cabeza y la ejecución de clic, posibilita el acceso a aplicaciones informáticas enfocadas al aprendizaje de habilidades físico-cognitivas, a tareas de comunicación o a la interacción con el entorno.

3. Metodología

La tarea propuesta consistió en la utilización de la interfaz ENLAZA para la realización de una serie de tareas de alcance y clic de objetivos sobre la pantalla como simulación sistemática del acceso al computador. La tarea es atractiva para el usuario ya que el objetivo consiste en una figura reconocida por el usuario. Como incentivo, se reproduce un fragmento de video tras un clic correcto.

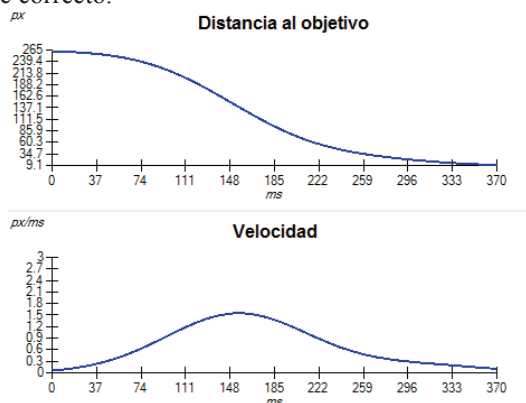


Figura 2. Evaluación de distancia al objetivo y velocidad en función del tiempo para una rutina de alcance y clic, en este caso para ratón convencional. Tras una fase rápida de acercamiento, el movimiento se ralentiza para ganar precisión.

Para el análisis de esos movimientos se puede aplicar la Ley de Fitts [4], que modela los movimientos de alcance en dos fases: una primera de aproximación con velocidades de movimiento elevadas y una segunda fase de precisión (Figura 2). Teóricamente existe una relación entre el tiempo de consecución de la tarea y el índice de dificultad (ID) asociado a cada objetivo en función de su distancia inicial D y tamaño W . Asimismo, se usa el rendimiento o “throughput”, como cociente entre el ID y el tiempo de alcance.

$$ID = \log_2\left(\frac{D}{W} + 1\right)$$

La experimentación se presenta como estudio piloto para la valoración del proceso de aprendizaje en el uso de la interfaz ENLAZA. Las pruebas fueron realizadas con un único usuario en el Colegio de Educación Especial del Hospital San Rafael de Madrid. El usuario sufre una parálisis cerebral distónica con componente espástico. Alteración en la coordinación del movimiento, movimientos poco precisos y sin un control adecuado. Dificultad para mantener la cabeza enderezada en línea media salvo si es por muy breves periodos. Cuando usa los miembros superiores se activa un patrón flexor que afecta a la cabeza.

Actualmente utiliza una tablet táctil con lápiz puntero adaptado a una férula. Con ella accede a un tablero de comunicación y ocio y al aprendizaje en su

aula; realización de fichas sencillas de conteo del 1 al 4 con discriminación de la grafía de números, así como de vocales, categorizaciones. Lleva lentes correctoras para hipermetropía. Es capaz de discriminar las formas básicas, figura-fondo, constancia de la forma (2 dimensiones) y cierre visual para imágenes conocidas.

4. Parámetros de valoración. Procesado de datos y resultados

Al final de cada sesión, el software de ENLAZA genera un fichero con la configuración de la interfaz (tiempo de permanencia para el clic, duración del video, tamaño y posiciones del objetivo) y una serie de parámetros registrados (orientación del sensor en los 3 ejes, posiciones del cursor y el objetivo, instantes en que se produce el clic) que son procesados con Matlab.

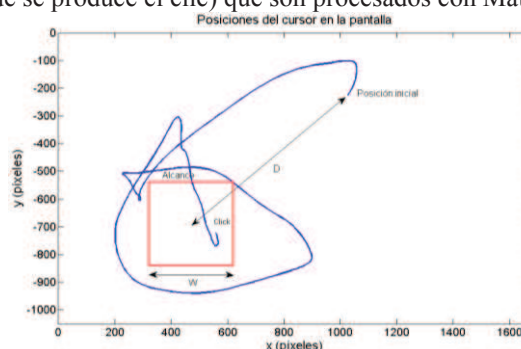


Figura 3. Posición y trayectoria del cursor en la pantalla y el objetivo durante una rutina de alcance y clic.

Cada subtarea dentro de una sesión se plantea como una rutina de alcance de un icono cuadrado de lado W a una distancia D en la pantalla (ver Figura 3). Se define el tiempo total de alcance y clic como el transcurrido desde que el objetivo se fija en una nueva posición hasta que se inicia una nueva reproducción de video. El tiempo de alcance se calcula restando al tiempo total de la rutina el tiempo de permanencia predefinido para el clic del interfaz ENLAZA.

Las 5 primeras sesiones son utilizadas por los terapeutas para la configuración de los parámetros de calibración acorde a las necesidades del usuario. En las sesiones restantes se realiza una detección de los tiempos de alcance que distan de la media de la muestra más de 2.5 veces la desviación estándar. Se considerarán valores fuera de la muestra o “outliers” ya que se reconocen como periodos de tiempo en que el usuario se ha distraído de la tarea según los terapeutas.

A continuación se realiza un promediado que produce un efecto de filtrado paso-bajo y reduce la variabilidad entre muestras consecutivas de los parámetros calculados. Se persigue que la tendencia creciente o decreciente de la métrica, si es que existe, pueda ser más fácilmente observada.

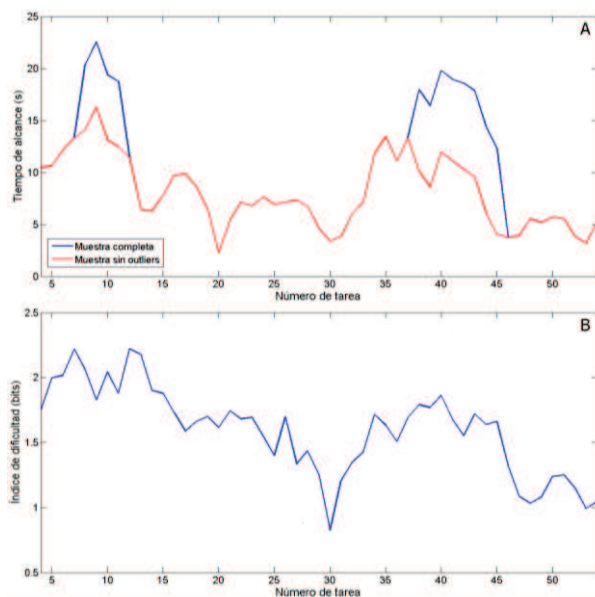


Figura 4A. Tiempos de alcance tras un promediado con N=4. La curva roja representa la muestra tras el procesamiento de “outliers”. 4B. Valores de ID en las rutinas de alcance.

En la Figura 4A se muestran los tiempos de alcance registrados a lo largo de las diferentes sesiones con el interfaz ENLAZA y el juego de visualización de vídeos. Por otra parte, la Figura 4B muestra las variaciones en el índice de dificultad (ID) a lo largo de las diferentes rutinas.

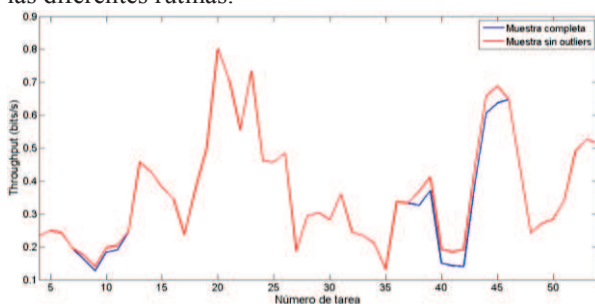


Figura 5. Medida del “throughput” tras un promediado con N=4.

El ID en aquellos objetivos para los cuales se midieron tiempos de alcance muy superiores a la media de la muestra presentaba valores muy próximos a los de las rutinas inmediatamente anteriores y posteriores. Se considera, por tanto, que esos tiempos de alcance tan altos no son debidos exclusivamente al tamaño y la distancia del objetivo (ID) y su clasificación como valores fuera de la muestra es correcta.

El rendimiento, que se calcula a partir de los tiempos de alcance medidos, se considera más robusto por tener en cuenta la dificultad de realización de la tarea. La Figura 5 representa su evolución a lo largo de

las sesiones y muestra tendencias crecientes que pueden tener relación con el inicio de cada sesión.

5. Discusión y conclusión

El artículo presenta un estudio piloto que valora el uso de una metodología para la evaluación del aprendizaje en personas con PC en la utilización de un interfaz basado en sensores inerciales para el control de un ordenador. En el ensayo se han realizado una serie de pruebas de alcance de objetivos en pantalla para las que se ha utilizado una métrica denominada rendimiento utilizada por primera vez en la evaluación de movimiento de personas con PC. El rendimiento se obtiene a partir del índice de dificultad ID (dependiente de la distancia a la que se encuentra el objetivo y su tamaño) y del tiempo que el usuario tarda en completar la tarea. Los resultados muestran una variación del rendimiento durante las diferentes sesiones.

En trabajos futuros se propone estandarizar los valores que el ID tomará en las rutinas de alcance a realizar por el sujeto. Asimismo será de interés analizar el grado de ajuste a la ley de Fitts del dispositivo inercial bajo el manejo de usuarios con PC. Para ello se debe extender el estudio a un número mayor de usuarios, de modo que las métricas presentadas puedan ser analizadas de manera coherente y la existencia de ese aprendizaje pueda ser comprobada.

6. Agradecimientos

Se desea expresar el reconocimiento a A. Ruiz y T. González, de ASPACE Cantabria por su colaboración en las tareas de desarrollo del sistema ENLAZA.

7. Referencias

- [1] Ruiz A., Arteaga R., Parálisis Cerebral y Síndromes Específicos e Individualidad en los Apoyos. Santander. Universidad de Cantabria y otros.
- [2] De Santis A., Iacoviello D., Robust real time eye tracking for computer interface for disabled people. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 96 (2009) 1–11, homepage: www.intl.elsevierhealth.com/journals/cmpb
- [3] Raya R., Rocon E., Ceres R., Harlaar J., Geytenbeek J., Characterizing head motor disorders to create novel interfaces for people with cerebral palsy. *IEEE 12th International Conference on Rehabilitation Robotics*, Zurich, Suiza, junio, 2011.
- [4] Fitts P.M. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6):381–391, 1954.