

Sistema difuso en dispositivo apuntador USB controlado por movimientos de la cabeza

Fuzzy system in USB pointing device controlled by head movements

Peña Arismendi Santiago Andrés, Salazar Morales Omar

Resumen

Las computadoras, han ido evolucionando para convertirse en instrumentos pequeños y menos costosos que dieron lugar a cambios en la naturaleza de los usuarios y en el uso de estos equipos como herramientas. Sin embargo, los periféricos de entrada siguen en su mayoría siendo excluyentes con personas que se encuentran en condición de discapacidad, especialmente para aquellas que no tienen movilidad o no cuentan con sus extremidades superiores. En este documento se describe el desarrollo y resultados de la implementación de un Dispositivo Apuntador USB controlado por movimientos de la cabeza y boca. Su implementación hizo uso de algoritmos de movimiento aplicados a sistemas difusos, sistemas embebidos, acelerómetros de dos ejes para los movimientos de la cabeza y sensores optoelectrónicos para la detección de los movimientos de la boca. Pruebas realizadas a grupos de voluntarios muestran que con el dispositivo se logra controlar cómodamente la velocidad de desplazamiento del puntero y facilita la selección de objetos en el ordenador.

Palabras Clave: Inteligencia computacional, sistemas expertos, discapacidad motriz, periféricos de entrada.

Abstract

In the recent past computers have evolved to become smaller and cheaper instruments, allowing for changes not only in the nature of the users but also the way these devices are being used, which is basically as tools. However, the input devices remain mostly exclusive when it comes to people who have disabilities, especially for those persons who have no mobility or do not possess their upper limbs. This document describes the development and the results of the implementation of a USB pointing device controlled by movements of the head and mouth. They were implemented by using motion algorithms applied to fuzzy systems, embedded systems, accelerometers with two axes for the head movements and optoelectronic sensors for the detection of mouth movements. Tests performed with the help of groups of volunteers show that with the device the scrolling speed of the pointer was comfortably controlled and it also makes the selection of objects on the computer much easier.

Key words: Computational Intelligence, expert systems, motor disability, input peripherals, input devices.

Recibido / Received: Marzo 13 de 2016 Aprobado / Approved: Mayo 29 de 2016

Tipo de artículo / Type of paper: Investigación Científica y Tecnológica Terminada.

Afiliación Institucional de los autores / Institutional Affiliation of authors: Universidad Distrital

Autor para comunicaciones / Author communications: Santiago Andrés Peña Arismendi, saapenaa@correo.udistrital.edu.co

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Introducción

En la actualidad, los computadores representan una herramienta importante en el diario vivir de las personas.

A través de estos se realizan múltiples actividades de aprendizaje, trabajo, diversión, incluso ocio y por su puesto comunicación. Es por ello que resulta fundamental el acceso a estos por parte de personas que se encuentran en condición de discapacidad física o motora. Esto permite el desarrollo de estas personas en una sociedad tecnológica y de constante interacción con los computadores.

Según estudios el 15% de la población mundial presenta algún tipo de discapacidad. En Colombia la prevalencia es del 6,3% de la población, entre las cuales la condición más frecuente es la motriz según cifras del último censo y del registro para la localización y caracterización de la personas en condición de discapacidad (RLCPD) [1]. Según el último censo realizado en 2005, 758.009 personas tienen dificultad para moverse y 381.724 tienen imposibilidad de utilizar sus brazos y manos: personas que les cuesta interactuar con la tecnología [2].

Debido a que los dispositivos apuntadores son herramientas fundamentales para el uso de los computadores se han desarrollado alternativas destinadas a personas con alguna condición de discapacidad. Una de ellas fue un dispositivo conocido como “mouthstick” [3]. Éste consistía en una vara alargada que se sujetaba en la boca con la cual se movía el dispositivo apuntador e incluso se teclaba. Aunque era bastante rudimentario tuvo gran aceptación y es utilizado actualmente. Posterior a éste surgieron dispositivos que basan su funcionamiento en cámaras Web y algoritmos de visión artificial. Estos dispositivos obtienen imágenes de los movimientos del usuario para traducirlos en desplazamientos relativos del cursor [4]. Hay módulos encargados de la detección de partes específicas del rostro humano, por ejemplo, la boca, estos utilizan procesamientos de imagen avanzados con el fin de encontrar un punto específico que sirva de referencia para el movimiento del puntero [5]. Incluso se ha decidido realizar modificaciones sobre las cámaras web del mercado en módulos como SmartNav el cual es una de las últimas opciones del mercado en cuanto a dispositivos para la inclusión de personas con tetraplejía. Consiste en una cámara web modificada mediante

la implementación de LED Infrarrojos para reconocer de manera más precisa los movimientos corporales, sin embargo, requiere un material reflejante puesto en la frente del usuario. Sus funciones incluyen un teclado virtual y una opción de clic con el pie, si el usuario es capaz de hacerlo. Este dispositivo requiere de un software, y su precio es de 499 USD, además la cámara requiere un fino ajuste para detectar al usuario y las condiciones lumínicas deben ser adecuadas (no permite exteriores) [6]. También se han implementado algoritmos sobre gadgets modernos como las Google Glass aunque su implementación es muy básica y costosa [7].

Entre las diferentes interfaces desarrolladas para la interacción usuario-computador se encuentra un dispositivo que capta el movimiento ocular usando una cámara Web y un LED infrarrojo [8]. El mismo busca encontrar áreas significativas que pudieran ser tratadas con el fin de lograr el movimiento del cursor. La luz infrarroja es utilizada para la iluminación de la zona de la imagen, aprovechando que ésta no es percibida por el ojo humano. Similar a éste último se desarrolló un dispositivo USB que detecta los movimientos del rostro mediante sensores infrarrojos. El movimiento del cursor se lograba mediante la gesticulación del usuario [9].

También se implementaron dispositivos que capturaban señales electro-oculográficas (EOG). Mediante estas señales se buscaba determinar la posición de la pupila [10]. Este dispositivo requería la conexión de electrodos al usuario. El sistema funcionaba mediante el aprendizaje de máquina de las señales EOG captadas, por lo que requería hardware y software robusto para su implementación.

Los dispositivos recién descritos tienen ciertas limitaciones. La mayoría de ellos requieren de software previamente instalado en el computador. Algunos requieren cámaras con características mínimas. En cuanto a los dispositivos que usan señales EOG, su desventaja está en lo invasivo, así como costosos por el cambio constante de electrodos. Igualmente, los dispositivos que usan luz infrarroja sobre el globo ocular pueden causar afecciones a la visión. Por ello se hace necesario un dispositivo que sea únicamente hardware, compatible con la mayoría de sistemas operativos, y amigable con el usuario. Con esa finalidad recientemente se desarrolló

un dispositivo [11] con especial utilidad para aquellos que sufren de tetraplejía. La teoría de detección del diseño supone que el usuario puede mover el cursor en la pantalla del computador y hacer clics izquierdo y derecho, utilizando solamente la cabeza. La implementación se realizó con un microcontrolador que dispone de interfaz USB y conversor analógico-digital (ADC basado en la inclinación de la cabeza del usuario). Usaba un acelerómetro colocado sobre unas gafas y otro sobre la pantalla del computador. Este dispositivo basaba su funcionamiento en la teoría clásica de conjuntos. Los movimientos relativos del cursor se hacían cuando se sobrepasaban ciertos umbrales predefinidos. La movilidad del cursor era limitada (tan solo en ocho direcciones) y a una velocidad constante. Los clics se hacían por movimientos rápidos de la cabeza. Igualmente se desarrolló un dispositivo apuntador fundamentado en giroscopios, los cuales son muy precisos en la medición de los movimientos y presenta una alta tasa de aciertos en las pruebas realizadas. En los estudios realizados se establecieron dos tipos de velocidades de desplazamiento después de la tercera fase de pruebas. Esto con el fin de mejorar la experiencia del usuario. Implementando umbrales predefinidos y dos velocidades establecidas, lo que limita la gama de opciones para el usuario [12].

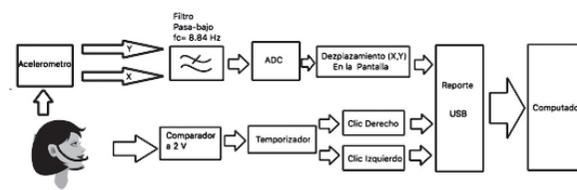
Este documento presenta el diseño e implementación de un nuevo dispositivo basado en diseños anteriormente reportados. Hace uso de los movimientos de la cabeza a través de un solo acelerómetro, esto con el fin de mejorarlo y hacer más simple su implementación. Para mejorar la funcionalidad, se reformularon los algoritmos de movimiento, logrando así que la velocidad de desplazamiento del cursor cambie con respecto al grado de inclinación de la cabeza del usuario. La información proveniente del sensor se procesa mediante un sistema difuso resultando en una experiencia más confortable, rápida y cómoda para el usuario, debido a que el sistema difuso permite gran variedad de ángulos de desplazamiento y de velocidad. El prototipo desarrollado reformula la forma de hacer clic con base en sensores optoelectrónicos a partir de los movimientos de la boca contando tan solo con un sensor de inclinación [10], esto considerando que la habilidad de los usuarios con la boca no es limitada ni escasa [3]. Finalmente se implementa un prototipo que permite la interacción de estas personas con la tecnología actual de una manera más cómoda y pertinente a sus necesidades.

Materiales y Métodos

El dispositivo apuntador consiste en un sensor tipo acelerómetro MMA7260QT montado sobre una diadema de aluminio. El acelerómetro queda ubicado en la parte de atrás de la cabeza. La señal del acelerómetro es filtrada mediante un filtro pasivo paso-bajo de primer orden con frecuencia de corte de 8.84 Hz. Esta frecuencia fue elegida basándose en un estudio previo de las frecuencias normales de movimiento de la cabeza [11] con especial utilidad para aquellos que sufren de tetraplejía. La teoría de detección del diseño supone que el usuario puede mover el cursor en la pantalla del computador y hacer clics izquierdo y derecho, utilizando solamente la cabeza. La implementación se realizó con un microcontrolador que dispone de interfaz USB y conversor analógico-digital (ADC). El prototipo fue desarrollado sobre un microcontrolador PsoC 5lp [13], el cual dispone de un conversor analógico-digital (ADC) con resolución de 18 bits e interfaz USB 2.0 configurada para dispositivo apuntador y teclado a una tasa de transferencia 1216 MB/s en configuración full speed [14][15].

La información proveniente del sensor de movimiento es enviada al microcontrolador donde se procesa. Un reporte USB con la información del movimiento relativo del cursor es enviado a través del bus USB. El dispositivo apuntador también cuenta con un sensor óptico OPB704 [16] ubicado al final de una extensión semirrígida desde la diadema. Este sensor se encarga de registrar el movimiento de apertura de la boca. Esta información es enviada al microcontrolador en el cual se hace una comparación de voltajes con un umbral predefinido. Cuando el umbral es superado se activa un temporizador. Dependiendo del tiempo activado se hace un clic derecho o izquierdo.

Figura 1. Diagrama de bloques para el dispositivo apuntador.

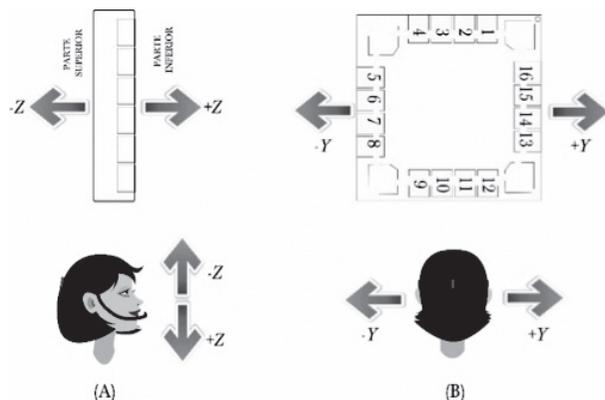


Fuente: Propia de los Autores

El *firmware* para el microcontrolador fue desarrollado sobre lenguaje C, usando el entorno de desarrollo Psoc Creator 3.2. Este software es libre y está disponible para su descarga a través del sitio web de Cypress Semiconductor. El acelerómetro MMA7260QT [17] fue usado como sensor de inclinación para los movimientos de la cabeza. Se usó un periodo de muestreo de $T_m = 14.92ns$ (frecuencia de muestreo $f_m = 67$ MHz), esta frecuencia es adecuada para captar los movimientos de la cabeza del usuario con gran precisión de acuerdo a la capacidad del hardware implementado [11] con especial utilidad para aquellos que sufren de tetraplejía. La teoría del diseño supone que el usuario puede mover el cursor en la pantalla del computador y hacer clics izquierdo y derecho, utilizando solamente la cabeza. La implementación se realizó con un microcontrolador que dispone de interfaz USB y conversor analógico-digital (ADC. El muestreo uniforme se realiza sobre las salidas ZOUT y YOUT del acelerómetro que son conectadas directamente al microcontrolador. La señal ZOUT es tomada para detectar el movimiento de la cabeza hacia arriba y hacia abajo.

Al realizar este movimiento el acelerómetro detecta el cambio en $-Z$ para el movimiento de la cabeza hacia arriba y $+Z$ hacia abajo como se ve en la Figura 2(a). La señal YOUT detecta el cambio en $+Y$ cuando la cabeza es inclinada hacia la derecha y $-Y$ cuando es inclinada hacia la izquierda como se aprecia en la Figura 2(b).

Figura 2. Señales implicadas en el acelerómetro debido a los movimientos de la cabeza.



Fuente: Propia de los Autores

Este acelerómetro registra la aceleración estática, es decir, la aceleración debida a la gravedad de la tierra, proyectada sobre cada eje. Esto se verá reflejado como un voltaje proporcional a la componente de aceleración [17].

La sensibilidad del acelerómetro fue configurada a 800 mV. El acelerómetro variara su voltaje 800 mV en 180° de alcance debido a (1) esto se traduce a que aproximadamente variara 4.4 mV por grado.

(ecu. 1)

$$\frac{\text{Sensibilidad}}{\text{Alcance}} = \frac{800mV}{180^\circ} \cong 4.4^{mV} / ^\circ$$

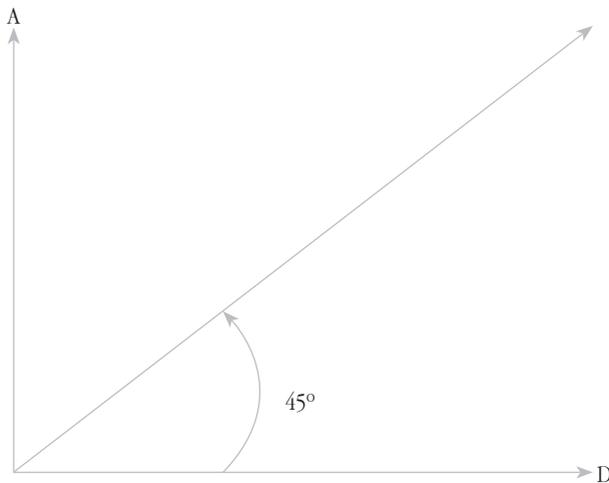
Movimientos relativos del puntero del dispositivo apuntador

Los movimientos relativos del puntero están dados por el grado de inclinación de la cabeza tanto en el eje Y como en el eje X. Para ello se establece que a mayor inclinación la velocidad de movimiento del dispositivo apuntador en esta dirección será más rápida.

En el prototipo anterior los movimientos de la cabeza dependiendo de su dirección activaban un movimiento específico en el puntero [11] con especial utilidad para aquellos que sufren de tetraplejía. La teoría del diseño supone que el usuario puede mover el cursor en la pantalla del computador y hacer clics izquierdo y derecho, utilizando solamente la cabeza. La implementación se realizó con un microcontrolador que dispone de interfaz USB y conversor analógico-digital (ADC. Si este superaba un umbral había movimiento, de lo contrario no había movimiento.

Ahora si **A** es el movimiento de la cabeza hacia arriba y **D** hacia la derecha, y se activan simultáneamente **A** y **D**, el puntero se mueve en un diagonal a 45°. En la Figura 3 se representan **A** y **D** como dos vectores y la suma entre ellos da como resultado el vector **S**. Para cambiar la dirección de este vector a cualquier ángulo diferente entre 0° y 90°, se tiene que variar la magnitud de **A** o **D**. Para ello se tiene que tomar valores intermedios entre “Movimiento” y “No Movimiento”. El vector **S** también tendrá una velocidad constante que corresponde a su magnitud vectorial [18].

Figura 3. Representación vectorial de la activación de movimientos de derecha y arriba.



Fuente: Propia de los Autores

El conjunto que permite a **D** tomar valores intermedios es un conjunto difuso, en el que dependiendo el movimiento de la cabeza se varía igualmente la magnitud del vector **D**. Para ello resulta necesario que **D** no sea tan solo un conjunto con una característica única de pertenencia, es decir que éste no sea un movimiento constante sin importar el grado de inclinación. Debe ser una función continua de pertenencia de los grados de inclinación de la cabeza [19][20].

Se establecieron unas condiciones a partir de la experiencia con los movimientos del puntero y su comportamiento:

- Se considera que hay que dejar una *zona de reposo o de no-movimiento* en la cual el puntero no debe realizar ninguna acción. Es decir, permitirle al usuario algunos grados de libertad para que el puntero permanezca inmóvil. Esto es útil en la lectura de documentos de texto o similares.
- El movimiento del puntero debe tener una pendiente inicial pequeña. Esto es, que en los primeros grados de movimiento la velocidad relativa del puntero debe ser mínima, lo que permite realizar movimientos más finos al usuario, como hacer clic en zonas pequeñas.
- La inclinación máxima de la cabeza se establece en 45° . Siendo éste el valor máximo de velocidad tanto en el eje X como en el eje Y. Después de este grado

de inclinación el puntero debe entrar nuevamente en *zona de no-movimiento*.

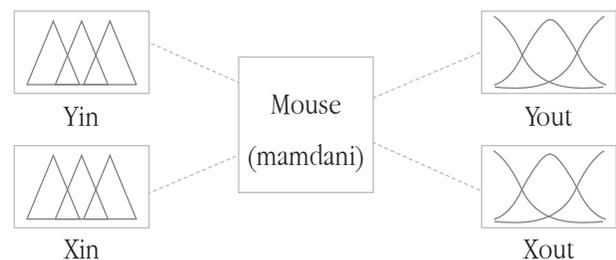
- La velocidad de desplazamiento del puntero del dispositivo apuntador se mide en píxeles por grado de inclinación, por esto se estableció como rapidez máxima 10 píxeles por grado, en el eje X ya que esta era una velocidad apreciable, y controlable para el puntero. A valores más altos el puntero presentó saltos en sus movimientos. Debido a que la mayoría de pantallas en la actualidad tienen una relación de aspecto de 16:9 se decidió usar en el eje Y una velocidad máxima de 7 píxeles.
- En el eje Y la *zona de no-movimiento* debe ser más pequeña que en el eje X debido a la relación de aspecto de las pantallas.

De estas consideraciones se establecen las reglas del sistema difuso:

- Si el usuario permanece en la zona de reposo entonces el puntero debe permanecer inmóvil.
- Si el grado de inclinación del usuario es pequeño, entonces velocidad del puntero debe ser mínima.
- Si el usuario ha inclinado la cabeza a 45° o más en Y, entonces la velocidad del puntero debe ser de 7 píxeles.
- Si el usuario ha inclinado la cabeza a 45° o más en X, entonces la velocidad del puntero debe ser de 10 píxeles.

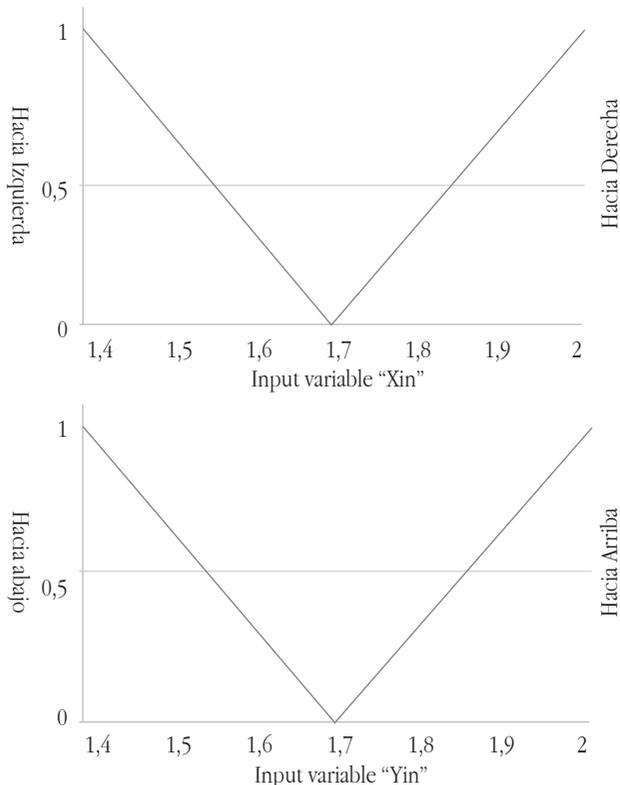
Se implementó un sistema difuso de dos entradas (inclinación en el eje X y eje Y) con dos salidas (movimiento del cursor en el eje X y en el eje Y) simulación obtenida gracias al Toolbox Fuzzy de MATLAB como se muestra en la figura 4 [21].

Figura 4. Arquitectura del sistema difuso



Fuente: Propia de los Autores

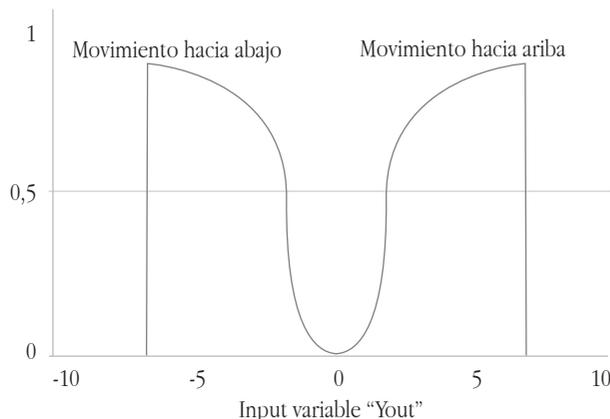
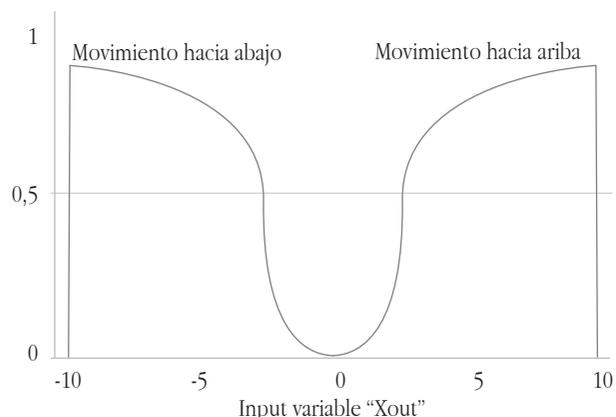
Figura 5. a) Función de pertenencia de X_{in} . b) Función de pertenencia Y_{in} .



Fuente: Propia.

Las salidas del sistema difuso están definidas por funciones de pertenencia polinómicas (2)(3) obtenidas por la experiencia (Figura 6(a)(b)). Para éstas se escogió el centro o *Zona de Reposo* en cero píxeles y aumentando de manera gradual. Estas funciones representan la rapidez del movimiento relativo del puntero en cada eje.

Figura 6. a) Función de pertenencia de X_{out} . b) Función de pertenencia Y_{out} .



Fuente: Propia de los Autores

En el *firmware* del microcontrolador se incluyeron los conjuntos del sistema difuso mediante las ecuaciones (2) y (3).

(ecu. 2)

$$Y_{out} = 197.33Y_{in}^3 - 1212.1Y_{in}^2 + 2498.1Y_{in} - 1727.2$$

(ecu. 3)

$$X_{out} = 1739.8X_{in}^3 - 10519X_{in}^2 + 21193X_{in} - 14229$$

La implementación de estas funciones resulta posible gracias al procesamiento del Psoc 5lp, el cual es capaz de realizar estas operaciones para que el tiempo de realización sea imperceptible al usuario y éste no detecte una demora entre sus movimientos y los del puntero [13].

Eliminación del sensor de la pantalla.

En el prototipo anterior se utilizó un acelerómetro adicional el cual medía la inclinación de la pantalla. Después se procesaba esta información para modificar los umbrales de movimiento y ajustarse a la inclinación de la pantalla. Este acelerómetro tomaba una medida inicial y después era constante durante todo el trabajo con el dispositivo, por lo que puede ser eliminado y tomar la medida de la inclinación de la pantalla de una manera diferente.

El dispositivo propuesto dispone de un botón para la toma de esta medida, lo cual ayuda a determinar el *Error*

de inclinación (E_i) y definir su Zona de Reposo (Z_r). Esta Medida Inicial (M_i) es comparada respecto al valor de entrada que define la Zona de Reposo de los conjuntos de entrada, y con esto se obtiene el error de inclinación.

(ecu. 4)

$$E_i = Z_r - M_i$$

Este error es adicionado permanentemente a los conjuntos de entrada tanto en X_{IN} como en Y_{IN} . De esta manera la inclinación de la pantalla es tomada en cuenta en todos los movimientos que se realicen. En caso de que la inclinación cambie, se debe oprimir nuevamente el botón de medida inicial, para ser recalculado E_i .

Clic izquierdo y clic derecho

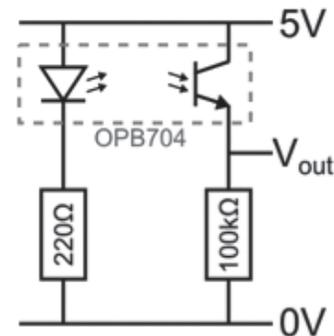
Para la implementación del clic derecho e izquierdo se utilizó un sensor óptico que comprende un emisor y un fototransistor de luz infrarroja. Esta luz es emitida y reflejada en la piel del usuario, cuando la boca está cerrada. En el momento en que el usuario abre la boca la onda infrarroja es reflejada en el interior de la boca. Este cambio es representado con un cambio de voltaje en la unión colector-emisor del fototransistor. En la Tabla 1 se presentan las pruebas hechas a personas con distintos tonos de piel, midiendo la salida del fototransistor sobre una resistencia de 100 K Ω como se muestra en la Figura 7 [16].

Tabla 1. Pruebas realizadas con el sensor OPB704.

Tono de piel	Voltaje con la boca cerrada (V)	Voltaje con la boca abierta (V)
Marfil – Beige - Porcelana	4.5	1.6
Claro	4.32	1.56
Predomina tono Amarillo	4.14	1.58
Moreno	3.52	1.49
Oscuro	3.04	1.49

Fuente: Propia de los Autores

Figura 7. Circuito implementado para la realización de las pruebas.



Fuente: Propia de los Autores

Con los resultados de las pruebas se puede afirmar que hay un cambio significativo en el voltaje respecto a la posición de la boca. Se decidió utilizar un comparador de voltaje a 2 V [9]. Cuando el voltaje sea menor a 2 V se inicia un temporizador, si este tiempo es superior a 500 ms se hace un clic derecho. En caso de que sea menor se hace un clic izquierdo. La implementación se representa en la zona baja de la Figura 1.

Reporte USB

Los datos obtenidos de la inferencia difusa y del cambio de voltaje en el sensor óptico son enviados a través del bus de datos, configurado en modo Full-speed usando la clase HID (Human Interface Devices). Esta clase es compatible con la mayoría de los sistemas operativos actuales. Esto hace que el dispositivo funcione correctamente en diferentes ordenadores, sin necesidad de instalar software adicional [22].

Uso del Dispositivo

El dispositivo debe usarse como se ve en la figura 8 y se deben tener en cuenta las siguientes características:

1. El usuario debe ubicarse frente a su computador. Debe poder visualizar con comodidad toda la pantalla.
2. Ubicar el dispositivo sobre su cabeza, y ajustar el sensor frente a su labio inferior (uno o dos centímetros de distancia).

Figura 8. Posición del sensor de la boca.

Fuente: Propia de los Autores

3. Posicionar su cabeza en la *Zona de reposo* deseada. Conectar el dispositivo apuntador. Si este se conecta por primera vez, el ordenador reconocerá el dispositivo y tardará algunos segundos en su configuración. Luego estará listo para usarse.
4. Oprimir el botón de establecimiento de *Zona de reposo*. Luego de esto el usuario podrá hacer:
 - Inclinarse hacia la izquierda o derecha. El cursor se moverá dependiendo de la dirección de inclinación de la cabeza. La rapidez dependerá del grado de inclinación.
 - Inclinarse hacia adelante o hacia atrás. El cursor se moverá hacia abajo o arriba. La rapidez dependerá del grado de inclinación.
 - Los movimientos de la cabeza pueden ser combinados para lograr movimientos en diferentes direcciones.
 - Para hacer clic izquierdo basta con abrir la boca y cerrarla. En el caso del clic izquierdo es necesario mantener abierta la boca por un segundo.
5. Al terminar el uso basta con desconectar el dispositivo del puerto USB.

Resultados

Se realizaron pruebas a siete personas con entre los 18 y 60 años de edad. Entre ellos se encontraba un joven de 23 años el cual sufrió un accidente que le impide la coordinación fina en sus manos y piernas (sujeto 1). También se realizó en una mujer de 48 años de edad la cual sufre de artrosis degenerativa, por lo que el movimiento de las manos y piernas le resulta doloroso y difícil de realizar (sujeto 2). Tres de ellas sufrían afecciones del túnel del carpo (sujetos 3, 4 y 5) una persona tenía ligeras dolencias (sujeto 6) y el último era un niño de 11 años sin dolencias (sujeto 7). Se les pidió no utilizar en absoluto las manos. Se les solicitó ejecutar 20 veces cada una de las seis funciones del dispositivo apuntador, a saber, (1) desplazamiento arriba, (2) desplazamiento abajo, (3) desplazamiento a la izquierda, (4) desplazamiento a la derecha, (5) clic derecho y, (6) clic izquierdo. Se registraron los errores involuntarios que se presentaban. Repitiendo así las pruebas realizadas en el prototipo anterior, en las cuales los sujetos no tenían afecciones en sus extremidades. Los resultados mostrados en la Tabla 2 son los correspondientes al prototipo anterior, las de este dispositivo son mostradas en la Tabla 3.

Tabla 2. Pruebas realizadas a la muestra de 7 personas con el primer prototipo.

Movimiento del cursor	Movimiento corporal	Aciertos	Desaciertos	Porcentaje desaciertos
Arriba	Inclinación hacia arriba	136	4	2,86%
Abajo	Inclinación hacia delante	138	2	1,43%
Izquierda	Inclinación hacia la izquierda	123	17	12,14%
Derecha	Inclinación hacia la derecha	126	14	10,00%
Clic izquierdo	Movimiento rápido arriba-abajo	109	31	22,14%
Clic derecho	Movimiento rápido izquier-dere	132	8	5,71%

Fuente: Tomado de "Ratón USB para personas tetrapléjicas controlado con el movimiento de la cabeza USB" [11].

Tabla 3. Pruebas realizadas a la muestra de 7 personas con el prototipo actual.

Movimiento del cursor	Movimiento corporal	Aciertos	Desaciertos	Porcentaje desaciertos
Arriba	Inclinación hacia arriba	140	0	0,00%
Abajo	Inclinación hacia delante	140	0	0,00%
Izquierda	Inclinación hacia la izquierda	138	2	1,43%
Derecha	Inclinación hacia la derecha	137	3	2,14%
Clic izquierdo	Apertura rápida de la boca	134	6	4,29%
Clic derecho	Apertura rápida prolongada de la boca	136	4	2,86%

Fuente: Propia de los Autores

Como principal característica se tiene que las personas nunca habían manipulado el dispositivo apuntador y sólo se les explicó el modo de operación. Como se puede evidenciar en todos los aspectos el porcentaje de desacierto bajó considerablemente. Los pocos errores que se tuvieron en los movimientos hacia los laterales, ocurrieron debido a una pequeña confusión respecto al movimiento adecuado a realizar.

En cuanto a los desaciertos en los clics, ocurría cuando el sujeto tenía una confusión entre clic derecho e izquierdo, sin embargo los desaciertos ocurrieron en el principio de la utilización. Después de un tiempo el manejo se volvió más natural, y ellos sintieron que la experiencia era más sencilla con algo de práctica. Igualmente, se les pidió realizar pruebas de actividades básicas que se realizan en un computador.

Las actividades a realizar fueron tres: La primera consistía en abrir un programa que estaba en el escritorio, La segunda era crear una carpeta sobre el escritorio, y finalmente debían cambiar el color de las ventanas accediendo al menú de preferencias del computador. Los resultados de esta prueba se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Pruebas realizadas para actividades básicas en una computadora.

Sujeto de Prueba	Abrir y cerrar programa (segundos)	Crear carpeta nueva (segundos)	Cambiar Color de las Ventanas (segundos)
Sin el dispositivo	5,21	6,39	18,2
Persona con práctica	19,19	7,93	37,56
Sujeto 1	38,78	12,98	83,98
Sujeto 2	25,89	9,13	57,98
Sujeto 3	27,35	8,06	49,34
Sujeto 4	26,99	9,51	51,01
Sujeto 5	34,74	9,67	45,9
Sujeto 6	43,23	7,76	43,78
Sujeto 7	37,9	8,37	60,36

Fuente: Propia de los Autores

Se implementa un segundo set de pruebas con el objetivo de ver el funcionamiento en una muestra más amplia de personas, y verificar si en algunos casos se presenta dificultad en la comprensión del funcionamiento. Este set se hizo con un grupo nuevo de quince voluntarios, a los cuales se les explicó el funcionamiento del dispositivo y se mostró la utilización del mismo, estas realizaron los ejercicios de manera seguida por lo que aprendieron de sus predecesores.

Tabla 5. Segundo set de pruebas muestra de 15 personas con el prototipo actual.

Movimiento del cursor	Movimiento corporal	Aciertos	Desaciertos	Porcentaje desaciertos
Arriba	Inclinación hacia arriba	299	1	0,33%
Abajo	Inclinación hacia delante	298	2	0,67%
Izquierda	Inclinación hacia la izquierda	295	5	1,67%

Movimiento del cursor	Movimiento corporal	Aciertos	Desaciertos	Porcentaje desaciertos
Derecha	Inclinación hacia la derecha	296	4	1,33%
Clic izquierdo	Apertura rápida de la boca	291	9	3,00%
Clic derecho	Apertura rápida prolongada de la boca	294	6	2,00%

Fuente: Propia de los Autores

Tabla 6. Segundo set de pruebas para actividades básicas muestra 15 personas.

Sujeto de Prueba	Abrir y cerrar programa (segundos)	Crear carpeta nueva (segundos)	Cambiar Color Ventanas (segundos)
Sujeto 1	63,36	15,17	57,89
Sujeto 2	44,61	8,89	48,69
Sujeto 3	22,46	25,03	46,67
Sujeto 4	53,11	28,22	64,44
Sujeto 5	25,74	24,46	53,54
Sujeto 6	30,21	17,25	42,42
Sujeto 7	33,94	12,16	62,93
Sujeto 8	21,63	15,5	44,54
Sujeto 9	19,42	15,9	42,73
Sujeto 10	30,01	11,75	45,05
Sujeto 11	59,3	13,68	63,79
Sujeto 12	30,28	27,81	78,93
Sujeto 13	51,3	26,8	63,4
Sujeto 14	28,22	16,91	48,61
Sujeto 15	31,33	21,67	61,96
Tiempos Máximos	63,36	28,22	78,93

Sujeto de Prueba	Abrir y cerrar programa (segundos)	Crear carpeta nueva (segundos)	Cambiar Color Ventanas (segundos)
Tiempos Mínimos	19,42	8,89	42,42
Tiempos Promedios	36,33	18,75	55,04

Fuente: Propia de los Autores

En la implementación del prototipo los movimientos relativos del puntero ganaron gran versatilidad y capacidad de movimiento logrando así que el puntero puede ser movido en cualquier dirección. Además que su rapidez sea controlada. La implementación del sensor de la boca funcionó bien en todos los usuarios de distinta tez, por lo que todos fueron capaces de dar clic derecho e izquierdo independientemente de su tono de piel, o condiciones de iluminación. Sin embargo, es necesario un buen ajuste del sensor respecto a la posición de la boca.

Las pruebas al dispositivo se realizaron en sistema operativo OS X El Capitán y en los sistemas operativos que se encuentran en el mercado, verificando el funcionamiento de todas las funciones implementadas. Los sistemas operativos en los cuales se probó el dispositivo se enuncian a continuación:

- Windows 7 Professional de 64 bits.
- Windows 8.1 de 64 bits.
- Ubuntu 14.04 LTS de 64 bits
- Fedora 19 Schrödinger's cat de 64 bits.
- OSX El Capitán de 64 bits.

Se resalta que en ninguno de los sistemas operativos fue necesaria la instalación de software adicional, y todos lo reconocieron como dispositivo compatible con HID.

Conclusiones

El dispositivo final es capaz de controlar los movimientos relativos del cursor de un computador; su uso abarca cualquier tipo de usuario pero está dirigido preferiblemente a personas tetrapléjicas, de modo que puedan controlar un ordenador con los movimientos de su cabeza.

Esto se evidencia en que las personas que realizaron la prueba fueron capaces de cumplir con las tareas que se les pidió, independientemente del tiempo, se logró la finalidad. La implementación de un sistema difuso se considera apropiada debido a que aporta a la libertad de movimientos para el usuario del dispositivo. Permite el control de la velocidad del puntero y brinda nuevas direcciones de movimiento al dispositivo apuntador. El sistema difuso da una acción determinada a cada instante de los movimientos de la cabeza, brindando la sensación de un dispositivo más controlable y rápido. La mejoría de la experiencia de usuario se evidencia en la disminución del porcentaje de desacierto respecto al prototipo que no implementa un sistema difuso.

El cálculo del Error de inclinación permitió la reducción del hardware con la eliminación del sensor encargado de detectar la inclinación de la pantalla. Este también permite que el dispositivo se ajuste a cualquier posición que decida asumir el usuario.

La precisión a la hora de realizar la acción clic mejoró notablemente evidenciando una disminución considerable de los desaciertos esto visible en las Tabla 3 y 5. Al desligar la acción de clic de la del movimiento permite la disminución de fallos en la posición deseada del puntero. Las opiniones de los voluntarios confluyen en la sensación de disminución del agotamiento ya que el abrir la boca es un movimiento más natural del cuerpo humano, y se realiza en repetidas ocasiones de la vida cotidiana.

Al evaluar los tiempos para ejecutar la acción crear carpeta con el dispositivo implementado (Tabla 4 y 6), no existen diferencias significativas (diferencias del orden de los minutos) entre estos respecto a una persona que utiliza el dispositivo apuntador clásico conocido como ratón. Con el dispositivo el usuario tarda pocos segundos adicionales en realizar esta actividad. Se resalta que a pesar de las dificultades iniciales, todos los voluntarios fueron capaces de realizar la acción. Por lo que el uso en niños no se descarta. El dispositivo es de fácil transporte debido a su peso ligero. Sobresale que este no necesita de la instalación de un software adicional para ser utilizado y puede aplicarse en computadores de acceso público tales como: cibercafés, bibliotecas públicas, computadores de centros educativos y los utilizados para hacer trámites en entidades gubernamentales.

Referencias

- [1] L. H. L. Agudelo and V. Seijas, “La discapacidad en Colombia: una mirada global,” *Rev. Colomb. Med. Física y Rehabil.*, vol. 22, no. 2, pp. 164–179, 2012.
- [2] J. Gómez, “Identificación de las personas con discapacidad en los territorios desde el rediseño del registro,” *DANE, Dirección Censos y Demogr.-Grupo Discapac.*, pp. 1–22, 2008.
- [3] H. L. Blaine, D.D.S., M.S, E. P. Nelson, D.D.S, “A mouthstick for quadriplegic patients.,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 29, no. 3, pp. 317–22, Mar. 1973.
- [4] T. Pallejà, E. Rubión, M. Teixidó, M. Tresanchez, A. Fernández, and C. Rebate, “Ratón Virtual Relativo Controlado con los Movimientos de la Cabeza. Memorias del IX Congreso Internacional Interacción, Albacete, Espana. 2008”
- [5] Z. Naizhong, W. Jing, and W. Jun, “Hand-Free Head Mouse Control Based on Mouth Tracking,” *In Computer Science & Education (ICCSE), 2015 10th International Conference on* (pp. 707-713). IEEE.
- [6] N. Point, “www.naturalpoint.com/“, Inc, 1 de Enero 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.naturalpoint.com/smartnav/products/4-at/>. [Ultimo Acceso: 05 de febrero 2017]
- [7] J. Gips, M. Zhang, and D. Anderson, “Towards a Google Glass Based Head Control Communication System for People with Disabilities,” *In International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 399-404). Springer International Publishing. August, 2015.
- [8] F. Justo, “Creación de una herramienta que permita mover el cursor de un computador a partir del movimiento ocular , utilizando técnicas de visión artificial,” *7 Conferencia Latinoamérica y Caribe de Ingeniería y Tecnología* p. 81, 2009.
- [9] D. Mahecha, F. Lozano, E. García. “Control de mouse a través de señales EOG y algoritmos de Boosting.” *XIII SIMPOSIO DE TRATAMIENTO DE SEÑALES, IMÁGENES Y VISIÓN ARTIFICIAL . STSIVA*, 2008. 57-60.

- [10] A. Torres, S. Gamboa, O. Hernández, a Martínez, a Pérez, W. Torres, J. Camas, M. Pérez, and H. Castañón, “Diseño de un mouse óptico facial para pacientes que presentan discapacidad parapléjica,” *Revista Cubana de física* vol. 27, no. 1, pp. 23–27, 2010.
- [11] D. A. Riaño Gómez, O. Salazar Morales, and J. J. Soriano Méndez, “Ratón USB para personas tetrapléjicas controlado con el movimiento de la cabeza” *En Ingeniería*, vol. 19, no. 2, pp. 41–62, 2014.
- [12] H.R. Tello Morales, “Puntero inalámbrico de computadora para el uso de personas con cuádruplejía utilizando movimientos de la cabeza,” *Universidad Politécnica Salesiana (Bachelor’s thesis)*, 2015.
- [13] Cypress Semiconductor. PSoC® 5LP: CY8C58LP Family Datasheet. Prod. Cypress Semiconductor. 2015.
- [14] Murphy, Robert. PSoC® 3 and PSoC 5LP – Introduction to Implementing USB Data Transfers. Datasheet. Cypress Semiconductor Corporation. pp. 1–76, 2016.
- [15] Cypress Semiconductor Corporation. Full Speed USB (USBFS). Datasheet. Cypress Semiconductor Corporation. pp. 1–42, 2016.
- [16] OPTEK technology, “OPB704, Technical Data” Datasheet. 606–608, 2011.
- [17] Freescale Semiconductor . $\pm 1.5g - 6g$ Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer . Technical Data. Freescale Semiconductor. 2008.
- [18] Lazzari , Luisa L., A. M. Machado , y R.H. Pérez . «Los conjuntos borrosos: una introducción.» *Cuadernos del CIMBAGE 2* (2012).
- [19] Zadeh, L. A. «Fuzzy sets.» *Information and control*, 1965: 338-353.
- [20] L.-X. Wang, “A Course in Fuzzy Systems and Control,” p. 460, 1997.
- [21] S. R. Jang and N. Gulley, “Fuzzy Logic Toolbox Functions,” *User’s Guid.*, p. 208, 2015.
- [22] J. Axelson, *USB Complete: Everything You Need to Develop Custom USB Peripherals*. Lakeview Reseach. 2005.

Los Autores



Santiago Andrés Peña Arismendi

Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas con formación en Bioingeniería e inteligencia Computacional. Analista en Soluciones Digitales de BBVA Colombia.



Omar Salazar Morales

Ingeniero electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.