Artículo Original

Casos de aplicación específicos, vinculando IA y Educación

Adaptando el juego de laberinto con asistencia de inteligencia artificial como un apoyo en el desarrollo de la motricidad fina

Adapting the maze game with artificial intelligence assistance as a support in the development of fine motor skills

Edgar Serrano-Pérez[1], Anabelem Soberanes-Martín[1], Alejandra Lorena Castro-Yáñez[1]

[1] UAEMex CU Valle de Chalco, Valle de Chalco Solidaridad, México

eserranop_s@uaemex.mx, asoberanesm@uaemex.mx, lia_ale78@hotmail.com

Recibido: 10/05/2023 | **Corregido**: 25/07/2023 | **Aceptado:** 10/09/2023

Cita sugerida: E. Serrano-Pérez, A. Soberanes-Martín, A. L. Castro-Yáñez, "Adaptando el juego de laberinto con asistencia de inteligencia artificial como un apoyo en el desarrollo de la motricidad fina," *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, no. 37, pp. 148-155, 2024. doi:10.24215/18509959.37.e15.

Esta obra se distribuye bajo **Licencia Creative Commons CC-BY-NC 4.0**

Resumen

Con el desarrollo de las habilidades de motricidad fina se inicia con el proceso de aprendizaje para poder escribir utilizando distintos elementos de trazo. En este trabajo se presenta un prototipo que incentiva el trazo de líneas rectas y curvas para promover el desarrollo de motricidad fina usando un laberinto construido con una pista conductiva y diversos elementos electrónicos. El sistema cuenta con retroalimentación olfativa y elementos indicadores visuales en favor de promover el progreso de avance sobre la trayectoria. El algoritmo que controla el prototipo se ha desarrollado a través de un sistema de inferencia difusa, embebido en una estructura multivariable de tipo Sugeno e implementado en una tarjeta con microcontrolador ESP32. Se ha verificado y validado el diseño del sistema controlador a través de la aplicación "Fuzzy Logic Designer" del ambiente Matlab. Se realizaron pruebas físicas para corroborar la operación de los distintos escenarios que se pueden presentar durante el uso del dispositivo. El prototipo resultante es de bajo costo y puede ser adaptado para ser incorporado en distintos contextos y escenarios, desde el desarrollo de habilidades de motricidad fina en estudiantes jóvenes hasta adultos que requieren rehabilitación debido a accidentes y lesiones.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Recurso educativo; Motricidad fina; Cómputo físico; Retroalimentación olfativa.

Abstract

Through the development of fine motor skills, the process of learning to write using different pencil stroke tools begins. This work presents a prototype that encourages the drawing of straight and curved lines to promote the development of fine motor skills using a maze built with a conductive track and various electronic elements. The system has olfactory feedback and visual indicator elements to promote progress along the trajectory. The algorithm that controls the prototype has been developed through a fuzzy inference system, embedded in a Sugeno-type multivariable structure and implemented on a card with an ESP32 microcontroller. The design of the controller system has been verified and validated through

the "Fuzzy Logic Designer" application of the Matlab environment. Physical tests were carried out to corroborate the operation of the different scenarios that can occur during the use of the device. The prototype is of low cost and can be adapted to be incorporated in different contexts and scenarios, from developing fine motor skills in young students to adults requiring rehabilitation due to accidents and injuries.

Keywords: Artificial intelligence; Educational resource; Fine skills; Physical computing; Olfactory feedback.

1. Introducción

El desarrollo de las habilidades psicomotrices de los estudiantes, generalmente se lleva a cabo al poner en práctica los diversos movimientos del sistema locomotor del ser humano, vinculando los distintos sentidos con los que percibe el mundo que lo rodea. Este proceso de práctica y entrenamiento puede fomentarse de manera guiada a través del desarrollo de instrumentos computacionales tangibles. Así se le permite a los alumnos desarrollar sus destrezas utilizando herramientas y artefactos de tecnología educativa, bajo el contexto de actividades lúdicas y gamificación. Uno de los objetivos del desarrollo de la grafomotricidad es contar con las habilidades necesarias para la escritura a través del uso de elementos como lápiz, pluma y papel [1].

El desarrollo de la grafomotricidad también juega un papel importante en la rehabilitación de adultos que han presentado una disminución de su capacidad motriz debido a múltiples factores como lesiones y accidentes [2]. Para el desarrollo de las habilidades de escritura, se han desarrollado distintos recursos educativos que por lo general se realizan usando directamente el lápiz y papel. El objetivo es practicar posiciones básicas que originan movimientos coordinados de la mano y el lápiz sobre una superficie [3].

Con el auge de los dispositivos móviles, se han implementado recursos educativos basados en el desarrollo de la grafomotricidad mediante pantallas táctiles [4], [5] y plataformas Web [6]. Se han mostrado las ventajas de incluir los sistemas de cómputo como herramientas de soporte tangible para el adiestramiento y desarrollo de la motricidad fina. En este sentido, investigaciones se han enfocado en el desarrollo de plumas inteligentes para el monitoreo de los patrones de escritura [7], [8], la identificación de trastornos en la escritura como la disgrafia [9] o el mal del Parkinson [10]. Dentro de los ejercicios más comunes que permiten el desarrollo de la grafomotricidad se encuentran las líneas rectas y curvas [11]. Se considera que el seguimiento de un laberinto es una actividad que permite vincular ambos trazos durante el desarrollo de una misma actividad.

El desarrollo de las actividades que se realizan con papel y lápiz implican un uso predominante de la vista y el tacto. Al utilizar medios tecnológicos como celulares y tabletas con pantallas táctiles, es posible favorecer la inclusión de animaciones [4] y sonidos, así como su percepción a través del sentido del oído. Se trata de acciones que además favorecen la inclusión de estudiantes con una disminución en el sentido de la vista [12]. Además, es posible la generación de efectos visuales a través de realidad extendida o retroalimentación táctil por medio de vibración, que añaden un mayor grado de inmersión y realismo a las actividades didácticas que se efectúan [13]–[15]. Dentro de los sentidos involucrados en las actividades de aprendizaje, el sentido del olfato y el gusto han sido poco explorados. Sin embargo, existe un creciente interés en la inclusión de experiencias olfativas debido a que el sentido del olfato es un medio para recordar experiencias y sucesos relevantes del pasado, aspectos que resultan fundamentales durante el proceso de aprendizaje [15]–[19]. Recientemente, se ha observado que el uso de experiencias olfativas puede ser menos intrusivas durante los procesos de retroalimentación en el aprendizaje, favoreciendo la concentración de los estudiantes [20].

De esta manera, en el presente trabajo se ha desarrollado un prototipo que impulsa el desarrollo de la motricidad fina a través de un sistema de laberinto, donde el usuario practica los procesos de trazado de líneas rectas y curvas. A medida que el usuario avanza, se detiene o despega el palpador móvil de la pista conductiva, el usuario recibe retroalimentación olfativa y visual. Se provee a través de un sistema de deliberación por aire forzado y el control de iluminación de un diodo verde y rojo como indicadores de posición de avance en el trazado.

Para la implementación de algoritmos de inteligencia artificial a través de cómputo físico, la tarjeta ESP32 posee características interesantes de hardware a un bajo costo. Posee diversos pines de propósito general para el procesamiento de señales tanto digitales como analógicas. Las características de la tarjeta ESP32 han permitido la implementación en hardware de algoritmos de inteligencia artificial en múltiples aplicaciones de las diversas ramas de la ingeniería con un enfoque en lógica difusa [21]–[27].

2. Métodos y materiales

Se utilizó una base circular de madera para el montaje de las pistas de cobre, a fin de obtener el trazado de un laberinto con 3 secciones diferentes e independientes entre sí. Cada sección se formó uniendo tramos rectangulares de cinta de cobre de 5 mm, espaciadas cada una de ellas mediante una separación alrededor de 1 mm. De esta manera pueden ser unidas mediante una resistencia de 1 Kohm en la cara posterior de la base de madera.

Se formaron 3 secciones del laberinto con resistencias totales de 5, 6 y 7 Kohms. De esta manera, se obtuvieron circuitos de resistencias unidas en serie. El objetivo fue poder monitorear la posición en la que se encuentra el usuario al hacer el recorrido deslizando el palpador móvil

sobre la superficie de la cinta de cobre, tal y como se observa en la Figura 1.

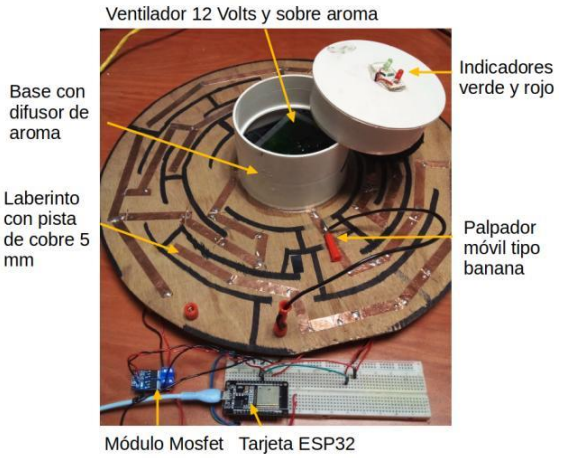


Figura 1. Descripción de los materiales utilizados en el desarrollo del prototipo

Al energizar el arreglo del circuito serie de resistencias, se conecta el palpador móvil de tipo banana a una entrada analógica de la tarjeta ESP32 con el objetivo de estimar el avance en el recorrido de la trayectoria que permite completar la sección del laberinto en operación. En la parte central de la base de madera se colocó una base de PVC de 4 pulgadas que aloja en su interior un ventilador de 12 Volts de corriente directa. El diagrama electrónico se puede observar en la Figura 2.

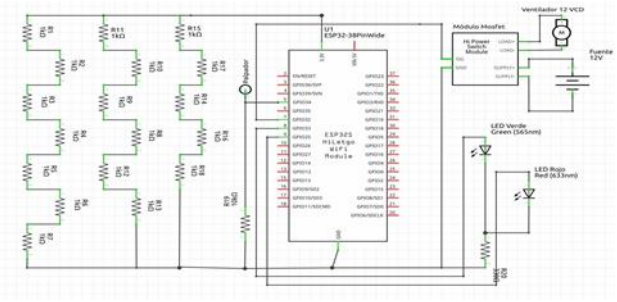


Figura 2. Diagrama electrónico del sistema utilizado

Sobre el ventilador se colocó un sobre con aroma marino, y se realizaron 5 barrenos a la base de PVC para permitir la difusión del aroma mediante el arrastre de aire forzado desde el interior de la base. Mediante una tapa de PVC se cierra el sistema para limitar el transporte del aroma hacia el exterior de la base de PVC. Sobre la tapa se colocaron como elementos indicadores, dos diodos tipo LED de color verde y color rojo respectivamente. De esta manera, la tarjeta ESP32 utiliza una entrada analógica conectada al palpador móvil tipo banana que monitorea en tiempo real la posición del recorrido alcanzado por el usuario.

Se emplearon 3 pines digitales como salida PWM, uno de ellos destinado a la regulación de la velocidad del ventilador de 12 Volts y los dos pines digitales restantes para el control de la luminosidad de los diodos LED verde y rojo. Se requirió de un módulo Mosfet para el manejo de la corriente del ventilador y una fuente externa de computadora para proveer la energía suficiente hacia el mismo. Al realizar la medición del voltaje con el palpador móvil sobre la superficie de la pista de cobre y usar el convertidor analógico digital, se observaron diversas variaciones en los resultados obtenidos, por lo que resultó complicado obtener mediciones precisas. Para poder implementar un controlador eficiente que pueda manejar la incertidumbre presentada en el sistema de medición y adquisición de datos, se seleccionó la lógica difusa como base para la obtención de un sistema tipo Sugeno. El sistema cuenta con una entrada y tres salidas, es decir, un sistema de una entrada y múltiples salidas.

La entrada del sistema corresponde con la medición efectuada mediante el palpador móvil, y fue representada mediante 6 funciones de membresía en un universo del discurso que va de -0.1 a 3.4 volts. Se utilizaron geometrías del tipo triangular tal y como se observa en la Figura 3.

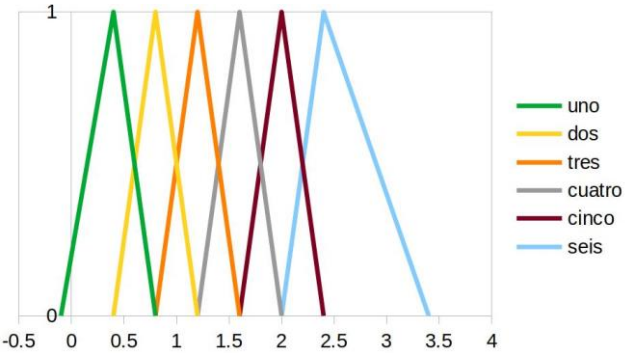


Figura 3. Funciones de membresía de la variable de entrada "Posición"

La primera salida de la estructura tipo Sugeno se definió como "PWM" y es la variable que permite la regulación de operación del ventilador de 12 Volts. Se definieron 6 constantes: 42, 84, 126, 168, 210 y 252, tal y como se puede observar en la Figura 4.

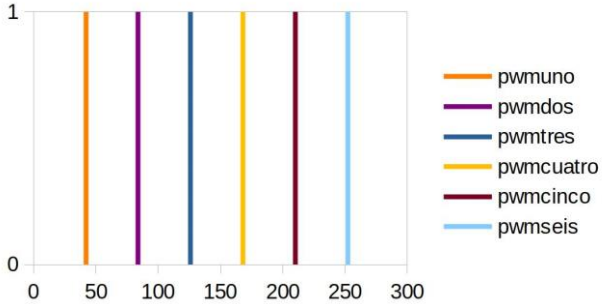


Figura 4. Descripción de la variable de salida "PWM"

Se debe de considerar que las señales de PWM se definieron mediante software con una resolución de 8 bits, con un número máximo alcanzable de 255 para todas las variables de salida. En este sentido, la segunda variable de salida corresponde a la variable "LedVerde" con las constantes 0, 50, 60, 80, 100 y 255. El objetivo del sistema de iluminación con el LED de color verde es que el usuario pueda percibir su progreso visualmente al ir

avanzando cada una de las secciones del laberinto en operación. A medida que se avanza, se incrementa la luminosidad del LED como un indicativo que se está avanzando en la dirección correcta, debido a que cada sección del laberinto también cuenta con tramos distractores que llegan a una sección sin salida, el usuario debe regresar a buscar la trayectoria correcta. De esta manera el usuario observa que no existen cambios en la coloración del diodo verde debido a que no representan como tal un avance hacia la conclusión del laberinto. El detalle de la definición de la salida "LedVerde" puede observarse en la Figura 5.

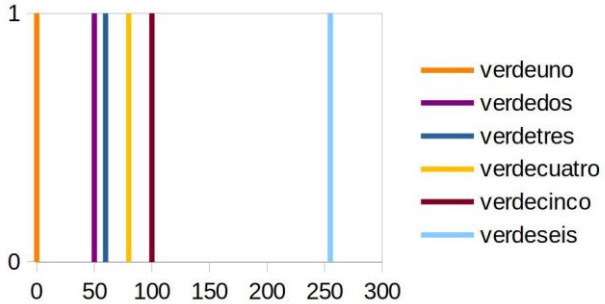


Figura 5. Descripción de la variable de salida "LedVerde"

La tercera salida del controlador se destinó a la variable "LedRojo" con las constantes 255, 8, 6, 4, 2 y 0. El objetivo del indicador LED de color rojo es informar al usuario que no existe conexión entre el palpador móvil y la superficie de cobre; es decir, se ha perdido la conexión debido a que el usuario no está siguiendo el trazo dentro de los límites de la pista o ha levantado el palpador móvil perdiendo la conexión con la superficie. A medida que el usuario sigue la trayectoria correcta, la iluminación del LED de color rojo comienza a disminuir para dar paso a la iluminación del LED de color verde. La presentación de la variable de salida puede observarse en la Figura 6 con escala logarítmica para una mejor visualización.

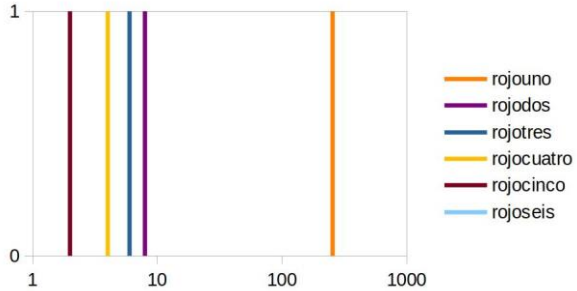


Figura 6. Descripción de la variable de salida "LedRojo"

Para verificar el funcionamiento, se simuló el sistema difuso con estructura del tipo Sugeno utilizando una entrada, que corresponde a la medición de voltaje que se realiza a través del pin analógico de la tarjeta ESP32. La medición está en función de la posición actual en que se encuentra el usuario respecto al trayecto total de la pista de cobre. Se definieron las tres salidas correspondientes, la primera es la señal PWM que controla la velocidad de giro del ventilador de 12 Volts. La segunda y tercera salidas corresponden a las señales para controlar la intensidad de brillo de los LED's Verde y Rojo respectivamente, obteniendo la estructura en el ambiente Matlab que se observa en la Figura 7.

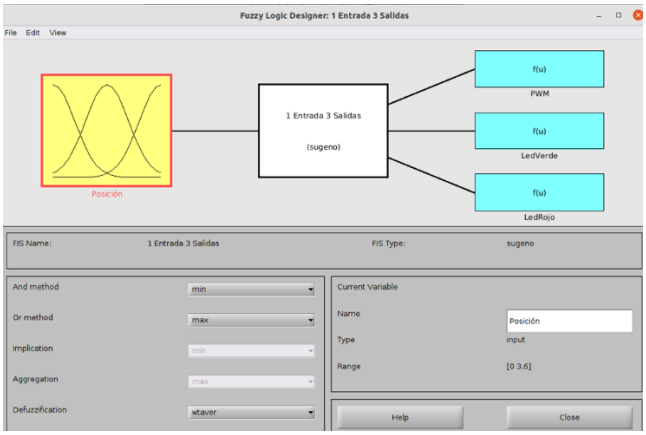


Figura 7. Representación del controlador difuso con estructura Sugeno en la aplicación "Fuzzy Logic Designer"

Una vez implementada la base de conocimiento del sistema, a través del sistema de reglas de inferencia difusa, se utilizó el visor de superficies. Se obtuvieron los mapeo de la entrada con cada una de las salidas correspondientes, como se puede observar en la Figura 8.

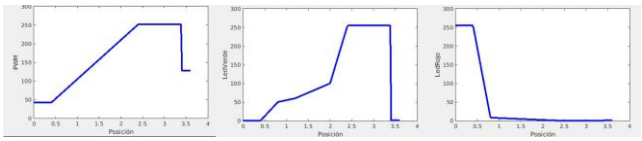


Figura 8. Visor de superficie que representa el mapeo de la entrada con cada una de las salidas.

Para el caso del gráfico obtenido del mapeo de la entrada "Posición" y la salida "PWM" se observa que cuando se tiene la posición inicial se obtiene una salida de PWM de 42. Ante esta situación el ventilador permanece detenido, ya que ese valor de señal no es suficiente para iniciar el giro y vencer la inercia del rotor, sin embargo, se observó que valores cercanos a un PWM de 80 permiten iniciar el giro del ventilador sin ningún esfuerzo.

Es decir, que, una vez superada la primera etapa del recorrido por el usuario, el ventilador comienza el giro y se incrementa gradualmente hasta llegar al punto máximo con una medición de "Posición" de 2.4. En ese momento se obtiene una salida PWM de 252.

Para el caso del mapeo de la entrada "Posición" con la salida "LedVerde" se observa que en la primera sección del laberinto los valores obtenidos de salida indican que el color verde permanecerá apagado. Esto es debido a que se obtendrán valores de 0, hasta superar la primera etapa del recorrido. Una vez superado ese momento, el LED verde comenzará a incrementar gradualmente su iluminación hasta llegar a un máximo que se obtiene en la última etapa del recorrido, siempre y cuando el usuario mantenga el contacto el palpador móvil con la superficie. Al levantar, despegar, o salirse de la pista con el palpador móvil, se obtienen valores cercanos a 0, con sus respectivas fluctuaciones (0 hasta 0.42 volts). Sin embargo, el sistema

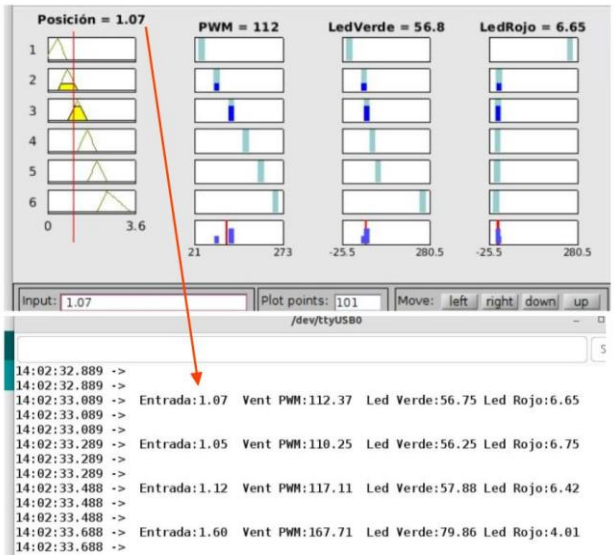
difuso cuenta con la robustez necesaria para tomar decisiones en dichas circunstancias de imprecisión, obtenidas por parte de la medición de la señal, es decir, mantiene el LED verde apagado ante dicha situación.

De esta manera al observar el mapeo de la señal de entrada "Posición" con la salida "LedRojo" se observa una tendencia contraria a la señal de iluminación del LED de color verde. Es decir, que, en la primera etapa del recorrido, el LED Rojo se mantendrá a su máxima capacidad y comenzará a descender rápidamente su iluminación a medida que el usuario comienza a avanzar correctamente en el recorrido.

Se debe recordar que, en el momento que se levante, despegue o se salga de la pista el usuario, se obtendrá una entrada cercana a 0 con sus fluctuaciones. En ese momento el LED rojo se ilumina a su máxima capacidad. Se trata de un elemento de precaución visual y que le permita al usuario enfocarse en mantener el palpador móvil pegado a la superficie. De esta manera, las condiciones de inicio del sistema, y que se replican al separar, levantar y/o despegar el palpador móvil de la superficie, indican que el ventilador estará apagado, el LED verde estará también apagado y se encenderá el LED rojo a su máxima capacidad. A medida que el usuario deslice, sin despegar el palpador móvil y avance correctamente por las secciones del laberinto en uso, el ventilador comenzará a incrementar su velocidad, acarreando un flujo aromático hasta la proximidad del usuario, el LED verde comenzará a incrementar su luminosidad y el color rojo disminuirá rápidamente su iluminación. En el momento que el usuario llegue a la última etapa el ventilador girará a la máxima velocidad y mediante la corriente de aire forzado podrá obtener el mayor aroma posible, el LED verde se iluminará a su máxima capacidad y el LED de color rojo permanecerá totalmente apagado.

La implementación del algoritmo de control difuso, se realizó a través de una tarjeta ESP32 en el lenguaje de programación Arduino. Se utilizó el monitor serial del entorno de desarrollo Arduino para desplegar los valores de las variables del algoritmo de control difuso implementado mediante la tarjeta ESP32. En el monitor serial se despliega en primer lugar la medición de voltaje respecto a la posición del palpador móvil sobre la superficie de la pista de cobre, que conforma el recorrido que debe ejecutarse para completar el laberinto. En segundo punto, se despliegan las 3 variables de salida consecutivamente, empezando por el valor de "PWM" determinado como señal para el ventilador. Posteriormente, se despliegan los valores de señal que permiten regular la intensidad luminosa de los Leds de color verde y rojo respectivamente. A manera de verificación, se usó el visor de reglas del ambiente de desarrollo Matlab, con el objetivo de contrastar los resultados obtenidos mediante la aplicación "Fuzzy Logic Designer" y el algoritmo de control implementado en la tarjeta ESP32. Los resultados gráfico-numéricos pueden observarse en la Figura 9.

Figura 9. Contraste de resultados obtenidos mediante la aplicación "Fuzzy Logic Designer" y la implementación física con la tarjeta ESP32.



Al usar el prototipo para el adiestramiento y desarrollo de motricidad fina, se compararon los distintos valores obtenidos mediante la herramienta de diseño de Matlab y los valores obtenidos mediante la implementación en Hardware a través de la tarjeta ESP32. Se obtuvieron valores muy cercanos entre sí, lo que ha permitido validar el diseño que se realizó para el correcto funcionamiento del dispositivo. Se procedió con la prueba de funcionamiento del laberinto utilizando al palpador móvil sobre toda la superficie de la pista de cobre, verificando que el ventilador se activa una vez comienza a avanzarse sobre las diferentes secciones del laberinto. Simultáneamente, se comprobó el correcto funcionamiento de los Leds de color verde y rojo, tal y como se observa en la Figura 10.

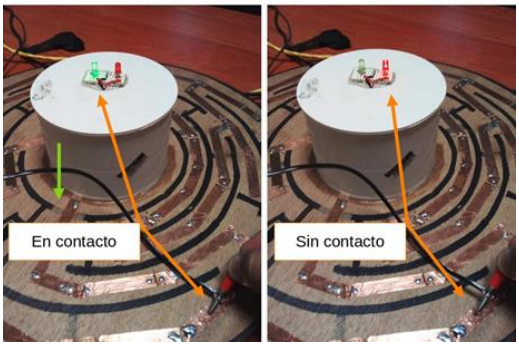


Figura 10. Prueba de funcionamiento del dispositivo para el desarrollo de motricidad fina.

La línea de color verde representa la salida de aire forzado con aroma que provoca la activación y regulación de velocidad del ventilador que se encuentra dentro de la estructura de PVC. En este sentido se recalca que la difusión del aroma a través del aire forzado del ventilador resultó compleja y requiere un mayor estudio para medir y regular efectivamente la cantidad de aroma que se delibera hacia el usuario.

3. Resultados y discusión

En concordancia con trabajos anteriores, durante la exploración de funcionamiento del dispositivo, se identificaron diversos factores que influencian los procesos para generar una retroalimentación olfativa para el usuario. Por un lado, la variable de temperatura [28], [29] tanto para el caso de la esencia como del ambiente, repercute en la volatilidad y la capacidad de difusión y su transporte en el aire. Además, la humedad relativa [18] puede diluir o degradar la concentración de esencia durante su transporte. Otro factor importante identificado es la distancia que existe entre el usuario y la fuente del aroma, ya que incrementa el tiempo en el que un usuario puede percibir los cambios en la concentración; este fenómeno de retraso en la percepción del aroma ya ha sido abordado con anterioridad a través de una estructura tipo Mamdani [30]. Se consideró como entrada el monitoreo de la distancia entre el usuario y la fuente de deliberación a través de un sensor ultrasónico. En este sentido, se observó que la dirección con que se focaliza el despliegue del aire forzado para el arrastre de la esencia, debe ser considerado en situaciones o actividades donde el usuario puede no encontrarse en una posición estática, como en el prototipo aquí presentado. Se debe considerar que el usuario puede cambiar de posición y ubicación al seleccionar los distintos laberintos en la estructura circular, pero el sistema de deliberación permanece estático; este factor se observó que disminuye la capacidad para alcanzar eficientemente los receptores olfativos del usuario.

Para la parte del control del sistema de deliberación de aromas, se observó que aún existen diversas variables que influencian una eficiente retroalimentación olfativa. En el prototipo exploratorio se identificó un conjunto de variables relevantes y que deben ser consideradas para mejorar el proceso. Se trata de variables que influencian los procesos de generación, arrastre, direccionamiento y transporte de las micropartículas de la esencia para alcanzar los receptores olfativos del usuario.

La técnica de control con lógica difusa representa una importante técnica de la inteligencia artificial que permite vincular sistemas con múltiples entradas y salidas a través de un base de reglas de inferencia. Es posible representar el conocimiento humano para la toma de decisiones de procesos complejos como el que se ha presentado. Ante esta situación, como trabajo futuro, se debe considerar el desarrollo de un sistema móvil o portátil que se adapte a las distintas condiciones ambientales como iluminación, temperatura y humedad. Además se requiere considerar las distintas posiciones y direcciones que puede asumir el usuario, es decir, que considere la mayor influencia de variables posibles. Todos estos factores han limitado en cierta medida una mayor utilización de los sistemas olfativos, sin embargo, recientemente, la técnica de simulación de dinámica de fluidos computacional ha mostrado resultados alentadores hacia un mejor diseño de los sistemas de deliberación de aromas [31].

Por otro lado, la ubicación de los diodos Leds del prototipo permite que el usuario pueda identificar fácilmente los distintos patrones de iluminación independientemente de la postura y ubicación que pueda tener el usuario; considerando que los ojos presentan una mayor movilidad con respecto a la nariz; que requiere del movimiento completo de la cabeza. En este sentido, se observó que al permanecer en contacto el palpador móvil con la superficie de cobre, se reguló correctamente la intensidad tanto para el LED de color verde como para el LED de color rojo. Al presentarse la situación de que el usuario despega, levanta o se sale de la pista al realizar el recorrido sobre la superficie de cobre, el ventilador se apaga y el flujo de aire forzado con el aroma marino se detiene; además, el LED de color verde se apaga totalmente y el LED de color rojo enciende en su máxima intensidad.

Conclusiones

Se ha diseñado e implementado un sistema de laberinto asistido por inteligencia artificial que provee al usuario de retroalimentación visual y olfativa durante la práctica de ejercicios de grafomotricidad, todo ello embebido en el popular juego de laberinto, desarrollado con cinta conductiva de cobre y un arreglo de resistencias conectado a una tarjeta con microcontrolador ESP32. Mediante un sistema de control de lógica difusa, se controla un sistema multivariable, con deliberación de aromas por arrastre forzado de aire y dos diodos de color verde y rojo; las tres salidas se regulan de acuerdo con la posición sobre el laberinto, que monitorea el nivel de avance del usuario sobre la superficie de cobre.

De esta manera, ha sido posible comprobar el diseño, simulación e implementación en Hardware de bajo costo del algoritmo de control difuso multivariable tipo Sugeno. Se realizaron pruebas de las distintas situaciones que se pueden presentar durante la operación del mismo. Además se ha verificado la correcta operación de este entre los diversos escenarios complejos que ocurren simultáneamente durante su uso. La tarjeta con microcontrolador ESP32 resultó ser una flexible herramienta de cómputo físico y de bajo costo, para la implementación de algoritmos de inteligencia artificial. Posee un buen rendimiento que le permite procesar información a través de los diversos pines que pueden ser utilizados como entradas analógicas y digitales. Además, con la ventaja adicional de que pueden ser programados como salidas de modulación por ancho de pulsos para el control de múltiples elementos actuadores como los que se usaron para el desarrollo del prototipo.

Agradecimientos

Se agradece a CONACYT bajo la modalidad de "Estancias Posdoctorales por México".

Referencias

[1] C. López-Escribano, J. Martín-Babarro, and R. Pérez-López, "Promoting Handwriting Fluency for Preschool and Elementary-Age Students: Meta-Analysis and Meta-Synthesis of Research From 2000 to 2020," Front. Psychol., vol. 13, 2022, Accessed: May 02, 2023. [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.841573

[2] A. V. Torres, S. R. Toledo, M. F. Valencia, F. N. de la Rosa, R. F. M. Martínez, and E. D. Alvarado, "Effectiveness of Graphomotricity as adjuvant for fine motor skills rehabilitation in traumatic radial nerve temporary disruptions due to trauma. – European Psychomotricity Journal," Eur. Psychomot. J., vol. 12, no. 1, pp. 56–66, 2020.

[3] M.-Á. Vintimilla Ormaza, D. G. García Herrera, M. I. Álvarez Lozano, and J. C. Erazo Álvarez, "Estrategias Pedagógicas para el desarrollo de la grafomotricidad," Rev. Arbitr. Interdiscip. Koinonía, vol. 5, no. Extra 1, pp. 508–527, 2020.

[4] A. deDiego-Cottinelli and B. Barros, "TRAZO: A Tool to Acquire Handwriting Skills Using Tablet-PC Devices," in Proceedings of the 9th International Conference on Interaction Design and Children, in IDC '10. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2010, pp. 278–281. doi: 10.1145/1810543.1810591.

[5] F. I. Torres, F. F. Peña, V. M. Santana, and J. M. C. Atiaja, "Digital panels in the development of graphomotor skills in children from 3 to 5 years old. Ambato Ecuador," in 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), Jul. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICECET55527.2022.9872972.

[6] R. Celine and N. Jimmy, "Copilotrace: A Platform to Process Graphomotor Tasks for Education and Graphonomics Research," in Intertwining Graphonomics with Human Movements, C. Carmona-Duarte, M. Diaz, M. A. Ferrer, and A. Morales, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 129–143.

[7] Q. He, Z. Feng, X. Wang, Y. Wu, and J. Yang, "A Smart Pen Based on Triboelectric Effects for Handwriting Pattern Tracking and Biometric Identification," ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 14, no. 43, pp. 49295–49302, Nov. 2022, doi: 10.1021/acsami.2c13714.

[8] F. Meißl, F. Eibensteiner, P. Petz, and J. Langer, "Online Handwriting Recognition using LSTM on Microcontroller and IMU Sensors," in 2022 21st IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), Dec. 2022, pp. 999–1004. doi: 10.1109/ICMLA55696.2022.00167.

[9] F. L. Cibrian, O. Gutierrez, and L. Escobedo, "PenSando: Developing a Smartpen Assessing Handwriting Skills for Children," in X Latin American Conference on Human Computer Interaction, in CLIHC 2021. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. doi: 10.1145/3488392.3488393.

[10] Z. Xu and Z. Zhu, "Handwritten dynamics classification of Parkinson's disease through support vector machine and principal component analysis," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1848, no. 1, p. 012098, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1848/1/012098.

[11] I. E. Spanaki, F. Venetsanou, C. Evaggelinou, and E. K. Skordilis, "Graphomotor Skills of Greek Kindergarten and Elementary School Children: Effect of a Fine Motor Intervention Program," Compr. Psychol., vol. 3, p. 01.09.IT.3.2, Jan. 2014, doi: 10.2466/01.09.IT.3.2.

[12] B. R. Maxim, N. V. Patel, N. D. Martineau, and M. Schwartz, "Work in progress - learning via gaming: An immersive environment for teaching kids handwriting," in 2007 37th Annual Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports, Oct. 2007, pp. T1B-3. doi: 10.1109/FIE.2007.4417971.

[13] F. Kern et al., "Off-The-Shelf Stylus: Using XR Devices for Handwriting and Sketching on Physically Aligned Virtual Surfaces," Front. Virtual Real., vol. 2, 2021, [Online]. Available: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.684498

[14] J. Wang and L. Jing, "A Virtual Reality Whiteboard System for Remote Collaboration Using Natural Handwriting," Electronics, vol. 11, no. 24, 2022, doi: 10.3390/electronics11244152.

[15] F. Sanfilippo et al., "A Perspective Review on Integrating VR/AR with Haptics into STEM Education for Multi-Sensory Learning," Robotics, vol. 11, no. 2, Art. no. 2, 2022, doi: 10.3390/robotics11020041.

[16] M. A. Garcia-Ruiz, B. Kapralos, and G. Rebolledo-Mendez, "An Overview of Olfactory Displays in Education and Training," Multimodal Technol. Interact., vol. 5, no. 10, 2021, doi: 10.3390/mti5100064.

[17] N. I. Kucirkova and S. Tosun, "Children's Olfactory Picturebooks: Charting New Trends in Early Childhood Education," Early Child. Educ. J., Mar. 2023, doi: 10.1007/s10643-023-01457-z.

[18] A. Wang, S. S. Hassan, and J. A. Covington, "A Stand-alone Multi-scent Olfactory Display with a Sliding Scent Switching Mechanism," in 2022 IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN), Jun. 2022, pp. 1–3. doi: 10.1109/ISOEN54820.2022.9789631.

[19] Y. Lei, Q. Lu, and Y. Xu, "O&O: A DIY Toolkit for Designing and Rapid Prototyping Olfactory Interfaces," in Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, in CHI '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. doi: 10.1145/3491102.3502033.

[20] Q. Lu et al., "Atmospheror: Towards an Olfactory Interactive System for Enhancing Social Presence and Interaction in Synchronous Online Classes," in Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, in CHI EA '23. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2023. doi: 10.1145/3544549.3585832.

[21] L. Guo, Z. Li, R. Outbib, and F. Gao, "Function approximation reinforcement learning of energy management with the fuzzy REINFORCE for fuel cell hybrid electric vehicles," Energy AI, vol. 13, p. 100246, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.egyai.2023.100246.

[22] F. Ghorbani, A. Ahmadi, M. Kia, Q. Rahman, and M. Delrobaei, "A Decision-Aware Ambient Assisted Living System with IoT Embedded Device for In-Home Monitoring of Older Adults," Sensors, vol. 23, no. 5, 2023, doi: 10.3390/s23052673.

[23] N. L. G. P. Suwirmayanti, R. A. N. Diaz, I. K. A. A. Aryanto, G. A. Pradipta, and I. B. M. I. Prasada, "Development of Papaya Plant Automation Systems with the Internet of Things Concept Using Fuzzy Logic," in 2022 4th International Conference on Cybernetics and Intelligent System (ICORIS), Oct. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICORIS56080.2022.10031515.

[24] S. B. Triantino, A. Mulwinda, A. Hangga, A. B. Utomo, N. A. Salim, and A. M. Nisa, "Control System of Nutrient Solution pH Using Fuzzy Logic for Hydroponics System," in 2022 9th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Aug. 2022, pp. 71–75. doi: 10.1109/ICITACEE55701.2022.9924108.

[25] M. I. Hishamuddin, H. Mansor, M. Zahaba, N. M. Yusoff, and T. S. Gunawan, "Fuzzy Logic Controller of Indoor Air Quality Monitoring and Control System for Risk Reduction of COVID-19 Transmission," in 2022 IEEE 8th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA), Sep. 2022, pp. 313–317. doi: 10.1109/ICSIMA55652.2022.9929189.

[26] A. Najmurrokhman, K. Kusnandar, U. Komarudin, R. Rachmalia, and H. Subarli, "Fuzzy Logic Controller for Light Intensity and Humidity Control System of Greenhouse and Its Monitoring using LoRa communication protocol," in 2021 International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE), Jan. 2022, pp. 69–74. doi: 10.1109/ISMODE53584.2022.9742801.

[27] D. Perdana, A. A. Muayyadi, A. H. Zidan, O. Cahyono, Suntoro, and F. C. Hasibuan, "Performance Analysis of Smart Irrigation System using Fuzzy Logic Method," in 2022 International Conference on Advanced Creative Networks and Intelligent Systems (ICACNIS), Nov. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICACNIS57039.2022.10055836.

[28] H. Li, Y. Sun, and D. Luo, "A method of olfactory display: Odor characterization and reproduction," in 2017 ISOCS/IEEE International Symposium on Olfaction and Electronic Nose (ISOEN), May 2017, pp. 1–3. doi: 10.1109/ISOEN.2017.7968893.

[29] K. Salminen et al., "Olfactory Display Prototype for Presenting and Sensing Authentic and Synthetic Odors," in Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction, in ICMI '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, pp. 73–77. doi: 10.1145/3242969.3242999.

[30] M. Garcia-Ruiz, B. Kapralos, and G. Rebolledo-Mendez, "Towards Effective Odor Diffusion with Fuzzy Logic in an Olfactory Interface for a Serious Game," in HCI International 2021 - Late Breaking Papers: Multimodality, eXtended Reality, and Artificial Intelligence, C. Stephanidis, M. Kurosu, J. Y. C. Chen, G. Fragomeni, N. Streitz, S. Konomi, H. Degen, and S. Ntoa, Eds., in Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 3–16. doi: 10.1007/978-3-030-90963-5_1.

[31] M. Rossoni, M. Carulli, M. Bordegoni, and G. Colombo, "Prototyping of an olfactory display supported by CFD simulations," in CAD2022 Conference, 2022.

Información de Contacto de los Autores:

Edgar Serrano-Pérez
Estado de México
eserranop_s@uaemex.mx
https://orcid.org/0000-0003-4012-9709

Anabelem Soberanes-Martín
Estado de México
asoberanesm@uaemex.mx
https://orcid.org/0000-0002-1101-8279

Alejandra Lorena Castro-Yañez
Estado de México
lia_ale78@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0004-0510-2724

Edgar Serrano Pérez
Actualmente realizando una Estancia Posdoctoral Académica en la Universidad Autónoma del Estado de México, Valle de Chalco.

Anabelem Soberanes-Martín
Profesora de Tiempo Completo en la Universidad Autónoma del Estado de México, Valle de Chalco

Alejandra Lorena Castro-Yáñez
Actualmente estudiante de Maestría en Ciencias de la Computación en la Universidad Autónoma del Estado de México, Valle de Chalco