

Diseño de un sistema de bajo coste para la rehabilitación de muñeca y mano en pacientes con ictus

I. Martínez Capella

Grado en Ingeniería Biomédica, CEU San Pablo, Madrid, España, i.martinez66@usp.ceu.es

Sinopsis—A día de hoy, el ictus es la mayor causa de dependencia y discapacidad grave que se da en la edad adulta. Por este motivo, el diseño de sistemas orientados a la rehabilitación tras un infarto cerebral se manifiesta como una necesidad tanto de la sociedad actual como de la futura, debido al progresivo envejecimiento poblacional en nuestro país (siendo las personas mayores el sector de población con mayor incidencia de ictus). Este artículo presenta un método de rehabilitación basado en una interfaz paciente-ordenador que emplea componentes de bajo coste (Arduino, sensores FSR, giroscopio) con el fin de ofrecer una solución asequible, apta tanto para entornos clínicos como domiciliarios. A través de un sencillo videojuego, se motiva de manera lúdica al paciente a realizar movimientos rotatorios y flexo-extensores, a la vez que se regula la dificultad de los ejercicios, favoreciendo así su participación con el fin de acelerar su rehabilitación.

1. Introducción

Actualmente, cada seis minutos se da un caso de ictus en España [1]. A causa de una rotura o taponamiento de un vaso sanguíneo se reduce el aporte de oxígeno al cerebro, provocando daños cerebrales graves y alterando las capacidades de la persona en función de la zona y área afectada por la falta de oxígeno. Su incidencia es mayor a partir de los 55 años. Así, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), debido al constante envejecimiento de la población, en el año 2050 entorno al 23% de la misma estará en riesgo de padecer un ictus [1]. El coste sanitario que supone el tratamiento de esta enfermedad llega a representar entorno al 3-4% del presupuesto anual destinado a sanidad [2], por lo que, durante los próximos años, se prevé una subida considerable del coste sanitario.

En el 85% de los casos aparecen dificultades en el movimiento del miembro superior [3]. Esto puede ser debido a la tendencia del ictus a darse en la zona carotídea y a la mayor complejidad estructural cerebral que requiere el uso del miembro superior (movimientos precisos con la mano, coordinar la marcha) en comparación con otras partes del cuerpo afectadas tras la enfermedad.

Debido a esto, cada vez es mayor la necesidad de métodos de rehabilitación de bajo coste que permitan la recuperación de la funcionalidad del miembro superior. Para esta tarea, el uso de sistemas que combinan robots o herramientas mecánicas (que conducen la actividad física y aseguran la repetibilidad del ejercicio) con una interfaz que involucre al paciente y le plantee objetivos (a fin de aumentar su motivación y ofrecer un medio sencillo para

regular la complejidad de los ejercicios) son una opción cada vez más tenida en cuenta. El estudio de Colomer et al. [4], publicado en la revista Neurología, muestra la mejoría y mantenimiento en el tiempo de la misma en 23 pacientes con ictus tras 36 sesiones usando el sistema Armeo@Spring en el hospital NISA Valencia al Mar. De manera similar, Shin et al. presentan un estudio [5] del Centro Nacional de Rehabilitación de Corea del Sur en el que exponen los avances en la recuperación de enfermos de ictus tras el uso del sistema RAPAE Smart Glove [6].

El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema de bajo coste que ayude a la recuperación funcional de la muñeca y mano de personas con ictus. Dicho sistema consiste en un dispositivo, acoplado a un guante, mediante el que se registran los movimientos del brazo, la muñeca y la flexión de los dedos del paciente; y por un videojuego, a través del cual se proporciona *feedback* al paciente y un método para regular la dificultad de los ejercicios. Se ha diseñado este dispositivo de modo que los movimientos de la muñeca se traducen en movimientos de ratón y los contactos de dedos en los clics del ratón, controlando así el videojuego. El prototipo se ha desarrollado para la mano izquierda.

A continuación, se describe el hardware y la interfaz de ordenador y se presentan las conclusiones y posibles mejoras a realizar en un futuro.

2. Descripción del hardware

La parte física de la interfaz está compuesta por un guante al que va enganchada mediante una correa (en el dorso de la mano, entre los nudillos y el pulgar) una caja que contiene los componentes electrónicos. De un agujero lateral de la caja parten dos sensores de fuerza resistivos (FSR), colocados en la parte central de la palma de la mano y sobre la yema del pulgar respectivamente. Cubriendo ambos sensores hay dos botones. La caja consta de otro agujero situado en el lado opuesto del ya mencionado, por el que se introduce un cable USB que proporciona la comunicación con el ordenador y la alimentación del dispositivo (Figura 1).



Figura 1. Vista general de la interfaz: A-conexión con el ordenador, B-Arduino, C-giroscopio, D-caja y correa, E-botón sobre un sensor FSR.

La caja, la correa y los botones fueron diseñados con el software FreeCad e impresos mediante una impresora 3D Witbox (Figura 2). Dicho software fue elegido debido a que su uso es gratuito y está fuertemente orientado a la impresión en tres dimensiones. La caja está fabricada a partir de plástico PLA rígido mientras que para la impresión de la correa y los botones se empleó Filaflex, debido a la necesidad de que fuesen flexibles. El diseño del modelo final, alcanzado a través de un proceso iterativo de prueba-error, permite un ajustar las posiciones de la caja y cada sensor de forma individual, adaptándose fácilmente a la mano de los distintos usuarios.

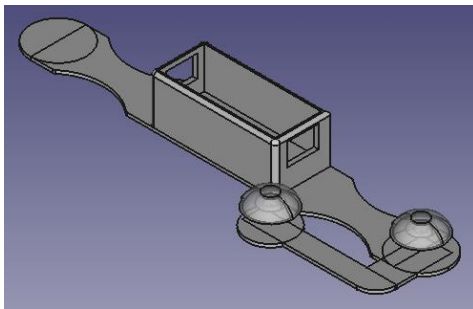


Figura 2. Modelado de caja, correa y botones en FreeCad.

La parte electrónica del hardware está compuesta por un microprocesador Arduino Micro, dos sensores FSR y un giroscopio modelo Pololu AltIMU-10 v5 (Figura 3). El Arduino Micro fue escogido debido a sus reducidos tamaño y peso en comparación al de otros microprocesadores. Estos eran aspectos a considerar debido a la necesidad de proporcionar la mayor comodidad al paciente a la hora de utilizar el dispositivo.

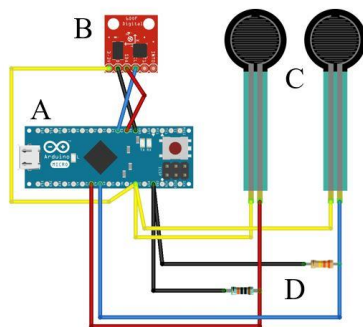


Figura 3. Esquema de los componentes electrónicos: A-Arduino Micro, B-Pololu AltIMU-10 v5, C-sensores FSR, D-resistencias de 100kΩ y 330kΩ.

Los sensores FSR funcionan disminuyendo la resistencia que ofrecen al paso de corriente conforme se aplica presión sobre ellos (Figura 4). De cara a los movimientos que se querían fomentar (agarre de pinza, agarre de empuñadura), se prefirió el uso de sensores circulares frente a un modelo rectangular debido a que estos proporcionan una mayor precisión a la hora de aplicar fuerza sobre un punto concreto. El giroscopio Pololu AltIMU-10 v5 fue escogido debido a que ya se había trabajado anteriormente en la Escuela Politécnica con este modelo, con buenos resultados. Además, su pequeño tamaño concuerda con la naturaleza de la interfaz.

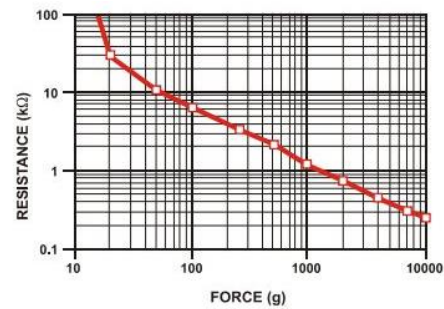


Figura 4. Relación entre la resistencia de un sensor FSR (serie 400) y la fuerza ejercida sobre él. Fuente: Interlink Electronics: FSR® Integration Guide & Evaluation Parts Catalog With Suggested Electrical Interfaces.

3. Descripción del software

El software del dispositivo se divide en un programa de Arduino y un videojuego. Desde el programa de Arduino se regula la comunicación serie (RS-232) entre el usuario, el microprocesador y el ordenador. En él se especifica el comportamiento del giroscopio y la sensibilidad de los sensores FSR, pudiéndose regular así la fuerza que tiene que ejercer el paciente y la rapidez de sus movimientos para controlar el videojuego. Así mismo, desde el Monitor Serie de Arduino se pueden monitorizar el ángulo de la muñeca, la presión ejercida en ambos sensores e introducir instrucciones para ajustar el umbral de fuerza que se debe superar (Figura 5).

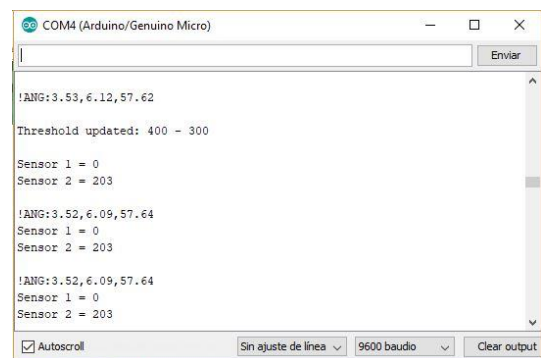


Figura 5. Ejemplo de output del Monitor Serie de Arduino.

El videojuego ha sido desarrollado con Stencyl, un software gratuito que emplea programación por bloques, lo que facilita el desarrollo de aplicaciones. Así mismo, soporta la programación orientada a Windows, Mac, Android, Linux y Flash (habiéndose escogido esta opción), lo que asegura la compatibilidad del juego sin importar el sistema operativo del que se disponga.

El videojuego de rehabilitación es el medio de poner al paciente tareas de distinto grado de complejidad según sus capacidades residuales motoras. Se ha desarrollado un juego similar al tradicional “marcianitos”, en el que el usuario controla una nave espacial y tiene que disparar a varios enemigos para superar cada nivel (ver Figura 6). Mediante el ángulo de la muñeca, el usuario controla la posición de la nave: movimientos de flexión y extensión se traducen en un desplazamiento en el eje vertical y movimientos de pronación y supinación (rotaciones a derecha e izquierda), en un desplazamiento en el eje horizontal. La presión sobre un botón permite efectuar disparos hacia delante y la presión sobre el otro, hacia atrás. Los niveles van incrementando en dificultad progresivamente, aumentándose el número y tipo de enemigos, lo que, unido a la regulación del umbral de fuerza a superar para realizar un disparo, permite ajustar la dificultad del ejercicio.

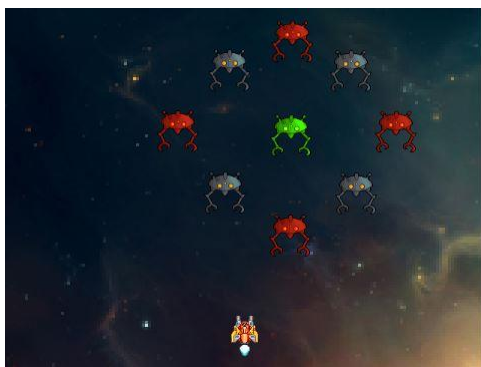


Figura 6. Pantalla de uno de los niveles del videojuego de rehabilitación.

4. Conclusiones y futuras mejoras

El objetivo de este proyecto, expuesto en la introducción, ha sido cumplido. El sistema desarrollado permite la realización y regulación de ejercicios de miembro superior centrados en los movimientos de mano y dedos. Se ha desarrollado una interfaz usuario-ordenador que permite al paciente controlar un videojuego a través del movimiento de su miembro superior para que, de manera lúdica, el paciente realice ejercicios de rehabilitación, fomentando su participación. El coste final del dispositivo es de 125€ (55€ para la parte electrónica y 70€ para la impresión 3D). Dicho precio se puede reducir considerablemente empleando algún modelo de microprocesador o giroscopio más asequible que los utilizados. Frente a otros sistemas similares en el mercado, como por ejemplo el RAPAE Smart Glove (15,000\$) o sistemas de ortesis más complejos y voluminosos, como el Armeo®Spring (60,500\$), la interfaz desarrollada se revela como alternativa a considerar desde el punto de vista económico.

Tanto el código para el microprocesador, como los modelos para impresión 3D, el videojuego de

rehabilitación y el diagrama de los componentes electrónicos se hallan subidos a un repositorio en GitHub, permitiendo así su acceso y uso a quien lo desee [7].

Como futuro trabajo, se espera probar el dispositivo en pacientes con ictus (de momento sólo ha sido probado en usuarios sanos) así como desarrollar otros tipos de videojuego (para fomentar distintos ejercicios) e incorporar comunicación de bluetooth, para evitar la necesidad de estar conectado al ordenador (de cara a la comodidad del paciente y a futuras interfaces en las que la conexión por cables resulte un impedimento: tobillo, rodilla, etc.). Ya se ha procedido a avanzar en este último punto. Empleando un módulo RN-42, se ha establecido la conexión inalámbrica y se ha comenzado a recopilar información sobre el uso de HID (Human Interface Device).

Para cerrar este trabajo, me gustaría mostrar mi agradecimiento a Eloy Urendes Jiménez, tutor del mismo, sin cuya ayuda y guía no hubiera resultado posible. Así mismo, me gustaría agradecer también a la Escuela Politécnica el uso de materiales y maquinaria necesarios para llevar a cabo el proyecto.

5. Bibliografía

- [1] Página web de la Federación Española de Ictus (FEI). <https://ictusfederacion.es> (Consultada: Diciembre 2017).
- [2] Martínez-Vila E, Irimia P, Urrestarazu E y Gállego J. El coste del ictus. ANALES Sis San Navarra 2000; 23 (Supl. 3): 33-38.
- [3] Página web de la Red Menni. dañocerebral.es (Consultada: Diciembre 2017).
- [4] Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, *et al.* Eficacia del sistema Armeo®Spring en la fase crónica del ictus. Estudio en hemiparesias leves-moderadas. Neurología 2013; 28:261-7.
- [5] Shin, Joon-Ho *et al.* Effects of Virtual Reality-Based Rehabilitation on Distal Upper Extremity Function and Health-Related Quality of Life: A Single-Blinded, Randomized Controlled Trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 13 (2016): 17. *PMC*. Web. 31 Dec. 2017.
- [6] Neofect, “RAPAE Smart Glove™,” [Online]. Available: <http://www.neofect.com/en/wp-content/uploads/2016/03/NEOFECT-USARAPAE-Smart-Glove.pdf>. [Accessed 31 December 2017].
- [7] Ignacio Martínez Capella, Upper Limb Rehabilitation Interface with Arduino, (2018), GitHub repository, <https://github.com/nachomcapella/Upper-Limb-Rehabilitation-Interface-with-Arduino>