

Implementación de una BCI mediante el diseño y desarrollo de Serious Games para la rehabilitación de pacientes neurológicos

Javier J. Rosenstein, Rodrigo Gonzalez, Juan Salvador Portugal, Julian Argañaráz, Nicolás Ignacio Zarate

Instituto de Investigaciones, Facultad de Informática y Diseño, Universidad Champagnat, Belgrano 721, 5501 Godoy Cruz, Mendoza, Mendoza, Argentina.

rosensteinjavier@uch.edu.ar, gonzalezrodrigo@uch.edu.ar, portugaljuan@uch.edu.ar, arganarazjulian@uch.edu.ar, zaratenicolos@uch.edu.ar

RESUMEN

En el desarrollo de los sistemas de realidad virtual totalmente interactivos, es necesario contemplar: a) el desarrollo de la interfaz gráfica que se le presenta al usuario, y b) la adquisición de datos provenientes de los movimientos del mismo como entrada de datos del sistema de realidad virtual. El usuario es quien voluntariamente debe comandar esta interfaz digital, de modo que todo esto se convierta en una interacción ágil, bidireccional y produzca el efecto de virtualidad deseado, conformando un sistema usuario-máquina tan parecido a la realidad como sea posible. Para lograr mediante este sistema cumplir con los objetivos que se deseen obtener, ya sea el caso del sólo efecto lúdico de entretener al participante o con fines mucho más específicos como un complejo sistema de rehabilitación cognitiva en pacientes con capacidades físicas disminuidas, conocidos como “Juegos Serios” o “Serious Games”.

Los dispositivos de adquisición de datos generalmente están asociados a funciones o características de los individuos que los utilizan para la participación en el sistema y se necesita integrar los movimientos que estos representan hacia una interfaz gráfica que permita la realimentación neuronal del paciente para de este modo lograr la mejora cognitiva (efecto de neurofeedback deseado). El presente tra-

bajo trata de la implementación de una BCI – Brain Computer Interfase mediante la captura de datos de EEG/EOG y de otros dispositivos desarrollados *ad hoc* de los cuales se pueda realizar la adquisición de movimientos del usuario y entre las partes de un entorno multimedia permitir la representación visual en un escenario virtual que permita la retroalimentación al usuario en tiempo real logrando una experiencia interactiva e inmersa. Finalmente de este modo posibilitar la producción de un sistema de capacitación / rehabilitación o mejor llamado Serious Game o Juego Serio.

Palabras clave: EOG, EEG, BCI, Serious Games, Juegos Serios, Mirror Neurons, Neurofeedback

CONTEXTO

El presente proyecto se desarrolla en el Instituto de Investigaciones de la Facultad de Informática y Diseño de la Universidad Champagnat (Godoy Cruz, Mendoza), en el marco de la Licenciatura en Sistemas de Información; en cooperación con el Laboratorio de I+D+i en Neurotecnologías de la empresa Neuromed Argentina S.A. (Godoy Cruz, Mendoza).

Este trabajo es parte del proyecto de investigación que dio inicio en Septiembre de 2022 denominado “Diseño y desarrollo de prototi-

pos de Juegos Serios destinados a la rehabilitación de problemas físicos / neurológicos”.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la presente línea de investigación consiste en el diseño y desarrollo de una BCI (Brain Computer Interface) [1] [2], que permita interactuar entre las señales generadas por un paciente neurológico [3] y una interfaz de realidad virtual. Este sistema debe permitir lograr el principio de neurofeedback [4], o retroalimentación hacia el paciente. De este modo se podrán mejorar sus capacidades cognitivas correspondientes. Esto tiene aplicación directa en los tratamientos de rehabilitación en pacientes de patologías neurológicas y cognitivas, principalmente en niños, este enfoque es importante ya que está demostrado que es la mayor causa de discapacidad en niños, según estadísticas como las publicadas por el Indec de su informe sobre los resultados del censo de discapacidades en el 2018 (ver figura1), en argentina dentro de las principales discapacidades en menores, la mental-cognitiva es la mayor de las discapacidades entre las edades de 6 a 14 años.

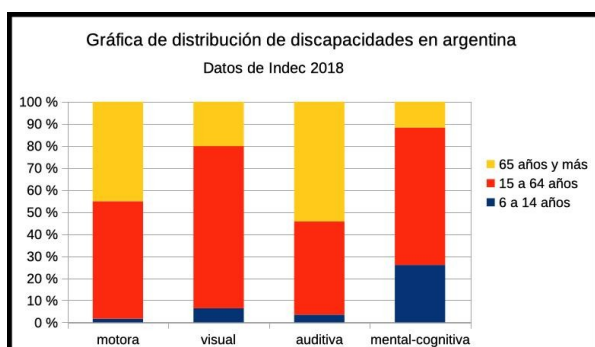


Figura 1: Discapacidades según Indec en argentina

Incluso, estudios indican la posibilidad de tratar patologías psiquiátricas como la depresión [5] [6].

La implementación del trabajo se organiza de acuerdo a las siguientes etapas:

- a) Adquisición de señales mediante técnicas de Electroencefalografía (EEG) [7] y adquisición de movimientos oculares mediante las técnicas de electrooculografía (EOG) [8] [9] [10] [11] [12], así como la adquisición de datos de otros dispositivos de adquisición desarrollados *ad hoc*.
- b) Análisis de estas señales en tiempo real para poder identificar la voluntad de movimiento del individuo, así como la dirección del movimiento.
- c) Transformar la voluntad de movimiento en comandos que permitan transmitir la información al componente software / hardware que la requiera.
- d) Como continuación al resultado obtenido en el punto anterior, Diseñar, programar y poder comandar una interfaz gráfica de aprendizaje o Juego Serio.

Finalmente se presenta la *Interfaz Cerebro / Computadora* (BCI – *Brain Computer Interface*) como un sistema de adquisición de datos, procesamiento de los mismos y luego la representación en nuestro modelo de prototipo de Serious Game [14] [15]. Una vez adquiridas las señales adquiridas estas se analizan y codifican para permitir su comunicación con las interfaces virtuales que interpreten este protocolo establecido.

2. LINEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Este trabajo está compuesto por tres etapas o fases de trabajo. La primera de ellas corresponde a la implementación entre un sistema *simulado* de captura de datos provenientes de un paciente, y una interfaz virtual básica. La segunda etapa del proyecto pretende avanzar sobre la captura de datos *reales* para que, luego de procesados, se transfieran hacia la interfaz virtual generando el efecto neurofeedback deseado. Una breve descripción de cada una de las etapas se detalla a continuación:

1. La primer parte consiste en la implementación de un simulador de señales de adquisición que podrían ser del tipo EEG / EOG u otro dispositivo que se diseñe para la adquisición de muestras necesarias para el análisis e interpretación de la voluntad del usuario de la BCI. Estas señales una vez procesadas se deben codificar en comandos para poder ser transmitidas hacia una interfaz virtual. Esta debe poder interpretar las señales transmitidas y representar la voluntad inicial del usuario correspondiente. De este modo se cumplen los objetivos de captura, análisis, procesamiento, transmisión, recepción y representación, lo cual produce el efecto de neurofeedback deseado sobre una interfaz virtual de capacitación a nivel prototipo.
2. La segunda etapa consiste en el diseño y desarrollo del escenario virtual de rehabilitación cognitiva para pacientes neurológicos según las indicaciones concretas por parte del especialista en neurología. Se partirá de un relevamiento de las técnicas de aprendizaje que se requieren implementar y los resultados que se pretenden obtener, indicados por el neurólogo o experto afín.
3. La etapa final futura de este proyecto consistiría en el desarrollo y mejora del proyecto mediante la adquisición real de señales a) EEG/EOG por electrodos ubicados superficialmente sobre la cabeza del paciente o b) proveniente de dispositivos diseñados para la captura mediante otro

tipo de características que permitan adquirir la voluntad del paciente. Esta modificación al sistema requiere de un diseño e implementación electrónica así como del desarrollo del firmware que permita adquirir, analizar y preprocesar estas señales, que luego serán transmitidas hacia las interfaces virtuales de rehabilitación cognitiva de la etapa 2. Así, el sistema de adquisición real de datos se incorporará a futuro en forma transparente al proyecto implementado en las primeras 2 etapas.

3. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. BCI e interfaz virtual gráfica que produzca en el paciente el efecto de neurofeedback, se espera obtener como producto final un sistema de retroalimentación a un usuario, en primera medida simulando la generación de señales que serán interpretadas en los escenarios de realidad virtual diseñados para este fin, estas señales se deberán enviar mediante comandos codificados que se transmitirán a través de una red Ethernet.
2. Adquisición de datos reales de EEG/EOG o dispositivos diseñados específicamente: análisis y preprocesamiento; se identifican los comandos necesarios para su transmisión hacia el prototipo funcional que implemente la técnica de la terapia y se logre el efecto real final de neurofeedback propuesto, cabe aclarar que para que esto puedan lograrse es necesario la interacción con equipos de trabajo de diseño y desarrollo de electrónica que colaboren en conjunto con el equipo de investigación formado.

4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

La línea de I+D presentada está vinculada con el desarrollo de la tesis de maestría en teleinformática de la Universidad de Mendoza, de Javier J. Rosenstein, defendida a fines del 2020. Dicha tesis se centró en la implementación del protocolo VRPN demostrando su uso en un sistema BCI.

Esta línea de I+D Además cuenta con la dirección del Mgter. Javier J. Rosenstein (UCH) y como investigador principal el Dr. Rodrigo Gonzalez (UCH). En lo que respecta a la formación de estudiantes de la licenciatura, esta línea de investigación cuenta con tres tesis de grado en curso, pertenecientes a los estudiantes Juan Salvador Portugal, Julian Argañaraz y Nicolás Ignacio Zarate, cuyos planes de tesis se encuentran específicamente dentro del marco de este proyecto. Todos ellos han terminado de cursar la licenciatura en Sistemas de Información en la Universidad Champagnat.

Todos los avances logrados y las implementaciones realizadas relacionadas con el desarrollo del presente proyecto desde su primer etapa, se están utilizando como recurso para el dictado de talleres de comunicaciones, redes, programación de microcontroladores, programación en C/C++ y diseño y programación de interfaces virtuales de capacitación/rehabilitación en general, tanto para estudiantes de la universidad, como así también para alumnos externos a la UCH.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Y. Wang, X. Gao, B. Hong, and S. Gao, "Practical designs of brain-computer interfaces based on the modulation of EEG rhythms," in *Brain-Computer Interfaces*. Springer, 2009, pp. 137–154.
2. J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. J. McFarland, G. Pfurtscheller, and T. M. Vaughan, "Brain-computer interfaces for communication and control," *Clinical neurophysiology*, vol. 113, no. 6, pp. 767–791, 2002.
3. J. A. Pineda, "The functional significance of mu rhythms: translating "seeing" and "hearing" into "doing"," *Brain Research Reviews*, vol. 50, no. 1, pp. 57–68, 2005.
4. S. Enriquez-Geppert, R. J. Huster, and C. S. Herrmann, "Boosting brain functions: Improving executive functions with behavioral training, neurostimulation, and neurofeedback," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 88, no. 1, pp. 1–16, 2013.
5. R. Ramirez, M. Palencia-Lefler, S. Giraldo, and Z. Vamvakousis, "Musical neurofeedback for treating depression in elderly people." *Frontiers in neuroscience*, vol. 9, pp. 354–354, 2014.
6. W. Rief, "Getting started with neurofeedback," 2006.
7. J. D. Kropotov, *Quantitative EEG, event-related potentials and neurotherapy*. Academic Press, 2010.
8. A. Bulling, J. A. Ward, H. Gellersen, and G. Troster, "Eye movement analysis for activity recognition using electrooculography," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 33, no. 4, pp. 741–753, 2011.
9. H. Singh and J. Singh, "A review on electrooculography," *International Journal of Advanced Engineering Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 115–122, 2012.
10. D. P. Bautista, I. A. Badillo, D. De la Rosa Mejía, and A. H. H. Jiménez, "Interfaz humano-computadora basada en señales de electrooculografía para personas con discapacidad motriz," *ReCIBE*, vol. 3, no. 2, 2016.
11. S. Yathunathan, L. Chandrasena, A. Umakanthan, V. Vasuki, and S. Munasinghe, "Controlling a wheelchair by use of EOG signal," in *2008 4th International Conference on Information and Automation for Sustainability, IEEE*, 2008, pp. 283–288.
12. V. C. C. Roza, "Interface para tecnologia assistiva baseada em eletrooculografia," 2014.

13. A. C. Gaviria, I. C. Miller, S. O. Medina, and D. R. Gonzales, "Implementación de una interfaz hombre-computador basada en registros EOG mediante circuitos de señal mixta PSoC," in V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba. Springer, 2013, pp. 1194–1197.
14. P. Rego, P. M. Moreira, and L. P. Reis, "Serious games for rehabilitation: A survey and a classification towards a taxonomy," in 5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies. IEEE, 2010, pp. 1–6.
15. J. S. Breuer and G. Bente, "Why so serious? On the relation of serious games and learning," *Eludamos. Journal for Computer Game Culture*, vol. 4, no. 1, pp. 7–24, 2010.
16. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INDEC, Argentina, 2018, ISBN:978-950-896-519-6, https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/poblacion/estudio_discapacidad_07_18.pdf
17. Rosenstein, Javier J. (2020). *Uso de VRPN para la implementación de una interfaz cerebro-computadora* [Tesis de Maestría en Teleinformática, Universidad de Mendoza].