

WIMUMO Project: A Wearable Open Device for Physiological Signals Acquisition

Federico N. Guerrero, Rocío Madou, Valentín A. Catacora, Marcelo A. Haberman,
Pablo A. García, Alejandro L. Veiga and Enrique M. Spinelli

*Instituto de Investigaciones en Electrónica, Control y Procesamiento de señales LEICI (UNLP-CONICET),
Departamento de Electrotecnia, Facultad de Ingeniería, La Plata, Argentina.*

Abstract— Countless signals of different types are produced and flow inside the human body. Some of them, such as biopotentials, are electric, others physicochemical, such as variations in humidity and temperature, or mechanical as those produced by movements. The objective of the WIMUMO (WIreless MULti-MODal Acquisition Platform) project is the development of an open platform for acquiring these multimodal signals, thus providing an easy-to-use equipment to integrate into different applications. The device is intended for research, teaching, artistic performances, and entertainment applications, and can be used for particular applications such as alternative human-machine interfaces (HMIs); it has WiFi connectivity and implements a web-server that allows to visualize and use the acquired signals. A set of basic functions can be used directly from a standard browser, on various platforms such as cell phones, tablets, or personal computers. The development of WIMUMO involves multiple design decisions from its power supply and connectivity to instrumentation circuits and electrical safety issues. A first prototype was built and used in artistic performances, and experimental results are presented. An underlying objective of this work is to obtain feedback from the community in order to define the specifications for a second version that will be available as an open project.

Keywords— Wearable devices, biopotential acquisition, human-machine interface.

Resumen— En el cuerpo humano se producen y transportan un sinnúmero de señales de distintos tipos. Algunas de ellas son eléctricas como los biopotenciales, otras físicoquímicas como variaciones de humedad y temperatura, o mecánicas como aquellas producidas por movimientos. El objetivo del proyecto WIMUMO (WIreless MULti-MODal Acquisition Platform) es desarrollar una plataforma abierta para la captura de estas señales multimodo y proporcionar un equipo simple de utilizar y de integrar a distintas aplicaciones. El dispositivo está orientado a aplicaciones de investigación, didácticas, artísticas, de entretenimiento y para interfaces humano-máquina alternativas (HMI); posee conectividad WiFi y un servidor web que permite visualizar y disponer de las señales adquiridas. Una capa de funciones básicas puede utilizarse directamente desde un browser estándar, sobre plataformas diversas como teléfonos celulares, tablets o computadoras personales. El desarrollo de WIMUMO implica adoptar múltiples decisiones desde la fuente de alimentación y conectividad hasta etapas de instrumentación y seguridad eléctrica. Actualmente se dispone de una primera versión que fue utilizada en performances artísticas, de la cual se presentan resultados experimentales. Un objetivo subyacente de esta presentación es obtener una realimentación de la comunidad a fin de definir las especificaciones de una segunda versión que estará disponible como un proyecto abierto.

Palabras clave— Dispositivos vestibles, adquisición de biopotenciales, interfaces humano-máquina.

I. INTRODUCCIÓN

Las señales que conviven y circulan por el cuerpo humano son motivadoras, tal vez porque no dejamos de sorprendernos al visualizar los procesos que acontecen en nosotros mismos; aun cuando sólo reposamos. Son variadas y difundidas las aplicaciones de estas señales con fines diagnósticos como la interpretación del electrocardiograma (ECG) y el electroencefalograma (EEG). Si hacemos estas señales accesibles a un universo de usuarios mayor, las posibilidades de utilizarlas se expanden enormemente. El poder motivador de las mismas, en conjunto con un fácil acceso y desarrolladores entusiastas, posibilita la generación de múltiples aplicaciones para docencia, performances artísticas, entretenimiento, interfaces humano-máquina (HMI) alternativas y muchas otras [1, 2, 3, 4]. Los equipos existentes para aplicaciones similares usualmente se basan

en dispositivos comerciales para la medida de EMG como el *MYO armband* (Thalmic Labs) [5] o el *g.Sahara* (g.tec) [6] para la medida de EEG. Si bien está menos explorado en la literatura, el ECG también es un biopotencial interesante para experiencias con generación de música o imágenes por su relación intrínseca con el ritmo musical humano [7]. La transmisión Bluetooth presente en muchos dispositivos que plantean objetivos similares como la plataforma BITalino [8] provee una solución para transmisión de datos en el área personal, no así en grandes espacios como escenarios. El objetivo del proyecto WIMUMO es proveer uno de los ingredientes de la conjunción: dar un acceso simple y amigable a señales producidas en y por el cuerpo humano, para que puedan ser utilizadas por usuarios no especialmente entrenados en técnicas biomédicas. Para conseguir estas características el equipo y sus sensores deben enmarcarse en

el paradigma de los dispositivos *vestibles* [9], es decir que debe instalarse tan fácil como una prenda de vestir. Además, debe ser posible acceder a las señales sin instalar software específico ni realizar complejas configuraciones de red. En particular, el uso del equipo por bailarines o *performers* en un escenario presenta un desafío único para equipos vestibles [10], ya que debe permanecer funcional frente a un amplio rango de movimientos y condiciones de interferencia.

El equipo propuesto es inalámbrico y se alimenta exclusivamente a partir de una batería de baja tensión. Esto lo hace robusto frente a fuentes de interferencia electromagnética y facilita garantizar su seguridad eléctrica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La plataforma WIMUMO se esquematiza gráficamente en la Fig.1. Comprende una pequeña caja con la electrónica a la cual se conectan sensores de biopotenciales (en azul), sensores inalámbricos que se vinculan mediante enlaces bluetooth (en verde) y sensores que soporten el protocolo I²C que pueden conectarse en bus (amarillo). El equipo tiene capacidad de transmitir, en forma inalámbrica, las señales crudas y/o procesadas.



Fig.1. Estructura general de la plataforma WIMUMO

Las pautas de diseño de WIMUMO se orientaron a conseguir un equipo simple de instalar, de usar y que resulte cómodo para desarrollar aplicaciones. Para esto el equipo debe ser vestible, fácil de conectar a una red para obtener las señales, y debe basarse en plataformas de hardware/software, formatos y protocolos muy difundidos, para heredar así sus soportes. Los objetivos de diseño impactan en varios aspectos del proyecto que se detallan en las subsecciones siguientes.

A. Estructura general

La plataforma WIMUMO se basa en una microcomputadora Raspberry Pi Zero W, que posee conectividad WiFi y Bluetooth. Se adoptó esta placa por su gran difusión, disponibilidad, soporte y principalmente por la gran cantidad de software libre disponible. Se utilizó el sistema operativo (SO) Raspbian Lite sin modificaciones por las mismas razones. Así, por ejemplo, utilizando el entorno Node.js es posible implementar un servidor web con unas pocas líneas de código.

Esta selección tiene una influencia importante sobre la arquitectura del sistema ya que el SO no tiene capacidades de tiempo real *duro* [11]. Raspbian tiene la ventaja de incluir

drivers para el manejo de los periféricos de bajo nivel como el SPI, pero no permite un control determinista del tiempo asignado al proceso que los administra. Más adelante se detallará la estrategia para realizar la adquisición de datos en este entorno.

El equipo incluye además un circuito integrado de señal mixta ADS1299 de Texas Instruments montado en una placa previamente reportada [12] para adquirir biopotenciales, y un conjunto de sensores. El esquema completo del hardware, incluyendo todos sus módulos componentes, se muestra en la Fig.2.

B. Conectividad.

La conectividad de WIMUMO se estructura en dos niveles: una red de área personal (PAN) y una red de área local (LAN). La PAN está destinada exclusivamente a la conexión de sensores; los inalámbricos mediante protocolo bluetooth y los cableados utilizando protocolos SPI e I²C. La captura de biopotenciales se realiza a través del circuito integrado ADS1299 conectado a la PAN por SPI. No se proveen entradas SPI auxiliares, pero sí un puerto I²C para conexión en bus de sensores inerciales, de humedad y de temperatura.

La microcomputadora recibe señales de los sensores conectados a su PAN y las procesa para dejarlas disponibles a otros dispositivos conectados a la LAN, por ejemplo, a través de su servidor web o transmitiéndolas como mensajes OSC (Open Sound Control). OSC es un protocolo ampliamente difundido orientado a la transmisión de música en red [13]. WIMUMO puede configurarse como *access point* y establecer una red propia a la que los otros dispositivos deberán incorporarse o conectarse en modo *terminal* a otro *access point*, haciéndolo accesible a dispositivos conectados a una LAN preexistente.

De este modo es posible controlar generadores de sonido y de video (que usualmente admiten el protocolo OSC), computadoras o distintos proveedores de recursos distribuidos en la red. También es posible conectar varios WIMUMOs simultáneamente a la red.

Por otra parte, al conectarse a una LAN preexistente, el equipo WIMUMO puede tener acceso a internet, permitiendo a futuro nuevas modalidades de uso.

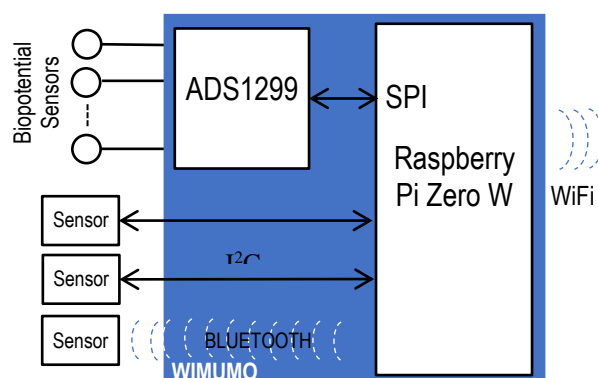


Fig.2. Estructura general del hardware de WIMUMO

C. Administración de datos

El manejo de los datos se realiza a través de distintas capas de software.

Comunicación de bajo nivel con el ADS1299

Una capa de bajo nivel implementada como *servicio* del SO controla la lectura por bus SPI de las muestras digitalizadas por el ADS1299. Se intentó utilizar una API del bus SPI para Python (utilizando el módulo *spidev*) pero, si bien se logró utilizar el convertidor exitosamente, aún asignando la máxima prioridad al proceso no se logró un muestreo consistente, incluso a las tasas de muestreo más bajas del adquisidor. El método utilizado finalmente fue crear una aplicación en lenguaje C que accede al periférico SPI utilizando la librería *wiringpi* y crea un buffer de muestras, las cuales pone a disposición de cualquier otro proceso en el SO a través de un *pipe* nombrado de tipo *FIFO* compartido para cualquier otro proceso.

Concentración y transmisión de datos

En una capa de más alto nivel, se implementó un proceso en el entorno Node.js que: (i) tiene acceso al *FIFO* compartido, del cual extrae las muestras “crudas” de los canales analógicos; (ii) utiliza un módulo para leer los sensores I²C, ya que se adquieren con una tasa relativamente baja de muestreo y un volumen de datos también menor, que hace innecesario administrarlos en C; (iii) implementa un servidor web a través del cual se provee a cualquier cliente de la interfaz de usuario en su navegador web; (iv) utiliza un módulo que permite enviar las señales través de mensajes OSC; y (v) realiza el procesamiento de señales necesario.

Procesamiento de señales

Una de las primeras aplicaciones que se le dio al WIMUMO fue como HMI controlada por señales EMG, para fines artísticos. Para esto se incorporó al mismo proceso que administra el servidor web la detección de envolvente de dichas señales [14], la cual contiene la información necesaria sobre la contracción muscular para el control de la interfaz, pero con un uso mucho más eficiente del ancho de banda que si se utilizara las señales crudas de EMG. Estas envolventes son nuevas señales que pueden también ser enviadas al navegador o a clientes OSC.

Interfaz de usuario

El servidor web que corre en Node.js es actualmente la interfaz de usuario del WIMUMO, siendo accesible desde cualquier otro dispositivo con navegador web que esté conectado a la LAN. Este servidor permite configurar distintos aspectos del WIMUMO (como por ejemplo parámetros de conectividad para el protocolo OSC). A su vez, dispone de un conjunto de aplicaciones web para monitorear el funcionamiento del equipo y para utilizar en demostraciones, que a diferencia del cálculo de envolvente se ejecutan en el cliente (navegador web) y no insumen recursos adicionales al equipo.

Las envolventes de las señales se envían utilizando el protocolo *websocket* (implementado a través de la librería *socket.io*) para visualizarlas en el navegador mediante controles *canvas* de HTML5. Una segunda aplicación puede generar sonidos en tiempo real a partir de las envolventes de los distintos canales de biopotencial utilizando la API *WebAudio*. Si bien esta característica no fue utilizada en performances artísticas, es una aplicación que no requiere de terceros programas y permite ensayar desde la realización del movimiento a la generación del sonido. Es particularmente útil para demostraciones con pocas personas, donde cada uno puede escuchar la música generada en el navegador de su propio celular.

El caso de uso general para la generación de audio se obtiene con programas comúnmente utilizados por artistas multimedia, como Pure Data, Processing o Moldeo [15], corriendo en una PC en la misma LAN, recibiendo los datos por OSC y permitiendo llevar a cabo performances artísticas reales con WIMUMO como HMI.

D. Sensores

Sensores de biopotencial

El circuito integrado ADS1299, un componente clave del actual diseño del WIMUMO, resuelve la amplificación y la digitalización de entre 4 y 8 señales analógicas de tensión con gran rango dinámico (más de 20 bits efectivos) y tasas de muestreo configurables hasta 16000 muestras por segundo. Estas características permiten adquirir distintos tipos de biopotenciales con muy buena calidad, vinculando sus entradas directamente a los electrodos de medida, es decir sin requerir circuitos específicos para ECG, EMG o EEG

Dadas las características *vestibles* del WIMUMO y su entorno de uso, este puede estar sometido a condiciones agresivas de *interferencia electromagnética* (EMI) y elevadas impedancias de electrodo. Se optó, en consecuencia, por utilizar electrodos activos (pre-amplificados), los cuales minimizan la interferencia acoplada a los cables de electrodo, permitiendo usar electrodos *secos* que no requieren geles ni pastas conductoras [16]. Como se observa en la Fig. 3, el prototipo del WIMUMO dispone de un conector para cada entrada analógica (4 en total) con alimentación de 5V accesible para alimentar electrodos activos.

Se construyeron 4 sensores de EMG, cada uno con dos electrodos de medida y un amplificador completamente diferencial que pre-amplifica la señal y ofrece baja impedancia de salida. Dos de estos sensores cuentan además con un electrodo de referencia extra, vinculado a un circuito de realimentación del modo común [17]. Como se observa en la Fig. 3, el sensor está construido sobre una única placa de circuito impreso simple faz, estando en la cara inferior los electrodos metálicos *secos* de tipo broche que también permiten acoplar electrodos *húmedos* descartables.



Fig.3. izquierda: sensores diferenciales de EMG, con y sin el electrodo de realimentación de modo común. Derecha: gabinete del WIMUMO con los conectores para 4 canales analógicos y el bus I2C.

Sensores de movimientos, humedad y temperatura

A través del puerto I²C pueden conectarse distintos sensores compatibles con este protocolo. Con la idea de registrar señales no voluntarias como humedad y temperatura se escribió el código necesario para los sensores de presión, temperatura y humedad BME280. Para registrar movimientos se construyó un sensor inercial que contiene acelerómetros y giróscopos basado en el mpu6050.

E. Fuente de alimentación

La fuente de alimentación debe proveer 5V y 3.3 V requeridos por el ADS1299 y 5V para la placa Raspberry. La alimentación se realiza a partir de una batería de baja tensión. De este modo, considerando que la conectividad del dispositivo es inalámbrica, resulta intrínsecamente seguro sin requerir una barrera de aislación. Como fuente de energía primaria se utilizó un “power-bank” de los típicamente utilizados para cargar teléfonos celulares. Esta solución es simple, el pack que provee 5V sólo debe conectarse a WIMUMO mediante un conector micro-USB. Los 3.3V necesarios para el ADS1299 se obtienen a partir del regulador interno de la Raspberry. El consumo, cuando se envían datos por WiFi es de unos 250 mA y la autonomía, con un “power-bank” de 2800 mAh es de unas 10 horas. Los primeros prototipos de sensores inalámbricos bluetooth se alimentaron con pequeñas baterías Li-Po de 3.7V 150 mAh. El diseño completo de alimentación se muestra en la Fig. 4.

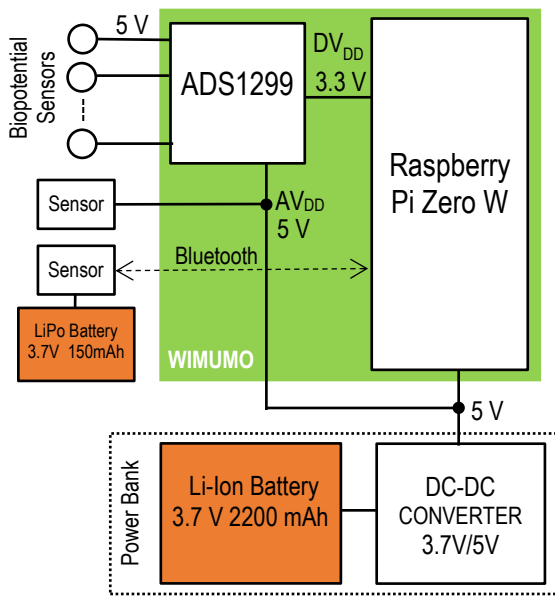


Fig. 4. Esquema de alimentación del sistema completo.

III. RESULTADOS

Se implementaron dos prototipos de la plataforma WIMUMO similares, y el juego de 4 electrodos de biopotencial descritos en las secciones anteriores, cuyas fotografías se observan en la Fig. 3. El equipo junto con la batería resultó de dimensiones adecuadas para montar en un arnés que puede colocarse sobre el cuerpo, desde donde se distribuyen los cables de sensores como se muestra en la Fig. 5. El equipo logró adquirir las señales de biopotencial a una tasa de muestreo de 500 sps y transmitir las envolventes simultáneamente por websockets y OSC a una tasa de 25 paquetes de muestras por segundo. Las baterías demostraron durar al menos 3 horas con transmisión continua de señales.

La plataforma es utilizada con frecuencia en el ámbito de un laboratorio de investigaciones en instrumentación biomédica, para visualizar rápidamente distintos tipos de señales, con tan solo abrir una pestaña del navegador web, y como elemento de demostración en charlas de divulgación a alumnos de nivel medio y universitario. En este contexto resultó de utilidad la interfaz web con una aplicación para visualizar rápidamente la correcta conexión de los electrodos

y su posicionamiento y la aplicación de visualización de envolventes, que se observan en la Fig. 6.

También ha sido utilizado favorablemente para *performances* artísticas en vivo midiendo EMG y ECG de una bailarina, procesando dichas señales para obtener su envolvente y enviándolas por OSC a una PC, donde distintos programas configurados por artistas multimedia modularon luces, sonidos y videos con las señales de EMG y ECG.

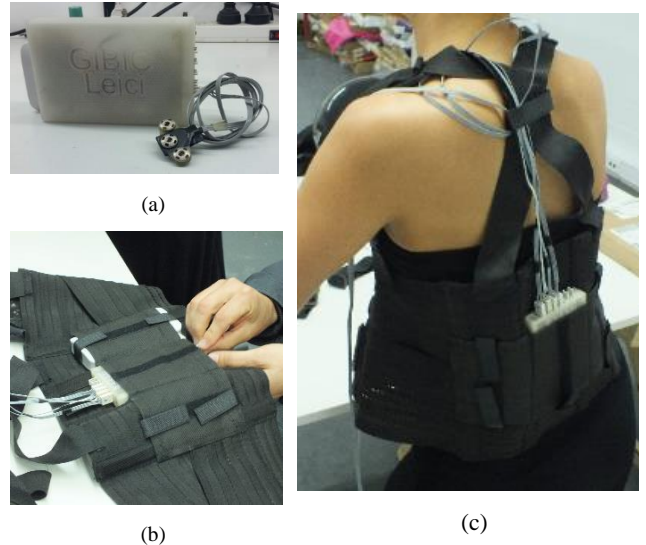


Fig. 5. Demostración del uso del equipo WIMUMO. Se observa el gabinete y la batería, su colocación en el arnés y la colocación del conjunto.

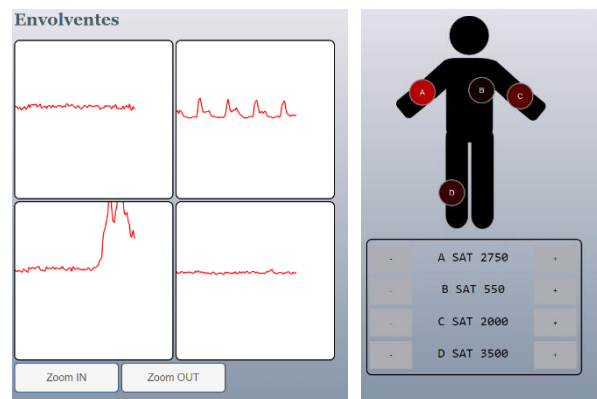


Fig. 6. Señales envolventes visualizadas en tiempo real en la interfaz web (izquierda) y aplicación web para visualizar los niveles de señal y controlar las posiciones de los electrodos (derecha).



Fig 7. Fotografías tomadas durante dos performances artísticas en las que se utilizó la plataforma WIMUMO

En la Fig. 7 puede apreciarse el uso del equipo en la *performance* “Cajografías” [18], donde se utilizó el

programa Pure Data, un entorno de programación visual para multimedia de código abierto. En una muestra previa, a través de la colaboración con el grupo SPEAK se llevó a la *performance* “Imaginación Colectiva” [19] en la cual el grupo SPEAK desarrolló su propio método de generación audiovisual recibiendo paquetes OSC en el software MOLDEO [15].

IV. DISCUSIÓN

La filosofía de diseño fue implementar un primer prototipo que tenga todas las funcionalidades con la idea de testear distintas alternativas para luego optimizarlas. El dispositivo actual no es óptimo, pero es útil y suficiente para muchas aplicaciones.

La solución de alimentación basada en un “*power-bank*” resultó muy cómoda; cuando se agota la batería simplemente se reemplaza por un pack cargado, pero se detectó un problema de uso: existe la posibilidad que alguien utilice el WIMUMO conectado a al puerto USB de una computadora o a un cargador de celular convencional. Esta condición no puede admitirse y debe repensarse la conexión de la fuente de energía o incluir una batería interna.

La visualización de señales y producción de audio programadas en JavaScript para correr en el cliente demostraron ser desafiantes en cuanto al consumo de recursos, debiendo simplificarse fuertemente para que la interfaz de usuario fuese utilizable en celulares de gama media. Deben explorarse alternativas de implementación más eficientes.

Luego del rediseño de la plataforma se espera expandir el universo de las aplicaciones que puede cubrir. Un problema a resolver es la adquisición de biopotenciales en *tiempo real duro* que el *hardware* de la Raspberry y su SO de propósito general no admiten. Esto significa que bajo este SO no se puede asegurar que la totalidad de las muestras del ADS1299 sean leídas a través del bus SPI. Esto no es de importancia para aplicaciones de entretenimiento, artísticas o educativas, pero es inadmisibles para otras como interfaces cerebro-computadora basadas en potenciales evocados visuales de estado estacionario (SSVEP) [20].

V. CONCLUSIONES

Se presentaron las consideraciones generales del desarrollo de WIMUMO, un sistema de adquisición multimodal inalámbrico, que permite adquirir varios canales de señales biopotenciales de distintos tipos, así como cualquier otra señal analógica con rangos de tensión y ancho de banda similar. Al mismo tiempo el equipo puede conectarse con un sinnúmero de sensores mediante el bus I2C.

Uno de los pilares desde la concepción de este desarrollo, es que se constituya en un dispositivo *vestible*, es decir que su colocación y puesta en funcionamiento debe ser tan natural como colocarse una prenda de vestir. Las decisiones de diseño buscaron un balance entre esta característica y las propiedades necesarias para ser utilizado en *performances*, incluyendo la disponibilidad y accesibilidad comercial de sus componentes en el mercado local; la plataforma sienta las bases para mejorar su *vestibilidad* en las próximas iteraciones. Otro hito de este desarrollo ha sido que usuarios sin conocimientos técnicos de la arquitectura del sistema y no familiarizados con la adquisición de biopotenciales usen WIMUMO sin mayores dificultades accediendo desde el

navegador web desde la misma LAN. Para el prototipo reportado la asociación a una red WiFi debía configurarse accediendo a archivos del sistema operativo de la Raspberry, pero la próxima versión permitirá hacerlo desde la interfaz web, mejorando su usabilidad.

Se espera que, si la comunidad dispone de una plataforma simple de reproducir y utilizar, esta situación sea propicia para el desarrollo de todo tipo de dispositivos basados en biopotenciales y señales multimodales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación de Sergio O. Rodríguez (Profesional Principal CPA CONICET, LEICI) en el diseño y fabricación de los gabinetes mediante impresión 3D.

Este trabajo fue financiado en parte mediante los subsidios I-219 de la Universidad Nacional de La Plata, PIP0558 del CONICET y PICT-2015/2257 de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

REFERENCIAS

- [1] R. Nakagawa and S. Hirata, “AEVE: An Audiovisual Experience Using VRHMD and EEG.”
- [2] C. Erdem, A. Forbes, Ç. Gri Erdem, A. Çamcı, and A. G. Forbes, “Biostomp: A Biocontrol System for Embodied Performance Using Mechanomyography,” in *International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 2017, pp. 65–70.
- [3] C. P. Martin, A. R. Jensenius, and J. Torresen, “Composing an Ensemble Standstill Work for Myo and Bela,” in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 2018, pp. 196–197.
- [4] R. T. H. Ho, S. H. Markosov, N. Sanders, and C. S. Nam, “BCI-Based Expressive Arts: Moving Toward Mind-Body Alignment,” in *Brain Art*, A. Nijholt, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 355–373.
- [5] D. Di Donato, J. Balandino, J. Bullock, and A. Tanaka, “Myo Mapper: a Myo armband to OSC mapper,” 2018.
- [6] J. Eaton, W. Jin, and E. Miranda, “The Space Between Us: A Live Performance with Musical Score Generated via Affective Correlates Measured in EEG of One Performer and an Audience Member,” in *NIME’14 International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 2014, pp. 593–596.
- [7] H. Bettermann, D. Amponsah, D. Cysarz, A. P. Van Leeuwen, and P. Van, “Musical rhythms in heart period dynamics: a cross-cultural and interdisciplinary approach to cardiac rhythms,” 1999.
- [8] F. N. Guerrero, “Instrumentación para Neuroprótesis Vestibles,” Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata, 2017.
- [9] J. Guerreiro, R. Martins, H. Silva, A. Lourenco, A. Fred “BITalino: A Multimodal Platform for Physiological Computing”, *ICINCO*, vol. 1, 2013, pp. 500-506
- [10] I. Hattwick and M. M. Wanderley, “Design of Hardware Systems for Professional Artistic Applications,” in *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 2017, pp. 436–441.
- [11] A. Murikipudi, V. Prakash, and T. Vigneswaran, “Performance Analysis of Real Time Operating System with General Purpose Operating System for Mobile Robotic System,” *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 8, no. 19, 2015.
- [12] F. N. Guerrero and E. Spinelli, “Surface EMG multichannel measurements using active, dry branched electrodes,” in *IFMBE Proceedings*, vol. 49, A. Braidot and A. Hadad, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 1–4.
- [13] M. Wright, “Open Sound Control: An enabling technology for musical networking,” *Organised Sound*, vol. 10, no. 3, pp. 193–200, 2005.
- [14] M. A. Haberman, “Procesamiento de señales aplicado a dispositivos de ayuda para personas con discapacidades motoras,” Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de La Plata, 2016.
- [15] Moldeo Software, “moldeo.org.” [Online]. Available: <https://www.moldeo.org/>. [Accessed: 19-Aug-2019].
- [16] A. Searle and L. Kirkup, “A direct comparison of wet, dry and insulating bioelectric recording electrodes,” *Physiol. Meas.*, vol. 21, no. 2, pp. 271–283, 2000.
- [17] A. Nonclercq and P. Mathys, “Reduction of power line interference using active electrodes and a driven-right-leg circuit in

- electroencephalographic recording with a minimum number of electrodes.” Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., vol. 3, pp. 2247–2250, 2004.
- [18] A. Ceriani, Artist, Cajografías. [Art]. Centro Cultural San Martín, 2018.
- [19] SPEAK, Artist, Imagenación Colectiva. [Art]. Secretaría de Arte y Cultura UNLP, 2018.
- [20] P. A. García, E. M. Spinelli, and G. M. Toccaceli, “An embedded system for evoked biopotential acquisition and processing,” *Int. J. Embed. Syst.*, vol. 6, no. 1, p. 86, 2014.