

Desarrollo de un Software Libre para la lectura, graficación y registro en tiempo real de señales provenientes de ondas cerebrales

Carlos Antonio Bulnes Domínguez

1 de junio de 2015

Índice general

Introducción	1
Justificación	2
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Particulares	3
Antecedentes	4
BCI	4
BCI Invasivos	5
BCI no Invasivos	6
Diseño	11
Implementación y Resultados	15
Conclusión y trabajo futuro	16
Trabajo Futuro	16
Bibliografía	17

Introducción

El trabajo presentado describe la realización de un software libre desarrollado con ROS para ser utilizado con un lector de ondas cerebrales. El nuevo software tiene como objetivo la lectura, graficación y registro de los datos que reciba a través de la plataforma ROS. Durante la investigación se encontró que ya existía un software similar, sin embargo este resultaba muy lento lo que provocaba que la información en pantalla no fuera fiable. El software resultante en este trabajo tiene como objetivo resolver ese problema, es por eso que, como se explicará en capítulos posteriores, se escogió integrarlo a ROS.

El nuevo software permitirá controlar el momento en que se quiera Ejecutar, Pausar y Detener la recepción de la información, estas acciones no afectarán al programa que envía los datos pues solo afecta de forma visual al programa receptor para que el usuario tenga control de que quiere ver y en que momentos. Adicionalmente cuenta con la funcionalidad de visualizar y crear un registro de todas las señales que se reciban mientras el software se encuentre en modo de “reproducción”. La visualización es e tiempo real mientras que la generación del registro se genera cuando se presiona “detener” y creará un archivo en disco duro con el nombre que se haya ingresado así como la fecha y hora de creación de este, dicho archivo permitirá al usuario consultarlo en cualquier momento independientemente de que el software se encuentre en ejecución o no.

Justificación

La necesidad de la creación de un software libre para la lectura de las ondas cerebrales surge debido a la escasa variedad de programas dedicados a dicha tarea actualmente, donde es el mismo creador del dispositivo físico el que te proporciona el software, el cual, ya cuenta con funciones y operaciones definidas por el fabricante.

En la actualidad los proyectos de investigación requieren interactuar más con la información que obtienen con los dispositivos lectores de ondas cerebrales, y como ya se mencionó, las alternativas actuales se encuentran limitadas, se propone entonces un proyecto de código libre en el cual, partiendo del software desarrollado en este trabajo, los desarrolladores futuros sean capaces de complementarlo e implementarlos a sus necesidades específicas.

Objetivos

Objetivo General

Crear un software libre capaz de leer y graficar en tiempo real a través de la plataforma ROS las señales enviadas por el Emotiv EPOC, las cuales son interpretadas por un software libre llamado Emokit[1].

Objetivos Particulares

- Establecer un canal de comunicación entre el software y el EEG.
- Obtener datos numéricos a partir de las señales obtenidas.
- Tomar esos datos en tiempo real y graficarlos en una relación frecuencia-tiempo.
- Establecer un canal de salida para enviar los datos interpretados.

Antecedentes

El software desarrollado en este trabajo toma como base al emokit[1] el cuál forma parte de OpenYou[1]. El Emokit lee, descifra e interpreta la información enviada por el Emotiv EPOC, el cual es un dispositivo “Interfaz Cerebro-Máquina” (BCI), tales como nivel de batería de la diadema, intensidad de la señal, y las 14 lecturas realizadas por la diadema; este software actualmente solo imprime a nivel terminal dichos datos.

BCI

Una “Interfaz Cerebro-Máquina”[2] (BCI) es un medio de comunicación directo entre el cerebro y un dispositivo externo. Los BCI están normalmente dirigidos a asistir, aumentar y reparar la habilidad cognitiva y las funciones sensoriomotoras.

Las investigaciones con los BCI comenzaron en 1970 en la Universidad de Los Ángeles California(UCLA) bajo el subsidio de Fundación Nacional de Ciencia contratados por la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados de Defensa (DARPA). La publicación hecha después de la investigación marcó la primera aparición de la expresión “Interfaz Cerebro-Máquina” en la literatura científica.

Existen diferentes formas de clasificar a los BCI.

Por el uso de técnicas invasivas

- BCI invasivos.
- BCI no invasivos.

Por el uso de estimulación

- Endógenos
- Exógenos

Por las características EEG

- Sistemas BCI basados en potenciales corticales lentos
- Sistemas BCI basados en ritmos de actividad cerebral
- Sistemas BCI basados en potenciales evocados

BCI Invasivos

Los dispositivos BCI invasivos son implantados directamente en el cerebro y tienen la más alta calidad de señales de los BCI. Estos dispositivos son usados para recuperar funciones de personas con parálisis. Los BCI invasivos son usados también para recuperar la vista conectando el cerebro a cámaras externas y para restaurar el uso de extremidades usando brazos y piernas robóticos controlados por el cerebro. Como todos los dispositivos que se encuentran instalados en la materia gris del cerebro este tipo de BI produce una calidad de señales muy alta pero son propensos a causar cicatrices en el tejido cerebral causando que las señales comiencen a volverse débiles o incluso la pérdida de las reacciones del cuerpo por contener un objeto desconocido en el cerebro[3].

En las ciencias de la visión los implantes en el cerebro han sido usados para tratar la ceguera no congénita¹. William Dobell es uno de los primeros científicos que vienen trabajando con una interfaz cerebro para restaurar la vista como una investigación privada. El implantó su primer prototipo en Jerry, un hombre que quedó ciego en su adultez en 1978. Él insertó un BCI de 68 electrodos en la corteza visual de Jerry y logró producir la sensación de ver una luz. En 2012 el experimento fué realizado en Jens Neumann donde Dobell utilizó un implante más sofisticado que permitió un mejor mapeo. Investigadores de la Universidad de Emory en Atlanta, dirigidos por Philip Kennedy y Roy Bakay fueron los primeros en instalar un implante en el cerebro de un ser humano que produce señales de alta calidad suficientes para estimular el movimiento[3].

Thomas Navin Lal et al. en su artículo [4] desarrollaron un BCI llamado Thought Translation Device (TTD) es cual usan para ayudar a comunicarse a pacientes con parálisis los cuáles han perdido sus funciones cognitivas. Para poder usar el TTD los pacientes debieron aprender a regular a voluntad su Slow Cortical Potentials (SCP)². El sistema entonces permite a su usuario escribir textos en la pantalla de una computadora o navegar en internet. El sistema sin embargo cuenta con dos desventajas: no todos los pacientes logran controlar su SCP además la intensidad de la señal es un poco baja y a un usuario bien entrenado requiere aproximadamente 30 segundos para escribir un caracter.

Niels Birbaumer publica en su artículo[6] el resultado de su investigación donde analiza a los BCI invasivos y no invasivos desde la perspectiva de su utilidad clínica para la comunicación y reparación de habilidades motoras en personas con parálisis. En su investigación encontró publicaciones de distintos casos de Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA)³ en diferentes estados. A los pacientes se les implanto un microelectrodo de vidrio cortical lleno de un factor de crecimiento neurotrófico. Con dicho implante los pacientes lograron comunicarse apagando y encendiendo un flash-ion para decir “sí” y “no” sin embargo el autor citado concluye

¹Una enfermedad congénita es aquella que se manifiesta desde el nacimiento, ya sea por un trastorno ocurrido durante el desarrollo embrionario, durante el parto o como consecuencia de un defecto hereditario

²Se llaman SCP (o potenciales corticales lentos en español) a los cambios relacionados con los eventos de corriente continua lenta obtenidas con los EEG provenientes de los grandes conjuntos de células en la capa cortical superior[5].

³ELA es una enfermedad degenerativa de tipo neuromuscular. Se origina cuando unas células del sistema nervioso llamadas motoneuronas disminuyen gradualmente su funcionamiento y mueren, provocando una parálisis muscular progresiva de pronóstico mortal

que es complicado realizar un juicio a cerca de los BCI invasivos debido a las complicaciones médicas que puede conllevar. En esta misma publicación se menciona una conferencia sobre BCI realizada en Rennselearville, Nueva York en 2005 donde a los más de 100 científicos que asistieron se les preguntó su opinión sobre el futuro de los BCI. La mayoría opinó que los BCI no invasivos sería el desarrollo más prometedor de la siguiente década.

BCI no Invasivos

Los implantes no invasivos son colocados en el cuero cabelludo. Los BCI no invasivos producen señales débiles porque el cráneo amortigua las señales, dispersando las ondas electromagnéticas creadas por las neuronas.

Javier Danilo et al. describen en su trabajo de titulación[7] el diseño e implementación de un prototipo de BCI para manipular una pinza robótica. A través de electrodos colocados en el cuero cabelludo de una persona y utilizando los principios de la electroencefalografía (EEG) obtienen señales eléctricas pequeñas las cuales someten a etapas de amplificación y filtrado de ruido. Para la adquisición de las señales utilizan la plataforma Arduino, y haciendo uso de la comunicación serial con el software MATLAB para la visualización en la computadora de las señales obtenidas. Posteriormente se identificarán los pulsos eléctricos que son generados por un estímulo visual y que serán los que determinen la activación de un mecanismo. Este mecanismo manipulará a un dispositivo a distancia que en este caso será una pinza robótica.

Miguel Ángel López en su tesis doctoral [8] dentro de la clasificación de los BCI describe a los BCI no Invasivos como aquellos métodos que no suponen riesgo alguno para el paciente. Entre los BCI no invasivos se encuentran los EEG, MEG, fMRI y NIRS destacando a los EEG como la alternativa más importante, sencilla y económica de la actualidad. La EEG se basa en el principio de que las corrientes de naturaleza iónica, presentes en la corteza cerebral, producto de la actividad poblaciones de neuronas pueden ser registradas para su análisis mediante el uso de electrodos superficiales extracraneales. Existen también distintas técnicas para la fijación de los electrodos. Una técnica consiste en el uso de un gorro con una serie de agujeros donde ajustar mediante rosca los electrodos, esta técnica tiene el inconveniente de tener que ajustar uno a uno cada electrodo, junto con un gel electrolito. Una versión mejorada, Electrocap, dispone de los electrodos ya integrados en el gorro y de un sistema cómodo de aplicación del gel. Existen también redes de sensores, como el SensorNet de EGI. Este último consiste en una red elástica que se ajusta a la cabeza de cada sujeto con un número muy elevado de sensores (hasta 250).

El uso de redes o sensores resultan útiles para aplicaciones médicas sin embargo esas interfaces resultan poco atractivas en el ámbito del entretenimiento. Empresas como NeuroSky y Emotiv han desarrollado cascos para el sector del entretenimiento que ofrecen un sistema rápido, cómodo y portátil.

El Emotiv EPOC es BCI que fue creado con el propósito de ser un periférico para juegos en Windows, OS X y Linux[10], cuenta con 14 electrodos y funciona como dispositivo de entrada. En 2011 Kirill Stytsenko, et al.[11] realizaron un análisis del Emotiv EPOC para la CogSci Conference. Emotiv EPOC es un BCI de bajo costo basado en la tecnología EEG.

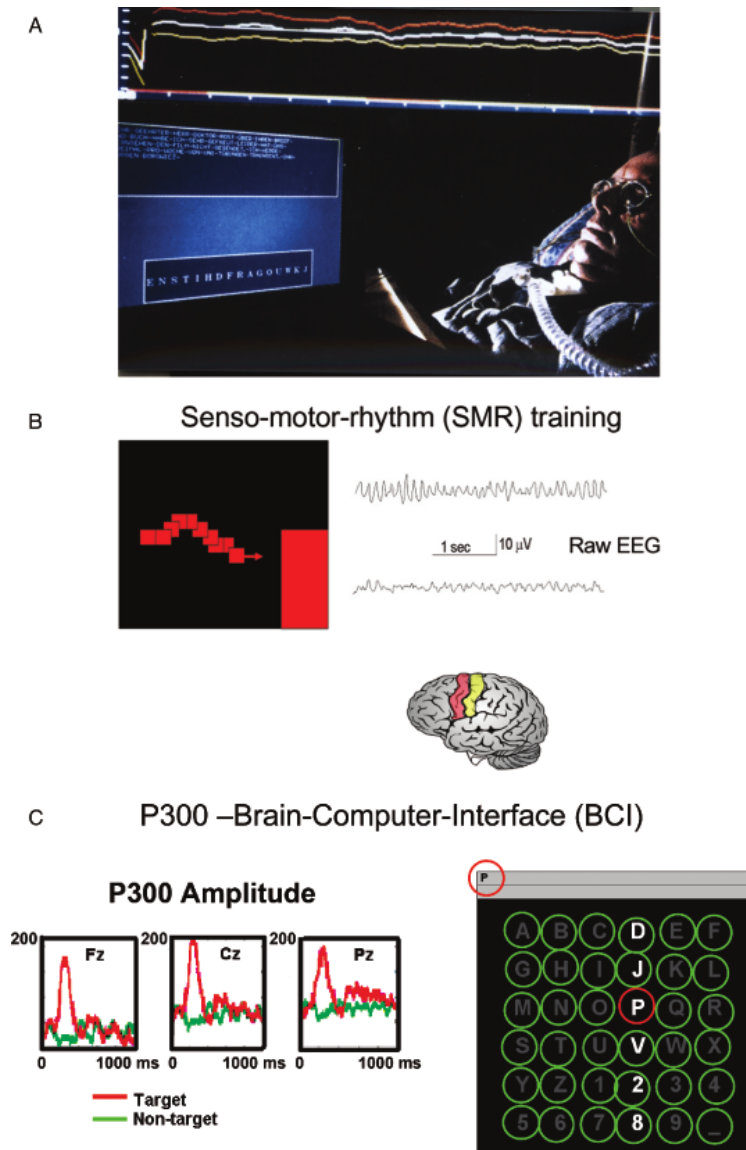


Figura 1: Tres tipos de BCI. A: Pacientes usando su Slow Cortical Potentials. Los pacientes seleccionan una letra de las mostradas en la parte baja de la pantalla, la letra seleccionada aparece en la parte de arriba de la pantalla. B: SMR-BCI. Oscilaciones SMR de la corteza sensoriomotora durante la inhibición del movimiento y las imágenes o ejecución de movimiento (EEG rastro abajo). En la parte izquierda de la imagen es la pantalla de retroalimentación con el objetivo de destino en el lado derecho de la pantalla que indica el aumento requerido SMR (objetivo en la parte inferior) o disminuir SMR (objetivo en la parte superior). El cursor refleja el SMR actual se representa en movimiento rojo de la parte derecha de la pantalla hacia la meta de destino. C: P300-BCI: Filas y columnas de letras son resaltadas en sucesiones rápidas, siempre que la letra pensada se encuentre en la cadena iluminada un P300 aparece en el EEG. Tomada de [6]

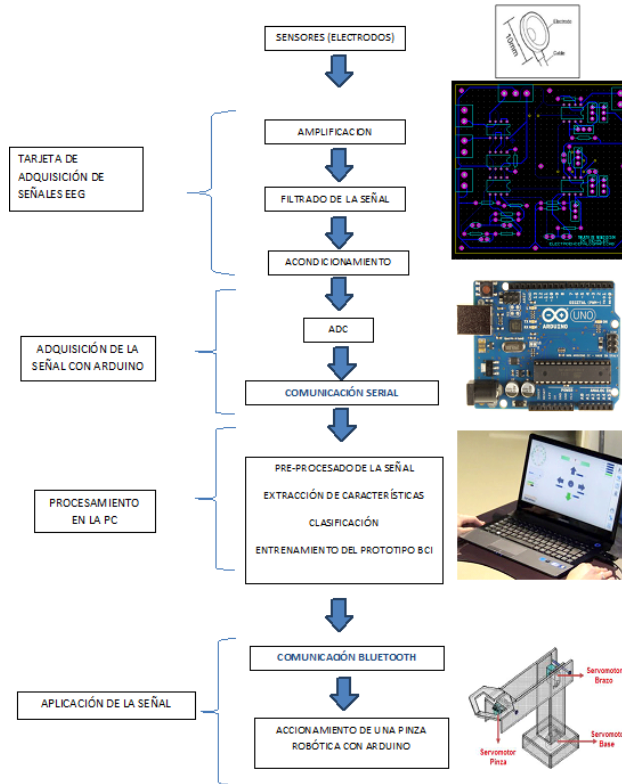


Figura 2: La imagen describe el diseño del prototipo de Danilo[7]

Cuenta con 14 electrodos montados en una diadema inalámbrica que se coloca sin esfuerzo y se conecta a la computadora. Originalmente fue creada para los juegos de computadora pero la “research edition” permite el acceso a los datos para su análisis lo que abre nuevas posibilidades a la ciencia para realizar nuevos experimentos o integrarlo a los ya existentes. En dicho estudio se someten a diferentes pruebas al Emotiv EPOC y al G-TEC[12]. Al compararlos se obtiene que la información en general es igual, pero la señal es más clara e intensa en el G-TEC. Uno de los desafíos encontrados es la creación de software de grabación para ambos dispositivos.

Job Ramón de la O Chávez en su tesis Interfaz Cerebro - Computadora para el Control de un Cursor Basado en Ondas[13] plantea una interfaz que permita la comunicación entre el usuario y la computadora, haciendo uso de sus ondas cerebrales, para el control de un cursor en pantalla mediante comandos obtenidos de las lecturas de un amplificador de ondas cerebrales.

En EPOC-alyipse Mind Controlled Car[14] plantean la construcción de de un carro de control remoto que es controlado por la mente usando el Emotiv EPOC. El proyecto fue desarrollado utilizando el SDK oficial del Emotiv EPOC.

Asim Raza en SSVEP based EEG Interface for Google Street View Navigation[15] analiza los sistemas BCI y su aplicación en el mundo real. También desarrolla un prototipo interactivo que pueda ser controlado en un ambiente controlado para demostrar el funcionamiento de



Figura 3: Sistemas de sujeción de electronos EEG. De izquierda a derecha. Electrodo usado en un gorro EEG con agujeros y rosca, el Electrocap y el SensorNet de EGI. Tomadas de [8]



Figura 4: Sistemas comerciales BCI: Emotiv a la izquierda y NeuroSky a la derecha. Tomado de [8]

los sistemas BCI. Para el desarrollo decidió utilizar el software libre OpenViBE para la adquisición y procesamiento de las señales.

En ROS: an open-source Robot Operating System[16] se explica el uso de la plataforma ROS para el desarrollo de aplicaciones de robótica y resumen los objetivos filosóficos de ROS en:

- Per-to-per
- Basado en herramientas
- Multilenguaje
- Ligero
- Gratuito y de Código Abierto

En Things that twitter: social networks and the internet of things[17] utilizan ROS aplicado en las redes sociales. ROS permite intercambiar información por medio de servicios con mensaje de request y response definidos. La información es intercambiada por una arquitectura



Figura 5: BCI no invasivo[9]

publish/suscribe donde los procesos permiten que sus datos estén disponibles para que otros procesos puedan utilizarlos.

Diseño

La Universidad Veracruzana adquirió un Emotiv EPOC en 2014 para el laboratorio de robótica donde los alumnos de la Facultad de Ingeniería participan en diferentes proyectos tecnológicos. Este trabajo de tesis contribuye a un proyecto donde se controlará un robot por medio de la mente a través del Emotiv EPOC. Con el proyecto resultante de este trabajo se tendrá una interfaz la cual graficará las señales del Emotiv EPOC además de tener la capacidad de grabar los datos obtenidos cada vez que se ejecute un “experimento” obteniendo un archivo separado por comas.

Al momento de la investigación se encontraron algunos software que mostraban la información obtenida de forma gráfica, sin embargo el principal inconveniente de estos era el desfase entre los datos que se estaban obteniendo y su graficación. Para atacar ese problema en este proyecto se utilizó un framework llamado ROS. ROS (Robot Operating System)[18] provee librerías y herramientas para ayudar a los desarrolladores de software a crear aplicaciones para robots. ROS provee abstracción de hardware, controladores de dispositivos, librerías, herramientas de visualización, comunicación por mensajes, administración de paquetes y más. ROS está bajo la licencia open source, BSD. En este proyecto se utilizó ROS para crear un escenario de comunicación en tiempo real, donde el Emokit[1] publica a través de mensajes los datos obtenidos del Epoc así mismo el nuevo software leerá los mensajes publicados en ROS para obtener los datos para graficarlos y generar el “log”, todo esto ya en tiempo real.

Además de ROS el nuevo software se desarrolló en Python, utilizando las librerías PyQt y matplotlib. Python es un lenguaje de programación interpretado, interactivo y orientado a objetos que provee estructuras de datos de alto nivel como listas y diccionarios, módulos, clases, excepciones, manejo automático de memoria, etc. Además es un lenguaje poderoso y multi propósito que cuenta con una sintaxis simple y elegante[19]. Para la creación de la interfaz se decidió utilizar el framework QT integrado a Python mediante PyQt. PyQt un binding⁴ de QT para Python v2 y v3 que puede ser ejecutado en todas las plataformas soportadas por QT incluyendo Windows, MacOS/X y Linux. Está implementada por medio de módulos de Python contenidos en más de 620 clases. Finalmente la graficación se llevó a

⁴Adaptación de una biblioteca para ser usada en un lenguaje de programación distinto de aquél en el que ha sido escrita.

cabo con matplotlib. matplotlib es una librería de Python para graficación 2D que produce figuras de calidad en una variedad de formatos y entornos interactivos a través de distintas plataformas. matplotlib puede ser usado en scripts de Python, MATLAB, Mathematica, servidores de aplicaciones web y en herramientas de interfaz gráfica de usuario.

El criterio para seleccionar los lenguajes, frameworks y bibliotecas mencionados fue el de la filosofía del software libre, siendo las tecnologías seleccionadas libres y además multiplataforma⁵. La aplicación resultante por lo tanto es libre y multiplataforma. EL software cuenta con una interfaz sencilla; cuenta con 14 gráficas donde se mostrarán cada una de las señales recibidas, tres botones para reproducir, pausar y detener la graficación de las señales y un cuadro de texto para escribir el nombre con el que se generará el archivo de registro y un campo de texto que sirve para visualizar cada paquete de señales que se va recibiendo.

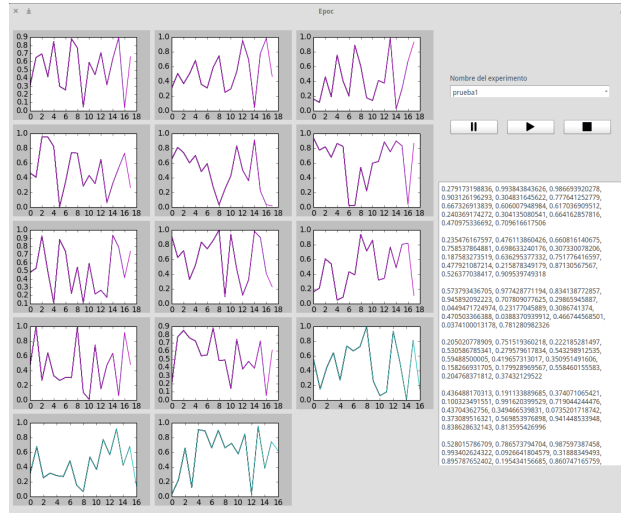


Figura 6: Interfaz

Cada gráfica muestra cada una de las señales recibidas. Las gráficas se refrescan cada 30 segundos recibidas limitadas principalmente por el tamaño de la interfaz. El espacio de texto para el log por otra parte muestra una lista con las 14 señales recibidas en x tiempo, es decir, cada vez que se recibe un mensaje se mostrará una lista en el cuadro de texto y se dibujará un punto nuevo en cada una de las 14 gráficas. Por último los botones controlan el dibujado en la gráfica y en el cuadro log sin embargo el software seguirá leyendo la información de las señales se encuentre en pausa o detenida, los botones por lo tanto controlan lo que el usuario necesita ver y registrar al momento que está utilizando la interfaz.

Para entender mejor como la interfaz funciona e interactúa con el emokit a través de ROS hay que explicar los términos Topics, mensajes, publisher y subscriber. ROS trabaja como un servidor el cual se ejecuta para que se puedan establecer todas las comunicaciones entre los procesos, dentro de una interacción de procesos intervienen tres factores:

- Mensajes: Son archivos donde se definen que datos y de que tipo serán comunicados

⁵Windows no es soportado por ROS a la fecha de la publicación, ver <http://wiki.ros.org/ROS/Installation>

por medio de el, cada archivo es un paquete que contiene diferentes tipos y nombres de variables.

- Publishers: Son los programas o procesos que se encargarán de publicar información en los mensajes para que estos sean leídos por uno o varios subscribers.
- Subscribers: Son los programas o procesos que leen los mensajes publicados por los publishers.

Este esquema de funcionamiento es fácilmente comparable con el clásico esquema de comunicación del habla donde contamos con un emisor(publisher), un mensaje y uno o varios receptores(subscribers).

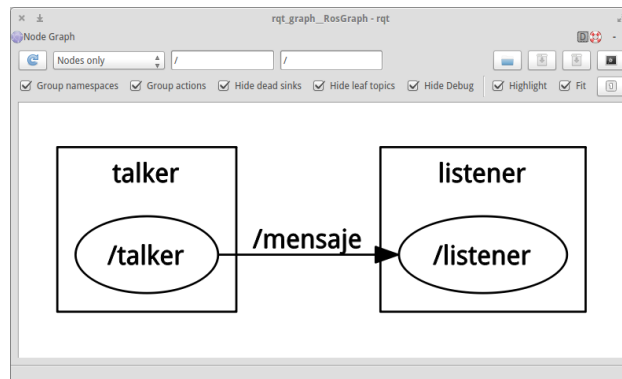


Figura 7: Comunicación ROS

Gracias a ROS el software resultante en este trabajo no se encuentra limitado a trabajar únicamente con el emokit. El software solo lee los mensajes publicados por ROS independientemente de quien los esté enviando. Podemos ver esto como una ventaja ya que permite que el software se use en conjunto con cualquier otro programa o proceso que publique el mensaje que el software lee.

Para ilustra mejor la interacción entre los componentes involucrados se presenta el diagrama de secuencias:

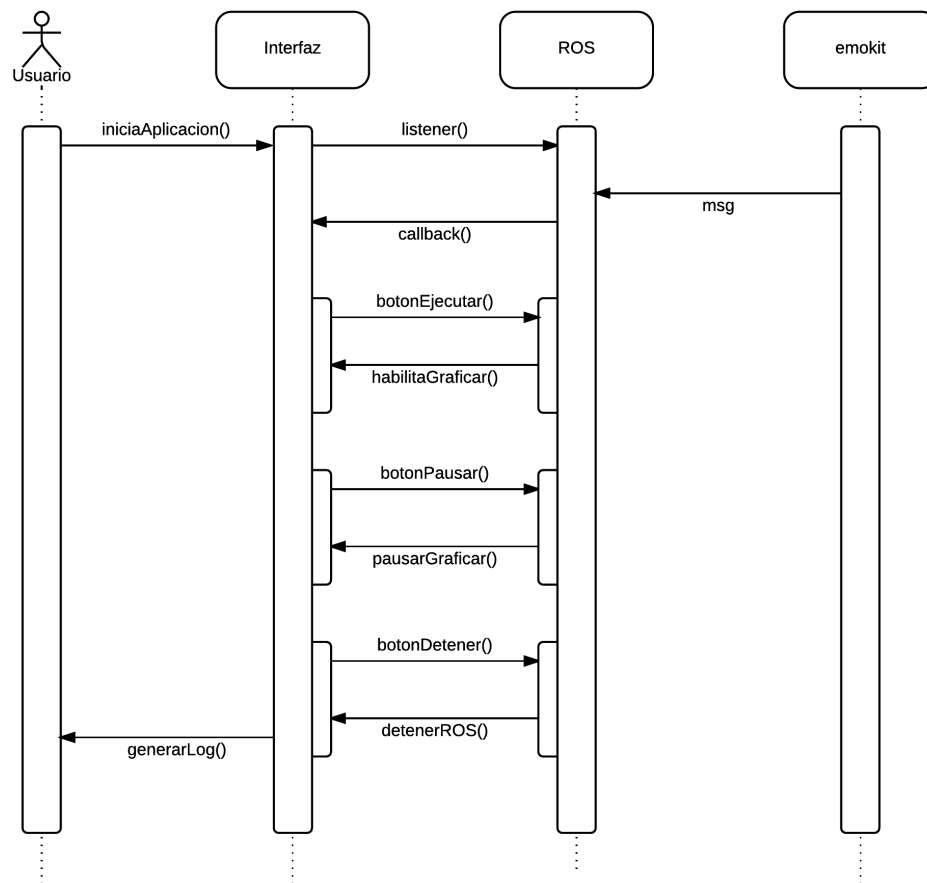


Figura 8: Diagrama de Secuencia

Implementación y Resultados

La implementación es una explicación del software funcionando e imágenes de ello.

A continuación se presentan los códigos con los que fue posible este proyecto, el proyecto completo puede ser descargado en <http://github.com/carlosbulnes/epoc/>.

Primero tenemos al código del emokit adaptado a ROS.

El código del software realizado en este trabajo es el siguiente. Este está constituido por un programa principal llamado `interfaz.py` el cual depende de los códigos `GUI.py` que es la definición de la interfaz en PyQT y `matplotlibwidgetFile.py` que permite la integración de matplotlib a PyQT.

Conclusión y trabajo futuro

Se logró crear un software el cual es capaz de leer mensaje publicados en ROS para generar las graficas y el registro. La principal ventaja es que al ser en ROS su funcionamiento en base a mensajes esto permite que sea usado en cualquier escenario que publique el mismo tipo de mensaje que el software lee y no se encuentra limitado a funcionar unicamente con el emokit o incluso para el Emotiv Epoc.

Trabajo Futuro

Al ser libre, es software en este poryecto puede ser mejorado de muchas formas y para distintos propósitos.

Índice de figuras

1.	Tres tipos de BCI. A: Pacientes usando su Slow Cortical Potentials. Los pacientes seleccionan una letra de las mostradas en la parte baja de la pantalla, la letra seleccionada aparece en la parte de arriba de la pantalla. B: SMR-BCI. Oscilaciones SMR de la corteza sensoriomotora durante la inhibición del movimiento y las imágenes o ejecución de movimiento (EEG rastro abajo). En la parte izquierda de la imagen es la pantalla de retroalimentación con el objetivo de destino en el lado derecho de la pantalla que indica el aumento requerido SMR (objetivo en la parte inferior) o disminuir SMR (objetivo en la parte superior). El cursor refleja el SMR actual se representa en movimiento rojo de la parte derecha de la pantalla hacia la meta de destino. C: P300-BCI: Filas y columnas de letras son resaltadas en sucesiones rápidas, siempre que la letra pensada se encuentre en la cadena iluminada un P300 aparece en el EEG. Tomada de [6]	7
2.	La imagen describe el diseño del prototipo de Danilo[7]	8
3.	Sistemas de sujeción de electrodos EEG. De izquierda a derecha. Electrodos usados en un gorro EEG con agujeros y rosca, el Electrocap y el SensorNet de EGI. Tomadas de [8]	9
4.	Sistemas comerciales BCI: Emotiv a la izquierda y NeuroSky a la derecha. Tomado de [8]	9
5.	BCI no invasivo[9]	10
6.	Interfaz	12
7.	Comunicación ROS	13
8.	Diagrama de Secuencia	14

Bibliografía

- [1] C. Brocious and K. Machulis, “Emokit.” <http://www.openyou.org>, May 2015.
- [2] K. Roebuck, *Brain-Computer Interface: High-impact Emerging Technology - What You Need to Know: Definitions, Adoptions, Impact, Benefits, Maturity, Vendors*. Emereo Publishing, 2012.
- [3] G. M. L. Anupama. H. S, Cauvery. N. K, “Brain computer interface and its types - a study,” 2012.
- [4] T. N. Lal, T. Hinterberger, G. Widman, M. Schröder, J. Hill, W. Rosenstiel, C. Elger, B. Schölkopf, and N. Birbaumer, “Methods towards invasive human brain computer interfaces,” 2005.
- [5] V. Autores, “Biofeedback federation of europe.” <https://biofeedbackfederationofeuropa.blogspot.mx/2014/04/introduction-to-slow-cortical.html>, May 2015.
- [6] N. Birbaumer, “Breaking the silence: brain-computer interfaces (bci) for communication and motor control,” *Psychophysiology*, vol. 43, no. 6, pp. 517–532, 2006.
- [7] J. D. Asimbaya Molina and J. A. Suasnavas Tipán, “Diseño e implementación de un prototipo brain computer interface (bci), para la manipulación de una pinza robótica utilizando comunicación bluetooth,” 2014.
- [8] M. Á. L. Gordo, “Interfaz bci de altas prestaciones basada en la detección y procesamiento de la actividad cerebral (bci-depracap),” 2009.
- [9] V. Autores, “emotiv.com.” <https://emotiv.com/>, May 2015.
- [10] V. Autores, “Emotiv systems.” http://en.wikipedia.org/wiki/Emotiv_Systems, May 2015.
- [11] K. Stytsenko, E. Jablonskis, and C. Prahm, “Evaluation of consumer eeg device emotiv epoc,” in *MEi: CogSci Conference 2011, Ljubljana*, 2011.

- [12] V. Autores, “G-tec biosignal amplifier g.bsamp.” <http://www.gtec.at/Products/Hardware-and-Accessories/g.BSamp-Specs-Features>, May 2015.
- [13] J. R. de la O Chávez, “Interfaz cerebro – computadora para el control de un cursor basado en ondas cerebrales,” pp. 16–19.
- [14] I. Senior Design, “Epoc-alypse mind controlled car,”
- [15] A. Raza, “Ssvep based eeg interface for google street view navigation,” 2012.
- [16] M. Quigley, K. Conley, B. Gerkey, J. Faust, T. Foote, J. Leibs, R. Wheeler, and A. Y. Ng, “Ros: an open-source robot operating system,” in *ICRA workshop on open source software*, vol. 3, p. 5, 2009.
- [17] M. Kranz, L. Roalter, and F. Michahelles, “Things that twitter: social networks and the internet of things,” in *What can the Internet of Things do for the Citizen (CIoT) Workshop at The Eighth International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2010)*, pp. 1–10, 2010.
- [18] V. Autores, “Ros.org.” <http://wiki.ros.org/es>, May 2015.
- [19] M. F. Sanner *et al.*, “Python: a programming language for software integration and development,” *J Mol Graph Model*, vol. 17, no. 1, pp. 57–61, 1999.