

Visualización de patrones de conectividad en EEG

Asesores: Alfonso Alba y Martín Méndez

1. Introducción

La electroencefalografía (EEG) es una técnica de neuroimagenología que consiste en registrar mediciones (señales) de voltaje a partir de uno o más electrodos colocados sobre el cuero cabelludo, o directamente en la corteza cerebral (EEG intracraneal). El voltaje registrado por un electrodo refleja la actividad eléctrica conjunta de millones de neuronas subyacentes en la región de la corteza sobre la cual el electrodo está colocado. El EEG se cuenta entre las técnicas de neuroimagenología funcional, las cuales permiten obtener información sobre el funcionamiento del cerebro vivo, y entre las cuales también se incluyen la resonancia magnética funcional (fMRI), la magnetoencefalografía (MEG), y la tomografía por emisión de positrones (PET). Sin embargo, el EEG tiene como ventajas una mayor resolución temporal (del orden de milisegundos), un menor costo del hardware de adquisición, y el hecho de ser no invasivo (cuando no es intracraneal), silencioso, y tener un bajo grado de incomodidad para el paciente o sujeto. La principal desventaja del EEG radica en su baja resolución espacial. Típicamente los registros clínicos de EEG utilizan de 4 a 20 canales, donde cada canal corresponde a la señal de un electrodo. Por ejemplo, el sistema 10-20 es un estándar de posicionamiento de electrodos que consiste en 19 canales (ver Figura 1(a)). Sin embargo, para mejorar la resolución espacial, se han diseñado sistemas con una alta densidad de electrodos que cuentan hasta con 256 canales.

Durante la ejecución de tareas cognitivas, múltiples áreas del cerebro se activan simultáneamente e interactúan entre sí por medio de conexiones recíprocas, formando lo que se conoce como un *ensamble neuronal* [3]. Uno de los mecanismos de integración más plausibles es la formación de enlaces de comunicación dinámicos, en bandas específicas de frecuencia, entre distintas regiones corticales [4]. Estos enlaces de comunicación ocasionan un incremento en la correlación y/o la sincronización entre las señales de EEG correspondientes a las áreas involucradas. De esta manera, el estudio de la sincronización entre las señales de EEG de distintos canales puede dar información sobre los procesos de conectividad dinámica que ocurren en el cerebro.

En las últimas dos décadas, ha existido un gran interés en el estudio de la conectividad y la comunicación entre las distintas redes neuronales que existen en el cerebro. El estudio de estos fenómenos se ha visto enormemente beneficiado gracias a los avances tecnológicos en materia de cómputo. Sin embargo, aún existen muchos retos y problemas abiertos.

Uno de estos retos tiene que ver con el simple hecho de que el estudio de la conectividad cerebral genera una gran cantidad de información. Por poner un ejemplo, consideremos un registro de EEG de alta densidad con 100 canales, una frecuencia de muestreo de 100 Hz (la cual es algo baja para los estándares actuales), obtenido durante un experimento que tiene una duración de 10 segundos. Dado que estamos interesados en el estudio de la conectividad, no debemos analizar cada canal de manera individual, sino la interacción entre cada pareja de canales. En total se tienen cerca de 5,000 parejas de canales, es decir, 5,000 señales de interacción que de alguna forma reflejan la conectividad cerebral. Cada una de estas señales cuenta con 1,000 muestras. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, la conectividad se observa en distintas bandas de frecuencia, por lo que es necesario realizar una descomposición tiempo-frecuencia de estas señales. Si suponemos que se analizarán 10

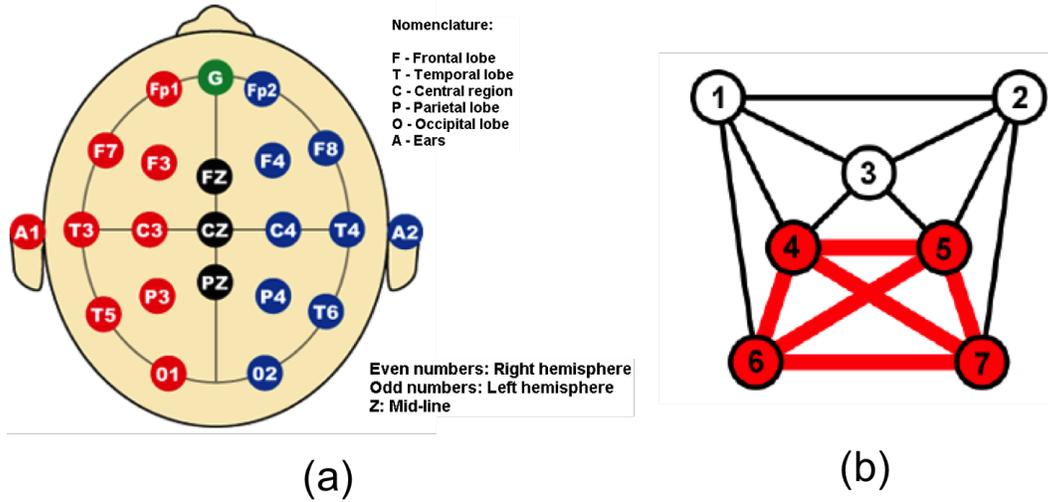


Figura 1: (a) Sistema de posicionamiento 10-20. (b) Ejemplo de un grafo sencillo y su clique máximo. Un clique se define como un grupo de vértices todos conectados entre sí.

bandas de frecuencia, entonces obtenemos un total de 50,000,000 datos (10 bandas \times 5000 señales \times 1000 muestras). El simple problema de cómo presentar toda esta información a un experto para su interpretación representa ya por sí mismo un gran reto.

En este proyecto, se pretende diseñar e implementar un algoritmo para visualizar los patrones de conectividad como un conjunto de sub-redes conectadas entre sí, donde cada sub-red está formada por un grupo de regiones altamente interconectadas. Formalmente, esto es similar al problema de encontrar cliques máximos en un grafo (ver Figura 1(b)), y la solución que se propone está basada en un enfoque de optimización combinatoria, que puede resolverse con algunos algoritmos de inteligencia artificial como algoritmos genéticos, colonias de hormigas, y otros.

Así mismo, el proyecto estará basado en trabajos anteriores donde se obtiene una segmentación del espacio tiempo-frecuencia en regiones donde el patrón de conectividad cerebral es relativamente constante [1, 2].

2. Objetivos

- Implementar los métodos existentes para la estimación de sincronía entre señales de EEG y la segmentación del espacio tiempo-frecuencia para la obtención de los patrones de sincronía mas relevantes.
- Diseñar e implementar un algoritmo para la agrupación de los nodos de un grafo en pseudo-cliques mediante técnicas de optimización combinatoria (e.g., algoritmos genéticos, o enfoques probabilísticos).
- Aplicar el algoritmo desarrollado al problema de visualización de patrones de sincronía en EEG de alta densidad, probando distintos potenciales que permitan obtener resultados con una interpretación o motivación neurofisiológica.
- Con el apoyo de un experto en neurofisiología, evaluar cualitativamente el algoritmo en términos de su utilidad para el estudio exploratorio de conectividad en EEG.
- Redactar un artículo arbitrado (para congreso o revista) con los resultados obtenidos.

3. Requisitos

Se sugiere que el alumno tome el curso de Optimización Avanzada, en el cual se incluyen técnicas de optimización combinatoria que serán útiles para el proyecto. Idealmente, el alumno habrá cursado ya la materia de Optimización, aunque esto no es estrictamente necesario. Alternativamente, los conocimientos requeridos para el desarrollo del proyecto, que no forman parte de la currícula común del programa de maestría, se pueden proporcionar al estudiante en un curso de Tópicos Selectos de Ingeniería Electrónica.

4. Cronograma propuesto

- Jun/2014 - Lectura de artículos. Lectura de las señales EEG crudas.
- Jul/2014 - Lectura de artículos. Implementación del filtrado de señales y estimación de la sincronía .
- Ago/2014 - Lectura de artículos. Implementación del algoritmo de segmentación tiempo-frecuencia.
- Sep/2014 - Lectura de artículos. Diseño del algoritmo de agrupación en pseudo-cliques para grafos sencillos.
- Oct/2014 - Lectura de artículos. Pruebas utilizando distintos enfoques de optimización combinatoria.
- Nov/2014 - Extensión del algoritmo para encontrar el patrón de conectividad en regiones tiempo-frecuencia.
- Dic/2014 - Realización de pruebas y comparaciones usando datos sintéticos.
- Ene/2015 - Realización de pruebas y comparaciones usando datos reales.
- Feb/2015 - Redacción de artículo para congreso o revista
- Mar/2015 - Redacción de tesis: Metodología
- Abr/2015 - Redacción de tesis: Introducción
- May/2015 - Redacción de tesis: Resultados
- Jun/2015 - Redacción de tesis: Conclusiones y Resumen.
- Jul/2015 - Presentación de examen previo. Correcciones finales a la tesis.
- Ago/2015 - Presentación de examen de grado

Referencias

- [1] A. Alba and E. Arce-Santana. Visualization of dynamic connectivity in high electrode-density eeg. In *Advances in Visual Computing*, volume 5358 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 1040–1050. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [2] A. Alba, J. L. Marroquín, E. Arce-Santana, and T. Harmony. Classification and interactive segmentation of EEG synchrony patterns. *Pattern Recognition*, 43(2):530 – 544, 2010.
- [3] O. David, D. Cosmelli, J. P. Lachaux, S. Baillet, L. Garnero, and J. Martinerie. A theoretical and experimental introduction to the non-invasive study of large-scale neural phase synchronization in human beings. *International Journal of Computational Cognition*, 1(4):53–77, 2003.
- [4] F. J. Varela, J. P. Lachaux, E. Rodriguez, and J. Martinerie. The brainweb: Phase synchronization and large-scale integration. *Nature Reviews, Neuroscience*, 2:229–239, 2001.