

**HISTOGRAM OF GRADIENT ORIENTATIONS OF EEG SIGNAL
PLOTS FOR BRAIN COMPUTER INTERFACES**

por
Rodrigo Ramele



EN CUMPLIMIENTO PARCIAL DE LOS
REQUISITOS PARA OPTAR AL GRADO DE
DOCTOR EN INGENIERÍA INFORMÁTICA

DEL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES
BUENOS AIRES, ARGENTINA
30 DE NOVIEMBRE, 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

DEPARTAMENTO DE DOCTORADO

Los aquí suscriptos certifican que han asistido a la presentación oral de la Tesis “**Histogram of Gradient Orientations of EEG Signal Plots for Brain Computer Interfaces**” cuyo autor es **Rodrigo Ramele** completando parcialmente, los requerimientos exigidos para la obtención del Título de **Doctor en Ingeniería Informatica**.

Fecha: 30 de Noviembre, 2018

Directores:

Dr. Juan Miguel Santos

Dra. Ana Julia Villar

Tribunal de Tesis:

Dra. Jurado

Dr. Jurado

Dr. Jurado

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

Fecha: **30 de Noviembre, 2018**

Autor: **Rodrigo Ramele**

Título: **Histogram of Gradient Orientations of EEG Signal Plots for
Brain Computer Interfaces**

Departamento: **Doctorado**

Título Académico: **Doctor en Ingeniería Informatica** Convocatoria: **Mes Año**

Por la presente se otorga permiso al Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA) para: (i) realizar copias de la presente Tesis y para almacenarla y/o conservarla en el formato, soporte o medio que la Universidad considere conveniente a su discreción y con propósitos no-comerciales; y, (ii) a brindar acceso público a la Tesis para fines académicos no lucrativos a los individuos e Instituciones que así lo soliciten (incluyendo, pero no limitado a la reproducción y comunicación al público no comercial de toda o parte de la Tesis, a través de su sitios o páginas Web o medios análogos que en el futuro se desarrollen).

Declaro que he obtenido la autorización para el uso de cualquier material protegido por las leyes de propiedad intelectual mencionado o incluido en la tesis (excepto pasajes cortos, transcripciones, citas o extractos que solo requieran ser referenciados o citados por escrito) y que el uso que se ha hecho de estos está expresamente reconocido por las leyes aplicables en la materia.

Finalmente, manifiesto que la presente autorización se firma en pleno conocimiento de la Política de Propiedad Intelectual del ITBA y, en forma específica, del Capítulo 2.3. referido a la titularidad de derechos de propiedad intelectual en el ITBA y/o, según el caso, a la existencia de licencias no exclusivas de uso académico o experimental por parte del ITBA de la Tesis o la obra o de las invenciones allí contenidas o derivadas de ella.

Hago entrega en este acto de un ejemplar de la Tesis en formato impreso y otro en formato electrónico.

Firma del Autor

希望がある所に道もあります

Contents

Abstract	ix
Resumen	xiii
Lists of Publications	xv
Acknowledgements	xvii
List of Acronyms	xx
List of Tables	xxi
List of Figures	xxiii
Introduction	1
0.1 Significance	3
0.2 Summary	3
Chapter 1 The Brain, The Computer and The Interface	5
1.1 Brain Computer Interface Model and Architecture	7
1.2 Signal Processing	9
1.3 The Forward and Inverse Model	10
1.4 Brain Imaging Technologies	12
1.5 Electroencephalography	12
1.6 BCI EEG Paradigms	16
1.7 State of the Art of BCI Algorithms for EEG processing	17
1.8 EEG Waveform Analysis	18
1.8.1 EEG Waveform Characterization	18
1.8.2 EEG Waveform Analysis Algorithms	20

Chapter 2	From signals to images	23
2.1	Electroencephalographic Plotting	23
2.2	Signal to Image transformation	24
2.3	EEG Signal Plot	26
2.3.1	Standardized plotting	27
2.3.2	Autoscaled plotting	27
2.3.3	Image Size	28
2.3.4	Pixelation	29
2.3.5	Interpolation	29
2.3.6	Resolution	30
Chapter 3	The Histogram of Gradient Orientations of Signal Plots	31
3.1	Introduction	31
3.2	Feature Extraction: Histogram of Gradient Orientations	31
3.3	Keypoint Location	33
3.4	Oscillatory Processes	33
3.5	Transient Events	33
3.6	Mapping Functions	33
3.7	Implementation	33
3.7.1	Matlab	33
3.8	Classification	33
Chapter 4	Alpha Wave: inhibition signal	35
4.1	Introduction	35
4.2	Materials and Methods	36
4.3	Results	37
4.4	Conclusion	38
Chapter 5	Motor Imagery	39
5.1	Introduction	39
5.2	Materials and Methods	39
5.3	Results	40
5.4	Conclusion	40

Chapter 6	Event Related Potential: The P300 Wave	41
6.1	Introduction	41
6.2	Materials and Methods	42
6.2.1	Feature Extraction from Signal Plots	42
6.2.2	Experimental Protocol	45
6.3	Results	47
6.4	Conclusion	49
Chapter 7	Conclusions	59
7.1	Future Work	59
Appendix A	BCI en Argentina	61
Appendix B	Walkthrough BCI	63
Appendix C	SIFT	65
Bibliography		66

Abstract

Brain Computer Interface (BCI) or Brain Machine Interfaces (BMI), has proved the feasibility of a distinct non-biological communication channel to transmit information from the Central Nervous System (CNS) to a computer device. Promising success has been achieved with invasive BCI, though biocompatibilities issues and the complexity and risks of surgical procedures are the main drive to enhance current non-invasive technologies.

Electroencephalography (EEG) is the most widespread method to gather information from the CNS in a non-invasive way. Clinical EEG has traditionally focused on temporal waveforms, but signal analysis methods which follow this path has been overshadow in BCI research.

This thesis propose a method and framework to analyze the waveform, the shape of the EEG signal, using the histogram of gradient orientations, a fruitful technique from Computer Vision which is used to characterize image local features. Inspiration comes from what traditionally electroencephalographers have been doing for almost a century: visually inspecting raw EEG signal plots.

This technique can be outlined in five steps, (1) signal preprocessing, (2) signal segmentation, (3) transformation on a channel by channel basis of each signal segment into a binary image of a signal plot, (4) assignment of keypoint location on a position over the newly created image depending on the physiological phenomena under study and finally (5) the calculation of the histogram of gradient orientations using finite differences from the image around this keypoint. This method generates a feature, a normalized 128-dimension descriptor. This feature is used to compare the signal segments that were used to generate them, hence to analyze the underlying cognitive phenomena.

The validity of the method is verified by studying three cognitive patterns. First, Visual Occipital Alpha Waves are analyzed. An experimental protocol is designed and a dataset is produced using a commercial-grade EEG device. Additionally, the ability of the method to capture oscillatory processes is verified by analyzing a public dataset. Moreover, this methodology is extended to study a related oscillatory process: Motor Imagery Rolandic Mu rhythms. The performance of the method to discriminate right vs left motor imagery

against a public dataset of healthy subjects, is verified. Results are informed and reported.

Finally, the method is modified to capture transient events, particularly the P300 Event Related Potential. A description on how to extract the ERP from the EEG segment is offered, and a detailed depiction of how to implement a P300-Based BCI Speller application is outlined. Its performance is verified by processing a public dataset of Amiotrophic Lateral Sclerosis (ALS) patients and contrasted against an own dataset produced in-house replicating the same experimental conditions.

The benefits of the approach presented here are twofold, (1) it has a universal applicability because the same basic methodology can be applied to detect different patterns in EEG signals with applications to BCI and (2) it has the potential to foster close collaboration with physicians and electroencephalograph technicians because this direction of work follows the established procedure of the clinical EEG community of analyzing waveforms by their shapes.

Resumen

Las interfaces BCI (Brain Computer Interfaces, Interfaces Cerebro Computadora) ó BMI (Brain Machine Interfaces, Interfaces Cerebro Máquina) surgen como un nuevo canal de comunicación entre el cerebro y las computadoras, máquinas o robots, distinto de los canales biológicos estándar. Resultados prometedores han sido obtenidos por sus variantes invasivas, pero problemas persistentes de biocompatibilidad y, las complejidades y riesgos de los procedimientos quirúrgicos son las principales razones que impulsan las mejoras de las tecnologías no invasiva.

La Electroencefalografía (EEG) es el método más difundido para obtener información del Sistema Nervioso Central de manera no invasiva. La Electroencefalografía Clínica se ha enfocado tradicionalmente en el estudio de las formas de ondas temporales, pero los métodos de procesamiento de señales que exploren esta metodología han sido ignorados en las investigaciones sobre BCI.

Esta tesis propone un método y un marco para analizar las formas de ondas, las formas de las señales de EEG, utilizando los histogramas de gradientes orientados, una útil técnica de Visión Artificial que es utilizada para tipificar características locales en regiones de una imagen. Este procedimiento está inspirado en lo que tradicionalmente los técnicos electroencefalógrafos han realizado por casi un siglo: inspeccionar visualmente los registros electroencefalográficos.

La presente técnica puede resumirse en 5 pasos, (1) preprocesamiento de la señal cruda, (2) segmentación de la señal, (3) una gráfica blanco y negro de la señal canal por canal, (4) asignación de una localización dentro de la imagen para posicionar un parche de un determinado tamaño y escala dependiendo del fenómeno cognitivo en estudio, y (5) el procedimiento para calcular el histograma de los gradientes orientados de la intensidades de los pixeles usando diferencias finitas, y alrededor de cada punto distinguido. Este mecanismo genera un vector de 128 dimensiones, que se utiliza para comparar los segmentos de señales entre sí, y que permite entonces analizar el fenómeno cognitivo subyacente.

La validez del método es verificada estudiando tres patrones cognitivos. Primero, las ondas visuales occipitales alfa son analizadas. Se diseñó un protocolo experimental y se

obtuvo un dataset mediante la utilización de un dispositivo electroencefalográfico digital de uso comercial. Adicionalmente, la posibilidad del método de capturar el comportamiento de ondas oscilatorias es demostrada sobre un dataset público. Su empleo se hace extensivo para analizar los Ritmos Mu de Imaginaria Motora, otro tipo de onda oscilatoria. Se reporta la efectividad del método para discriminar entre imaginaria motora derecha de izquierda en base al estudio de otro dataset público de pacientes sanos. Los resultados son informados y reportados.

Finalmente, esta propuesta es utilizada para estudiar eventos transitorios, particularmente el potencial evocado P300. Se ofrece una descripción sobre cómo extraer este potencial de los segmentos de EEG, y se implementa un procesador de texto basado en P300 que utiliza este método. La eficiencia del sistema es verificada mediante el procesamiento de un dataset público de pacientes con Esclerosis Lateral Amiotrófica, y corroborada contra un dataset de sujetos sanos obtenidos de manera experimental, replicando el mismo protocolo.

Los beneficios de esta propuesta se resumen en, (1) tiene una aplicación potencialmente universal, debido a que el mismo tipo de metodología puede ser aplicada para detectar cualquier tipo de patrón obtenido en la señal de EEG con eventuales aplicaciones a BCI, y (2) ofrece la posibilidad de incentivar la colaboración y utilización de estas técnicas en la clínica médica especializada en electroencefalografía ya que esta perspectiva basada en el estudio de las formas de onda de las señales, es un procedimiento conocido y ya establecido por esa comunidad.

Lists of Publications

The following publications are the basis of this thesis

- Ramele, R., A.J.Villar, and J.M.Santos.” A Brain Computer Interface Classification Method Based on SIFT Descriptors.” VI Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2014, Paraná, Argentina 29,30,31 October 2014. Springer International Publishing, 2015.
- Ramele, R., A. J. Villar, and J. M. Santos. ” A Brain Computer Interface Classification Method Based on Signal Plots.” 4th Winter Conference on Brain Computer Interfaces, Yongpyong, Korea, February 2015. IEEE Signal and Processing, 2016.

Acknowledgements

Es un falacia creer que existe alguna actividad en nuestra vida que la hacemos solos. Todos nosotros tenemos una interminable lista de personas a quienes le debemos agradecimiento, desde el primer segundo respirado hasta el último, y especialmente por aquellos actos ciclopeos que nos demandan todo lo que tenemos.