

---

# Epileptic EEG Analysis Toolbox: Manual de Usuario

---

María Angulo Tijerino (ang16508@uvg.edu.gt)  
Fernanda Pineda Esmieu (pin16021@uvg.edu.gt)

Noviembre, 2020

## Descripción

El toolbox Epileptic EEG Analysis es una herramienta diseñada para facilitar el análisis e implementación de algoritmos de aprendizaje automático en señales EEG con el fin de caracterizar las señales EEG de pacientes con epilepsia y detectar la presencia de crisis en las mismas. Epileptic EEG Analysis Toolbox esta dirigido a estudiantes que buscan validar sistemas de detección automática de crisis epilépticas. Busca optimizar y facilitar el proceso de diagnóstico del personal médico, mediante una interfaz gráfica que permita estudiar detalladamente las señales EEG y generar resultados. Puede descargarse de forma gratuita en el siguiente link, <https://github.com/larivera-UVG/Datos-Epilepsia>. Para su uso, es necesaria la instalación del software MATLAB y tener a MySQL como sistema gestor de base de datos.

## Contents

<b>1</b>	<b>Epileptic EEG Analysis Toolbox: Contenido</b>	<b>2</b>
1.1	Visualización de la señal EEG . . . . .	2
1.2	Extracción de Características . . . . .	2
1.3	Algoritmos de Clasificación . . . . .	2
1.4	Conexión con Base de Datos HUMANA . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Instalación se puede el Toolbox Epileptic EEG Analysis</b>	<b>3</b>
2.1	Requerimientos . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Ejemplos de uso</b>	<b>3</b>
3.1	Escritura de Nuevo Paciente . . . . .	4
3.2	Consultas . . . . .	5
3.3	Selección de Data . . . . .	6
3.4	Extraer Vector de Características . . . . .	7
3.5	Implementar Clasificadores . . . . .	10
3.6	Exportación y Generación de Resultados . . . . .	12

# Guía Rápida para Uso de Toolbox

## I Epileptic EEG Analysis Toolbox: Contenido

### I.1 Visualización de la señal EEG

La interfaz de visualización permite graficar la señal EEG seleccionada en formato EDF o mediante un archivo MAT donde se indique la variable "data" como un vector  $n \times m$ , donde  $n$  representa el número de canales y  $m$  las muestras de la señal EEG. Por

### I.2 Extracción de Características

En esta ventana el usuario puede seleccionar del menú de opciones las características que desea extraer de la señal previamente cargada. Adicionalmente, se debe especificar el tamaño de ventana, debe escogerse el número de canales a analizar y especificar los mismos y finalmente el tipo de análisis a realizar: análisis directo y análisis wavelet. Ambos análisis siguen la metodología propuesta en la tesis de investigación "Análisis y Reconocimiento de Patrones de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia" [1]. El análisis directo consiste en extraer características en el dominio del tiempo directamente de los segmentos de la señal EEG. El análisis wavelet, como su nombre lo indica, utiliza la transformada discreta de wavelet para descomponer la señal EEG en sub-bandas de coeficientes wavelets y de estos coeficientes se extraen las características (dominio tiempo-escala).

Como resultado, la herramienta entrega un archivo de formato MAT con el vector de características y un vector de clases generado automáticamente con "ceros" y "unos" balanceados según el tamaño del vector de característica resultante. El vector de clases se genera tomando en consideración que la señal EEG cargada se encuentra ordenada de forma que la primera mitad de las muestras de la señal corresponden a un tipo de registro y la siguiente mitad de las muestras corresponden a otro tipo de registro. Es decir que la cantidad de "ceros" presentes en el vector de clase es igual a la primera mitad de las muestras de la señal y la cantidad de "unos" equivalen a la mitad restante de las muestras de la señal.

En caso que la señal EEG no se encuentre ordenada de esta forma, el usuario debe generar manualmente el vector de clases y tendrá opción de cargarlo posteriormente en la ventana de clasificación del toolbox. El botón generar permite guardar el archivo de formato MAT que contiene el vector de características y de clases en la ubicación que el usuario seleccione.

### I.3 Algoritmos de Clasificación

La herramienta utiliza los resultados generados en la ventana extracción de características para implementar el clasificador seleccionado por el usuario: máquinas de vectores de soporte (SVM) y redes neuronales artificiales (ANN). Si se desean cargar vectores de características y clases externos el usuario debe cargar un archivo MAT que contenga el vector de características y el vector de clases.

Para el clasificador SVM, el toolbox utiliza validación cruzada. El usuario debe seleccionar el número de particiones previo a cargar los datos para dividir el vector de características en muestras para entrenamiento y prueba del clasificador. El clasificador de redes neuronales permite seleccionar los porcentajes de entrenamiento, validación y testeo. Adicionalmente permite escoger el algoritmo de entrenamiento de la red neuronal y el número de capas ocultas.

Para generar los resultados es necesario indicar el tipo de análisis utilizado para la extracción de características (wavelet o directo). Los resultados de la clasificación se presentan mediante el toolbox deep learning de MATLAB, donde el usuario puede visualizar la estructura de la red, las matrices de confusión e indicadores típicos para evaluar desempeño del algoritmo. Para el caso del clasificador SVM, se presenta un resumen en la parte inferior de los resultados obtenidos y se despliega la matriz de confusión. En ambos casos puede guardarse los resultados en un archivo MAT en la ruta especificada por el usuario.

### I.4 Conexión con Base de Datos HUMANA

Se utilizó el *software phpMyAdmin* para la creación de la base de datos en *MySQL*. *MySQL* es un sistema de gestión de base de datos que se basa en código abierto, lo que hace que sea accesible y que la mayoría de programadoras la hayan utilizado; adicionalmente, trabaja con bases de datos relacionales, lo que permite que las tablas se puedan interconectar para almacenar la información y sea organizada correctamente. *phpMyAdmin* se seleccionó porque también es un *software* de código abierto y permite gestionar las bases de datos *MySQL* a través de una interfaz gráfica.

Esta base de datos incluye señales biomédicas de pacientes con epilepsia del Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional HUMANA, Guatemala. De cada paciente se obtuvieron variables cualitativas y cuantitativas que permitieron la clasificación y organización de datos, así como también las señales biomédicas de cada uno de los pacientes. Es importante mencionar que, para resguardar la privacidad de los pacientes, no se obtuvieron nombres u otra información que pudiera revelar su identificación.

En la figura 1 se detalla el diagrama entidad-relación de la base de datos, la cuál está conformada por 3 tablas relacionadas. Entre las tablas existen relaciones de uno a muchos, siendo correspondiente a que un paciente puede tener múltiples pruebas y una prueba múltiples datos de hasta  $n$  canales. Adicionalmente, en el diagrama se muestran los campos y el tipo de datos admitidos. El desarrollo de la base de datos y su conexión con Matlab se detallan en la tesis “Diseño e Implementación de una Base de Datos de Señales Biomédicas de Pacientes con Epilepsia” [2].

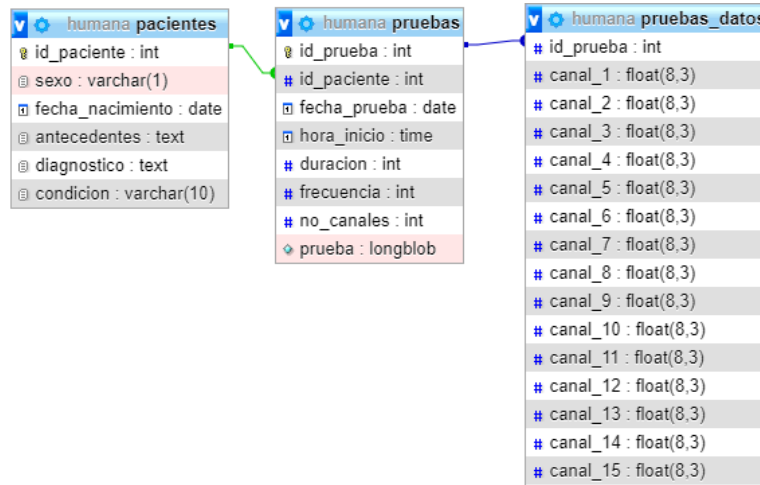


Figure 1: Diagrama entidad-relación de la base de datos.

La herramienta realiza la conexión mediante un driver *ODBC*, que permite la acceder a las bases de datos desde cualquier aplicación. Para la conexión, se tiene un archivo de configuración con la información del nombre de la conexión con la base de datos, nombre de usuario y contraseña para acceder a *MySQL*. Dentro de la herramienta, se permite la escritura de nuevos pacientes hacia la base de datos y realizar consultas de la información de los mismos. Adicionalmente, se puede almacenar las pruebas de los pacientes en campos binarios para su posterior análisis y descarga. Es importante mencionar que todos los campos de escritura están validados para coincidir con las tablas de la base de datos y se presentan mensajes de advertencia en caso que haya redundancia de datos o alguna consulta de datos que no estén almacenados.

## 2 Instalación se puedel Toolbox Epileptic EEG Analysis

### 2.1 Requerimientos

Para la correcta instalación del toolbox Epileptic EEG Analysis es necesario contar con la plataforma *MATLAB*. Es compatible a partir de las versiones R2018. Adicionalmente debe descargarse la carpeta “Epileptic EEG Analysis” contenida en el repositorio Datos-Epilepsia de dominio público. Los archivos contenidos en la carpeta indicada deben permanecer juntos para el correcto funcionamiento de la herramienta.

El toolbox esta diseñado para clasificación binaria, registros con crisis y sin crisis epilépticas. Tomando en consideración señales EEG balanceadas (mismo número de muestras con crisis y sin crisis). Por lo cual, se aconseja seleccionar y ordenar la data previamente al realizar la clasificación. Debe asegurarse el formato EDF para la correcta lectura de la señal EEG.

Para utilizar la base de datos, es necesario contar con las herramientas **Apache** y **MySQL**, de los cuales se pueden seguir los pasos de instalación explicados en el repositorio Datos-Epilepsia, dentro de la carpeta Base de Datos. Adicionalmente, para la conexión entre Matlab y la base de datos, es necesario tener instalado el driver *ODBC*. La herramienta se encarga de realizar las consultas en las respectivas tablas, por lo que el usuario debe garantizar que éstas existan con la estructura presentada en la figura 1.

## 3 Ejemplos de uso

A continuación se describen ejemplos de como interactuar con el toolbox Epileptic EEG Analysis. El menú principal, Figura [2], permite la conexión y consulta de la base de datos HUMANA. En caso no se desee utilizar esta base de datos debe seleccionarse la opción analizar prueba y seleccionar un archivo EDF con la señal EEG que se desea analizar.



Figure 2: Menú principal toolbox Epileptic EEG Analysis

### 3.1 Escritura de Nuevo Paciente

La ventana de ingresar un nuevo paciente se puede observar en la figura 3, en el que se pide ingresar el número de paciente, su sexo y fecha de nacimiento, así como la información de antecedentes y diagnóstico del paciente. Se validaron los campos de tal manera que los formatos coinciden con los aceptados dentro de la base de datos. Se incluyeron botones de guardar información, nuevo ingreso y regresar a la pantalla principal, al igual que las validaciones que deben ingresarse todos los campos requeridos. Además, se incluyeron mensajes de “código de paciente ya existente dentro de la base de datos” y “paciente guardado exitosamente”. Es importante mencionar que para acceder a esta ventana, es necesario estar conectado a la base de datos desde el menú principal. En la figura 4 se puede observar que se almacenó correctamente el paciente nuevo en la base de datos, luego de haber utilizado la herramienta.

Figure 3: Ventana de añadir paciente del *toolbox*.

id_paciente	sexo	fecha_nacimiento	antecedentes	diagnostico	condicion
1	F	1998-08-13	Epilepsia presente en su núcleo familiar.	No padece ninguna enfermedad	SANO

Figure 4: Pacientes almacenados en base de datos final

### 3.2 Consultas

La ventana de consultas se puede considerar como la más completa, ya que tiene las opciones de realizar búsqueda, visualizar información, agregar un nuevo archivo y descargar las pruebas existentes en la base de datos. Dicha ventana está enlazada con las 3 tablas de la base de datos, ya que todos sus campos corresponden a las columnas existentes dentro de la base de datos. En la Figura 5 se puede observar el diseño de la ventana, que consta de campos de texto y tablas para visualización de información. El usuario debe ingresar el ID del paciente que desea consultar y se muestra el resultado con su información; en la tabla se muestra información de las pruebas de este paciente, si existen.


Figure 5: Ventana de consulta del *toolbox*.

En la tabla de visualización se muestran enumeradas las pruebas existentes para el paciente consultado, el código de la prueba, fecha del examen, hora de inicio, duración, frecuencia de muestreo y la cantidad de canales de la prueba. Si el usuario desea almacenar un nuevo archivo, se utiliza el botón de seleccionar en el que se abre una ventana de navegación dentro de la computadora en la que el usuario puede revisar carpetas hasta encontrar el EDF correspondiente al paciente; éste cuenta con la validación que sólo ese tipo de archivos pueden almacenarse dentro de la base de datos.

En la figura 6 se puede observar las pruebas almacenadas para el paciente previamente ingresado, mientras que en la figura 7 se puede observar cómo se realizó la búsqueda dentro de la base de datos para el paciente ingresado.

id_prueba	id_paciente	fecha_prueba	hora_inicio	duracion	frecuencia	no_canales	prueba
1	1	1974-07-25	09:00:46	959	256	23	BLOB
2	1	1974-07-25	13:00:45	3600	256	23	BLOB

Figure 6: Información de pruebas almacenados en base de datos final

 Consultas
— □ ×

### Consulta de pacientes y pruebas

Paciente

Sexo

Fecha de Nacimiento

Antecedentes personales patológicos

Diagnóstico de prescripción

Condición

Leer

Nueva consulta

Regresar

Actualizar

No.	Prueba	Fecha	Hora	Duración (s)	Frecuencia (Hz)	No. Canales
1	1	1974-07-25	09:00:46	959	256	23
2	2	1974-07-25	13:00:45	3600	256	23

Agregar nuevo archivo

Fecha del examen

Hora de inicio

Duración (s)

Frecuencia (Hz)

No. Canales

Seleccionar Guardar

Descargar pruebas

☐ Todos los archivos

Seleccionar rango

Seleccionar número

Descargar

Figure 7: Consulta dentro del *toolbox*

Al seleccionar la opción analizar prueba, Figura 8, el usuario tendrá opción de cargar la señal EEG de un archivo local de su computador o seleccionar una prueba existente en la base de datos HUMANA. Como se menciona previamente, el formato de las señales debe ser de tipo EDF.

Figure 8: Ventana visualización de señal

el toolbox detecta que el usuario ingresa una cantidad mayor a los segundos contenidos en la prueba autorellenará la casilla tiempo máx y mostrará únicamente la longitud total de la prueba ingresada.

Si no se desea visualizar la señal, puede seleccionarse directamente la opción extraer vector de características lo cual permite al usuario generar un vector de características y de clases como se especificará en la siguiente sección.

El usuario debe presionar el botón visualizar siempre que realice un cambio en las opciones: cambio de canal o cambio de período de tiempo. Adicionalmente esta ventana incluye un menú de características típicas para señales EEG de pacientes con epilepsia. El usuario puede seleccionar una opción a la vez y el botón calcular extraerá la característica seleccionada en el período de tiempo seleccionado y se desplegará en la gráfica inferior.

Esta gráfica necesita ser actualizada presionando el botón visualizar siempre que se realice un cambio de canal o período de tiempo y posteriormente el botón calcular, si se realiza un cambio de característica,

En la Figura 9, se describe un ejemplo del canal 4 de una señal EEG cargada de un archivo local, en el período de tiempo de 2-7 segundos y se calculan la desviación estándar en ventanas de 1 segundo (cada 256 muestras). Ambas gráficas pueden ser exportadas como imagen utilizando la opción exportar al colocar el mouse sobre cualquiera de ellas.

Se recomienda utilizar períodos de tiempos cortos en esta ventana para disminuir el tiempo de procesamiento. El tamaño de muestras esta relacionado a la frecuencia de muestreo de la señal cargada, por defecto el toolbox considera una frecuencia de 256 Hz. Sin embargo esto puede modificarse en caso que se desee extraer las características en ventanas menores a 1s o cuando la señal cargada es muestreada a una frecuencia diferente. Para calcular el número de muestras por ventana puede utilizarse la siguiente ecuación:

$$\text{Muestras por ventana} = T_{\text{segundos}} \times F_{\text{muestreo}} \quad (I)$$

$$\text{Muestras por ventana} = 1(s) \times 256(Hz) = 256$$

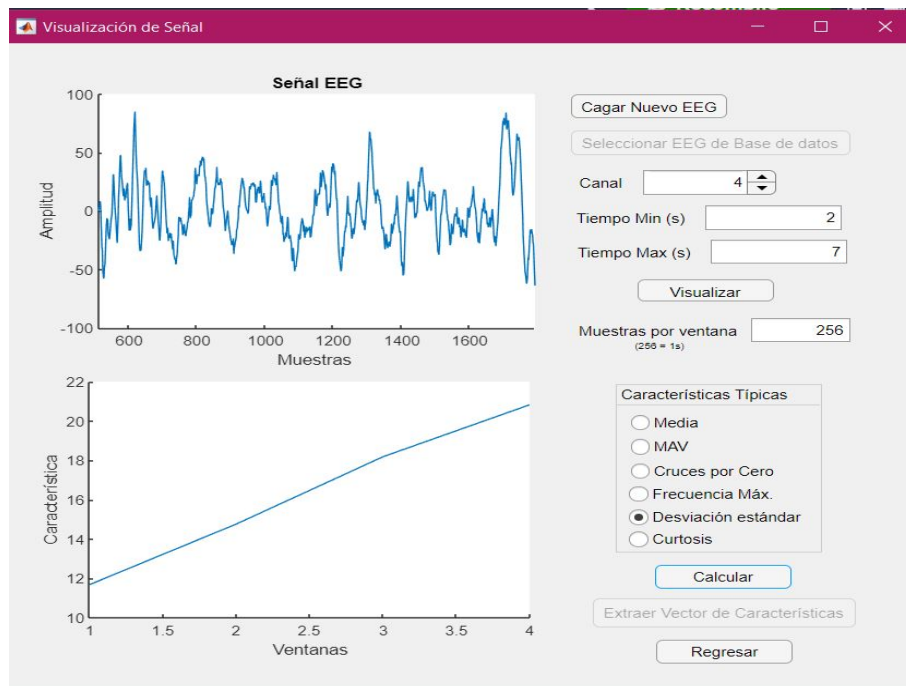


Figure 9: Ejemplo de uso, ventana visualización

### 3.4 Extraer Vector de Características

La ventana de extracción de características, Figura 10, contiene dos tipos de análisis para extraer características de la señal cargada, como se describe en la sección 1.2. El análisis directo (parte superior) incluye 4 opciones de características del dominio del tiempo: Desviación estándar, curtosis, cruces por cero y valor medio absoluto.

Adicionalmente permite analizar 1- 4 canales simultáneamente e incluye la opción de analizar todos los canales simultáneamente. Sin embargo, el usuario debe tomar en consideración el aumento de tiempo en generar un resultado debido a la gran carga computacional.

El toolbox utiliza por defecto un tamaño de ventana de 2500 muestras. Tomando en consideración una frecuencia de muestreo típica en señales EEG, 2500 muestras representan una ventana de aproximadamente 10 segundos. El tamaño de ventana puede ser modificado por el usuario. A menor tamaño de ventana aumentará el tiempo de

### GENERAR VECTOR DE CARACTERÍSTICAS

ANÁLISIS DIRECTO

☐ DESVIACIÓN ESTÁNDAR
 ☐ CURTOSIS
 

NÚMERO DE CANALES

☐ CRUCES POR CERO
 ☐ VALOR MEDIO ABSOLUTO
 

MUESTRAS POR VENTANA

CANALES A ANALIZAR

\* COLOCAR 0 SI SE DESEAN TODOS LOS CANALES

GENERAR

### CARACTERÍSTICAS WAVELET

ANÁLISIS WAVELET

[7 NIVELES DE DESCOMPOSICIÓN]

WAVELET MADRE

SELECCIONAR CANAL

CALCULAR PARA
 

☒ TODAS LAS BANDAS
 ☐ BANDA ESPECÍFICA

MUESTRAS POR VENTANA

☐ POTENCIA
 ☐ MEDIA
 ☐ DESVIACIÓN
 ☐ CURTOSIS
 ☐ ASIMETRÍA
 ☐ CRUCES POR CERO

GENERAR

\* EL VECTOR DE ETIQUETAS ASIGNA AUTOMÁTICAMENTE AL 50% DE LOS PRIMEROS DATOS COMO CLASE "0", Y AL 50% DE LOS DATOS RESTANTES COMO CLASE "1". MODIFICAR SEGÚN NECESIDAD

CLASIFICADOR SVM

CLASIFICADOR RED NEURONAL

Figure 10: Ventana extracción de características

procesamiento y la carga computacional. Los botones generar, extraen las características seleccionadas según el análisis escogido y guarda los resultados en un archivo MAT compatible con MATLAB. Este archivo contiene dos variables, un vector de clases y una estructura que contiene resultados de las características y otros aspectos importantes para el usuario. Ambos archivos se describen en las figura 11, 12 y se detallan en las tablas 3.4 y 3.4.

Workspace	
Name	Value
Etiquetas	368x1 double
Features_result	1x1 struct

Variables - Features_result	
+2	Features_result
1x1 struct with 6 fields	
Field	Value
Vector_Cara...	368x4 double
Caracteristic...	','Curtosis','CrucesPorCero,'
canales	[1,2]
data	921600x2 double
FMuestreo	256
Ventana	2500

Figure 11: Ejemplo Resultado Análisis Directo



Nombre	Tipo	Contenido
Etiquetas	vector	Vector de clases, 0 y 1 representan tipos de registro "Con crisis" y "Sin crisis". La dimensión del vector quivale al número total de muestras de la señal dividido el tamaño de ventana escogido.
Vector_Caracteristicas	vector	Vector resultado de características escogidas. Las columnas representan las características según el número de canales escogido. El orden de las características esta dado por la variable "características". Por ejemplo, Si se escogieron 2 características y 3 canales diferentes la dimensión de las columnas será igual a 6. Las primeras dos representan las 2 características del primer canal. Las columnas 3-4 las características del segundo canal, y las últimas 2, representan las características del tercer canal.
Caracteristicas	char	El texto representa el orden y el nombre de las características extraídas. Tomádo el ejemplo de 2 características y 3 canales, 'Curtosis, Cruces por cero', indica que la columnas 1,3 y 5 son vectores resultado de extraer curtosis en los 3 canales escogidos, y las columnas 2,4, y 6 son vectores resultado de extraer cruces por cero en los 3 canales escogidos.
Canales	vector	Vector que indica los canales y el orden en que se analizaron para extraer las características.
Data	vector	Vector que incluye la señal EEG analizada sin ser seccionada en ventanas. La dimensión de las columnas es igual al número de canales procesados y cumple el orden del vector "canales". Por ejemplo, si el vector canales es igual a [2,4,6], la 1 columna del vector "data" representa las muestras totales del canal 2, la 2 columna del vector "data" representa las muestras del canal 4 y la última columna representará las muestras totales del canal 6.
FMuestreo	int	Incluye la frecuencia de muestreo encontrada en el archivo EDF del EEG analizado aproximada a un entero, en caso sea un número decimal.
Ventana	int	Representa el tamaño de ventana utilizado para la extracción de características. Es decir, el número de muestras por ventanas que se utilizó para calcular iterativamente cada característica.

Table 1: Análisis Directo: Descripción de Variables

Workspace	
Name ^	Value
Etiquetas	368x1 double
Features_Wavelet_result	1x1 struct

Variables - Features_Wavelet_result	
Features_Wavelet_result	
1x1 struct with 7 fields	
Field ^	Value
VectorCarac...	368x7 double
Caracteristic...	'„Media,,,'
Canal	1
fbanda	'Theta, Theta/Beta, Beta/Alpha, Alpha/Gamma, Gamma/Delta, Delta, Aprox'
Coeficientes...	1277x1 double
FMuestreo	256
Ventana	2500

Figure 12: Ejemplo Resultado Análisis Wavelet

### 3.5 Implementar Clasificadores

Posterior a extraer el vector de características se habilitan las opciones de clasificar la señal utilizando algoritmos de machine learning: SVM y ANN. Las ventanas de ambos clasificadores se detallan en las figuras 13 y 14.

RED NEURONAL ARTIFICIAL

% SEGMENTOS PARA ENTRENAR

70

% SEGMENTOS PARA PRUEBA

15

% SEGMENTOS PARA VALIDAR

15

ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO

trainscg

CAPAS OCULTAS

8

TIPO DE VECTOR

☒ ANÁLISIS DIRECTO
 ☐ ANÁLISIS WAVELET

CARGAR NUEVO VECTOR DE CARACTERÍSTICAS PARA ENTRENAMIENTO Y PRUEBA

CARGAR

GENERAR

VISUALIZAR

RESULTADOS

SEGMENTOS PARA ENTRENAMIENTO

-----

SEGMENTOS PARA PRUEBA

-----

Figure 13: Ventana Clasificador ANN

Nombre	Tipo	Contenido
Etiquetas	vector	Vector de clases, 0 y 1 representan tipos de registro "Con crisis" y "Sin crisis". La dimensión del vector quivale al número total de muestras de la señal dividido el tamaño de ventana escogido.
Vector_Caracteristicas	vector	Vector resultado de características escogidas. Las columnas representan las características según las sub-bandas escogidas. Debido a que el toolbox utiliza 7 niveles de descomposición la dimensión máxima de columnas posibles es igual a 42. Tomándo en cuenta que el usuario escoge extraer las 6 características disponibles para todas las 7 sub-bandas.
Caracteristicas	char	El texto representa el orden y el nombre de las características extraídas.
Canal	int	Indica el canal analizado
Fbanda	char	El texto indica que sub-bandas escogio el usuario para extraer las características. Las bandas se acotan en rangos de frecuencia que coinciden con los 5 ritmos cerebrales. El nivel 1 representa Theta, los niveles 2-3 Theta/Beta, los niveles 3-4 Beta/Alpha, niveles 4-5 Alpha/Gamma, los niveles 5-6 Gamma/Delta y el nivel 7 representa el ritmo Delta.
CoeficientesWavelet	vector	El vector incluye las bandas de coeficientes utilizadas para extraer las características seleccionadas.
FMuestreo	int	Incluye la frecuencia de muestreo encontrada en el archivo EDF del EEG analizado aproximada a un entero, en caso sea un número decimal.
Ventana	int	Representa el tamño de ventana utilizado para la extracción de características. Es decir, el número de muestras por ventanas que se utilizó para calcular iterativamente cada característica.

Table 2: Análisis Wavelet: Descripción de Variables

**MÁQUINA DE VECTORES DE SOPORTE**

---

DIVISION DE DATOS POR VALIDACIÓN CRUZADA

NÚMERO DE PARTICIONES [K]

OPCIÓN DE KERNEL RBF

TIPO DE VECTOR

☒ ANÁLISIS DIRECTO

☐ ANÁLISIS WAVELET

CARGAR NUEVO VECTOR DE CARACTERÍSTICAS PARA ENTRENAMIENTO Y PRUEBA

CARGAR

GENERAR
VISUALIZAR

---

**RESULTADOS**

EXACTITUD -----

SEGMENTOS PARA ENTRENAMIENTO -----

SEGMENTOS PARA PRUEBA -----

Figure 14: Ventana Clasificador SVM

Ambas ventanas requieren especificar el tipo de análisis que se utilizó para extraer el vector de características. Además, permiten que el usuario ingrese un nuevo archivo MAT con el vector de características y el vector de clases deseado. Se incluye esta opción debido a que el toolbox genera automáticamente el vector de clases con el supuesto que la señal ingresada esta balanceada y ordenada de forma que la mitad de sus muestras pertenecen a la clase 0 y la mitad restante a la clase 1. El archivo ingresado debe contener específicamente las siguientes variables:

- data: vector de características de dimensión nxm, donde n representa el número de ventanas seleccionadas para

entrenamiento del clasificador y m la multiplicación del número de características por el número de canales analizados.

- labels: vector de dimensión  $n \times 1$ , que contiene "ceros" en las ventanas que representan la clase 1, y "unos" en las ventanas que representan la clase 2. El número de filas debe corresponder al número de ventanas que contiene el vector de características "data".

Para la implementación de la red neuronal artificial, el toolbox utiliza un red perceptrón multicapa. El usuario puede seleccionar el algoritmo de entrenamiento, el número de capas ocultas y los porcentajes de división de datos para entrenamiento, prueba y validación. En el caso del clasificador SVM, el toolbox utiliza validación cruzada "*K-fold*", donde el usuario tiene opción de modificar el número de particiones utilizadas para encontrar el grupo de entrenamiento y prueba. En ambos clasificadores, el botón visualizar despliega los resultados de la clasificación, matriz de confusión y exactitud. Adicionalmente, se detalla un resumen de resultados en la parte inferior de ambas ventanas.

### 3.6 Exportación y Generación de Resultados

El botón generar extrae los resultados de clasificación según el algoritmo seleccionado en un arvhivo MAT compatible con MATLAB, la estructura de ambos archivos se describen en las figuras 15 y 16. Las variables de resultado para cada clasificador se detallan en la tabla 3.6.

Workspace	
Name ^	Value
Etiquetas	368x1 double
RN_resultados	1x1 struct
VectorCaracteristicas	368x4 double

Variables - RN_resultados	
RN_resultados	
1x1 struct with 2 fields	
Field ^	Value
net	1x1 struct
salidas	1x368 double

Figure 15: Resultados clasificador ANN

Workspace	
Name ^	Value
data_entrenamiento	197x4 double
data_prueba	66x4 double
etiquetas_entrenamiento	197x1 double
etiquetas_prueba	66x1 double
svm_resultados	1x1 struct

Variables - svm_resultados	
svm_resultados	
1x1 struct with 3 fields	
Field ^	Value
Predicted_la...	66x1 double
test_features	66x2 double
Accuracy	100

Figure 16: Resultados clasificador SVM

ANN Descripción de Variables		
Etiquetas	vector	Vector de clases reales, 0 y 1 representan tipos de registro "Con crisis" y "Sin crisis". La dimensión del vector quivale al número total de muestras de la señal dividido el tamaño de ventana escogido.
Vector_Caracteristicas	vector	Vector resultado de características escogidas. Las columnas representan las características según el análisis escogido. Con el análisis directo las columnas representan las características según el número de canales. Con Análisis Wavelet, las columnas representan las características según las subbandas escogidas.
net	struct	Resultado del toolbox deep learning para redes neuronales de MATLAB. Incluye 29 variables relacionadas al diseño, estructura, entrenamiento y resultados de la red neuronal creada.
Salidas	vector	Vector de pesos con etiquetas de salida predichas por el clasificador. Valores cercanos a 1 (mayores a 0.5) pertenecen a la clase 1, de lo contrario pertenecen a la clase 0
SVM Descripción de Variables		
Data_entrenamiento	vector	El vector incluye el porcentaje de datos para entrenamiento del vector característica según la validación cruzada realizada.
Data_prueba	vector	EL vector incluye el porcentaje de datos para prueba del vector característica según la validación cruzada realizada
Etiquetas_entrenamiento	vector	El vector incluye las clases que representan al vector Data_entrenamiento
Etiquetas_prueba	vector	El vector incluye las clases que representan al vector Data_prueba.
SVM_resultados	struct	La estructura incluye el vector de características de prueba y el vector de clases predicho por el clasificador. Adicionalmente, se incluye el porcentaje de exactitud.

Table 3: Resultados de Clasificadores: Descripción de Variables

## References

- [1] María Jesús Angulo. Análisis y reconocimiento de patrones de señales biomédicas de pacientes con epilepsia. Technical report, Universidad del Valle de Guatemala, 2020.
- [2] María Fernanda Pineda. Diseño e implementación de una base de datos de señales biomédicas de pacientes con epilepsia. Technical report, Universidad del Valle de Guatemala, 2020.